

名古屋大学VBL 平成29年度 VBL活動成果報告書

平成30年3月



Nagoya University
Venture Business Laboratory

高次機能ナノプロセス技術に関する研究

平成29年度 VBL活動成果報告書

名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー

〒464-8601 名古屋市千種区不老町
TEL(052)789-5447 FAX(052)789-5448
E-mail:director@vbl.nagoya-u.ac.jp
office@vbl.nagoya-u.ac.jp
http://www.vbl.nagoya-u.ac.jp

平成30年3月

名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー



名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー

平成29年度 活動成果報告書

高次機能ナノプロセス技術に関する研究

平成30年3月



第21回VBLシンポジウムにてご講演を行った講師の方々

巻頭言 (Preface)

名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー長

天野 浩

名古屋大学 VBL は、「高次機能ナノプロセス技術に関する研究」を通じて、新たな産業分野の創出とそれを担う創造性豊かなたくましい若手研究者の育成の研究および教育の両面を目的として、設立当初から約 20 年間の成果を挙げて参りました。ものづくりを主体とした新産業創出には、特に学際的な知識基盤の構築が不可欠です。本機関の役割は、新産業創出の根幹となる学術基盤の構築と若手研究者の教育の推進を行い、アントレプレナーシップを持つ勇氣ある人材を育成することであると考えます。また、昨今の我が国の経済情勢や「ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー」の言葉から、若手の育成のみならず社会に還元できる研究成果を望まれており、その役割はますます大きくなると認識しております。



名古屋大学 VBL では、長期的視野に立った基盤研究を推進しつつ、最新実験装置の共同利用機関として産学官との連携を図ることを中心に、この要請に応えていきたいと考えております。本学 VBL は、文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム事業」に参画し、これまでの成果の蓄積を活かして、本機関の最先端の研究設備とその活用のノウハウを産官学の研究者に広く利用していただく試みを始め、軌道に乗りつつあります。本事業を通じて、産学官すべての研究者が有する技術的課題の解決へのアプローチを提供するとともに、その連携や融合を推進しようと考えております。また、様々な企業や研究機関と広く積極的な交流、産業基盤となるような研究成果、ならびに起業家精神に富んだ若手研究者の育成を今まで以上に遂行していく所存であります。関係各位の一層のご理解とご支援を宜しくお願い申し上げます。

平成29年度活動成果報告書目次

巻頭言

目次

| | | |
|-----------|---------------------------|-----|
| 1 | VBLの概要 | |
| 1.1 | VBLの設置目的 | 1 |
| 1.2 | VBLの組織及び関連する部局・教員 | 2 |
| 1.3 | VBLの研究内容 | 4 |
| | 半導体ナノプロセスグループ | 5 |
| | ナノ構造設計グループ | 11 |
| | 有機分子ナノ界面物性グループ | 17 |
| | 強相関電子系酸化物ナノ物性グループ | 19 |
| | 高分子ナノ組織化プロセスグループ | 21 |
| 1.4 | VBLの主要設備 | 23 |
| 2 | VBLの教育・広報活動 | |
| 2.1 | VBLシンポジウム | 27 |
| 2.2 | VBLセミナー | 30 |
| 2.3 | 講義 | 40 |
| 2.4 | 講習会 | 43 |
| 2.5 | 刊行物 | 45 |
| 3 | VBLの研究活動 | |
| 3.1 | 研究成果の概要 | 63 |
| 3.2 | 非常勤研究員の活動 | 81 |
| 4 | VBLで過ごした日々 | 99 |
| 5 | 事業委員会及び専門委員会の活動 | |
| 5.1 | 事業委員会 | 109 |
| 5.2 | 研究推進専門委員会 | 111 |
| 5.3 | 研究企画専門委員会 | 112 |
| 6 | ナノテクノロジープラットフォーム | |
| 6.1 | ナノテクノロジープラットフォーム | 113 |
| 6.2 | 名古屋大学における支援 | 113 |
| 6.3 | VBLにおける支援 | 113 |
| 6.4 | 支援実績 | 113 |
| 6.5 | 利用者リスト | 114 |
| 6.6 | 利用報告 | 117 |
| 7 | 他機関との交流 | 181 |
| 8 | 発表論文リスト | |
| 8.1 | 原著論文 | 189 |
| 8.2 | 総説 | 203 |
| 8.3 | 著書 | 204 |
| 9 | 研究助成金リスト | 205 |
| 10 | 特許 | 211 |
| 11 | VBL関連講座の博士・修士論文リスト | |
| 11.1 | 博士論文 | 213 |
| 11.2 | 修士論文 | 214 |
| 12 | その他 | |
| 12.1 | 受賞リスト | 221 |
| 12.2 | 新聞等報道リスト | 230 |

1. VBLの概要

(Outline of VBL)

1.1 VBLの設置目的 (Objective of VBL)

主旨

名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリー (NU-VBL) は、大学院を中心とした独創的研究と開発のため、全国の他の10大学とともに平成7年度に設置された。このラボラトリーにおける研究が新しい産業の芽となり、このラボラトリーにおいて高度の専門的職業能力を持つ将来の企業家を養成するという、従来の大学の研究機関とは全く異なる新しい役割を担っている。

名古屋大学では、「高次機能ナノプロセス技術に関する研究」を提案し、以下に述べるような内容と考え方で、これを推進している。

内容

1. 半導体、マイクロマシン、マルチメディア、コンピュータなどの将来の産業を支える基盤技術の研究開発を推進する。
2. 高度の専門的職業能力を持ち、ベンチャー精神に富んだ創造的人材と将来の企業家を育成する。
3. 上記1. 2. を実施するために必要な教育研究施設・設備を整備し、研究費などを措置する。

基本的考え方

このラボラトリーにおける研究教育が産業につながるために実践的であること、独創的であり、広い視野を持って総合的な位置付けと展開を行うこと、および、施設・設備を大学に限らず広く利用されるよう便宜を図り、国内外を問わず開放的に利用できるよう運営する。

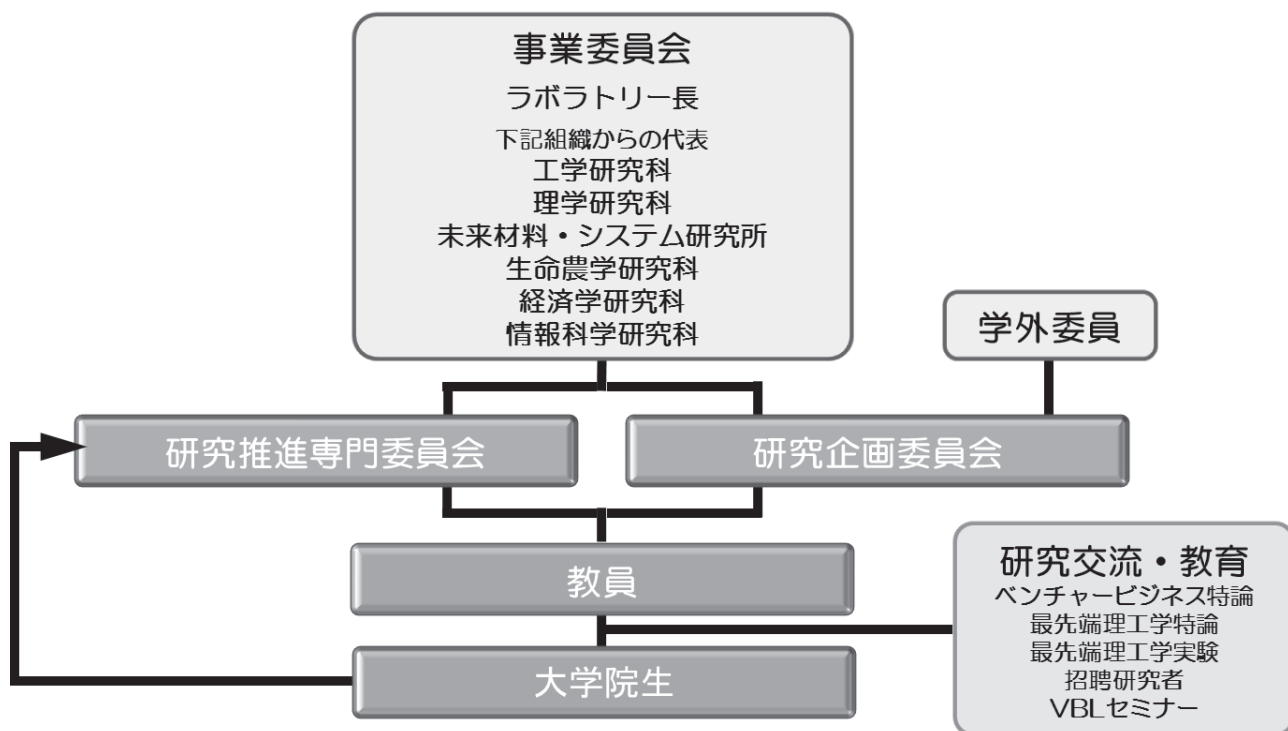
このためにも、国内外の研究者を招へいし、また、名古屋大学からは若手の研究者を海外に派遣し、研究交流と共同研究を積極的に行っている。

研究グループ

このラボラトリーは、名古屋大学の工学研究科、理学研究科、未来材料・システム研究所、生命農学研究科、経済学研究科及び人間情報学研究科が中心となって次ページに示す運営組織で運営する。当面以下の研究グループを編成し、研究科の枠にとらわれない幅広い協力体制のもと、研究を推進する。

- ・半導体ナノプロセスグループ
- ・ナノ構造設計グループ
- ・有機分子ナノ界面物性グループ
- ・強相関電子系酸化物ナノ物性グループ
- ・高分子ナノ組織化プロセスグループ

1.2 VBLの組織及び関連する部局・教員 (Organization and Related Schools of VBL)



専任教員

| ラボラトリー長 | 天野 浩 | 未来材料・システム研究所 | 教授 |
|---------|----------------------|--------------|--------|
| | 永野修作 | VBL専任 | 准教授 |
| | 岸本 茂 | VBL専任 | 助教 |
| | 入田 賢 | VBL専任 | 非常勤研究員 |
| | 村井 良多 | VBL専任 | 非常勤研究員 |
| | Amalraj Frank Wilson | VBL専任 | 非常勤研究員 |
| | 有吉 純平 | VBL専任 | 非常勤研究員 |
| | 吉本 将悟 | VBL専任 | 非常勤研究員 |
| | 松永 正広 | VBL専任 | 非常勤研究員 |
| | Mai Thi Kieu Lien | VBL専任 | 非常勤研究員 |

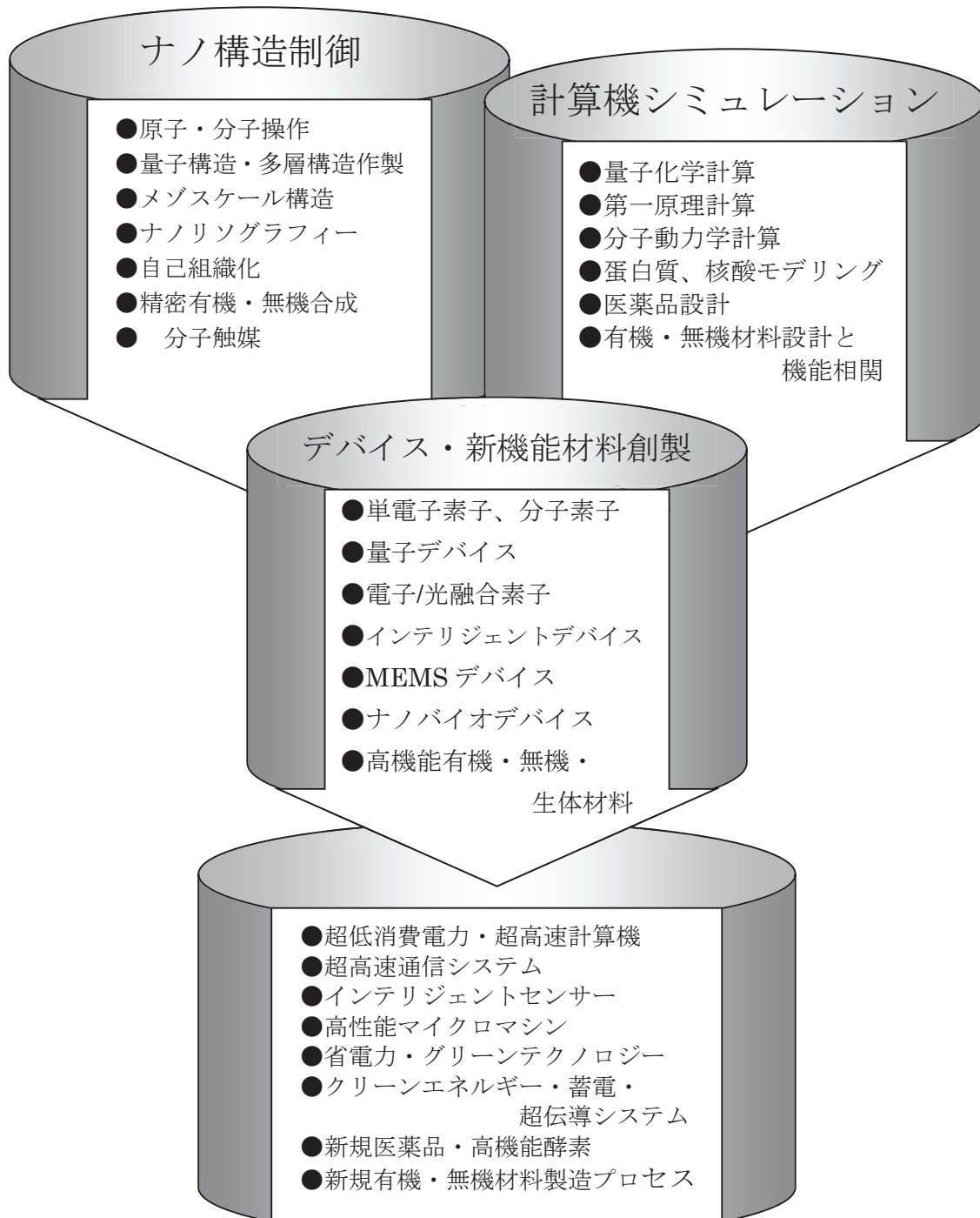
関連教員

| | | |
|-------|----------------|-----|
| 宇治原 徹 | 未来材料・システム研究所 | 教 授 |
| 上垣外正己 | 工学研究科 | 教 授 |
| 八島栄次 | 工学研究科 | 教 授 |
| 渡邊信久 | シンクロトロン光研究センター | 教 授 |
| 齋藤弥八 | 工学研究科 | 教 授 |
| 中里和郎 | 工学研究科 | 教 授 |
| 鳥本 司 | 工学研究科 | 教 授 |
| 岸田英夫 | 工学研究科 | 教 授 |
| 馬場嘉信 | 工学研究科 | 教 授 |
| 堀 勝 | 工学研究科 | 教 授 |
| 大野雄高 | 未来材料・システム研究所 | 教 授 |
| 伊藤正行 | 理学研究科 | 教 授 |
| 阿波賀邦夫 | 理学研究科 | 教 授 |
| 松下未知雄 | 理学研究科 | 准教授 |
| 田渕雅夫 | シンクロトロン光研究センター | 教 授 |

1.3 VBLの研究内容 (Research Targets of VBL)

現在の情報化社会の進展を支えてきた半導体ナノエレクトロニクスの極限微細化と、次世代の機能材料創成のためのナノスケール分子構造制御の2つを中心課題として取り上げました。これらを先行的に検討し、その中から次世代の超高性能計算機、マイクロマシン、インテリジェント材料等の、次世代産業の中核となるキー技術の芽を創出します。

更に、極限微細化に伴って現れてくる量子効果をはじめとする新現象の解明を推進し、科学技術の進展に貢献するとともに、ナノプロセス技術に関するセンター・オブ・エクセレンスを目指します。



半導体ナノプロセスグループ

半導体は今日の情報処理・通信技術、表示・照明機器、機器制御技術の共通基盤である。本グループでは、超低消費電力集積デバイスや生体センサ等の新機能デバイス、およびそれを実現するための新材料成長・評価技術と高度ナノプロセス技術の開発を担当する。

概要

今日のユビキタス情報社会の発達を支えてきたSi LSI技術はそのデバイス・電極の微細化により飛躍的な発展を遂げてきた。近年、市場に投入された22 nmのプロセスノードを用いたLSIでは、数十億個のトランジスタが集積され、さらに微細なプロセスノードのLSIも視野に入りつつある。ムーア則に従い、これらの技術を更に発展させるMore Mooreを実現することは、今後も必要であるが、以下に示す課題をはじめとして、様々な困難が指摘されている。

- (1) 従来のフォトリソグラフィ、エッチング技術、薄膜形成技術に見られたパターン幅のゆらぎ、不純物濃度のゆらぎ、加工損傷等の影響は、デバイスの微細化に伴ってますます顕著となることが懸念される。
- (2) デバイス寸法が電子の波長程度になると、電子の波動性が現れる量子効果が顕著となり、従来の古典的な動作原理に基づくデバイスは正常動作しなくなる可能性がある。
- (3) デバイスの微細化とその高密度集積化はチップ当たりの消費電力の増大をもたらす許容消費電力の限界に近づきつつある。この問題に対処するためには、デバイス当たりの消費電力を飛躍的に低減するとともに、消費電力の少ない計算機アーキテクチャーを実現し得る新しいデバイス概念の創出が必要である。

一方、単なる微細化にとどまらず、高周波デバイスやセンサ等の機能デバイスをチップ上に集積して高機能集積デバイスを実現するMore than Mooreについても、近年、急速に検討が進んでいる。例えば、携帯端末においてはCPUに無線通信用の高周波デバイスが集積されつつあり、またイメージセンサと画像処理デバイスの集積なども検討されている。さらには、LSIにバイオセンサを集積し、リアルタイムで診断・治療が可能な革新的ヘルスケア/医療デバイスを実現することも考えられる。これにより、高度に成熟したエレクトロニクスを医療分野に展開させ、新産業や革新的医療の創出に繋げることも重要な課題である。

以上の状況を踏まえ、これらの課題・要請に応えるため以下の基盤技術を検討する。

- (1) ゆらぎや損傷のない高度な半導体ナノプロセス技術の研究開発。具体的には原子レベルの寸法精度を有するナノ構造形成技術、損傷を導入しないでパターンを形成することが可能な、

自己組織化技術等を確立するとともに、これらとエッチング加工技術を融合させたフレキシビリティの高い高度ナノプロセス技術を開発する。

- (2) ボトムアップ的手法による高品質ナノ構造材料の創出。グラフェンやカーボンナノチューブ等の自己組織化的に形成される低次元ナノ構造材料の形成技術、配置や構造の制御を可能とする技術、デバイス応用を視野に入れた薄膜化技術を開発する。さらに、TEM内その場観察等の評価・解析技術を駆使し、ナノ構造材料の特異な物性を明らかにし、新機能の発現と新原理デバイス設計を行う。
- (3) 高品質半導体結晶材料の創出。高効率LEDや高性能パワーデバイスの実現に必須の窒化ガリウムやSiCなどの半導体結晶長について、成長技術を高度化し、低欠陥密度で表面平坦性の良い高品質結晶を実現する。
- (4) これらのナノプロセス・材料技術に基づく、半導体ナノ構造におけるキャリア輸送現象の解明と高次機能デバイスの創出。具体的には、先端CMOSのチャネル代替を実現し得る低次原材料デバイスの創出や電子の波動性に基づく量子効果の積極的な活用による従来デバイスとは動作原理のまったく異なる新機能デバイス、超高効率の発光素子やパワーデバイスの創出を進める。
- (5) 量子ナノ構造におけるフォトン-キャリア相互作用現象の解明と、これに基づく光デバイス、光・電子融合デバイスの創出。具体的には量子構造による光-キャリア閉じこめ効果、高い光非線形性を活用した波長変換デバイス、光双安定素子、超高速光変調素子、超高感度光検出素子の研究開発を行う。
- (6) 医療診断デバイスの実現を目指したバイオ集積回路の創出。高精度でハンディな新しい医療検査診断システムを実現するため、半導体集積回路を用いて生体分子を検出する生体-半導体ハイブリッドセンサを実現し、半導体集積回路の応用を従来の情報通信分野から医療分野へと広げ、情報通信・医療の統合を目指す。

本研究グループは、これらの課題を解決するため、原子層レベルで厚み制御可能な分子線結晶成長装置とナノメータ寸法レベルの極微細パタン形成が可能な電子線援用エッチング装置とを結合した高度な装置に加え、反応性プラズマエッチング装置等のナノプロセス装置群や走査型電子顕微鏡等のナノ構造評価装置群を主要研究設備として導入し、これを共同利用方式で活用することにより、以下のテーマについて研究・開発を推進し、将来の半導体ナノプロセスの基盤となる技術の構築と新しいデバイスの創出を担当している。

なお本グループに参加している主要教員は以下のとおりである。

グループ参加教員

| | | |
|-------|----------------|----|
| 天野 浩 | 未来材料・システム研究所 | 教授 |
| 齋藤 弥八 | 工学研究科 | 教授 |
| 宇治原 徹 | 未来材料・システム研究所 | 教授 |
| 中里 和郎 | 工学研究科 | 教授 |
| 岸田 英夫 | 工学研究科 | 教授 |
| 堀 勝 | 工学研究科 | 教授 |
| 大野 雄高 | 未来材料・システム研究所 | 教授 |
| 田渕 雅夫 | シンクロトロン光研究センター | 教授 |

研究テーマ名

- (a) 真空一貫技術を用いたナノプロセス技術の研究
- (b) 量子井戸構造の作製に関する研究
- (c) 結合量子井戸構造の光応用に関する研究
- (d) 原子層制御ヘテロエピタキシャル技術の研究
- (e) 原子層制御ヘテロエピタキシャル技術のデバイス応用に関する研究
- (f) ナノカーボン材料の創製とデバイス応用に関する研究
- (g) 窒化物半導体のナノ構造評価・制御とデバイス応用に関する研究
- (h) 生体-半導体ハイブリッドセンサに関する研究

(a) 真空一貫技術を用いたナノプロセス技術の研究

分子線結晶成長装置と電子線援用エッチング装置と組み合わせた電子線援用加工・作製装置について、薄膜成長、加工条件を詳細に検討し、超高真空雰囲気中でナノメートルの微細パターンを実現する。

分子線結晶成長装置は原子層レベルで厚み制御が可能であり、これを用いることにより、原子層レベルで急峻な界面を有する量子井戸を実現する。また残留ガスと結晶品質との関係を詳細に検討し、 $10^6 \text{cm}^2/\text{Vs}$ 以上の高い移動度を有し、高い発光強度を有する高品質の結晶を実現する。

一方電子線援用エッチング装置では100keVで加速した5nm以下のビーム径を有する電子ビーム露光装置に、反応性ガスを導入することが可能となっており、これを用いてエッチング用レジスト材(半導体レジスト、無機レジスト、高分子レジスト)とエッチング選択比、解像度、電子線増速エッチング効果等との関係を解明する。また表面酸化膜がエッチング特性に及ぼす影響を明らかにするとともに、エッチング室・成長室内ガスの付着と界面特性(移動度、発光効率)との関係を解明

する。さらに反応性ガスの電子線源への影響解明、エッチング損傷の評価と無損傷エッチング条件の導出を行う。明らかにしたエッチング条件、成長条件を用いて高品質の量子箱構造を作製する。

(b) 結合立体量子井戸構造の作製に関する研究

結合量子井戸構造の特徴は電子波動関数の制御と電子(電荷)移動の制御が容易であるところに特徴がある。この特徴は、従来から多重とすることによって超格子構造などの新しい概念に基づく材料・デバイスが提案されてきたが、本研究では平面構造の単なる積み重ねでなく、複数の量子井戸(量子細線・量子ドット)が三次元的に結合した立体結合量子井戸構造とすることにより、さらに高度化された多機能・高次機能デバイスの作製の可能性を研究する。

電子線援用微細加工装置は真空一貫プロセスによってナノメートルでの微細構造が作製可能であり、微細構造を繰り返し作製することにより多層結合量子井戸構造並びに立体結合量子井戸構造の作製を試みる。さらに、この構造の、電子状態、フォノン、フォトンならびにこれらの相互作用を評価し、電子物性、光物性を明らかにする。

結合量子井戸構造における電子波動関数は外部電界、内部電界によって容易に制御できるが、この制御性は量子井戸間の結合の強さに依存している。立体構造における三次元的結合の特徴を計算機シミュレーションによって明らかにするとともに、実験的に検証する。次に、これらの結果を基に、立体結合量子井戸構造を用いる高次機能デバイス、電子波動関数の制御を利用する量子計算機等の可能性を明らかにする。

(c) 結合量子井戸構造の光応用に関する研究

超高速、大容量情報処理技術の要とされている光デバイスの開発では、超並列光演算素子の開発などの光デバイスの高次機能化に関する研究が必要である。結合量子井戸構造は、外部電界、外部磁界などによって容易にその光学的特性エネルギーが制御可能なことにあり、集積化することによって、超並列光演算が可能になる。本研究では、結合非対称多重量子井戸構造の光学的特性を評価することによって高機能化の可能性を明らかにするとともに、真空一貫ナノプロセス技術を用い、微細結合量子井戸構造の作製とその集積化に関する研究を行う。

まず、非対称多重量子井戸構造における電子波動関数の制御と電子・光結合、励起子等の特徴を明らかにするとともに、同構造の光非線形性を明らかにする。つぎに、電子線援用微細加工装置によりナノメートルのサイズの非対称結合量子井戸構造を作製し、微細化することによる光物性の変化を評価し、レーザ、変調器の高度化の可能性を明らかにする。さらに、微細結合量子井戸構造を平面上に集積することによって、光・光結合を明らかにし、集積形高次機能光電子融合デバイスの可能性を明らかにする。

(d) 原子層制御ヘテロエピタキシャル技術の研究

物性の大きく異なる半導体材料からなる様々な量子構造を原子層レベルで精密作製するヘテロエピタキシャル技術を確立する。

ヘテロ構造や超格子構造、量子ドットを用いた将来デバイスにおいて室温で発現する高度な量子機能性を得るために、室温のエネルギー(数十 meV)より十分大きいエネルギー段差をヘテロ界面において実現しうよう、組み合わせる材料の選択が重要である。更に、ヘテロ界面が意図した通りの急峻さやあるいは逆に傾斜を持って形成する制御性も重要である。本研究では、上記量子構造の基本例として、InP 上にエピタキシャル成長した InP/GaInAs/InP を取り上げる。構造作製には多槽構造と基板回転機構を有する現有の全有機金属気相エピタキシャル成長装置や圧力バランスを精密に制御出来る機構を有する全有機金属気相エピタキシャル成長装置を用いる。また、そのヘテロ界面の評価には、X 線 CTR 散乱法を用いる。

物性の大きく異なる材料からなる量子構造のエピタキシャル成長の可否は、成長初期の1~2原子層の成長如何で決まる。InP 上 GaInAs を成長した後、InP キャップ層を成長する際の成長条件(ガス供給条件、成長中断条件、成長温度など)を変化させ、1原子層単位で制御された界面を得るための最適成長条件を見いだす。その際、1原子層以下の構造分解能を有する X 線 CTR 散乱法を用いる。また、蛍光 EXAFS 測定により、成長初期過程で形成されるマイクロ構造を明らかにする。これらの測定は高エネルギー物理学研究所放射光実験施設において行う。

得られた知見を基にして、InP/GaInAs/InP 量子構造を作製し、そのヘテロ構造の制御性を定量的に論じる。上記量子構造の成長条件の最適化は、先に述べた原子レベルでの構造評価手法を有機的に結合させながら行う。

(e) 原子層制御ヘテロエピタキシャル技術のデバイス応用に関する研究

原子層制御ヘテロエピタキシャル技術により作製された半導体ヘテロ構造に基づき、室温で発現する高度な量子機能性を実験的に検証し、それらを有効に応用した新機能デバイスを実現する。

原子層で制御出来る成長プロセスは、超格子層に限らず、様々に応用可能である。具体的には、GaInP 上の InAsP 量子ドットの作製において、InAsP 成長前の GaInP 上に存在する原子の種類と量によって、InAsP 量子ドットそのものの大きさと組成が大きく影響するが、これを制御して発光波長と半値幅(ここでは出来るだけ広げることが目的としている)を最適化出来る。GaAs/GaAsP 超格子の各層の組成と厚さの制御および基板との組み合わせによる歪みの効果により、最適化されたエネルギーミニバンド構造が作り付けること出来る。

前者は、生体を対象としたOCT(Optical Coherence Tomography;光干渉断層撮影法)用光源として、中心波長 1000nm、半値幅 100nm という従来にない光源の作製に応用されている。また、後者は、SPLEEM(Spin Polarized Low Energy Electron Microscope)用電子源のフォトカソードとして不動の地位を確保しつつある。

いずれも、原子層レベルの制御成長技術とその構造評価法が相まって、可能となったデバイス作製である。

(f) ナノカーボン材料の創製とデバイス応用

カーボンナノチューブやグラフェンに代表されるナノカーボン材料の精密制御合成技術の確立

と共に、超高集積デバイスやフレキシブルデバイス、バイオセンサ、電子線源などの新規電子デバイスの開発を行なう。また、新たなカーボン材料としてプラズマ化学気相成長法により合成されるカーボンナノウォールについても検討する。

ナノチューブ電子デバイスの作製技術については、ナノチューブの半導体/金属の高純度分離に加え、高密度配向膜化、電極界面制御、低ダメージ保護膜形成が重要である。ナノチューブと分子材料との相互作用などを利用した配向膜形成技術に加え、デバイスにおける各種界面の物性理解に基づく素子特性制御技術を確立し、超微細デバイス作製技術の基盤を構築する。フレキシブルデバイスについては、素子特性の均一化、センサ等の集積、伸縮可能な基板上への回路構築を行い、ウェアラブルな医療診断デバイス等の創出を目指す。

(g) 窒化物半導体のナノ構造評価・制御とデバイス応用に関する研究

窒化物半導体である GaN は近紫外領域から可視光領域を含み、近赤外領域までの光デバイスに適応する材料であり、青色発光ダイオードや Blue-lay Disk 用のレーザーダイオードに使用されていることが知られている。また、GaN は電子飽和ドリフト速度が高く、絶縁破壊電界が高いという特性をもつことから、従来から用いられている Si や GaAs などの半導体材料と比べて高周波・高出力が可能な電子デバイス材料として期待できる。そして、GaN は AlGaIn 混晶とのヘテロ構造を形成することによって高性能なトランジスタ(HEMT)を作製することが可能である。

このような特徴を有する窒化物半導体の利点を最大限に生かすには高純度かつ欠陥の少ない結晶を成長するとともに、AlGaIn や InGaIn 膜と GaN 膜とのヘテロ界面をナノスケールで制御することが重要である。このためにはナノ構造の評価技術を構築するとともに、本技術を用いた結晶評価をとおしてナノ構造を制御した結晶成長条件を明らかにする。さらに本窒化物半導体結晶をデバイスに適用し、光デバイス・電子デバイスとしての可能性を明らかにする。

(h) 生体-半導体ハイブリッドセンサに関する研究

半導体集積回路を用いて生体分子を検出する生体-半導体ハイブリッドセンサは、高精度でハンディな新しい医療検査診断システムを実現すると共に、半導体集積回路の応用を従来の情報通信分野から医療分野へと広げ、情報通信・医療の統合が可能となる。この分野は医学・生物・薬学・化学と電子工学との共同研究が不可欠であり、その応用も血液検査、ウイルス検出、遺伝子解析、タンパク質分析等と多彩にわたり、標準・汎用なチップの提供が重要課題である。物質化学と半導体工学との融合を進め、化学集積回路の基盤技術を構築するとともに、各種生体分子を選択的に検出可能なバイオセンサの創出を行う。

ナノ構造設計グループ

次世代の機能材料の創製・開発のためには、分子をナノスケールで精密に制御する必要がある。この目的のためには、予めコンピュータで分子を構築し、分子レベルでの構造や物性のシミュレーションに加えて、これら分子の集合体をナノオーダーで制御するために分子間の相互作用もシミュレーションする必要がある。ナノ構造設計グループは、化学的シミュレーションを基にした高機能材料の分子設計と開発を担当する。

概要

現在の科学技術は、材料・エレクトロニクスを初めとして、多くの分野での新機能材料やレーザー技術、LSI等の開発に負うところが大きい。今後の次世代の機能材料の創製・開発のためには、分子をナノスケールで精密に制御した材料の開発が不可欠である。この目的のためには、予めコンピュータで分子を構築し、分子レベルでの構造や物性のシミュレーションに加えて、これら分子の集合体をナノオーダーで制御するために分子間の相互作用もシミュレーションする必要がある。そのために、材料開発のための分子設計を支援する計算システムは必須である。

本システムには、高性能計算サーバ2台とライセンスサーバー1台が含まれている。本システムは、最先端のナノスケールでの構造制御された新機能材料の創製に利用するためばかりではなく、次世代を担う大学院生の教育や研究にも利用されることを考慮している。このため、ソフトウェアは、ポリマー・有機材料；触媒・無機材料；電子・磁性材料の設計シミュレーションはもとより分子動力学や統計力学などの基礎から応用迄の計算もカバーした、Accelrys社の統合型分子設計支援システムMaterial StudioおよびDiscovery Studioをインストールしている。

本システムを用いれば

- 電子・光学・磁性材料の欠陥、電子状態、表界面の評価
- 無機結晶の構築と物性の理論的予測
- 新規光材料の設計と開発
- 高選択性固体触媒の設計と開発
- 高機能・高性能有機材料の設計
- 有機合成化合物や生体分子の構造機能相関の解明
- 有機分子の相互認識機構の解明
- ドラッグデザイン

などの研究への応用が、特殊な訓練等を受けることなく可能である。

グループ参加教員

| | | |
|-------|----------------|----|
| 上垣外正己 | 工学研究科 | 教授 |
| 渡邊 信久 | シンクロトロン光研究センター | 教授 |
| 八島 栄次 | 工学研究科 | 教授 |
| 鳥本 司 | 工学研究科 | 教授 |
| 薩摩 篤 | 工学研究科 | 教授 |
| 馬場 嘉信 | 工学研究科 | 教授 |
| 浅沼 浩之 | 工学研究科 | 教授 |

研究テーマ名

- (a) 新機能有機材料の開発
- (b) 新機能無機材料の開発
- (c) タンパク質の構造と機能の解析、バイオインフォマティクス
- (d) 触媒設計と開発
- (e) DNA分子解析ナノ構造構築

(a) 新機能有機材料の開発

生命科学の進展にともなって、生体システムが有する特異的な分子認識機能・触媒機能を模倣し、それを越える機能材料の設計と開発が、分子材料科学の分野で極めて重要となっている。分子機能材料の素材としては、ポリペプチド、多糖誘導体などの生体関連高分子が最も有望である。

本テーマでは、分子レベル(マイクロレベル)から分子集合体レベル(マクロレベル)まで構造制御された高分子キラル分離剤を合目的に合成する技術と方法論を開発し、これにより得られる高分子を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)用キラル固定相およびキラル分離膜として用い、キラル分子の選択的、効率的分離・分析に利用することを目的とする。また、分光学的手法と計算機化学の両方を組み合わせて用い、高分子の立体構造と不斉識別発現のメカニズムを分子レベルで解明し、より優れた不斉識別能を有する高分子材料の設計に役立てる。研究対象となる光学活性高分子は、セルロースやアミロース等からなる誘導体である。これら多糖類は、タンパク質、核酸と並んで主要な三大生体高分子であり、いずれも光学活性である。多糖類の代表であるセルロースは地球上に最も多く存在する高分子で、年間約1千億トンが光合成で生産されている。セルロースは衣食住のあらゆるところで利用されている重要な資源であるが、高付加価値の機能材料としての利用例は少ない。これら天然に豊富に存在する生分解性の天然高分子を原料に用いることにより、低コスト、低環境負荷をも実現できる材料の創製をめざす。

本テーマのもとに、以下の研究を進める。

(1) 分子認識機能をもつ高分子の合成と応用

有機分子、例えば睡眠薬のサリドマイドには、右手と左手のようにお互いに鏡像の関係にある一対の分子(鏡像体)が存在する。生体はこれらを見分けるため、一方は薬となるが、他方は奇形を誘発する毒となる。以前は、このような鏡像体を分離する適当な方法および材料がなかったが、最近、セルロースやアミロースなどの多糖からなる光学活性高分子を充填剤として用いるクロマト法による光学分割により、サリドマイドのような医薬品を含む様々な鏡像体の分離が容易に行えることが、本グループにより示された。これを契機として、さらに優れた光学分割用充填剤の開発が、化学・薬学・医学など多方面から望まれている。そのためには、溶液および固体状態あるいは固液界面で、光学活性高分子が鏡像体と相互作用している様子を分子レベルで精密に解析する必要がある。本研究では、鏡像体と光学活性高分子間の相互作用と分子認識機能をコンピュータシミュレーションにより解析する。

21世紀に向けて新に有効な次世代の分子認識・機能材料を創製するためには、これら分子集合体をナノレベルで制御可能な技術の開発だけでなく、その正確な構造、物性と機能との相関についての基礎的研究が不可欠である。その技術は、有機超伝導体、レジスト、センサー、非線形光学材料などの電子材料を扱う多くの分野で活用される。一方で、得られる3次元構造情報をコンピュータで処理し解析することにより、類似分子の構造予測から、実用時の物性や挙動を原子レベルで解析し、ターゲットとなる材料を合目的的にデザインすることが可能になることから、さらに優れた超精密分子認識機能材料の分子設計・開発への指針となるシステムの開発を目指す。

(2) 高選択性固体触媒の設計と開発

触媒は、温和な条件下での機能材料、生理活性物質の合成などに用いられ、その高機能・高選択化が従来にもまして求められている。しかし、その活性物質は微量で複雑な場合が多く、その機能が十分に明らかにされていない。この理由の一つには、触媒としては固体状態のものが多く、その活性点構造を解析する有効な方法が無かったことにあると思われる。本研究では、このような固体触媒の中心金属の電子状態や構造、反応系に存在する中間体、遷移状態モデル、触媒と反応物質との相互作用等について、量子化学計算、シミュレーションを駆使して詳細に検討し、触媒反応の機構の解明とさらに優れた新規触媒をデザインするための進路を見いだすことを目的としている。

(3) 分子認識機能をもつ分子集合体のコンピュータシミュレーション

特定の分子が無秩序に集合しただけでは何ら作用を示さないが、一定の法則にしたがって高度に組織化された時に特異な機能を発現する例は、生命現象の根幹ともいえる遺伝子複製、タンパク質合成、酵素反応等によく知られている。この様な組織化分子集合体による高機能の発現は、未来技術を担う1)エネルギー変換技術(半導体、太陽電池など)、2)高性能膜(人工腎臓膜、分離膜など)、3)生体類似反応(合成酵素など)の開発などの最先端テクノロジーの分野でも中核をなす原理として働いている。一般にこれらの機能は複雑で、固体または半固体状態で発現すること

が多く、既存の分析機器を用いた解析は困難である。本研究では、これら複雑な分子集合体の構造と分子運動を精密にシミュレーションすることによって、機能と分子の構造ならびに集合状態との関連を明らかにし、人工酵素、人工抗体、人工核酸などの開発・設計に繋げることを目的とする。

(4) 精密構造制御されたポリマーの創製と機能化

次世代の高分子材料の開発のためには、これまで研究の主眼であった高分子の化学構造の調整のみによる物性制御から、高分子の立体構造や高分子集合体の構造制御による物性、機能発現の制御の段階へと進む必要がある。本研究は、様々な高分子について分子レベルから分子集合体レベルまでの構造制御技術を開発し、これにより得られる構造の整った高分子系の様々な物性、機能を調べることを目的とする。これにより、構造と物性、機能の関係が明らかになり、機能発現に適した構造を構築することにより、これまででない高性能な機能材料の創製が可能になる。また、計算機化学の手法を用いて、構造と機能発現のメカニズムを検討することにより、未知の高分子の物性予測を含めて理論的材料設計手法の確立の基礎を築く。研究対象となる高分子は、アクリル系ポリマー、ポリ塩化ビニル、ポリビニルアルコール、ポリアセチレン誘導體、ポリオレフィン類、ポリイソシアナートなどであり、熱物性、液晶性などから不斉分子に対する分子識別能、導電性など広範囲の物性、機能を検討する。

(b) 新機能無機材料の開発

(1) ナノポーラスSiCの発光特性のシミュレーション

表面をポーラスにしたSiCは緑～黄褐色のPLまたはEL発光することが、本グループにより示された。この発光現象がいわゆる量子閉じ込め効果に基づくものか、あるいは表面効果によるものかは、現在のところ明らかではない。そこで、本研究ではSiC粒子サイズのナノオーダーでの変化に対するバンド構造変化のシミュレーション、表面化学結合状態と表面準位のシミュレーション等を行い、ポーラスSiCの発光メカニズムの解明を目的とする。

(2) 無機-有機界面構造のシミュレーション

本研究では、代表的なセラミック粉体の形成工程に用いられる各種有機化合物を取り上げ、分子軌道計算を駆使して粒子-分子の界面構造を明らかにすることを目的としている。

(3) 機能性セラミックス薄膜調製のための前駆体の分子設計

機能性セラミックス薄膜を化学的手法であるゾルーゲル法により調整する場合に、目的とする機能を有する単結晶膜の組成、構造と前駆体分子である金属-有機化合物の構造についての関係はまだ十分に明らかにされていない。セラミックス前駆体としての適切な分子化合物は少なく、目的とする機能性セラミックスの調整のためには新たな金属-有機化合物を合成する必要がある。本研究では、機能性セラミックス薄膜の調製のための前駆体分子の設計を行うことを目的としている。

(c) タンパク質の構造と機能の解析、分子設計

X線結晶構造解析によるタンパク質の立体構造データの蓄積の結果、タンパク質は正しい立体構造をとってはじめてその機能を発現すること、タンパク質の示す諸性質の多くはその立体構造から理解できることが広く認識されたため、現在では、生命で重要な役割を果たしているタンパク質の機能や性質を理解するためには、その立体構造情報は必須のものとなっている。このことは、タンパク質の立体構造情報が酵素の機能や安定性などの性質改良のための分子設計に用いられるなど、医学、薬学、工学といった広い分野にわたり必要とされていることから明らかである。

ポストゲノム時代における重要な課題は、遺伝子にコードされたタンパク質の機能を明らかにすることである。そのためには、「遺伝子の機能の解析」が必要だが、それには

- － 塩基配列から解析する
- － 生産物であるタンパク質の立体構造から機能を解析する

という二通りの方法がある。本テーマではタンパク質の構造から生命機能を解析するために以下の研究を進めている。

(1) セルラーゼ分解性細菌の細胞外分解装置セルロソームの構造と機能の解明

地球上で最も多い有機物は植物細胞壁成分である。バイオエタノール生産等、その有効利用は、地球温暖化や食料問題を解決する決め手の一つとして注目を集めている。我々高等生物は植物細胞壁を直接分解して利用することが出来ないが、自然界に存在する微生物には、これを分解する酵素システムが存在する。特に*Clostridium thermocellum*などのセルロース分解性細菌は、結晶性セルロースや他の植物細胞壁多糖類を非常に効率的に分解するセルロソームと呼ばれる分子量 2 MDa を超える巨大セルラーゼ複合体を細胞外に形成する。本研究では、モジュール酵素や機能ドメインの構造解析とそれらの複合体構造の解析により、その効率的な分解機構の分子メカニズムの解明に迫り、さらには、より効率的な分解マシナリーの設計を可能とすることを目指す。

(2) タンパク質に特異的に作用するリガンド(医薬品)の設計法の開発

医薬品の分子設計のためには、ターゲットと特異的に相互作用する分子(医薬品)を構築するシステムの開発が望まれる。本研究では、生命の保持と活動に重要な酵素と安定に結合するペプチドシステムの構築を遺伝子進化アルゴリズムと立体構造を基にした経験的ポテンシャルエネルギーとを組み合わせることにより進める。

(3) HIV関連タンパク質の構造解析と特異的に作用するリガンド(医薬品)の開発

HIVの宿主への感染経路では、プロテアーゼやインテグラーゼ等々、いくつかの特異的なタンパク質が働いている。また、宿主側にもレトロウイルスの増殖を抑制する生体宿主因子がある。こうしたタンパク質を標的として各種のリガンド(医薬品)が開発されている。本研究では、X線結晶構造解析によって、そうしたタンパク質の構造を明らかにするとともに、計算シミュレーションによる特異的リガンドの設計を行うことで、新たな機序による抗HIV薬剤の創薬に結びつけることを目標としている。

(d) 触媒設計と開発

(1) 金属錯体および担持金属酸化物の構造と触媒活性

錯体触媒においては活性を持つ金属は配位子に囲まれている。その触媒作用は、配位子の数、種類、結合距離と結合角に大きく依存する。担持触媒においては、担持された金属種または金属酸化物種が活性種となるが、その活性は活性種の局所構造によって大きく異り、この局所構造は担持体の表面構造、電子状態に大きく左右される。特に、担持される化学種が、極低濃度で高分散の場合はその影響が顕著であり、分散性にも大きく影響される。従って、本研究ではシリカ表面上での金属酸化物種の表面構造の解析とコンピュータシミュレーションによる検討を行う。

(2) ディーゼル脱硝用担持金属ナノクラスター触媒の構造制御

ディーゼル脱硝を狙った担持金属触媒上での炭化水素 NO 還元反応においては、反応場に依存して金属ナノクラスターが可逆的に生成し、これらはしばしば活性促進や劣化の原因となる。本研究では新規に開発した in-situ UV-Vis およびコンピュータ支援を通して表面ナノクラスター種のダイナミクス解析を行い、ディーゼル脱硝触媒開発の触媒設計指針を得る。

(3) 層間修飾型リン酸バナジル触媒の設計

触媒構造の精密な制御を目的として、vanadyl alkylphosphate 層状化合物を利用したブタン選択酸化用ピロリン酸バナジル触媒の新規助触媒添加法を検討する。Vanadyl alkylphosphate 層状化合物は有機層の柱で支えられたナノサイズの空間を有する。この層間の修飾を利用した、固体触媒の精密な構造制御を進める。

(4) ニューラルネットワークによる触媒設計

触媒劣化予測法としての、ニューラルネットワークによる情報工学的な解析法の可能性を検討する。MTG反応におけるゼオライト触媒の劣化挙動を例として、ニューラルネットワークを用いた知識ベースの構築とシステムの検証を行う。

(e) DNA分子解析ナノ構造構築

DNA分子解析のための最適ナノ構造を構築するための理論計算とシミュレーションを進める。このナノ構造について、ナノ微細加工技術や分子ナノテクノロジーなどを駆使して、新規ナノ構造体に基づくナノバイオデバイスを創製し、ナノ空間における生体分子や細胞の特異的な現象を解明するためのナノ空間科学を創成するための研究を展開する。また、ナノ空間科学とナノ空間工学を融合することで、ゲノム解析により明らかになってきた疾患関連遺伝子や疾患関連タンパク質を計測することによる簡便・迅速な疾患の診断・予防技術を開発し、オーダーメイド医療を確立する研究を進めるとともに、分子イメージング技術や1分子技術により1分子DNAシーケンス技術や疾患の新規治療技術を開発する。さらに、細胞内の全ての反応を解析・シミュレーションできるシステムバイオロジーを確立するための研究開発を進める。

有機分子ナノ界面物性グループ

本グループでは、電子機能性をもつ有機化合物、とくにその超薄膜およびそれらが形成する界面機能に着目し、半導体素子に代わる分子素子の開発研究に必要な分子開発、ナノ集積化、物性測定及び作動原理の解明を担当するものである。

有機物質は無機物質に比べて軽量であり、特定の希少元素に依存することなく設計により様々な機能を発現させられたり機能を細かく調節できるなどの利点があり、電子機能としても、すでに有機電界発光素子、有機太陽電池、有機トランジスタなどへの応用が進んでいる。しかし有機デバイスの作動原理をみると、無機系デバイスの焼き直しであることが多く、有機物の弱点である電荷移動度の低さや、電流に対する化学的な不安定性が前面に出てしまう。本研究グループでは、「有機物らしさ」といったキーワードに念頭に、有機/分子系に相応しいエレクトロニクス系の作動原理を追求し、新しい物質、新しい構造の素子、新しい計測・評価手法の開発を行う。

以上の点を踏まえて、我々のグループでは次のような研究課題を設定する。

- (1) 各種基板表面への分子超構造、多孔性配位高分子／金属有機構造体の構築と特異な電子構造・物性の発現・制御
- (2) イオン液体を用いた有機半導体薄膜界面上での電気2重層の形成と界面電子移動・光電荷分離プロセスの制御
- (3) 固体電気化学を用いた電子物性の制御

グループ参加教員

| | | |
|--------|-------|-----|
| 阿波賀 邦夫 | 理学研究科 | 教授 |
| 松下 未知雄 | 理学研究科 | 准教授 |

研究テーマ名

- (a) 有機過渡光電変換素子の開発
- (b) イオン液体を利用した高性能有機デバイスの開発
- (c) 高構造耐性を持つレドックス活性物質の開発と物性の電気化学的制御

(a) 有機過渡光電変換素子の開発

通常の光電変換素子はPN接合や光導電体で構成されるが、我々は最近[電極 | 電荷分離層(有機半導体) | 絶縁分極層(絶縁体) | 電極]という構成の光電セルから、巨大な過渡光電流が発生する現象を見出した。このセルでは、光照射によって電荷分離層に形成された正負キャリアの一方が電極の仕事関数の差に駆動されて対極に移動し、電荷分離層に残った逆電荷との間で

絶縁分極層の静電容量に基づき安定化され、光照射を停止すると電荷が逆方向に移動し、電荷分離層内で再結合して元の状態に戻る。このようなプロセスを通じ、光照射時と停止時にそれぞれ逆向きの過渡電流ピークが表れる。素子の内部を電流が通過しないため、導電性を持たない物質であっても適用可能であり、導電性や電流への耐性が低い有機物に向けた作動原理といえることができる。また、本質的にバンドギャップが狭く、暗電流が大きい材料を使用せざるを得ない赤外線受光素子については、S/Nの観点からも特に有効と考えられる。通常の素子と比較すると、直流信号に対応せず信号の明滅が必要であるため、太陽電池などのエネルギー変換素子には向かないものの、変調された信号を扱う情報通信には問題なく適用可能であり、すでに数MHzまでの変調信号の復調に成功している。様々な有機半導体や絶縁体(誘電体)の組み合わせや構造の最適化により、自在な波長選択性、さらなる高効率化、及び高速化に取り組んでいる。

(b) イオン液体を利用した高性能有機デバイスの開発

イオン液体は常温で液体状態の塩であり、現在様々な応用が進められている。特に、イオン液体と電極界面に形成される電気2重層では、界面の数nmに印加電圧のほとんどが集中し、非常に大きな電場が形成されることから、これを利用した電界効果ドーピングにより低駆動電圧の有機トランジスタや超電導体の電場スイッチングが実現されている。また、電気2重層のコンデンサとしての静電容量は界面付近に集中しているため、逆にイオン液体で満たされた電極と電極の間の空間には電場がほとんどかからず、静電容量を維持したままで電極間の距離を比較的自由に設定できる。これを利用し、有機過渡光電変換素子の絶縁分極層にイオン液体を適用し、対極を受光範囲外に設置することで、透明ガラス電極を必要とせずに受光面積を100%利用できる素子の構築にも成功している。イオン液体は蒸気圧が極めて低いいため、このような素子を真空下で駆動できるなどの利点もあわせもつことから、有機エレクトロニクス材料の性能を大きく引き出す上での鍵となると考えられる。

(c) 高構造耐性を持つレドックス活性物質の開発と物性の電気化学的制御

固体電気化学は新物質・新物性開拓の方法論としても非常に有用である。電気化学プロセスにおいては分子構造の変化や対イオンの出入りがあるため、固体への適用には機械的ストレスが生じるが、強い分子間相互作用による強固な骨格構造の構築や、イオンの通り道として十分な空間を確保するなどの方法により、この問題を克服することが可能である。本研究では、このような電気化学的構造耐性を持つ種々のレドックス活性物質を開発し、電気化学バンドフィリング制御を通じて強磁性や超伝導などの諸物性を自由に操る。例えば、電気化学制御に応じて常磁性⇔強磁性のように変化する系を開発し、in operando 測定によって磁性変化を追跡する。またバンドフィリング制御によって極めて大きな変化が期待される鉄系超伝導体や、トポロジカル絶縁体、ポーラスラジカル分子結晶を研究対象とし、新しい物性科学を開拓する。

強相関電子系酸化物ナノ物性グループ

固体中の電子は、イオン殻が作る周期ポテンシャル中をクーロン斥力によって互いに避けあいながら運動している。この電子が持つ遍歴性と強い電子間相互作用による局在性が拮抗した領域では、半導体物理学で成功したバンド描像が破綻し、電子相関による多体効果があらわれる。このような電子系は強相関電子系と呼ばれ、固体物理学の中で主要な研究課題の一つである。強相関電子系では、高温超伝導、金属絶縁体転移、巨大磁気抵抗効果、熱電効果、異常ホール効果、マルチフェロイック物性など興味ある物性が発現し、これら異常金属相近傍の物性研究を通じて新しい物理概念が構築されて来た。また、このような特異な物性を利用すると、強相関電子系は、超高速で応答する新しい機能性電子材料となる可能性を秘めており、強相関電子系の研究は新規機能性材料の基礎研究として位置づけられる。現在、この分野では、電子が持つスピン・電荷・軌道の自由度がおりなす複合物性が興味の対象になっており、多彩な切り口から研究が展開されている。

本研究グループでは、遷移金属酸化物を主な研究対象にして、強相関電子系における特異な物性の開拓とその発現機構の解明を目指し、核磁気共鳴(Nuclear Magnetic Resonance, NMR)法を主たる測定手段とする実験的研究を行って来た。原子核の核スピンは周囲の電子系の電子スピンと弱い超微細相互作用で結合しているので、NMRはクールなプローブとして電子系を乱すことなく、電子系の静的・動的情報をマイクロに得ることができる。この特徴を生かすと、NMRは固体物性を研究する上で強力な測定手段になる。本研究では、このNMRの特徴を生かして、新規超伝導体の発現機構と電子状態の解明、金属絶縁体転移近傍の量子物性の開拓と発現機構の解明、幾何学的フラストレーションを持つ強相関電子系の新奇物性の開拓、高圧下NMR技術の開発とそれを用いた新規な高圧物性の探究などを目的とした研究を行う。

グループ参加教員

| | | |
|-------|-------|-----|
| 伊藤 正行 | 理学研究科 | 教授 |
| 小林 義明 | 理学研究科 | 准教授 |
| 清水 康弘 | 理学研究科 | 講師 |

研究テーマ名

- (a) 鉄系超伝導体の超伝導発現機構に関する研究
- (b) 金属絶縁体転移近傍の量子物性に関する研究
- (c) 幾何学的フラストレーションを持つ強相関電子系に関する研究
- (d) 高圧NMR技術の開発と高圧物性に関する研究

(a) 鉄系超伝導体の超伝導機構に関する研究

2008年に発見された鉄系超伝導体は、新しい超伝導体としてその超伝導発現機構に興味を持たれている。現在、超伝導対の対称性に関して、磁氣的相互作用を媒介とした S_{\pm} 対称性と軌道揺らぎを媒介とした S_{++} 対称性の中で論争が続いている。本研究では、先ず、良質の試料を合成し、電気抵抗、磁化率、比熱、熱電能などのバルク測定から輸送特性、磁性、超伝導特性を調べ、さらに、NMR測定を用いて超伝導発現機構と局所的な電子状態の解明を目指す。

(b) 金属絶縁体転移近傍の量子物性に関する研究

遷移金属酸化物では、電子間相互作用による金属絶縁体移(モット転移)が起き、このモット転移近傍の金属相や絶縁体相では、多彩で新奇な物性が発現する。バナジウム酸化物における金属絶縁体転移、クロム酸化物における電荷の不均一化、コバルト酸化物におけるスピン状態と熱電特性、マルチフェロイック物質の相関物性などについて研究を行う。

(c) 幾何学的フラストレーションを持つ強相関電子系に関する研究

三角格子、パイロクロア格子などの幾何学的フラストレーションを持つ強相関電子系では、電子が持つ電荷・スピン・軌道の自由度とフラストレーション効果が相まって、重い電子系的振る舞い、多量体から形成されるスピン・シングレット状態、スピン液体など新奇な物性が発現する。NMRを用いて、これらフラストレーションに起因する物性の発現機構の解明と新規物性の開拓を目指した研究を行う。また、これらの物性には、電子の軌道状態が密接にからんでおり、軌道状態を知ることが重要である。NMRを用いた軌道自由度の測定方法の確立も目指す。

(d) 高圧NMR技術の開発と高圧物性に関する研究

圧力は、強相関電子系の物性を研究する上で、重要な外部パラメーターであり、圧力によって物性は大きく変わる。約3.5GPaまでの圧力を発生可能なピストン・シリンダー型圧力セル、約10GPaの圧力を発生できるブリッジマン・アンビル型圧力セルなどを用いたNMR実験を行い、強相関電子系の高圧力下で現れる新規な物性の探索を行う。同時に、より高い圧力を発生させることが可能なNMR測定用高圧セルの開発を進める。

高分子ナノ組織化プロセスグループ

機能性高分子のさらなる発展のためには、精密な分子設計とそれを実現する合成手法の開発とともに、その高分子のポテンシャルを十分に発揮できるナノ組織構造を構築し、配列・配向する技術がカギを握る。本グループでは、有機デバイスに関連した光・電子機能性をもつ高分子化合物ならびに液晶性高分子、ブロックコポリマーなどを研究対象とし、とくに基板との相互作用の大きい超薄膜および単分子膜に着目した高分子ナノ組織体の配向プロセスや配向化による性能向上や高機能化を目指す。これら研究に必要な、ナノ組織配向プロセス技術や構造評価手法の開発を行う。

蒸気圧を持たない高分子はドライプロセスを用いることができず、その薄膜調製にはスピンキャストやディップコートなどの高分子溶液から塗布する手法が用いられることがほとんどである。しかし、高分子が結晶相、液晶相や相分離構造などのナノおよびメソスケールの組織構造を持つときには、単に塗布しただけでは、これら構造の配向制御は難しい。本研究グループでは、機能性高分子をはじめとする、様々な高分子系材料を、分子レベル、高分子鎖スケール、相分離ドメインスケールに、階層的な構造スケールに適した配列・配向手法を開発し、得られるナノ組織構造による材料の高機能化、新たな機能発現を目指す。また、高分子系物質の配列・配向制御は、先に挙げた階層構造を配列・再配列、配向・再配向をダイナミックに制御する必要があり、液晶化合物を好例とした“階層的に動く”材料開発も視野に入れ、新たな高分子材料の創出に挑む。

以上の点を踏まえて、我々のグループでは次のような研究課題を設定する。

- (1) 液晶性を利用した、高分子系化合物のナノ・メソ構造の“動的”配向・配列制御手法の開発
- (2) 高分子系材料が形成する階層構造の光配向手法の開発
- (3) 単分子膜形成手法にもとづく機能性高分子の主鎖配向膜・積層制御膜の光・電子物性
- (4) 有機無機ハイブリッドから調製されるメソ多孔材料の配向制御

グループ参加教員

永野 修作

VBL専任

准教授

研究テーマ名

- (a) 光応答性液晶ブロック共重合によるミクロ相分離構造の光配向制御
- (b) メソポーラスシリカ垂直配向技術の開発
- (c) 疎水性導電性高分子の単分子膜形成手法の開発と電子伝導性に関する研究
- (d) 液晶性高分子薄膜の自由界面からの配向制御

(a) 光応答性液晶ブロック共重合によるマイクロ相分離構造の光配向制御

ナノオーダーの規則構造を示すブロック共重合体が形成するマイクロ相分離構造は、ナノパターン材料への応用が期待され、近年、その配列・配向制御手法の研究が盛んに行われている。本研究では、光応答性分子と液晶性を組み合わせたブロック共重合体を分子設計することにより、マイクロ相分離構造を配向制御する光プロセス技術を開発する。光配向過程や配向度を追跡する評価手法を開発し、液晶配向およびマイクロ相分離構造の階層的な光配向メカニズムの解明を試みることで、新たな動的制御可能なナノ材料の創出を目指す。

(b) メソポーラスシリカ垂直配向技術の開発

界面活性剤を鋳型としてゾルゲル法によって調製されるメソポーラスシリカは、2 から 50 ナノメートル径の均一な細孔を周期的に有する大きな比表面積を有し、触媒担体や吸着剤として応用されている。一般に、多孔質シリカは粉末で得られることが多く、仮に膜として得た場合においても、その細孔の向きは揃っていない。細孔が一方向に配向した配向多孔質シリカ膜は、特に、細孔の向きが基板に対して垂直な、垂直配向多孔質シリカ膜は、大きな比表面積を有効に活用できることから、より幅広い分野での応用が期待されている。本研究では、調製時の界面活性剤のリオトロピック液晶性に着目し、液晶の界面配向制御手法や構造相転移に基づき、メソポーラスシリカの垂直配向手法を開発する。

(c) 疎水性導電性高分子の単分子膜形成手法の開発と電子伝導性に関する研究

アルキル鎖の導入により溶解性を高めた共役系高分子は、有機半導体デバイスに広く応用されているが、疎水的な高分子であるため、その成膜法はスピコート法やキャスト法のみであり、分子組織化研究の分野では対象外の物質系であった。本研究グループは、そのような極性基を持たない疎水的な高分子系であっても、理想的な単分子膜を形成する手法や主鎖配向手法を提案している。本研究では、この単分子膜形成手法を高分子半導体に展開し、単分子膜や主鎖配向単分子膜および多層累積が調製できるボトムアップ型の高分子ナノ組織化手法の確立し、有機デバイス開発に極めて重要な知見となる高分子超薄膜・界面および光・電子機能性高分子の構造と物性の相関を研究することを目的とする。

(d) 液晶性高分子薄膜の自由界面からの配向制御

液晶分子は、固体表面や空気との界面に接することで特定の分子配向が誘起される。自由界面では排除体積を示す分子や界面がないため、界面に対し垂直に配向(ホメオトロピック配向)して、排除体積を小さくしようとする傾向が強い。特に自由界面を持つ側鎖型液晶高分子の薄膜(free-standing膜)は、このような理由からホメオトロピック配向性が強い。本研究では、高分子薄膜の自由界面を表面自由エネルギーの観点から設計し、高分子液晶の新たな配向制御手法の開発および配向応答性の向上を図る研究を行う。

1.4 VBLの主要設備 (Research Facilities and Equipments)

主要装置

1. 電子線援用ナノプロセスシステム
2. ナノ構造設計システム

1. 電子線援用ナノプロセスシステム

このシステムは、次世代の高機能ナノエレクトロニクスデバイスを実現するための主要技術である、高次機能ナノプロセス技術を開発するために用いられる。このシステムは、

- (1) 電子線援用エッチング装置
- (2) 分子線結晶成長装置

の二つの主要装置からなり、これら二つの装置は超高真空トンネルにより相互に接続される。

電子線援用エッチング装置は、直径を5nm以下までに絞った電子線と反応性ガスにより、超高真空中で10nm以下の微細なパターンを形成することが可能である。

分子線結晶成長装置は、超高真空の成長室・ベーキング室・試料導入室により構成されており、品質の高い1nm以下の極薄膜を成長することが可能である。

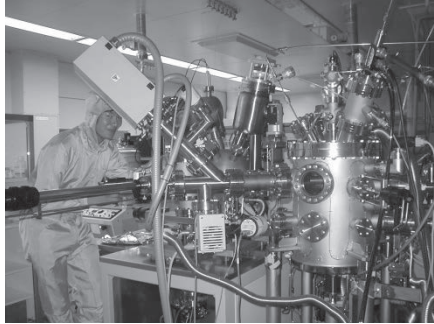
二つの装置が真空中で接続されているため、ナノスケールの微細パターンの形成と薄膜成長を、大気に曝すことなく超高真空中で繰り返すことが可能であり、高品質のナノ構造の実現が可能である。

2. ナノ構造設計システム

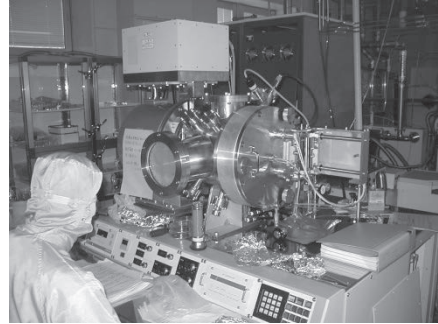
次世代の機能材料の創製・開発のためには、分子をナノスケールで精密に制御することが必要である。この目的のためには、予めコンピュータで分子を構築し、分子レベルでの構造や物性のシミュレーションに加えて、これら分子の集合体をナノオーダーで制御するために分子間の相互作用もシミュレーションする必要がある。そのために役立つのが、分子設計を支援する3次元グラフィックスシステムである。ライフサイエンス分野のタンパク質などの生体材料のシミュレーションには、ダッソー・システムズ社BIOVIA Discovery Studio、物質材料分野では、ポリマー、有機材料、触媒・無機材料、電子・磁性材料の設計シミュレーションはもとより分子動力学や統計力学などの計算もカバーした、ダッソー・システムズ社BIOVIA Material Studioが利用できる。

装置・設備

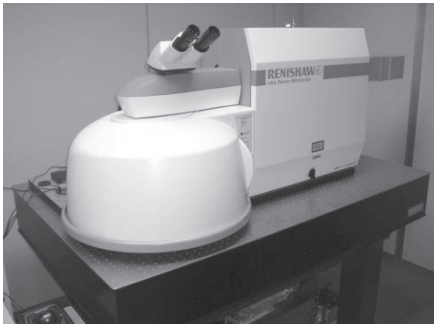
名古屋大学VBLは、学内および学外の幅広い研究者がVBL所有の装置を利用できる共同利用サービスを構築している。VBLの主要研究分野である化合物半導体をはじめとする各種材料を対象とした最先端の薄膜形成技術、リソグラフィー技術、エッチング技術および構造評価技術を提供している。



高精度イオン・ラジカル制御エッチングシステム



ECRスパッタ装置



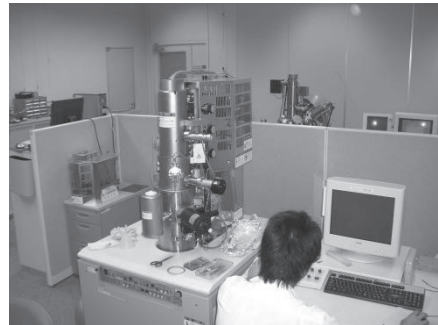
顕微ラマン分光測定装置



レーザーリソグラフィー装置



薄膜X線回折装置



高分解能走査型電子顕微鏡



ICPエッチング装置



反応性イオンエッチング装置

研究・教育環境／オープンワークスペース

- ・ベンチャーホール (3F)

VBL における研究成果の発表や、国内外の招聘研究者らによる講演に等に利用される情報発信スペース。最新のAV機器を備え、椅子席で100名を収容可能。可動間仕切りを解放すればラウンジと一体的な使用が可能となり、大規模なイベントにも対応できる。

- ・ラウンジ (3F)

VBLで活動する研究者たちの交流・懇親スペース。常時開放され、様々な組み合わせが可能なテーブルにより少人数から大人数まで、多彩なディスカッションやパーティーなどの場を提供。

- ・セミナー室、ミーティングルーム (4F, 3F)

VBLで活動する研究者のディスカッションや小規模なセミナーのためのスペース。

- ・招へい研究者の研究スペース (4F)

VBLの招へい研究者が滞在期間中、研究やデスクワークを行なうためのスペース。

2. VBLの教育・広報活動

(VBL Educational Events and Publicity Works)

2.1 第21回 VBL シンポジウム (VBL Symposium)

第21回VBL シンポジウムは、「見る、観る、診る技術の最先端 分子からヒトまで」を主題として、平成29年11月21日(火)、22日(水)の2日間にわたり、名古屋大学VBL ベンチャーホールにおいて開催した。本シンポジウムは、「みる」技術に関する最先端の研究内容について、世界の研究を牽引しておられる研究者の方々に御講演頂くことで、「みる」技術の基礎から幅広い応用分野について、学び、考え、議論する機会とすることを目的として開催した。ナノテクノロジーと最先端計測技術の発展により、分子・原子レベルから材料、細胞、組織、ヒトレベルまで、「みる」技術に関する研究が急速に進展しており、化学、物理、生命科学から医学まで、幅広い学問分野において、重要な研究領域となっている。本シンポジウムでは、化学、物理、生命科学、医学の各分野において「みる」技術の最先端研究成果の講演と情報交換に加えて活発な議論がなされた。

第一日目は、VBL 長 天野 浩先生の開会挨拶により開始された。最初は、名古屋大学ITbM の多喜正泰先生が、「蛍光プローブ開発と超解像顕微鏡バイオイメージング」について講演され、超解像顕微鏡イメージングのための新規有機蛍光分子の開発と細胞内の超解像イメージングおよびin vivo イメージングの最先端研究について詳細に紹介された。次に、名古屋大学院工の湯川博先生が、「量子ナノ材料によるiPS 細胞イメージングと再生医療実現」と題して、量子ドットをはじめとしたナノ材料の開発とiPS 細胞等の幹細胞を生体内で「みる」技術開発の最新情報と再生医療の実現を目指した研究の最先端について講演された。さらに、「みる」技術の医療応用について、名古屋大学院医の夏目敦至先生が、「脳腫瘍を見る、観る、診る」について講演され、脳腫瘍の細胞や組織をイメージングできる技術から、脳腫瘍のグレード別の遺伝子変異等の検出および脳腫瘍の診断技術まで、基礎研究から医療診断応用に関する最先端研究について、脳腫瘍手術の映像等も含めて分かりやすく解説していただいた。さらに、東京大学院医・理研の上田泰己先生が、「全身・全脳透明化の先に見えてくるもの」について講演され。脳をはじめとした臓器の透明化技術の開発と臓器の全細胞イメージング研究に関する最先端研究成果に加えて、小動物からマーマウスまでの全身透明化に成功した研究について紹介された。第一日目の最後には、京都大学院工の浜地 格先生が、「有機化学で細胞内のタンパク質の姿を見る」と題して、生命化学の最前線の研究における「みる」技術の重要性と、細胞内で、特定のタンパク質をラベル化できる優れた有機分子開発の最新情報と生命現象をありのままの生命の中で見るための新規研究成果に関する最先端研究について講演された。

第二日目は生体高分子の構造を観るさまざまな手法に関わっておられる先生方の講演であった。最初は、大阪大学蛋白研・名大院理の宮之入洋平先生が「NMR で観る」として、NMR による構造解析のための立体整列同位体標識法 (SAIL 法) の発展型の新規なラベル法の開発やそれを応用した大きいタンパク質の構造解析の可能性やタンパク質分子のダイナミクス、特に新たな薬剤設計に指針ともなるタンパク質と薬剤の結合部位での分子動態の観察について講演された。次に、名古屋大学院理構造生物センターの成田哲博先生が「電子で観る」と題して近年の電子直接検出型CMOS 検出器の導入で高分解能構造解析の進展の著しいクライオ法による分子イメージングについて講演され、さらに最近開発を始められたSTEM による構造解析やパルス電子源の利用の可能性も紹介された。X線結晶構造解析では、京都大学院理の竹田一旗先生が「超精密構造解析で観る」として、超高分解能の構造解析によって可能となった、通常の構造解析では得られないタンパク質分子の精密な電子構造や水素結合の詳細について講演された。最後は量研機構の玉田太郎先生が「中性子で生体分子の形と動きを観る」と題して、非弾性散乱の利用にも触れられた後、原子炉JRR-3 と J-PARC/MLF を利用したタンパク質分子中の水素原子を含む

全原子位置の構造解析についていくつかのタンパク質の成果を講演された。

本シンポジウムにて、生体分野において“みる”研究と技術の重要性と有用性が改めて示され、化学、物理、生命科学、医学から情報の分野までの幅広い研究者の議論と交流がはかられた。



第21回VBL シンポジウムの講師と講演風景

第20回 VBL 記念シンポジウムプログラム

主題：「第21回 VBL シンポジウム “見る、観る、診る技術の最先端 分子からヒトまで”

趣旨： ナノテクノロジーと最先端計測技術の発展により、分子・原子レベルから材料、細胞、組織、ヒトレベルまで、“みる”技術に関する研究が急速に進展しており、化学、物理、生命科学から医学まで、幅広い学問分野において、重要な研究領域となっている。本シンポジウムは、“みる”技術に関する最先端の研究内容を講演頂くことで、基礎から幅広い応用分野について学び、先端技術と新規産業について考え、議論する機会とする。

主催：工学研究科・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー

共催：日比科学技術振興財団

会場：名古屋大学フロンティアプラザ（ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー）

3階 ベンチャーホール

平成29年11月21日(火) 13:00～17:50

- 13:00-13:10 開会挨拶 天野 浩 (VBL長)
- 13:10-13:55 多喜正泰 (名大) 「蛍光プローブ開発と超解像顕微鏡バイオイメージング」
- 13:55-14:40 湯川 博 (名大) 「量子ナノ材料による iPS 細胞イメージングと再生医療実現」
- 14:40-15:40 夏目敦至 (名大) 「脳腫瘍を見る、観る、診る」
- 15:50-16:50 上田泰己 (東大・理研) 「全身・全脳透明化の先に見えるもの」
- 16:50-17:50 浜地 格 (京大) 「有機化学で細胞内のタンパク質の姿を見る」

平成29年11月22日(水) 13:00～17:50

- 9:00-9:45 宮ノ入洋平 (名大) 「NMR で観る」
- 9:45-10:30 成田哲博 (名大) 「電子で観る」
- 10:45-11:45 竹田一旗 (京大) 「超精密構造解析で観る」
- 11:45-12:45 玉田太郎 (原研) 「中性子で観る」
- 12:45-12:55 閉会挨拶 渡邊信久

2.2 VBL セミナー (VBL Seminars)

VBL セミナーは、最新の研究の動向について専門外の方にもわかりやすく紹介するためのもので、招聘研究員の方々やVBL 海外派遣教員を講師に招いて開催された。本節にはその記録として、セミナー開催時の広報文および報告文を示す。

平成 29 年度第 1 回 VBL セミナー

日時：平成 29 年 6 月 29 日 (木) 14 時 30 分～16 時 00 分

場所：名古屋大学 VBL4 階セミナー室

講師：Jiangtao Xu 特任准教授 (VBL 外国人客員教員、University of New South Wales (豪州))

題名：PET-RAFT for Advanced Polymer Synthesis

要旨：

PET-RAFT (photoinduced electron/energy transfer – reversible addition/fragmentation chain transfer) technology is a living radical polymerization methodology controlled by visible light and (near) IR light, which merges the traditional RAFT polymerization with photoredox catalysis. In this technology, ppm amount of photoredox catalyst is employed to catalyze RAFT agent and generate radicals for subsequent polymerization, instead of external radical initiator in the traditional RAFT method. The RAFT agent plays the role of initiator, chain transfer agent and termination agent.

Although slight modification to RAFT polymerization was made, it brings many “green” and significant attributes to living radical polymerizations, including: (1) low energy consumption and mild reaction conditions, (2) spatial and temporal control on radical polymerization, (3) high oxygen tolerance, (4) versatile photocatalysts and (5) selective polymerization activation. In this talk, these benefits from PET-RAFT technology will be summarized and demonstrated by our recent results. This technology is contributing to the development of green chemistry and sustainable polymer manufacturing chemistry, but also providing opportunities for the innovation of new methods of organic and polymer synthesis.

開催報告：

VBL 外国人研究員 (中核的機関研究員、名古屋大学特任准教授) として招へいた University of New South Wales (豪州) の Jiangtao Xu 講師により、「PET-RAFT for Advanced Polymer Synthesis」と題した標記セミナーが、平成 29 年 6 月 29 日 14 時 30 分から 16 時まで VBL4 階セミナー室にて開催されました。

Xu 特任准教授らは最近、LED を用いた可視光や近赤外光によって起こる電子移動やエネルギー

移動 (Photo-induced Electron Energy Transfer: PET) に基づく、光誘起の可逆的付加開裂型 (Reversible Addition Fragmentation Chain-Transfer: RAFT) リビングラジカル重合を開発しました。本セミナーでは、その機構から始まり、利用可能な光レドックス触媒、波長による RAFT 剤の選択的活性化、酸素耐性の高い重合系の開発、シーケンスや形態が制御された高分子の精密合成、ナノ集合体の構築に至るまで、PET-RAFT の原理・特徴・展開について幅広く講演を頂きました。24 名の参加者があり、講演終了後には活発な議論が展開され、高分子のナノ構造制御に基づく機能材料開発へとつながる有意義なセミナーとなりました。

上垣外 正己 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)



写真: Jiangtao Xu 博士による講演風景

平成 29 年度第 2 回 VBL セミナー

日時：平成29年7月31日（月）13時00分～14時30分

場所：名古屋大学VBL 3階ミーティングルーム室

講師：Rodolfo Morales Ibarra特任准教授（VBL外国人客員教員、Universidad Autónoma de Nuevo León（メキシコ））

題目：Recycling of Thermoset Polymers and their Composites

要旨：

Recycling of thermosets and their composites is the only viable and best option going forward on thermosets waste management demonstrated with the incontrovertible fact that there is technical feasibility within the effectiveness of the very diverse technologies available to date. Mechanical, thermal, chemical methods and depolymerization with supercritical fluids are revisited in this seminar. Recyclability is a concept that takes into account not only the properties of the material but the whole set of factors which can promote the natural course of action of a potential recycling market; as a definition, recyclability is the capability of a material to be recycled through its life cycle among the economical, technical, legislative and waste management circumstances that integrates the material to the recycling industry. While the use of bio-based and eco-friendly materials is an objective of technological development, better waste management technologies must be applied throughout the whole lifecycle for a sustainable use of thermosets and their composites.

開催報告：

IBARRA Rodolfo Morales 准教授（Universidad Autónoma de Nuevo León（メキシコ））のセミナーが平成29年7月31日（月）13時00分から14時30分まで VBL3 階ミーティングルームで開催された。IBARRA Rodolfo Morales 准教授は VBL 招聘外国人研究員（客員准教授）として5月22日から8月4日までの約2ヶ月半にわたり名古屋大学に滞在し、主に超臨界流体を用いたグラフェンナノシートの新規な調製法に関する共同研究を行い、学生に対する研究上の指導と議論を行った。

本セミナーでは、「Recycling of Thermoset Polymers and their Composites」というタイトルで、熱硬化性樹脂とその複合材のリサイクルに関する講演が行われた。機械的方法、熱分解法、化学的方法など熱硬化性樹脂複合材の各種リサイクル法の基礎的事項から実用段階でのメキシコでの実施例などの説明に加えて、近年環境低負荷なグリーン技術として注目されている超臨界流体を用いた方法について詳しく紹介された。特に、超臨界水や超臨界アルコール中での加溶媒分解反応を利用した、炭素繊維強化プラスチック CFRP からの炭素繊維の回収技術は、高価な炭素繊維を良好な状態で回収できる手法として、本報告者と IBARRA 准教授が数年前に共同研究したもので、その後、産学共同研究や国際共

同研究として展開してきている技術である。さらに、リサイクルに適した複合材の開発についての説明があり、循環型社会のために必要な材料についての知識を学ぶことができた。教員、学生を含めて、計22名余が参加し、活発な議論が行われた。

後藤 元信（工学研究科 物質プロセス工学専攻）



写真：IBARRA Rodolfo Morales 博士による講演風景

平成 29 年度第 3 回 VBL セミナー

日時：平成29年9月25日（月）11時00分～12時00分

場所：名古屋大学VBL 3階ミーティングルーム

講師：Siti Machmudah特任准教授（VBL外国人客員教員，スラバヤ工科大学／ITS Surabaya（インドネシア））

題目：Hydrothermal and Solvothermal Synthesis for Composite Nanomaterials Preparation

要旨：

Nanocomposites have attracted a huge amount of interest due to their improved mechanical properties, dimensional stability, thermal/chemical stability, and electrical conductivity. Nanostructures are found to be of great significance because of their inherent properties such as large surface area to volume ratio and the engineered properties such as porosity, stability, and permeability. Composite material can achieve multifunctionality by combining the relevant, desirable features of different materials to form a new material having a broad spectrum of desired properties. Composite nanomaterials have been prepared by several techniques including sol-gel, precipitation, spray pyrolysis, hydrothermal, and solvothermal. In this presentation, hydrothermal and solvothermal techniques will be performed for preparation of CeO₂-ZrO₂ and ZnO-SiO₂ nanocomposites because these techniques require simple equipment and easily controlled particle size and morphology by varying the synthesis conditions. The fabricated CeO₂-ZrO₂ nanocomposites with certain compositions could enhance their chemical and thermal properties to be used as electrolyte of Solid Oxide Fuel Cells. ZnO-SiO₂ nanocomposites fabricated by solvothermal synthesis increased their chemical and optical properties for energy saving.

開催報告：

Siti Machmudah 准教授（スラバヤ工科大学／ITS Surabaya（インドネシア））のセミナーが平成29年9月25日（月）11時00分から12時00分までVBL3階ミーティングルームで開催された。Siti Machmudah 准教授はVBL 招聘外国人研究員（特任准教授）として9月4日から10月6日までの約1ヶ月間、名古屋大学に滞在し、主に亜臨界・超臨界流体を用いたハイドロサーマル法ならびにソルボサーマル法によるナノ材料の合成に関する共同研究を行い、学生に対する研究上の指導と議論を行った。

本セミナーでは、「Hydrothermal and Solvothermal Synthesis for Composite Nanomaterials Preparation」というタイトルで、高温高压の溶媒を用いた複合ナノ材料の調製に関する講演が行われた。

複合ナノ材料はゾルーゲル法、析出法、スプレー熱分解法など様々な方法で作成されるが、臨界点近傍の流体の特異的性質を利用したハイドロサーマル法やソルボサーマル法は高機能を有するナノ材料の調製法として有望である。 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ および ZnO-SiO_2 の複合ナノ材料について粒子径や形態を制御することができる本手法で合成した手法ならびに結果について詳しく紹介された。これらの複合ナノ材料は固体酸化物燃料電池の電極材料などとして優れた性質を有していた。

本研究を中心に基礎から応用に至るまで詳細に解説があり、亜臨界・超臨界流体を用いたナノ材料調製技術についての知識を学ぶことができた。教員、学生を含めて、計20名余が参加し、活発な議論が行われた。

後藤 元信（工学研究科 物質プロセス工学専攻）



写真： Siti Machmudah 博士による講演風景

平成 29 年度第 4 回 VBL セミナー

日時：平成29年11月17日（金）15時30分～17時00分

場所：知の拠点あいち あいちシンクロトロン光センター2階小会議室

題目：Growth and properties of nanosized YIG/GGG(111) heterostructures for magnonic applications

講師：N. Sokolov (VBL招聘研究員, ヨッフエ物理工学研究所研究グループ長 / 教授 (ロシア)) (VBL Invited Researcher, Head of Research Group/Professor, A. F. Ioffe Physical-Technical Institute, RAS)

題目：Correlation between structural and magnetic properties of magnetically hard ϵ -Fe₂O₃ epitaxial layers on GaN

講師：N. Sokolov (VBL招聘研究員, ヨッフエ物理工学研究所研究グループ長 / 教授 (ロシア)) (VBL Invited Researcher, Head of Research Group/Professor, A. F. Ioffe Physical-Technical Institute, RAS)

平成 29 年度第 5 回 VBL セミナー

日時：平成29年12月14日（木）11時00分～12時00分

場所：名古屋大学 理農館SA321号室

講師：Nikolay A. Semenov 上級研究員（Novosibirsk Institute of Organic Chemistry（ロシア））（VBL外国人客員教員）

題目：1,2,5-Chalcogenadiazoles as effective electron acceptors: reduction into Radical-anions vs. formation of charge transfer complexes

要旨：

1,2,5-chalcogenadiazoles are of particular interest to the fundamental chemistry and its applications in materials science and biomedicine. The common property of heterocycles of this family is high positive electron affinity, which means these compounds are effective electron density acceptors. Chemical reduction (complete charge transfer) of the neutral 1,2,5-chalcogenadiazoles derivatives with various reducing agents yields thermodynamically stable Radical-Anions (RA), isolated in the form of thermally-stable salts. These RAs may be considered as promising building blocks for the synthesis of molecular based magnetic materials. Meanwhile, interaction with other electron donors such as TTF or certain anions (X^-) results in formation of neutral or anionic charge transfer complexes (partial charge transfer). The former shows some potential for the photovoltaic applications. The latter are formed via coordination of X^- to the chalcogen atom of heterocycle which leads to the changes in absorption spectra. This may be useful for the anion receptors/sensors applications. This talk will cover these two aspects of the redox reactivity of 1,2,5-chalcogenadiazoles with regards to their application.

開催報告：

Nikolay A. Semenov 上級研究員（Novosibirsk Institute of Organic Chemistry）のセミナーが平成29年12月14日（木）11時00分から12時00分まで理学研究科SA321号室で開催された。Semenov先生はVBL招聘外国人研究員（客員教授）として11月2日から12月22日までの約2ヶ月間滞在し、新規な安定ラジカルアニオン種の合成に関する共同研究として自身の研究活動を行う傍ら、合成法のノウハウや分子設計についての情報交換も活発に行った。

本セミナーでは、「1,2,5-Chalcogenadiazoles as effective electron acceptors: reduction into Radical-anions vs. formation of charge transfer complexes」というタイトルで、Semenov先生が現在までに合成・結晶化を行ってきた窒素とカルコゲン元素を含んだヘテロ環化合物（カルコゲナジアゾール化合物）の合成と構造および物性についての講演が行われた。Semenov先生はカルコゲナジアゾール化合物が還元により安定なラジカルアニオン種を生成することを見出しており、その結晶構造と磁気特性について報告した。ま

た、テルル原子を含んだテルロジアゾール化合物はアニオン種と特徴的な複合体を形成することから、イオンセンサーへ等の応用に向けての研究計画を説明した。

ヘテロ環化合物とそのラジカル種の合成法およびそれらの物性さらに今後の応用研究への可能性について学ぶことができた。教員と学生の計20余名に加えRCMS客員教授のMichael P. Shaver教授にも参加いただき、Semenov先生の研究成果について活発な議論を行った。

阿波賀 邦夫（理学研究科 物質理学専攻）



写真：Nikolay A. Semenov 博士による講演風景

平成 29 年度第 6 回 VBL セミナー

日時：平成30年3月19日（月）15時30分～17時00分

場所：工学研究科 1号館 4階 144講義室

講師：Stefan Hecht教授（Humboldt-Universität zu Berlin（ドイツ））
（VBL客員教授）

題目：Controlling and Driving Molecular Processes with Light

要旨：

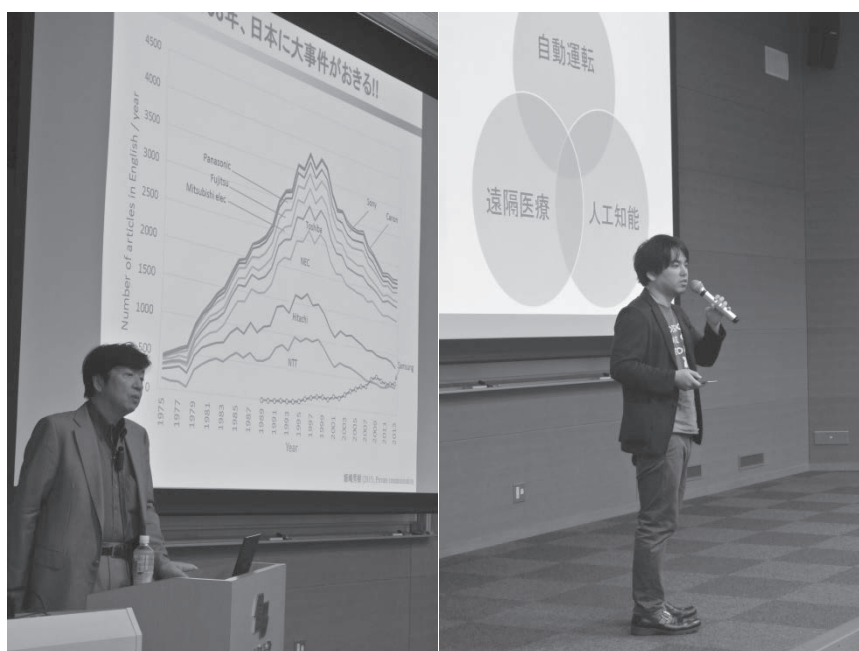
Controlling molecular building blocks and their organization into nanostructured materials with specific functions constitutes the basis of modern bottom-up materials science. Using an external light stimulus to control such advanced materials in a dynamic fashion with superior spatial and temporal resolution offer tremendous opportunities and is at the heart of our group's research program. This presentation will highlight some recent examples from our laboratory in which carefully designed photoswitches with improved performance have been exploited to remote-control materials, specifically, some of our recent efforts to optimize various photoswitches, such as azobenzenes, diarylethenes, acylhydrazones, and indigos with regard to their switching characteristics and the use of these optimized photochromic building blocks to control dynamic polymeric materials as well as charge transport in optoelectronic devices and to drive optomechanical transduction.

2.3 VBL講義（VBL Lectures and Experiments）

ベンチャービジネス特論 I

我が国の産業の基礎を、あるいは最先端を担うべきベンチャー企業の層が薄いことは頻繁に指摘されます。このことの原因の一部は、海外との制度の違いによるものですが、欧米の研究者や大学生との意識の差に起因する所も少なくなくありません。この様な状況に対して、名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリーでは、1)「大学の研究」を事業化/起業する際に研究者として必要な知識と達成すべき目標を明確にする、2)大学の研究成果を基にした企業での技術開発・事業化、企業内起業やベンチャー起業の実例を示す、3)これによって大学の研究をベースにしたベンチャー起業を考える際の筋道を明らかにする、などのことを目的とした大学院の科目を平成16年度より開講しました。

2017年度も下記の内容で、VBL担当の講義としてベンチャービジネス特論が開講されました。ベンチャービジネス特論 I は、例年非常に多数の学生に受講して頂いている講義で、本年度も400名近くの受講者があり、例年同様の賑わいのある講義となりました。本年度の新しい講義としては、本学学術研究・産学官連携推進本部の河野廉先生より、ベンチャービジネスとは何か？から、最近の本学のスタートアップ関連の試みである「東海地区大学広域ファンド」や「Tongali プロジェクト」の紹介、スタートアップのすすめなどをお話していただきました。また、昨年度から引き続き京都大学の山口栄一先生は、青色LEDやiPS細胞などの「ブレイクスルー・イノベーション」はどうして起こったのか？イノベーションの分類とその考え方に関してご講義いただきました。本年度も、本学の卒業生でもある株式会社WHILLの福岡宗明先生に、社会ベンチャーから格好良い車イスが生まれるまで、スタートアップをエンカレッジする授業を行っていただきました。豊田合成(株)の太田先生、青山学院大の淵先生、本学の馬場先生にも講義をお願いしております。本講義を通じて、学生達にベンチャー魂が芽生えれば幸いと考えております。（写真は、京大の山口先生、株式会社WHILLの福岡先生の講義風景）



写真：山口先生(左)、WHILL 福岡先生(右)の講義風景

平成 29 年度 ベンチャービジネス特論 I

| | | | |
|---------|--|----------------------------------|-------|
| 4/13(木) | イントロダクション | VBL 准教授 | 永野修作 |
| 4/27(木) | 「ベンチャービジネスを始めるための最低限の知識と準備」 | 学術研究・産学官連携推進本部 教授 | 河野 廉 |
| 5/11(木) | 「青色 LED の開発・事業化と今後の窒化ガリウム系材料の展望」 | 豊田合成 常務取締役 | 太田光一 |
| 5/18(木) | 「ナノバイオデバイスが拓く未来医療～ナノ空間生命科学から医療デバイス実用化へ～」 | 生命分子工学専攻 教授 | 馬場嘉信 |
| 5/25(木) | 「ブレークスルー・イノベーション創出を考える」 | 京都大学 | 山口 栄一 |
| 6/15(木) | 「スタートアップを考える人へ」 | WHILL 株式会社 最高技術責任者 兼 代表取締役 | 福岡 宗明 |
| 6/22(木) | 「研究成果の特許化するための知識と準備」 | 青山学院大学 准教授 | 渕真悟 |
| | まとめ | 名古屋大学 准教授 | 永野修作 |

最先端理工学実験

最先端の高度な知識と技術を習得する目的でVBLでは大学院生を対象とした学生実験カリキュラム「最先端理工学実験」を実施しています。様々な化学シミュレーションを行うCAD 分野と半導体プロセスや解析を学ぶナノプロセス分野の二つの分野からなり、VBL の最先端の設備を利用した研究実験が行えます。CAD 分野では、現在の研究開発には不可欠となってきたシミュレーション技術を取得することを目的に、VBL が保有する計算シミュレーションソフトウェア(ダツソー・システムズ社 BAIOWIA Materials Studio およびDiscovery Studio) を学生自身の研究に応用する実験を行います。本年度は、マテリアルサイエンス分野6名、ライフサイエンス分野4名の受講者に基礎と応用の2 度の講習を実施し、各自の研究に直結したテーマで計算機実験を行ないました。ナノプロセス分野では、VBL 所有の高度な半導体プロセス装置や構造解析装置を用いたナノ技術を習得することを目的としています。本年度は、1 名の応募があり、斜入射X線散乱手法による高分子薄膜の配向解析やAFMによるヤング率測定を課題とし、集中的に実験を行いました。全受講者の成果発表会は、12 月14 日に行われ、異分野の学生間で活発に討論を行いました。



写真:成果報告会の様子(左)、シミュレーション結果(右)

以下、成果発表のプログラム示します。

平成 29 年度 最先端理工学実験 成果発表会

日時：平成 29 年 12 月 14 日（木）10:30ー

場所：ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 4 階 セミナー室

発表形式：発表 7 分，討論 3 分

10:30 開会挨拶 永野 修作 (VBL)

10:35 「高分子ヘテロ界面における拡散」

有機・高分子化学専攻 関研究室 M1 大石 和明

10:45 「ポリ(N-イソプロピルアクリルアミド)鎖への親水性成分の導入による収縮挙動の変化」

物質制御工学専攻 関研究室 M2 岡谷 優美

10:55 「加圧による蛋白質まわりの水分子の挙動の変化の解析」

生命分子工学専攻 渡邊研究室 M1 森 一也

11:05 「シリカ微粒子の溶媒中における分散安定性の評価」

物質制御工学専攻 関研究室 M2 渡邊 健太

11:15 「高接着性蛋白質 AtaA の接着阻害物質の探索」

生物機能工学専攻 堀研究室 D1 青木 壮太

11:25 「アモルファス-液晶ブロックコポリマーの運動性の評価」

有機・高分子化学専攻 関研究室 M1 上田 茉莉菜

11:35 「導電性高分子主鎖の共役がバンドギャップに与える影響」

有機・高分子化学専攻 関研究室 M1 末次 輝太

11:45 「接着性蛋白質 AtaA の力学強度評価」

生物機能工学専攻 堀研究室 M2 石井 慧

11:55 「単層カーボンナノチューブ内の CsI 結晶構造の評価」

量子工学専攻 齋藤研究室 M2 川居 宥斗

12:05 総評・閉会 渡邊 信久 (シンクロトロン光研究センター)

2.4 講習会 (Training Courses)

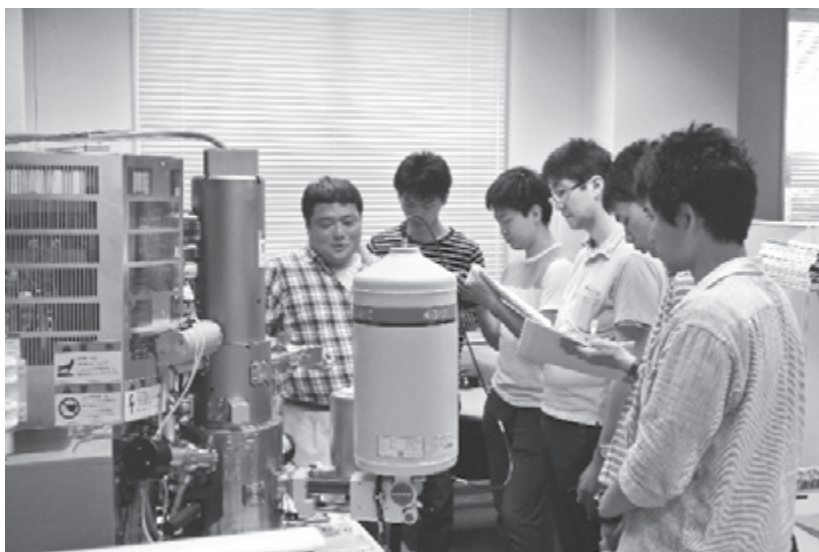
クリーンルーム利用者講習会

クリーンルーム利用者を対象に6月9日13時から開催，参加者数は教職員学生合わせて54名であった。講師の技術支援センター・齋藤氏から薬品の使用法や管理・廃液の保管、クリーンドラフトの使い方など、VBLで定めているルールについて説明があった。終了後、クリーンルーム前室で空気呼吸器の装着練習が行われた。



VBL 高解像度 SEM 利用講習会

VBLが所有する高解像度走査型電子顕微鏡(SEM)日立ハイテク S5200の利用者講習会を5月24日・25日の2日間に分けて行った(受講者13名)。受講対象者は同1階にある汎用SEM(日立S4300)の利用経験者に限定しており、また学内利用者は講習会を受講しなければ利用できない。磁性体や粉体試料は利用できないことなど利用時の注意点及び予約方法を確認した後に、よくトラブルが発生する試料取付けロッドのハンドリングが重点的に行われた。EDXは支援センターの齋藤氏に依頼すれば別途説明会を行っていただける。



レーザーリソグラフィ利用者講習会

5月17日に受講者7名で支援センターの齋藤氏の担当で行われた。内容はCADデータの変換と転送、基板の取付け、ジョブの作成と実行、現像及びCrエッチングの方法でマスク作成の一連のプロセスが行われた。装置故障の原因となる基板固定について注意することと直猫を行うときはマスクブランク用の描画条件とは異なる条件設定となるなど具体的な説明があった。本装置の仕様説明ではヘッドは最小描画サイズ1 μm (描画スピード10 mm²/min) と0.6 μm (描画スピード3.0 mm²/min) の2つでデフォルトは1 μm 用。光学またはエアールを使ったオートフォーカス機能のどちらかを選択して描画することができる。レーザー強度は徐々に下がるため、Energy, Defocは最新の数値入れるよう説明があった。本装置も講習会受講者のみの利用としている。

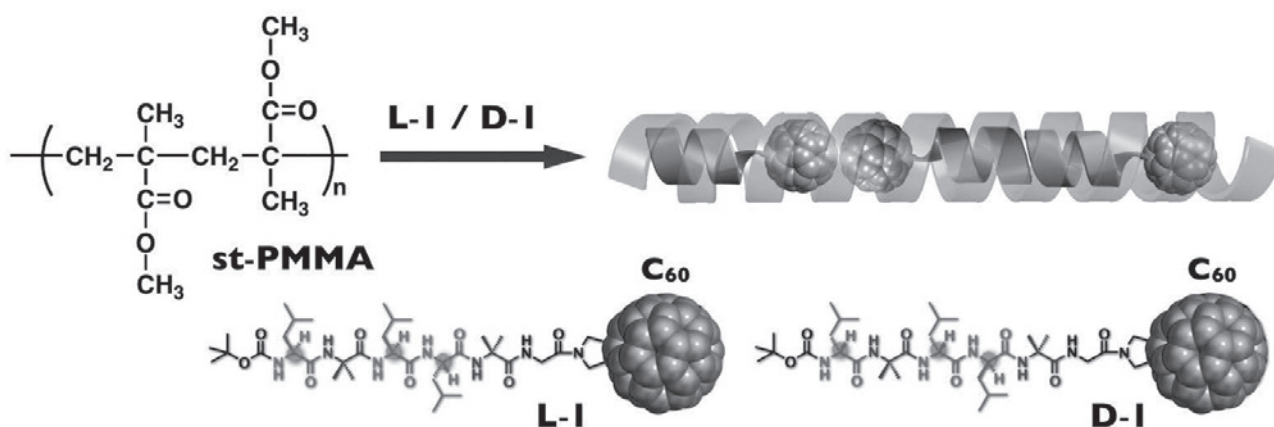


エッチング装置利用者講習会

VBLには、RIEとICPの2台のエッチング装置を所有しており、その講習会が5月31日に行われた。利用時及び予約時の注意点を確認した後に、ICPとRIEの操作手順についてダミー基板を使ってエッチング操作を行いながら説明があった。ICPでは塩素系ガス、RIEではフッ素系ガスを使用するため、エッチング対象によって装置を選択するよう説明があった。ICPでは、ロードロックの扉の取扱いが粗雑な為故障した事例が紹介され丁寧に取扱うことやガスライン保全のため終了時に塩素ガスの排気を実行し室内を置換するよう説明があった。また、RIEでは、装置の扉上が薬品によって腐食している事に触れ、薬品棚から試薬びんを取り出す際に装置を台にしないよう呼びかけがあった。

2.5 刊行物（VBL Publications）

VBLでは、広報活動の一環として、年に2回のVBLニュースの発行と、2年に一度のVBLパンフレットの更新を行っている。本年度は、VBL ニュース 43、44 号の発行を行った。



フラーレン・ペプチド錯体を包接したらせん状のプラスチック (研究紹介 (1) より)

CONTENTS

| | |
|--|---|
| 研究紹介 (1) プラスチックへのらせん構造の誘起と応用 | 2 |
| 研究紹介 (2) 立体 π 共役分子を用いた3次元 K_4 結晶の構築 | 3 |
| 研究成果報告 (1) Epitaxial Growth of GaN by Radical-Enhanced Metalorganic Chemical Vapor Deposition (REMOCVD) – Effect of InN nucleation layer | 4 |
| 研究成果報告 (2) 卓上電子顕微鏡とX線顕微鏡の開発 | 5 |
| 研究成果報告 (3) 低欠陥SiC結晶の口径拡大 | 6 |
| 名大祭参加報告 | 7 |
| クリーンルーム利用講習会 | 7 |
| RIE(反応性イオンエッチング)装置利用講習会 | 7 |
| 高解像度走査型電子顕微鏡(SEM)利用講習会 | 7 |
| レーザーリソグラフィ利用講習会 | 7 |
| 新研究員紹介 | 8 |

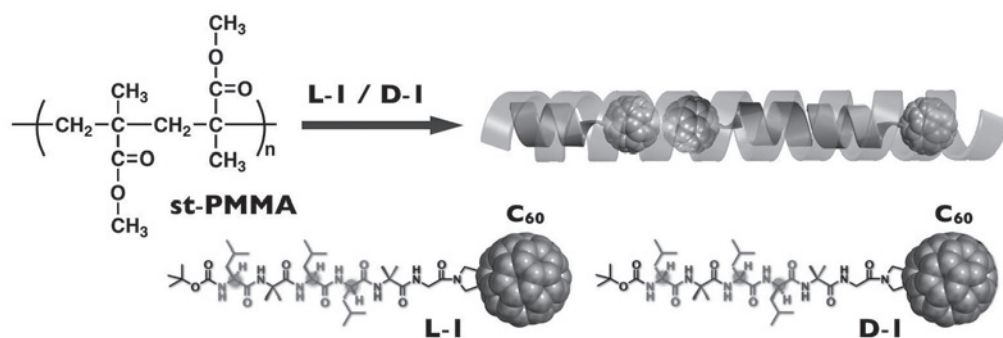
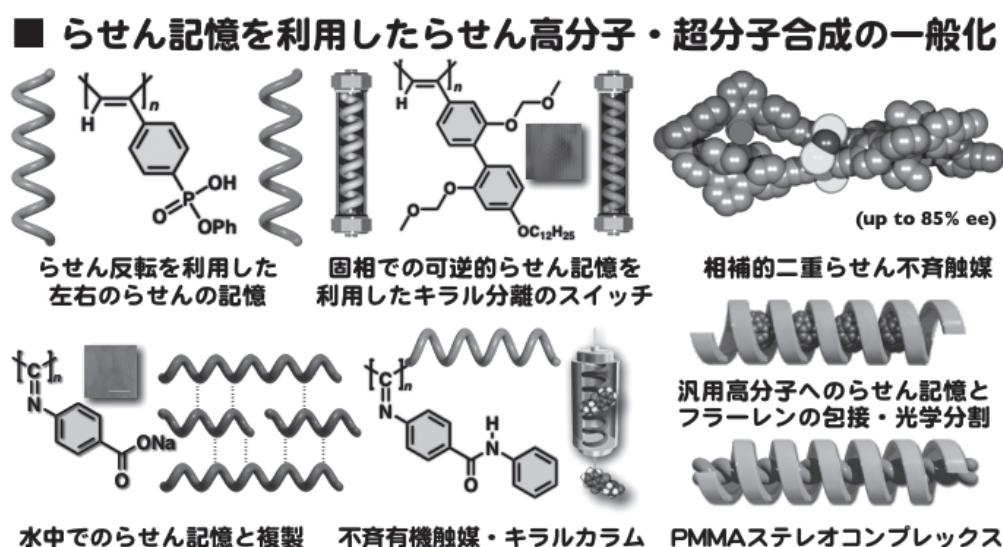
研究紹介(1)

プラスチックへのらせん構造の誘起と応用

大学院工学研究科・有機・高分子化学専攻 逢坂 直樹、八島 栄次

プラスチックを含む多くの高分子に、光学活性体との相互作用を介して、望みの向きのらせん（右巻きあるいは左巻き）を後から自在に誘起し、その情報を「記憶」として保持できることを 10 数年以上前に見出し、その機構の全貌を解明した。この原理を用いると、記憶したらせんキラリティに由来する光学分割能や不斉触媒能を示す様々ならせん高分子の合成が可能となる [1]。本稿では、汎用性プラスチックの一つである、シジオタクチックなポリメタクリル酸メチル (st-PMMA) へのらせん誘起と記憶、その応用について紹介する。

st-PMMA のトルエン溶液に光学活性なアルコールやアミンを加えると、一方向巻きのらせんが誘起され、光学活性体を完全に除去した後も、らせん構造は記憶として保持されるとともに、様々なフラレンが包接され、結晶状の光学活性フラレン包接錯体が生成する [2]。st-PMMA のらせん空孔はゲストの大きさに合わせて形を変えることができ、より大きなフラレンが優先的に取り込まれ、光学活性な st-PMMA を用いると、これまで報告例のなかった C₈₆、C₈₈、C₉₄ などの高次フラレンの光学分割も可能であった。特殊なポリマーではなく汎用高分子を用いても、らせん構造を制御できれば有用なキラル高分子材料になりうるということが明らかになった [2]。また、st-PMMA が形成するらせん空孔へは、らせんペプチド鎖を有する C₆₀ 誘導体 (L- または D-1) が不斉選択的に取り込まれることも分かった [3]。ペプチド鎖だけでは包接はまったく起こらない。すなわち、C₆₀ をキャリアとして用いることで、様々な分子を st-PMMA が形成するらせん空孔内へ導入できる可能性が示された。光学活性な st-PMMA は、様々なキラル分子・高分子を選択的に包接・分離可能なキラル材料だけでなく、キラルなナノ空孔を有する反応場としても有用である。



[1] E. Yashima, N. Ousaka, D. Taura, K. Shimomura, T. Ikai, K. Maeda, *Chem. Rev.* **2016**, *116*, 13752.

[2] a) T. Kawauchi, A. Kitaura, J. Kumaki, H. Kusanagi, E. Yashima, *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 11889. b) T. Kawauchi, A. Kitaura, M. Kawauchi, T. Takeichi, J. Kumaki, H. Iida, E. Yashima, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 12191.

[3] N. Ousaka, F. Mamiya, H. Iwata, K. Nishimura, E. Yashima, *Angew. Chem., Int. Ed.* **2017**, *56*, 791.

研究紹介(2)

立体 π 共役分子を用いた3次元 K_4 結晶の構築

理学研究科 物質物理学専攻(化学系) 教授 阿波賀 邦夫

炭素の同素体には、グラファイト、ダイヤモンドに始まり、フラーレン、カーボンナノチューブなどのナノカーボンまで多様な構造が存在するが、近年、グラフ理論は、 sp^2 炭素からなる新しい炭素同素体として「 K_4 炭素結晶」(図1(a))と呼ばれる3次元構造を提唱した[1]。この構造は、 sp^2 炭素の sp^2 平面どうしが $\theta = 70^\circ$ ($\cos \theta = 1/3$)ねじりながら(図1(b))3次元構造をつくる特異的なものであり、金属的伝導性やディラックコーンの存在[2]がバンド計算により予測されている。しかし、このように興味深い物性が予想される K_4 炭素結晶の構築は実現されておらず、その物性の詳細は明らかにされていない。また、 K_4 結晶は、ダイヤモンドの数学的双子として、「強等方性」という高い対称性を持っていることから[1]、これら3次元構造どうし(K_4 結晶(金属的伝導性)とダイヤモンド(絶縁体))の対比にも興味もたれる。

我々は、 K_4 結晶の物性を明らかにするために、分子科学の立場から、 K_4 結晶の構築を行った。 sp^2 炭素の代わりとして、Stoddartらが報告した三角形型電子受容性分子(-)-naphthalene diimide(NDI)- Δ (図2, [3])を構成単位として用いることにした。(-)-NDI- Δ は、 π 共役系が分子内で立体的に向かいあった三角形構造をもつ珍しい分子であるが、中性分子結晶での分子間 π - π 相互作用は見られない。そこで、この三角形型の「立体 π 共役分子」を電気分解法を用いてラジカルアニオン種に還元することで、ラジカル間交換相互作用により3次元相互作用を誘起し(図2)、分子性ラジカルを用いた K_4 結晶の構築に成功した(図3, [4])。この分子性 K_4 結晶は sp^2 炭素を三角形分子で置き換えたものであるが、興味深いことに、 K_4 炭素結晶で予想された金属的伝導性やディラックコーンに加えて、強磁性発現の可能性を示唆する二重縮退フラットバンドの存在が予見され、分子内構造のバンド構造への影響が示唆された。残念ながら、この K_4 結晶は伝導度測定から絶縁体であることがわかったため、現在、(-)-NDI- Δ の多様な酸化還元状態に基づくバンドフィリング制御を検討し、バンド構造の実証を目指している。また、局在電子系の観点からこの結晶の磁気特性を詳細に検討したところ、三角構造に基づくスピンフラストレーションにより極低温まで長距離磁気秩序を示さないことがわかった。スピンフラストレーションの顕在化は、分子構造が物性へと強く反映されることを示している。今回のような3次元結晶構築は、立体 π 共役分子を作りこむことで構造・物性を制御できる可能性を示しており、分子物性研究へと広く利用・貢献できると期待している。

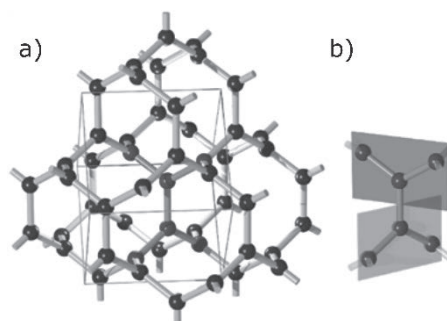


図1. (a) K_4 炭素結晶と(b) K_4 炭素結晶における sp^2 炭素の結合様式

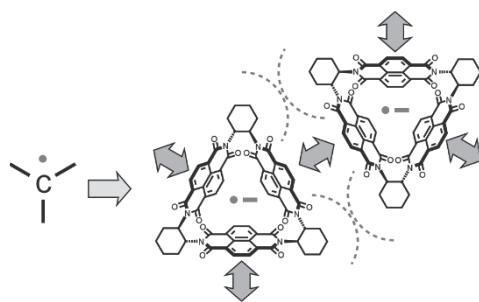


図2. sp^2 炭素の結合様式と(-)-NDI- Δ の分子間相互作用

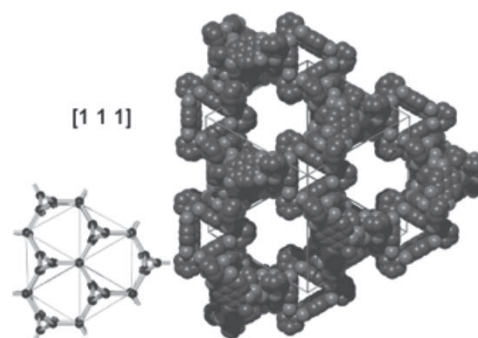


図3. K_4 炭素結晶と(-)-NDI- Δ がつくる K_4 結晶

参考文献

- [1] T. Sunada, Not. Am. Math. Soc. 55, 208 (2008).
- [2] M. Tsuchiizu, Phys. Rev. B 94, 195426 (2016).
- [3] S. T. Schneebeli, M. Frascioni, Z. Liu, Y. Wu, D. M. Gardner, N. L. Strutt, C. Cheng, R. Carmieli, M. R. Wasielewski, and J. F. Stoddart, Angew. Chem. Int. Ed. 52, 13100 (2013).
- [4] A. Mizuno, Y. Shuku, R. Suizu, M. M. Matsushita, M. Tsuchiizu, D. R. Mañeru, F. Illas, V. Robert, and K. Awaga, J. Am. Chem. Soc. 137, 7612 (2015).

研究成果報告 (1)

Epitaxial Growth of GaN by Radical-Enhanced Metalorganic Chemical Vapor Deposition (REMOCVD) – Effect of InN nucleation layer

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University. Amalraj Frank Wilson

In Recent years, GaN-on-Si technology has made significant progress in high power electronic devices and high power switching devices because of its lower cost and large size availability [1]. To grow a quality GaN on Si devices, the insertion of a buffer layer is inevitable. Among III-nitrides, InN has a low band gap energy of 0.65 eV, smallest effective mass and highest measured electron mobility [2]. However, InN has received little attention because growing high quality single crystal is difficult due to its low dissociation temperature. Very recently, we have developed a novel growth system called radical-enhanced metalorganic chemical vapor deposition (REMOCVD) [3], in which nitrides can be grown without high cost ammonia gas and at lower temperatures than conventional MOCVD.

Si substrates were cleaned by organic solvent, followed by 5% HF wet etching, and loaded into the chamber. The growth started by thermal cleaning at 900°C for 10 mins. InN nucleation layers were grown at room temperature at various time interval. The LT-GaN was grown at 400°C for 10 mins and HT-GaN was grown at 800°C for 120 mins. The VHF power was kept at 400 W for InN nucleation and LT-GaN growth and 600 W for HT-GaN growth with the chamber pressure of 100 Pa. The growth of all GaN on Si substrate was evaluated by XRD analysis and confirmed the presence of GaN [0002] at 34.5° as shown in Fig. 1. The XRD peak intensity of GaN [0002] plane was maximum for 10sec of InN nucleation time. Further increase or decrease of the nucleation time leads to the decrease of XRD peak intensity. The InN peak is not found because as it is known widely that at high temperature of 800°C, the InN decomposes. Although the crystallinity was not the best one, the obtained value gives us the assurance that InN, which was grown by our newly developed REMOCVD at low temperature, is an effective nucleation layer for the growth of GaN on Si substrates.

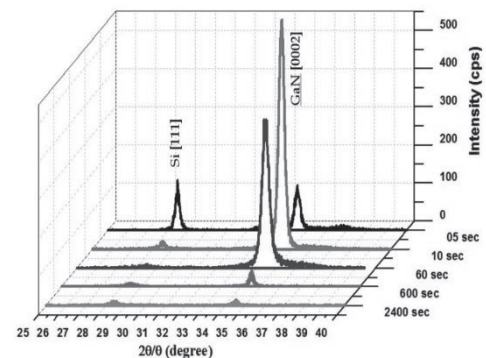


Fig. 1. 2θ - θ of GaN with varying InN nucleation time

1. Reference

- [1] M. Miyoshi et al, Semicon. Sci. Technol. 31 (2016) 105016
- [2] V. M. Polyakov, Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 032101
- [3] Y. Lu et al, J. Cryst. Growth 391, 97 (2014)

研究成果報告 (2)

卓上電子顕微鏡と X 線顕微鏡の開発

VBL非常勤研究員 入田 賢

カーボンナノチューブからの電界電子放出 (FE) は、25 年以上に渡って研究されてきた [1]。多層カーボンナノチューブ (MWNT) は、従来の FE 源に比べ 10^6 Pa の真空度でも使用可能であり、高い輝度 $10^9 \sim 10^{10}$ A/(cm²・sr) を有する FE 源である [2,3]。発掘調査などの現場では、持ち運び可能な小型の顕微鏡が必要とされている。本研究では、単一 MWNT 電子源を搭載した卓上 FE 型走査電子顕微鏡 (SEM) と X 線顕微鏡 (XRM) の開発を行った。

MWNT 電子源とバトラーレンズからなる電子銃を構成し、観察試料を設置するチャンバーとの間を ICF-114 フランジで接続した。電子銃チャンバーは、ターボポンプを用い 10^{-7} Pa に真空排気し使用した。バトラー電圧 $V_{\text{but}} = 1.5$ kV と加速電圧 $V_{\text{acc}} \sim 15$ kV の時、収束ビーム電流 61.1 pA で最も安定し、Fig. 1 (a) の SEM 像を観察することができた。観察したサンプルは、直径 200

と 500 nm の Au-Pd コートしたポリラテックス球 (PLS) である。Fig. 1 (c) に示したラインプロファイルは、基板表面と PLS 球の間のものである。ラインプロファイルに対し、ガウス分布の累積分布関数によりフィッティングを行い、その 80-20% の幅で定義した分解能は 9 nm であった。また、金ターゲットに収束した電子ビームを照射させることで X 線を発生させ、投影型の XRM 像の観察を行った。 $V_{\text{but}} = 1.5$ kV と $V_{\text{acc}} \sim 17$ kV において、30 分間 X 線を照射し観察した XRM 像を Fig. 1 (b) に示す。観察したサンプルは、金の 400-メッシュを観察した。同様に、Fig. 1 (d) に示したメッシュの穴とバーの間のラインプロファイルに対し、フィッティングを行い分解能を求めると 200 nm であった。以上の結果より、我々は、MWNT 電子源を搭載したナノ分解能を有する卓上型 SEM と XRM の開発に成功している。

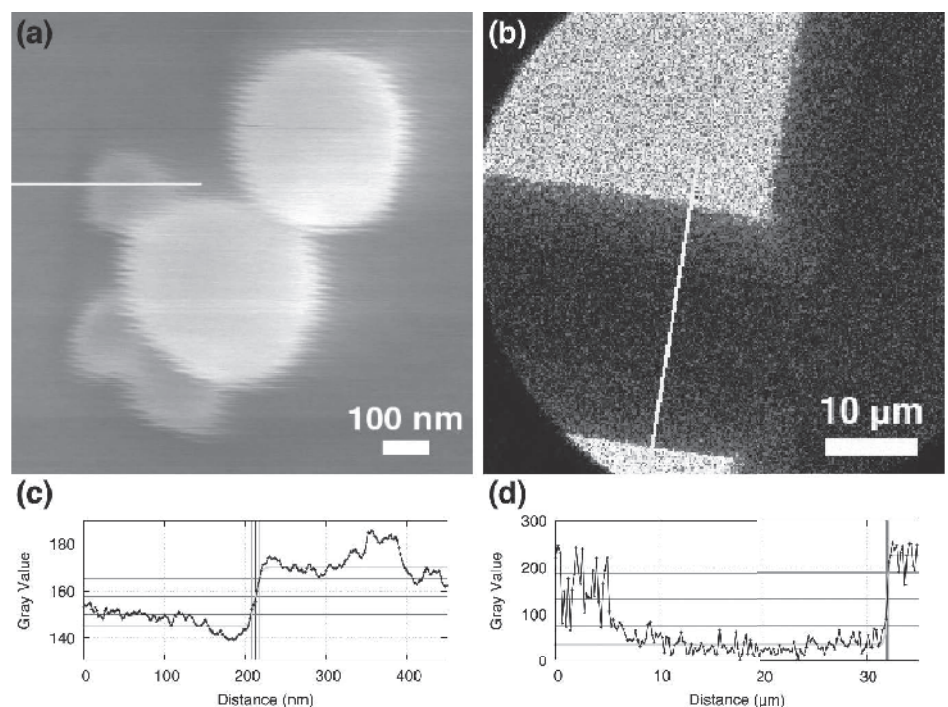


Fig. 1 (a) Au-Pd コートした PLS 球の SEM 像。

(b) Au メッシュの XRM 像。

(c), (d) それぞれ SEM と XRM 像に示したライン位置におけるラインプロファイル。

[1] Y. Saito et al., Nature, 389, 554–555, (1997).

[2] H. Nakahara et al., Appl. Surf. Sci. 256, 1214–1217, (2009).

[3] H. Nakahara et al., e-J. Surf. Sci. Nanotech. 9, 400–403, (2011).

研究成果報告(3)

低欠陥 SiC 結晶の口径拡大

VBL非常勤研究員 村井 良多

シリコンカーバイド (SiC) は次世代パワーデバイス材料として注目を集めているが、SiC 基板には多くの貫通転位が存在し、デバイスとしての信頼性を低下させている。我々は、マクロステップがステップフロー成長により貫通転位上を通過する際に、貫通転位の方向を変えて基底面上の横向きの欠陥に変換することを見出した [1]。本技術により、1cm 角の種結晶を使用して、転位を結晶外に排出し、低欠陥密度の結晶を成長することに成功している [2]。本研究では、より実用的なサイズの結晶を得るため、2 インチ SiC 基板を用いた Si 面結晶成長条件の検討に取り組んだ。

SiC の溶液成長法では、溶液内の高温部でカーボンルツボが溶解し、低温部で SiC が析出する。そこで、溶液中で種結晶の周辺が低温となる条件を、シミュレーションを用いて明らかにした。ルツボ位置、断熱構造を変えることで、溶液中の高温部と低温部の温度差は変化した。そこで、温度差が 18°C、8°C、5°C となるような条件で結晶成長実験を行った。Si-40at%Cr の混合溶媒を用いて、直径 2 インチの 4H-SiC 種結晶の Si 面 (1° オフ) 成長を行った。また、成長した結晶の X 線トポグラフィ像を撮影して、転位密度を評価した。

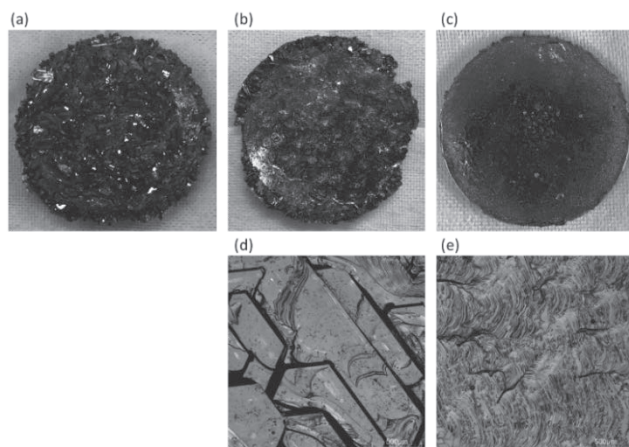


図1. 各温度条件で成長した結晶写真

- (a) 最大温度差 18°C
- (b) 最大温度差 8°C
- (c) 最大温度差 5°C
- (d) 最大温度差 8°C で成長した結晶表面拡大像
- (e) 最大温度差 5°C で成長した結晶表面拡大像

溶液内の温度差が 18°C となるような温度条件においては、多量の小さな結晶が析出し、種結晶を覆い尽くした (図 1(b))。溶液内の温度差が 8°C の時、微結晶は大幅に減少した。しかし、結晶表面を顕微鏡観察するとステップフロー成長ではなく二次元成長しており、大きなバンチングが見られた (図 1(d))。溶液内の温度差が 5°C の時、析出する微結晶の量はさらに減少した (図 1(c))。また、結晶表面の 2/3 以上の領域でステップフロー成長していた (図 1(e))。以上より、溶液内の温度差を制御することが結晶成長機構を制御する上で重要であると考えている。

ステップフロー成長部の X 線トポグラフィ像を撮影し、欠陥変換現象が生じているかどうかを評価した。種結晶には $1.6 \times 10^3/\text{cm}^2$ 程度の貫通転位が見られたが、成長した結晶 (図 1(c)) の貫通転位密度は $1.6 \times 10^2/\text{cm}^2$ と、種結晶の 1/10 程度まで減少した。これより、2 インチ基板においても 1cm 角の結晶と同様に、ステップフロー成長により欠陥変換現象が起こることを確認した。以上の結果から、実用サイズの結晶成長においても、Si 面ステップフロー成長を行うことで低欠陥化が期待される。

【参考文献】

- [1] Y. Yamamoto et al, Applied Physics Express 5 (2012) 115501
- [2] Y. Yamamoto et al, Applied Physics Express 7 (2014) 065501

名大祭参加報告

名大祭のラボレクチャー企画に参加し、期間中の6月10日(土)13:15～14:00、10日(日)14:15～15:00の両日、「VBL 研究室公開」と題した実験施設の見学会を行った。高解像度走査型電子顕微鏡にて測定した様々なナノ構造体の観察像を紹介しながら、半導体や有機分子のナノテクノロジーに関する紹介を行った後、クリーンルームに入室しての様々な成膜装置、リソグラフィー装置の見学を行った。小学生から50代の方まで、15人の参加者があった。クリーンルームの入室は、すべての方が初めてであり、エアシャワーに驚いたり、黄色い照明に興味を持ったりして頂いた。身近ではないけれども身近な分子、原子の制御の現在に興味を持って頂いた様であった。



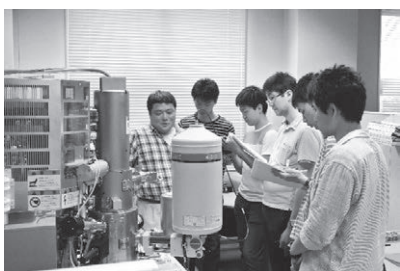
クリーンルーム利用講習会

クリーンルーム利用者を対象に6月9日13時から開催、参加者数は教職員学生合わせて54名であった。講師の技術支援センター・齋藤氏から薬品の使用法や管理・廃液の保管、クリーンドラフトの使い方など、VBLで定めているルールについて説明があった。終了後、クリーンルーム前室で空気呼吸器の装着練習が行われた。



高解像度走査型電子顕微鏡 (SEM) 利用講習会

S5200 利用講習会は5月24日、25日に分けて実施し13名が受講した。本装置は講習会受講者のみ利用可能である。操作手順では特にトラブルの多い試料ホルダのハンドリングについて注意するよう説明があった。



RIE(反応性イオンエッチング) 装置利用講習会

5月31日に実施し13名が受講した。本装置はレシピ機能を有しSi, SiO₂, Cなどのエッチングを自動で行うことができる。ICPエッチング装置の利用講習会は6月1日に行われた。



レーザーリソグラフィ 利用講習会

5月17日、技術支援センターの齋藤氏が担当し7名が受講した。本装置は受講者のみ利用可能である。ガラスマスク作製の他、直描も可能でSi基板の描画条件をホームページにアップロードしているが、基板やレジストの種類によって条件出しが必要となる。利用希望者が多くなっており本年は講習会を3回開催する予定である。



研究員紹介



私は、生命分子工学専攻 浅沼浩之教授の下で、病原性ノンコーディング RNA の検出技術の開発を行っています。近年、microRNA(miRNA)と呼ばれる「小さな核酸」の働きに注目が集まっています。miRNA はヒトにおいて数千種類が同定されており、miRNA の発現異常がガンをはじめとした重篤疾患の原因の1つとされていることから、miRNA は疾患の診断マーカーとして国内外から高い注目を集めています。私は、非環状型人工核酸を用いた蛍光性核酸プローブの開発を行っており、既存の手法では見分ける事が難しい「ガン細胞亢進性 miRNA」と「正常型 miRNA」を判別する全く新しい手法の確立を目指しています。浅学の身ではありますが、駆け出しの研究員として、VBL の研究・教育等に幅広く貢献出来るように精一杯努力致します。どうぞ宜しくお願いします。

有吉 純平



今年度より VBL 非常勤研究員として着任しました松永正広です。現在、未来材料・システム研究所大野雄高教授の下、カーボンナノチューブと電解液を用いた微小発電デバイスに関する研究を行っています。電解液をカーボンナノチューブ薄膜上で滑らせることにより起電力が発生することが分かっており、エネルギーハーベスティング技術の一つとしてその応用が期待できます。また、VBL 研究員として、研究活動だけでなく教育活動等にも広く貢献していきたいと思っております。よろしくお願いいたします。

松永 正広



今年度4月より VBL 研究員に着任しました吉本将悟です。私は、工学研究科生命分子工学専攻の堀克敏教授の下、微生物のもつ接着性のタンパク質について接着機構の解明及びその応用に関する研究を行っています。X 線結晶構造解析や原子間力顕微鏡を用いた解析から接着機構が明らかになれば微生物の接着をコントロールできるようになり、微生物を用いた物質変換や排水処理などバイオプロセスの効率が格段に向上することが期待されます。また接着性タンパク質を改変し任意の機能を付与できれば、それ自身を機能性の接着ナノバイオマテリアルとして応用できると考えています。VBL 研究員として、自身の研究だけでなく、広く研究・教育に貢献したいと思っております。よろしくお願いいたします。

吉本 将悟

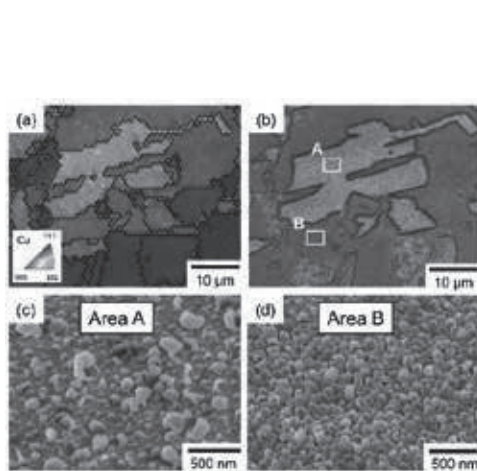


Fig. 1 (a) 多結晶 Cu 集電体の EBSD マップ、及び (b) その集電体上へ析出した Li の SEM 観察像 . (c)-(d) Fig. 1 (b) 内に示した A, B の領域における拡大像 .

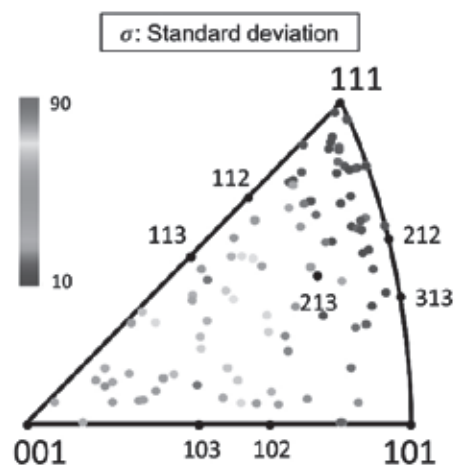


Fig. 2 析出 Li の径のばらつき (標準偏差) と多結晶 Cu 集電体の結晶方位の関係 .

CONTENTS

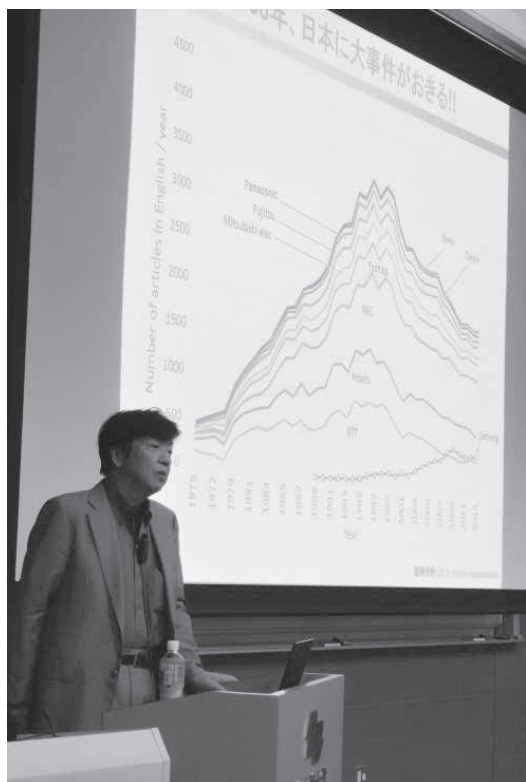
| | |
|---|---|
| ベンチャービジネス特論 I 実施報告 | 2 |
| 最先端理工学実験実施報告 | 3 |
| 研究紹介 (1) 金属Li負極におけるCu集電体の結晶方位と析出形状の関係 | 4 |
| 研究紹介 (2) 表面偏析と液晶性による高密度高分子ブラシ膜の自己集合形成 | 5 |
| 第 2 1 回 V B L シンポジウム | 6 |
| 平成 2 9 年度第 1 回 V B L セミナー報告 | 7 |
| 平成 2 9 年度第 2 回 V B L セミナー報告 | 7 |
| 平成 2 9 年度第 3 回 V B L セミナー報告 | 8 |
| 平成 2 9 年度第 5 回 V B L セミナー報告 | 8 |

ベンチャービジネス特論Ⅰ実施報告

ベンチャービジネスラボラトリー 永野 修作

「ベンチャービジネス特論Ⅰ」は、工学研究科を中心とした理科系大学院生を対象の基礎的なアントレプレナー教育を行う講義です。この講義の目的は、ベンチャー的な起業や新規事業が成熟した経済社会に必要であることを学び、起業や事業化を考える時に必要な最も基本的な知識の習得を目的としています。昨年度から、新しい講師の先生をお迎えして講義内容の一新を行っています。

本年度の新しい講義として、本学学術研究・産学官連携推進本部の河野廉先生より、ベンチャービジネスとは何か?から、最近の本学のスタートアップ関連の試みである「東海地区大学広域ファンド」や「Tongali プロジェクト」の紹介、スタートアップのすすめなどをお話していただきました。昨年度から引き続き、京都大学の山口栄一先生は、青色LEDやiPS細胞などの「ブレイクスルーイノベーション」はどうして起こったのか?イノベーションの分類とその考え方に関してご講義いただきました。また、本学の卒業生でもある株式会社WHILLの福岡宗明先生に、社会ベンチャーから格好良い車イスが生まれるまで、スタートアップをエンカレッジする授業を行っていただきました。その他、豊田合成株式会社の太田先生の名物講義「青色LEDの開発・事業化と今後の窒化ガリウム系材料の展望」や本学生命分子工学専攻の馬場教授の「ナノバイオデバイスが拓く未来医療～ナノ空間生命科学から医療デバイス実用化へ～」も行われ、産学連携や国家プロジェクトなど大学の様々な試みを聴講することができるのが本講義の特徴です。本講義を通じて、学生達にベンチャー魂が芽生えれば幸いです。(写真は、京都大学 山口先生ならびに株式会社WHILL 福岡先生の講義風景)

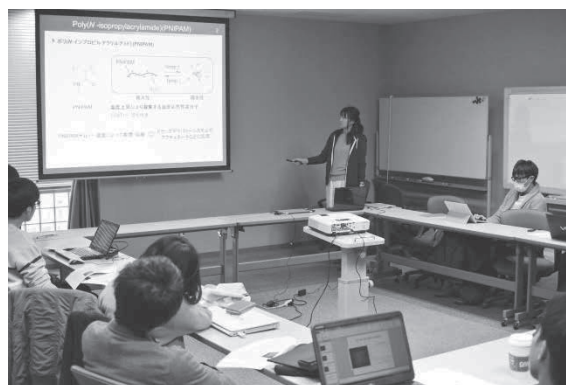


最先端理工学実験実施報告

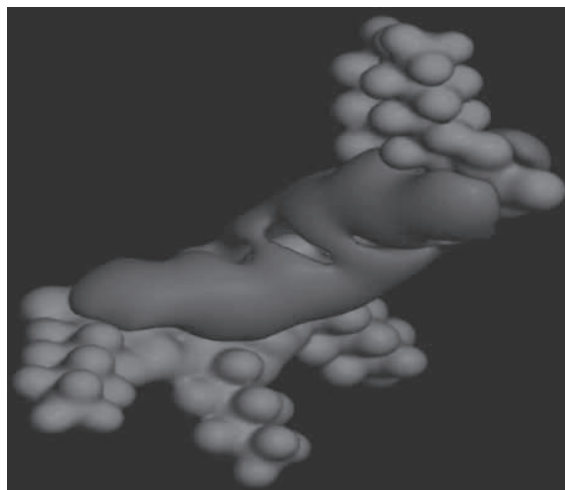
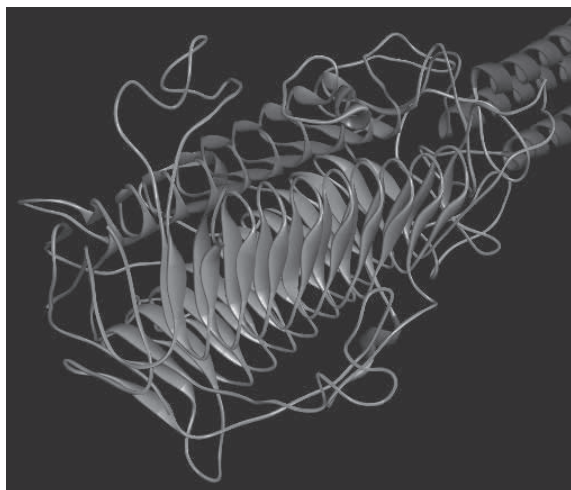
ベンチャービジネスラボラトリー 永野 修作

最先端の高度な知識と技術を習得する目的で VBL では大学院生を対象とした学生実験カリキュラム「最先端理工学実験」を実施しています。原子・分子構造から生体分子までの科学シミュレーションを行う CAD 分野と最先端のデバイスプロセスやその解析手法を学ぶナノプロセス分野の二つの分野からなり、本学 VBL の設備を学生自らで利用し、最先端の研究実験が行えます。

無機半導体、有機材料、タンパク質や製薬分野など幅広い分野にて計算シミュレーションは欠かせなくなっています。本実験の CAD 分野では、VBL が保有する計算シミュレーションソフトウェア (ダッソー・システムズ社 Materials Studio および Discovery Studio) を学生が実際に研究しているテーマに応用する実験を行います。ナノプロセス分野では、最先端の半導体プロセスや薄膜の構造解析手法などを実施できます。本年度の CAD 分野は、10 名 (マテリアルサイエンス系 6 名、ライフサイエンス系 4 名) の受講者があり、基礎と応用の 2 度の講習を実施し、各自の研究に直結したテーマで計算機実験を行ないました。原子数の面から難しい高分子へのアプローチやタンパク質表面の水のダイナミクスにチャレンジしたテーマが見られました。ナノプロセス分野では、1 名の受講者があり、薄膜の X 線構造解析を行いました。成果発表会は、12 月 14 日に行われ、異分野の学生間で活発に討論を行いました。



成果発表会の様子



タンパク質の構造および導電性高分子のシミュレーション結果の写真

研究紹介 (1)

金属 Li 負極における Cu 集電体の結晶方位と析出形状の関係

工学研究科 物質プロセス工学専攻 石川 晃平

金属 Li 負極は、Li-ion 電池に広く用いられる炭素系負極と比較して 10 倍以上の容量を有しており、次世代の二次電池材料として期待されている。しかし、金属 Li 負極は Li が析出・溶解することによって動作するために、充放電による負極形状の不均一化 (デンドライト析出) が問題となっている。デンドライト析出は電池のサイクル寿命低下や短絡による破損の原因となるため、必ず解決しなければならない問題である。デンドライト析出の抑制を目指し、電解液への添加物やパルス充電など様々な方策が考案されてきたが、電池として実用化可能な対策は未だ確立されていない。一方、結晶成長の観点から考えると、金属負極の析出形状には基板の結晶方位が大きく影響するはずである。一例として、Pb, Zn, Cd の Cu 基板上への電気的析出では、Cu の結晶方位によって析出形状が様々に変化することが報告されている^[1]。しかしながら、金属負極の研究では、これまでに負極集電体の結晶方位に関しては注目されてこなかった。もし Li の析出形状が均一に維持されるような負極集電体の結晶方位が存在すれば、集電体の方位配向によってデンドライト析出の発生を防ぐことができるはずである。このような着想のもと、まず第一歩として、筆者は金属 Li の析出形状に及ぼす負極集電体の結晶方位の影響を調査した^[2]。

本研究では多結晶 Cu を負極集電体として用いた。その結晶方位を予め測定してから Li を析出させることで、様々な方位面における析出形状を調査した。結晶方位測定には電子線後方散乱回折 (EBSD) を、形状観察には走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた。電解液には 1.0 M LiPF_6 (EC:EMC=1:1) を用い、電流密度と充電量はそれぞれ 5.0 mA/cm^2 , 0.1 mAh/cm^2 とした。Fig. 1 (a) に Cu 集電体の方位マッピングを、Fig. 1 (b) にその集電体上に析出した Li の SEM 像を示す。析出 Li のコントラストと、負極集電体の方位分布との間に対応が見られる。さらに、Fig 1 (b) における 2 つの領域 A, B における拡大像を Fig. 1 (c), (d) に示す。析出 Li は半径が $100\sim 200 \text{ nm}$ の粒状であり、低倍率においてコントラストが暗く観察された部分で、径が小さく均一な形状となっていることがわかる。さらに、100 個の Cu 多結晶粒上における析出 Li の径を解析し、その標準偏差を逆極点図上へ示したものを Fig. 2 に示す。析出 Li の形状は集電体の低指数面上で均一となっており、特に (111) 面上でその傾向が顕著となっていることがわかる。以上の結果より、均一な析出形状を得るためには、(111) 方位配向を有する Cu 集電体が最も有効であることが示唆される。

[1] S. Itoh, *et al.*, *Surface Technol.*, (1977) 5, 27-42.

[2] K. Ishikawa, *et al.*, *Cryst. Growth Des.*, (2017) 17(5), 2379-2385.

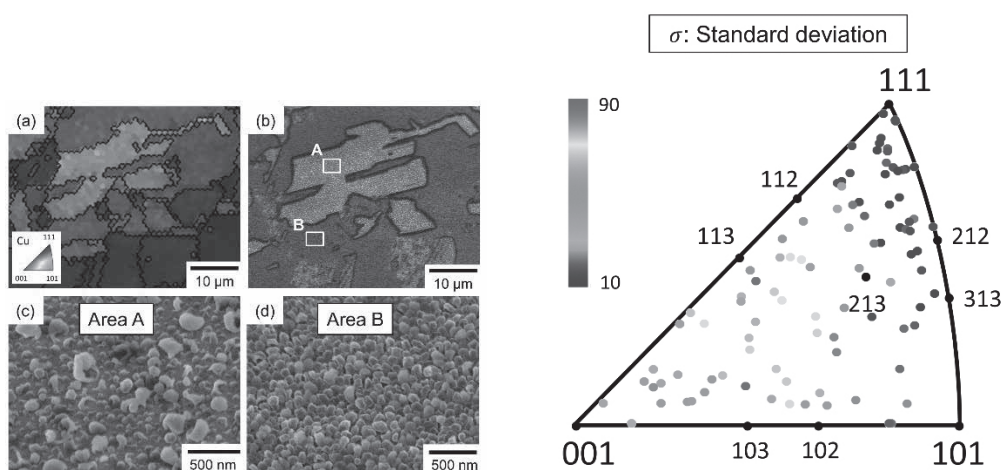


Fig. 1 (a) 多結晶 Cu 集電体の EBSD マップ、及び (b) その集電体上へ析出した Li の SEM 観察像. (c)-(d) Fig. 1 (b) 内に示した A, B の領域における拡大像.

Fig. 2 析出 Li の径のばらつき (標準偏差) と多結晶 Cu 集電体の結晶方位の関係.

研究紹介 (2)

表面偏析と液晶性による高密度高分子ブラシ膜の自己集合形成

ベンチャービジネスラボラトリー 永野 修作

エレクトロニクス、再生医療分野の先端デバイス材料分野では、濡れ性、摩擦特性、生体適合性など表面特性はきわめて重要であり、材料表面の物質組成やナノ構造を目的どおりに作り上げる技術の開発が望まれている。高密度高分子ブラシ（以下、高密度ブラシ）は、基板面に固定化した開始基から均一に重合成長することで、高分子鎖が表面に対して垂直方向に伸びた特異な配向構造を形成する。近年、高分子ブラシの構造に起因した力学的特性や生体適合性、分子配向特性などの特異な高分子特性が発現することが明らかになっている。

高密度ブラシ構造の調製は、一般的に表面開始リビング重合技術を用いた多段階の合成プロセスが不可欠であり、また、基材もガラスのような無機固体に制限される。これに対して、我々は、最近、ポリスチレンなどの汎用性高分子と液晶性高分子をつなぎ合わせたブロック共重合体を、汎用性高分子に少量添加して加熱するだけで、ブロック共重合体が表面に偏析し、液晶の自己集合構造により主鎖が垂直に配向する現象を見いだした。さらに、この表面偏析した高分子液晶鎖は、溶媒の効果が無くとも伸びきり鎖の約 80% に相当する長さとなり、常識では考えづらい程延伸された高分子ブラシ構造を持つことがわかった。表面の液晶ブロック鎖は光配向が可能であり、基材となる汎用性高分子と液晶性ブロック共重合体の組み合わせは様々に考えられること、きわめて簡単に高密度ブラシが調製できることから、液晶配向膜や異方的な摩擦特性を示す表面改質など様々な応用展開が期待される。これらの研究成果は、ドイツ化学会誌 *Angewandte Chemie International Edition* に掲載された (*Angew. Chem. Int. Ed.*, **55**, 14028 (2016))。

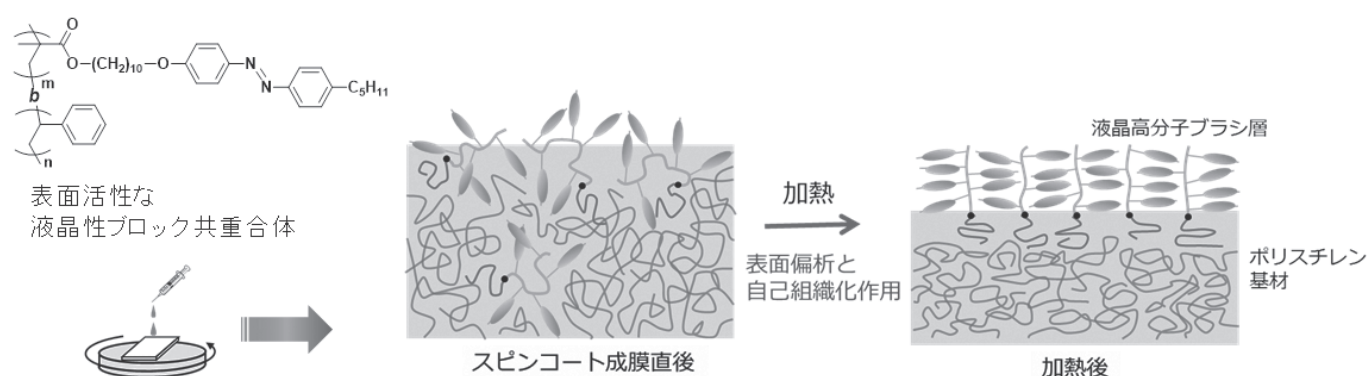


図1 表面偏析による液晶性高分子ブラシ膜の自己集合形成：汎用性高分子と液晶性高分子ブロック共重合体を混合して加熱するだけで高分子ブラシ膜が調製できる。

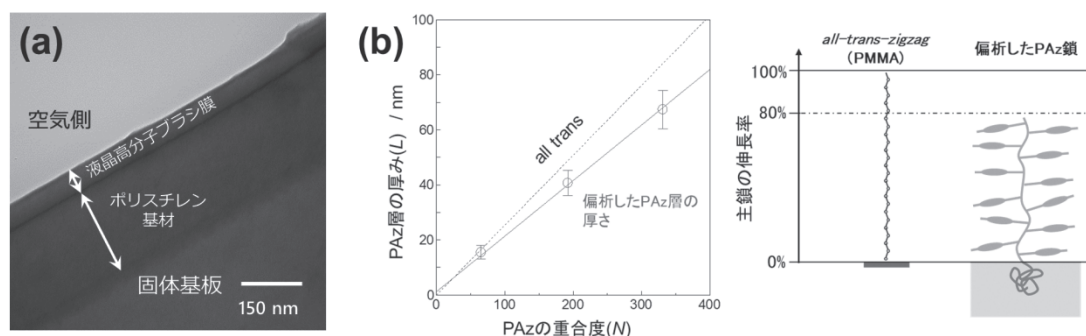


図2 (a) 膜断面の透過型顕微鏡像、液晶ブロック鎖 (PAz) の重合度と液晶ブラシ膜の膜厚の関係および主鎖の延伸状態の模式図：偏析した PAz 鎖は伸びきり鎖の 80% 程に高度に延伸された高密度高分子ブラシ構造を形成していることがわかる。

第21回VBLシンポジウム

第21回VBLシンポジウムは、「見る、観る、診る技術の最先端 分子からヒトまで」を主題として、平成29年11月21日(火)、22日(水)の2日間にわたり、名古屋大学VBLベンチャーホールにおいて開催した。

本シンポジウムは、“みる”技術に関する最先端の研究内容について、世界の研究を牽引しておられる研究者の方々に御講演頂くことで、“みる”技術の基礎から幅広い応用分野について、学び、考え、議論する機会とすることを目的として開催した。ナノテクノロジーと最先端計測技術の発展により、分子・原子レベルから材料、細胞、組織、ヒトレベルまで、“みる”技術に関する研究が急速に進展しており、化学、物理、生命科学から医学まで、幅広い学問分野において、重要な研究領域となっている。本シンポジウムでは、化学、物理、生命科学、医学の各分野において“みる”技術の最先端研究成果の講演と情報交換に加えて活発な議論がなされた。

第一日目は、VBL長 天野 浩先生の開会挨拶により開始された。最初は、名古屋大学ITbMの多喜正泰先生が、「蛍光プローブ開発と超解像顕微鏡バイオイメージング」について講演され、超解像顕微鏡イメージングのための新規有機蛍光分子の開発と細胞内の超解像イメージングおよびin vivo イメージングの最先端研究について詳細に紹介された。次に、名古屋大学院工の湯川博先生が、「量子ナノ材料によるiPS細胞イメージングと再生医療実現」と題して、量子ドットをはじめとしたナノ材料の開発とiPS細胞等の幹細胞を生体内で“みる”技術開発の最新情報と再生医療の実現を目指した研究の最先端について講演された。さらに、“みる”技術の医療応用について、名古屋大学院医の夏目敦至先生が、「脳腫瘍を見る、観る、診る」について講演され、脳腫瘍の細胞や組織をイメージングできる技術から、脳腫瘍のグレード別の遺伝子変異等の検出および脳腫瘍の診断技術まで、基礎研究から医療診断応用に関する最先端研究について、脳腫瘍手術の映像等も含めて分かりやすく解説していただいた。さらに、東京大学院医・理研の上田泰己先生が、「全身・全脳透明化の先に見えてくるもの」について講演され。脳をはじめとした臓器の透明化技術の開発と臓器の全細胞イメージングに関する最先端研究成果に加えて、小動物からマーマウスまでの全身透明化に成功した研究について紹介された。第一日目の最後には、京都大学院工の浜地 格先生が、「有機化学で細胞内のタンパク質の姿を見る」と題して、生命化学の最前線の研究における“みる”技術の重要性と、細胞内で、特定のタンパク質をラベル化できる優れた有機分子開発の最新情報と生命現象をありのままの生命の中で見るための新規研究成果に関する最先端研究について講演された。

第二日目は生体高分子の構造を観るさまざまな手法に関わっておられる先生方の講演であった。最初は、大阪大学蛋白研・名大院理の宮ノ入洋平先生が「NMRで観る」として、NMRによる構造解析のための立体整列同位体標識法(SAIL法)の発展型の新規なラベル法の開発やそれを応用した大きいタンパク質の構造解析の可能性やタンパク質分子のダイナミクス、特に新たな薬剤設計に指針ともなるタンパク質と薬剤の結合部位での分子動態の観察について講演された。次に、名古屋大学院理構造生物センターの成田哲博先生が「電子で観る」と題して近年の電子直接検出型CMOS検出器の導入で高分解能構造解析の進展の著しいクライオ法による分子イメージングについて講演され、さらに最近開発を始められたSTEMによる構造解析やパルス電子源の利用の可能性も紹介された。X線結晶構造解析では、京都大学院理の竹田一旗先生が「超精密構造解析で観る」として、超高分解能の構造解析によって可能となった、通常の構造解析では得られないタンパク質分子の精密な電子構造や水素結合の詳細について講演された。最後は量研機構の玉田太郎先生が「中性子で生体分子の形と動きを観る」と題して、非弾性散乱の利用にも触れられた後、原子炉JRR-3とJ-PARC/MLFを利用したタンパク質分子中の水素原子を含む全原子位置の構造解析についていくつかのタンパク質の成果を講演された。

第一日目の講演終了後に懇親会を開催し、講師の先生方と教員・学生との交流を行った。



平成29年度第1回VBLセミナー報告

報告者：工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外 正己

VBL 外国人研究員 (VBL 外国人客員教員、名古屋大学特任准教授) として招へいた University of New South Wales (豪州) の Jiangtao Xu 講師により、「PET-RAFT for Advanced Polymer Synthesis」と題した標記セミナーが、平成 29 年 6 月 29 日 14 時 30 分から 16 時まで VBL4 階セミナー室にて開催されました。

Xu 特任准教授らは最近、LED を用いた可視光や近赤外光によって起こる電子移動やエネルギー移動 (Photo-induced Electron or Energy Transfer: PET) に基づく、光誘起の可逆的付加開裂型 (Reversible Addition Fragmentation Chain-Transfer: RAFT) リビングラジカル重合を開発しました。本セミナーでは、その機構から始まり、利用可能な光レドックス触媒、波長による RAFT 剤の選択的活性化、酸素耐性の高い重合系の開発、シーケンスや形態が制御された高分子の精密合成、ナノ集合体の構築に至るまで、PET-RAFT の原理・特徴・展開について幅広く講演を頂きました。24 名の参加者があり、講演終了後には活発な議論が展開され、高分子のナノ構造制御に基づく機能材料開発へとつながる有意義なセミナーとなりました。



平成29年度第2回VBLセミナー報告

報告者：工学研究科 物質プロセス工学専攻 後藤 元信

IBARRA Rodolfo Morales 准教授 (Universidad Autónoma de Nuevo León (メキシコ)) のセミナーが平成 29 年 7 月 31 日 (月) 13 時 00 分から 14 時 30 分まで VBL3 階ミーティングルームで開催された。IBARRA Rodolfo Morales 准教授は VBL 招聘外国人研究員 (客員准教授) として 5 月 22 日から 8 月 4 日までの約 2 ヶ月半にわたり名古屋大学に滞在し、主に超臨界流体を用いたグラフェンナノシートの新規な調製法に関する共同研究を行い、学生に対する研究上の指導と議論を行った。

本セミナーでは、「Recycling of Thermoset Polymers and their Composites」というタイトルで、熱硬化性樹脂とその複合材のリサイクルに関する講演が行われた。

機械的方法、熱分解法、化学的方法など熱硬化性樹脂複合材の各種リサイクル法の基礎的事項から実用段階でのメキシコでの実施例などの説明に加えて、近年環境低負荷なグリーン技術として注目されている超臨界流体を用いた方法について詳しく紹介された。特に、超臨界水や超臨界アルコール中での加溶媒分解反応を利用した、炭素繊維強化プラスチック CFRP からの炭素繊維の回収技術は、高価な炭素繊維を良好な状態で回収できる手法として、本報告者と IBARRA 准教授が数年前に共同研究したもので、その後、産学共同研究や国際共同研究として展開してきている技術である。さらに、リサイクルに適した複合材の開発についての説明があり、循環型社会のために必要な材料についての知識を学ぶことができた。教員、学生を含めて、計 22 名余が参加し、活発な議論が行われた。



平成29年度第3回VBLセミナー報告

報告者：工学研究科 物質プロセス工学専攻 後藤 元信

Siti Machmudah 准教授（スラバヤ工科大学／ITS Surabaya（インドネシア））のセミナーが平成29年9月25日（月）11時00分から12時00分までVBL3階ミーティングルームで開催された。

本セミナーでは、「Hydrothermal and Solvothermal Synthesis for Composite Nanomaterials Preparation」というタイトルで、高温高圧の溶媒を用いた複合ナノ材料の調製に関する講演が行われた。

複合ナノ材料はゾルゲル法、析出法、スプレー熱分解法など様々な方法で作成されるが、臨界点近傍の流体の特異的性質を利用したハイドロサーマル法やソルボサーマル法は高機能を有するナノ材料の調製法として有望である。CeO₂-ZrO₂ および ZnO-SiO₂ の複合ナノ材料について粒子径や形態を制御することができる本手法で合成した手法ならびに結果について詳しく紹介された。これらの複合ナノ材料は固体酸化燃料電池の電極材料などとして優れた性質を有していた。

本研究を中心に基礎から応用に至るまで詳細に解説があり、亜臨界・超臨界流体を用いたナノ材料調製技術についての知識を学ぶことができた。教員、学生を含めて、計20名余が参加し、活発な議論が行われた。



平成29年度第5回VBLセミナー報告

報告者：理学研究科 物質理学専攻 阿波賀 邦夫

Nikolay A. Semenov 上級研究員（Novosibirsk Institute of Organic Chemistry）のセミナーが平成29年12月14日（木）11時00分から12時00分まで理学研究科 SA321 号室で開催された。

本セミナーでは、「1,2,5-Chalcogenadiazoles as effective electron acceptors: reduction into Radical-anions vs. formation of charge transfer complexes」というタイトルで、Semenov 先生が現在までに合成・結晶化を行ってきた窒素とカルコゲン元素を含んだヘテロ環化合物（カルコゲナジアゾール化合物）の合成と構造および物性についての講演が行われた。Semenov 先生はカルコゲナジアゾール化合物が還元により安定なラジカルアニオン種を生成することを見出しており、その結晶構造と磁気特性について報告した。また、テルル原子を含んだテルロジアゾール化合物はアニオン種と特徴的な複合体を形成することから、イオンセンサーへの応用に向けての研究計画を説明した。

ヘテロ環化合物とそのラジカル種の合成法およびそれらの物性さらに今後の応用研究への可能性について学ぶことができた。教員と学生の計20余名に加え RCMS 客員教授の Michael P. Shaver 教授にも参加いただき、Semenov 先生の研究成果について活発な議論を行った。

3. VBLの研究活動 (VBL Research Activity)

3.1 研究成果の概要

(Extended Abstracts of Research Products)

平成 29 年度の研究課題一覧

| No. | 研究題目 | 教員 | 所属 |
|-----|-----------------------------------|--------|--------------|
| 1 | 次世代ナノデバイスのための高度機能プロセスの研究 | 堀 勝 | 工・電子工学 |
| 2 | 高次機能ナノプロセスに関する研究 | 宇治原徹 | 未来材料・システム研究所 |
| 3 | 量子ナノ構造デバイスの研究 | 大野雄高 | 未来材料・システム研究所 |
| 4. | GaN 系半導体微細構造の作製と評価に関する研究 | 本田善央 | 未来材料・システム研究所 |
| 5 | シリコンナノデバイス及び分子・バイオ CMOS 融合デバイスの研究 | 中里和郎 | 工・電子工学 |
| 6 | カーボンナノ物質の成長制御と電子源応用 | 齋藤弥八 | 工・応用物理学 |
| 7 | 生体高分子解析のためのナノバイオデバイス | 馬場嘉信 | 工・生命分子化学 |
| 8 | 有機電子材料・ナノカーボン物質における新しい光・電子応答現象の探索 | 岸田英夫 | 工・応用物理学 |
| 9 | イオン液体への真空蒸着により作製する金属ナノ粒子の電極触媒活性 | 鳥本 司 | 工・応用物質化学 |
| 10 | 液晶性ブロック共重合体薄膜の光配向と応用 | 関 隆広 | 工・有機・高分子化学 |
| 11 | 個体電気化学プロセスから発現する新しいエレクトロニクス | 阿波賀邦夫 | 理・物質理学 |
| 12 | 構造制御された機能性高分子および超分子の設計と応用 | 八島栄次 | 工・有機・高分子化学 |
| 13 | DNA 二重鎖のコンフォメーション解析 | 浅沼浩之 | 工・生命分子工学 |
| 14 | 精密重合反応による機能性高分子の設計 | 上垣外正己 | 工・有機・高分子化学 |
| 15 | たんぱく質の高圧構造解析と分子設計 | 渡邊信久 | シンクロトン |
| 16 | KaiC 概日時計の動作プログラム | 近藤孝男 | 理・生命理学 |
| 17 | 高分子の破壊シミュレーション | 藤本和士 | 工・応用物質化学 |
| 18 | 水素透過合金の電子状態の解析 | 湯川 宏 | 工・材料デザイン |
| 19 | 第一原理計算による白金族元素のフェロシアン化物への吸着機構解析 | 渡邊真太 | 工・エネルギー理工学 |
| 20 | かご状超分子錯体とフラーレンの超分子複合体の構造評価 | 河野 慎一郎 | 理・物質理学 |
| 21 | CNT に内包された CsI の TEM による構造評価 | 齋藤 弥八 | 工・応用物理学 |

Crystal orientation dependence of electrodeposition morphology of Li metal on Cu current collectors

Graduate School of Engineering, Department of Materials Science and Engineering
Kohei Ishikawa (DC2)
Institute of Materials and Systems for Sustainability
Toru Ujihara (Professor)

Rechargeable Li metal batteries offer improved energy densities in comparison with Li-ion batteries. However, short circuit due to non-uniform depositions on charging prevents them from commercialization. A number of methods such as additives in electrolyte and pulse charging have been proposed to suppress dendritic growth, but sufficient control has not been achieved. Meanwhile, it is well known that the morphology of deposited metal highly depends on crystal orientation of the substrate. In case of Zn, Ni, Pb, and Cd, for example, the morphology of these electrodeposited metal on Cu varies with the crystal orientation [1]. Mitsuhashi et al. [2] have also reported that the crystal orientation of the substrate affects the Zn morphology, and the substrate with the (0001) plane is likely to initiate non-uniform deposition. In an analogous way, the morphology of Li precipitates should also be affected by the crystal orientation of the current collector. However, few studies have approached the problem from this perspective. In the present study, we investigated the relationship between morphology of Li electrodeposition and crystal orientation of a Cu collector.

Li was deposited on Cu current collectors from an organic electrolyte (EC : EMC = 1 : 1) with 1.0 M LiPF₆. The current density and charge capacity were set to 5.0 mA/cm², and 0.1 mAh/cm², respectively. Fig. 1 (a) shows the crystal orientation mapping of the Cu collectors before Li electrodeposition by electron backscatter diffraction (EBSD). It is confirmed that the collector is polycrystalline. Fig. 1 (b) shows the scanning electron microscope (SEM) image of deposited Li at the same area. It shows that morphology of Li is affected by the orientation of the collector. Figs. 1 (c) and (d) are magnified images of the areas indicated as (c) and (d) in Fig. 1 (b), respectively. Though the morphology of Li is granular in both images, there is a clear difference in its size. Image analysis for 100 different polycrystalline grains revealed that Li deposited on low index planes is small and aggregates densely. Furthermore, this tendency is significant on the collector with the (111) plane, that is, morphology of Li on the (111) plane is the most compact. This result suggests that (111)-oriented Cu current collectors have an effect on suppression of non-uniformity of deposited Li.

[1] S. Itoh, N. Yamazoe, T. Seiyama, *Surf. Technol.*, **5**, 27, (1977).

[2] T. Mitsuhashi, Y. Ito, Y. Takeuchi, S. Harada, T. Ujihara, *Thin Solid Films*, **590**, 207 (2015).

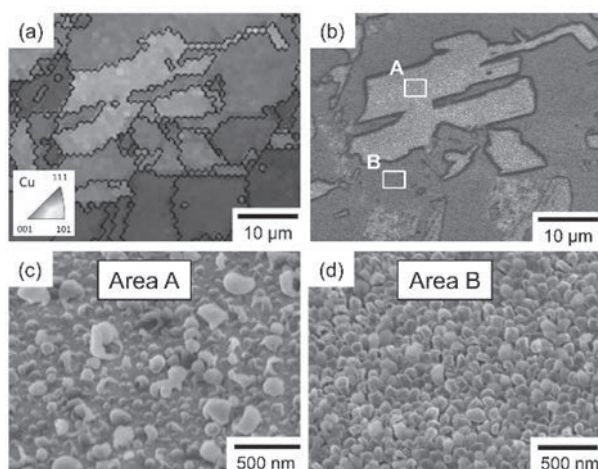


Fig. 1 (a) Crystal orientation mapping of the bare Cu current collector by EBSD, (b) SEM image of deposited Li on the same area as (a), and (c)–(d) Magnified images.

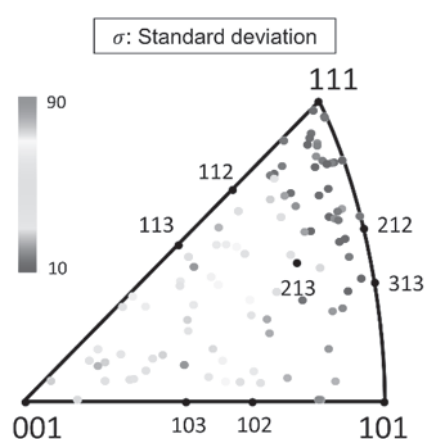


Fig. 2 Standard deviations of precipitate diameters

カーボンナノマテリアルの創製とデバイス応用 Development of carbon nanomaterials and their device applications

未来材料・システム研究所, 工学研究科 電子情報システム専攻・電子工学専攻, VBL
大野雄高 (教授), 岸本茂 (助教), 廣谷潤 (助教), 稲葉優文(博士研究員), 松永正広(博士研究員),
金冨男(博士研究員), Tan Fu-Wen (D1), 内山春貴(M2), 曾田充俊(M2), 岡村卓弥(M2), 長谷川加奈(M2),
松浦智紀(M2), 鹿嶋大雅 (M1), 西村圭太(M1), 西涼平(M1)

カーボンナノチューブ (CNT) 薄膜は柔軟なプラスチック基板上に簡便な方法により成膜でき、高性能な薄膜トランジスタ(TFT)やセンサを実現できることから、柔軟なウェアラブルエレクトロニクスへの応用が期待されている。今年度は、プラスチック基板上に CNT TFT を用いてアナログ集積回路を実現する基盤の構築を進めた。また、CNT バイオセンサについても、その基本的特性の理解を進め、電解液のイオン強度や pH に対する応答とその機構を調べた。また、ウェアラブルデバイスの電源として可能性のあるエネルギーハーベスティング技術についても新たに検討を始めた。

アナログ集積回路についてはシミュレーションを用いた設計基盤が必要不可欠であるが、従来、精度の高い CNT TFT の素子モデルが存在しなかった。本研究では、多数の CNT TFT の詳細な電気特性評価から、ドレイン電流とゲート容量の電圧特性を精密にモデル化するとともに、素子バラツキについても統計的な評価を行い、モンテカルロ法に基づく CNT 回路の回路シミュレーション基盤を構築した。

上記のモデルに基づき、回路シミュレーションを用いて、各種アナログ集積回路の設計を進めた。特に、 $\Delta \Sigma$ A/D 変換器については、CNT TFT の素子バラツキを考慮した回路構成を検討し、比較的大きな素子バラツキがあるにも関わらず、シミュレーション上で正常な動作が得られる可能性を得た。差動増幅器については、特に、素子特性のしきい値ドリフトなどの安定性にも着目しながら、回路設計を進め、保護膜を形成した n 型 CNT TFT を用いるとともに、負荷に Bootstrapped Gain Enhancement Load を導入することにより、少数素子での高利得とバラツキ耐性が得られることを明らかにした。

柔軟なプラスチック基板上に半導体 CNT を用いて初めて差動増幅器を実証した。正弦波の入力信号に対して差動増幅動作を確認し、電圧利得 62 (35.9 dB)を得た。周波数特性においては、一般的な差動増幅回路と同様に -20 dB/decade で利得が減衰することを確認した。カットオフ周波数(-3dB)は 20Hz であった。

CNT TFT のバイオセンサ応用において、電解液中の電気的特性を理解することが重要である。今年度は、pH およびイオン濃度に対する CNT 薄膜の電気的特性を詳細に調べ、その応答の等価回路モデルを提案した。具体的には、CNT TFT のドレイン電流が電解液の pH およびイオン濃度に依存することを明らかにし、その機構を CNT 表面に存在する官能基の電荷を考慮すると説明できることを明らかにした。この振る舞いから、表面官能基を MOSFET の表面電荷トラップと同様に考えることができ、その電気的特性を表す等価回路モデルを提案した。

エネルギーハーベスティング技術については、CNT 薄膜を用いた 2 種類の柔軟な発電素子の検討を開始した。ひとつは、流体発電である。CNT 薄膜上を電解液が移動すると CNT 薄膜の両端に起電力が生ずる。今年度は、発電機構の理解を進めるとともに、それに基づき、高出力化の指針を得た。もう一つは、摩擦帯電を利用した発電技術である。CNT 薄膜を用いることにより、透明で伸縮性のある摩擦発電シートを実現するとともに、表面処理により大幅な出力向上を実現した。直列接続された 100 個の青色 LED の駆動が可能であった。

多層カーボンナノチューブへの通電による構造変化と発光その場 TEM 観察 In-situ transmission electron microscopy of structural changes and luminescence of a multiwall carbon nanotube during Joule heating

工学研究科 応用物理学専攻
安坂 幸師(講師)、西川耕史(M2)、齋藤弥八(教授)

ナノメートルサイズの直径を有した一次元形状のカーボンナノチューブは、高い引張強度を有し、化学的
表面安定性や高温耐熱性に優れ、大電流密度を維持
できることから、通電加熱により局所領域を加熱する
極微細なフィラメント材料として期待されている。最近、
我々は、透過電子顕微鏡内で単一の多層カーボンナ
ノチューブ(MWNT)へ通電したとき、MWNT からの発
光を観測した。本研究では、通電による MWNT の構
造変化を観察しながら発光をその場測定した結果に
ついて報告する。

アーク放電法により作製した MWNT をイソプロピル
アルコールに分散させ、金(Au)基板先端に誘電泳動
法により固定した。透過電子顕微鏡内で Au 基板から
突出した MWNT 先端を Au 被覆タングステン(W)針先
端に接触させて架橋した。MWNT の両端に電圧を印
加して通電し、通電による MWNT の構造変化を透過
電子顕微鏡法により連続的に観察すると同時に、そ
の場で MWNT からの発光を光学的分光法により測定
した。印加電圧や電流、発光スペクトルを透過電子顕
微鏡像の観察時間と同期して記録した。

通電前、MWNT の架橋長さは約 250 nm、直径は
25 nm であった。MWNT へ 200 μ A 以上通電すると、
MWNT と Au 被覆 W 針が接触している近くで、MWNT
は外層が剥離し、最終的に破断した。破断後、残存し
た MWNT の層数は約 11 層であり、その先端は閉殻
構造であった。引き続き、残存した MWNT 先端を Au
被覆 W 針に接触させて通電した。このときの MWNT
への通電による構造変化を観察した高分解能像時系
列を図 1 に示す。電圧 1.5 V を印加すると、電流が約
250 μ A 流れるとともに、MWNT の外層と内層が剥離
して消失した(図 1(a)-(d))。最終的に MWNT の層数
は、約 4 層まで減少した(図 1(e))。

図 2 に、図 1(d)のナノチューブから測定した発光ス
ペクトルを示す。スペクトルには、黒体放射に由来す
るスペクトルとは別にスペクトルピークが観察される。
図 2 のスペクトルについてピークフィッティングしたと
ころ、613、700、753、799、851 nm にスペクトルピーク
を有する発光であることがわかった。MWNT 各層の直
径から各ファン・ホープ特異点間のエネルギーを見積
もり、発光のエネルギーと比較した結果、観測された
発光の起源は、カーボンナノチューブのファン・ホー
プ特異点間での光学遷移に由来する発光であること
が推測された。

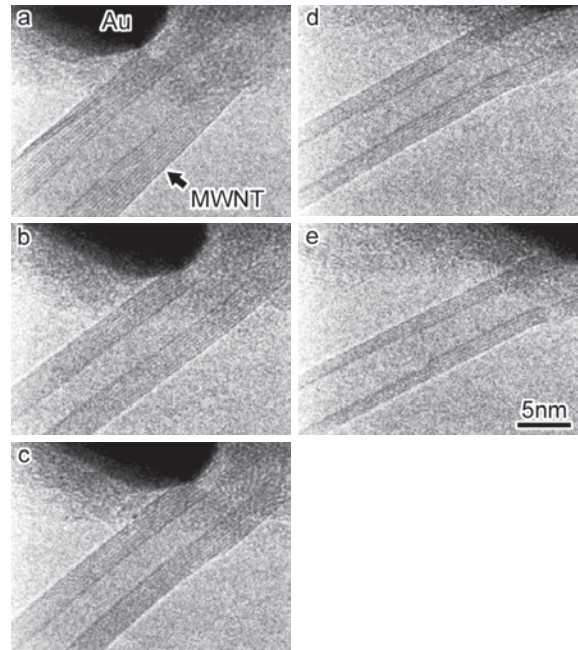


図 1 多層カーボンナノチューブへの通電による構造変化を観察したときの高分解能像時系列。MWNT への通電により、MWNT の外層と内層が消失し、層数は(a) 10-11 層、(b) 8 層、(c) 7 層、(d) 5-6 層、(e) 4-5 層と減少した。

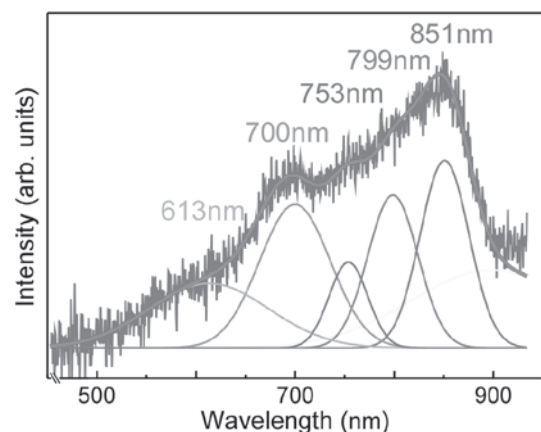


図 2 多層カーボンナノチューブからの発光スペクトル。発光スペクトルは黒体放射由来のスペクトルに、613、700、753、799、851 nm のスペクトルピークが重畳している。

ナノバイオデバイスと人工知能による細胞外微粒子計測 AI-Powered Nanobiodevice-based Analysis of Extracellular Particles including Exosomes, PM2.5, and Bioaerosols

工学研究科 生命分子工学専攻

安井隆雄 (助教)、小野島大介(特任講師)、湯川博(特任講師)、加地範匡(准教授)、馬場嘉信(教授)

細胞外微粒子は、平成 29 年度 文部科学省戦略目標「細胞外微粒子により惹起される生体応答の機序解明と制御」に選ばれ、CREST「細胞外微粒子に起因する生命現象の解明とその制御に向けた基盤技術の創出」およびさがけが開始された新しい研究領域である。細胞外微粒子とは、細胞外に存在する微粒子のうち、生体内外にあって、生体との相互作用が我々の健康等に重要な影響を及ぼすものであり、エクソソーム等の細胞外小胞、バクテリア、ウイルス、PM2.5、バイオエアロゾルなどのものから、ナノ粒子、ナノ材料、ナノ DDS 材料などの材料まで、幅広い微粒子群を含む。

本研究では、ナノバイオデバイスと人工知能に基づいて、これら多くの種類の微粒子を検出するためのマイクロ流体ブリッジ回路およびナノポアの開発と、エクソソーム等の微粒子を効率よく分離できるナノワイヤデバイスの開発を行った。

細胞外微粒子は、数 nm～数十 μm と幅広いサイズ分布を有する、また、形状、含有物も大きく異なっている。このような細胞外微粒子を検出するために、新たにマイクロ流体ブリッジ回路を開発した(図 1 左)[1]。また、低アスペクト比ナノポアを開発し、人工知能と応用することで細菌の超高精度識別に成功した[2]。本技術により、ナノサイズの微粒子、ウイルス、バクテリアからマイクロサイズの細胞、PM2.5 までの極めてダイナミックレンジの広いサイズを有する細胞外微粒子を超高感度・迅速に検出することが可能になった。さらに、機械学習などの人工知能と組み合わせることにより、高精度に細胞外微粒子の同定が可能になった。

さらに、金属酸化物の原子層積層等により精緻にナノワイヤ構造を構築することに成功し、生体試料中の夾雑物から細胞外微粒子であるエクソソームの高効率分離[3]に成功するとともに、環境試料中の夾雑物から PM2.5 やバイオエアロゾル等を選択的に分離できる技術を開発した(図 1 右)。

現在、これらの技術は、名古屋大学大学院医学系研究科、名古屋大学病院、国立がん研究センター等の医療機関において応用されており、臨床研究へと発展している。

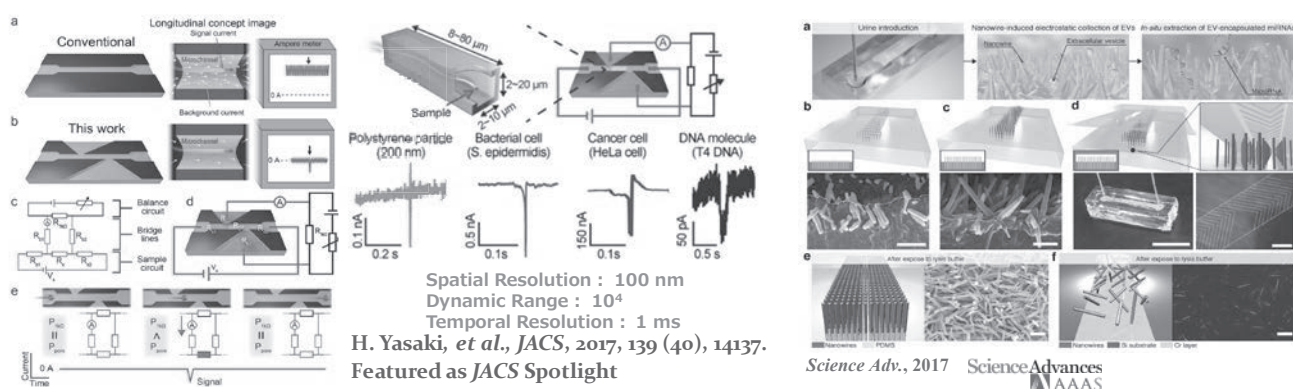


図 1 左：マイクロ流体ブリッジ回路[1]、右：ナノワイヤによるエクソソーム捕捉[3]

1. Hirotohi Yasaki, Takao Yasui, Takeshi Yanagida, Noritada Kaji, Masaki Kanai, Kazuki Nagashima, Tomoji Kawai, Yoshinobu Baba, *J. Am. Chem. Soc.*, 2017, 139 (40), 14137-14142. Featured as JACS Spotlight.
2. Makusu Tsutsui, Takeshi Yoshida, Kazumichi Yokota, Hirotohi Yasaki, Takao Yasui, Akihide Arima, Wataru Tonomura, Kazuki Nagashima, Takeshi Yanagida, Noritada Kaji, Masateru Taniguchi, Takashi Washio, Yoshinobu Baba, Tomoji Kawai, *Scientific Reports*, 7, 17371 (2017).
3. T. Yasui, T. Yanagida, S. Ito, Y. Konakade, D. Takeshita, T. Naganawa, K. Nagashima, T. Shimada, N. Kaji, Y. Nakamura, I. A. Thiodorus, Y. He, S. Rahong, M. Kanai, H. Yukawa, T. Ochiya, T. Kawai, Y. Baba, *Science Advances*, Vol. 3, No. 12, e1701133 (2017).

有機電子材料・ナノカーボン物質における新しい光・電子応答現象の探索

Search for novel optical and electronic responses in organic electronic materials and nanocarbons

工学研究科 応用物理学専攻
岸田英夫(教授)、小山剛史(准教授)、中村優斗(助教)、
水越和志(D2)、大橋亮介(M2)、横山嵩弘(M2)

本課題では、共役系高分子、有機電荷移動錯体、多環芳香族炭化水素などの様々な有機電子材料やナノカーボン物質を対象に光・電子応答の物理的機構の解明を行うとともに、新しい現象や機能性の探索を行った。以下では、2017年度に行った研究の内、二つの内容について報告する。

(1) 多環芳香族炭化水素の光学応答

多環芳香族炭化水素(Polycyclic Aromatic Hydrocarbon: PAH)は高い対称性を有する π 電子材料として着目されている。また、その構造はグラフェンの部分構造と類似していることから、電子状態の理解や特徴的な電子状態の利用を目指した研究が行われている。我々は、これらの分子の光学応答を対称性の観点から明らかにし、 π 電子材料として応用することを目指している。

PAH分子であるコロネンおよびベンゾ[ghi]ペリレン(benzo[ghi]perylene: bper)に着目し研究を行った。コロネンやbperは各々、単結晶を形成する。また、アクセプター性分子との有機錯体結晶を形成する。このような結晶などの凝集体の電子状態を理解するためには、その構成要素である各分子の電子状態を明らかにすることが重要である。本研究では、コロネンとbperをそれぞれポリメタクリル酸メチルに分散させた薄膜を作製し、その光学応答を調べた。通常吸収スペクトル測定に加え、電場変調吸収スペクトル測定を行った。薄膜試料を透明電極基板上に成膜し、さらにその上に電極用として半透明な金属薄膜を成膜した。二つの電極間に交流電場を印加し、その交流電場に同期した光学応答の変化をロックイン検出することにより、透過光強度の変化を観測し、変化分のスペクトルを得た。透過光強度の変化は吸収強度の変化に対応している。測定結果を詳細に解析することにより、励起状態の電子構造を明らかにするとともに、その電場応答を明らかにした。

(2) ナノカーボン物質の光学応答

ナノカーボン物質は多彩な構造をとり、その構造に由来した特徴的な光学応答を示すことから、さまざまな光学的な応用が検討されている。特にカーボンナノチューブにおいては、その一次元性やチューブ状構造に起因した物性や機能性に関する研究がこれまで多くなされてきた。我々も、チューブ内の空間に分子を内包させ、新たな機能性の発現を目指した研究を行ってきた[1,2]。また、ナノチューブの電子系は一次元性に由来した特徴的な光学特性を示す。単層カーボンナノチューブにおいては、電子遷移に関わる振動子強度が、その構造(らせん性)に応じ特定の光子エネルギーに集中する。この振動子強度の集中は光学応用の観点から魅力的である。我々は三次の光学非線形性に着目し、単層カーボンナノチューブ薄膜の三次非線形感受率スペクトルを第三高調波発生法により測定した。第三高調波発生などの非線形光学過程は、多光子過程として理解される。実験により得られた非線形感受率スペクトルを解析することにより、カーボンナノチューブにおいて、どのような多光子過程により第三高調波が発生しているかを明らかにした。

- [1] Makoto Sasaki, Takeshi Koyama, Hideo Kishida, Koji Asaka, Yahachi Saito, Yukihiro Yoshida, and Gunzi Saito, "Facile Synthetic Route to Atomically Thin Conductive Wires from Single-Species Molecules in One-Dimensionally Confined Space: Doped Conjugated Polymers inside Single-Walled Carbon Nanotubes", *The Journal of Physical Chemistry Letters* **8**, 1702–1706 (2017).
- [2] Takeshi Koyama, Kazuma Fujiki, Yuya Nagasawa, Susumu Okada, Koji Asaka, Yahachi Saito, and Hideo Kishida, "Different Molecular Arrangement of Perylene in Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes: Impact of van der Waals Interaction", *The Journal of Physical Chemistry C* **122**, 5805–5812 (2018).

ヘテロ接合をもつ ZnS-AgInS₂ 固溶体ナノ粒子の作製と光化学特性 Preparation of ZnS-AgInS₂ Solid Solution Nanoparticles with Heterojunction and Their Photochemical Properties

工学研究科 応用物質化学専攻 小山 晟矢(M2), 亀山達矢(助教), 鳥本 司(教授)

【はじめに】半導体ナノ粒子の光触媒特性を向上させるアプローチとして、粒子内部に Type II ヘテロ構造を形成させ、光励起したキャリアの再結合を抑制する方法が注目されている。私たちの研究グループではこれまでに、低毒性元素からなる ZnS-AgInS₂ 固溶体半導体 ((AgIn)_xZn_{2(1-x)}S₂, ZAIS) ナノ粒子を合成し、その粒子組成とサイズを最適化することによって水素発生反応の光触媒活性を大きく向上させることに成功した [1]。しかし、ZAIS ナノ粒子を用いるヘテロ接合ナノ構造体の作製とその高精度なナノ構造制御法は未だ確立されていない。そこで本研究ではロッド形状 ZAIS 粒子を種結晶として、その両端に固溶体組成の異なる ZAIS ナノ粒子を液相成長させることで、粒子内部にヘテロ接合をもつダンベル形状ナノ粒子を作製し、光触媒活性に及ぼす粒子形状・組成の影響を調査した[2]。

【実験】ダンベル形状粒子は、ロッド形状 ZAIS 粒子 (組成 $x=0.24$) を Zn, Ag, In の金属酢酸塩およびチオ尿素を含むオレイルアミン/1-ドデカンチオール混合溶媒中に溶解させ、加熱することで作製した。副生する楕円球状粒子をサイズ選択的沈殿法により除去しダンベル形状粒子を単離・精製した。正孔捕捉剤として Na₂S を含む水/2-プロパノール混合溶液 (1:1) に ZAIS ナノ粒子を分散させて Xe ランプ光を照射 ($\lambda > 350$ nm) し、発生する水素量を定量して光触媒活性を評価した。

【結果】TEM 観察により、ほぼすべてのロッド形状粒子の両端にコントラストの異なる楕円球状粒子が接合し、ダンベル形状粒子が生成したことがわかった(Fig.1 (a))。1つの粒子の末端部分の高分解能 HAADF-STEM 像(Fig.1(b))では、ZAIS ロッド長軸が $\langle 11\text{-}20 \rangle$ 方向に沿って成長し、さらに末端から楕円球状粒子がエピタキシャル成長した様子が観察できる。各部分の ZAIS 固溶体組成をナノスケール EDS 分析により求めると、ロッド部分を用いたロッド形状粒子 ($x=0.24$)の組成とほぼ同じであったが、末端の楕円球部分ではロッド部分よりも Zn の含有割合の少ない ZAIS 結晶組成であることがわかった。また、粒子合成時の前駆体金属酢酸塩の濃度比 (Ag:In:Zn) を変化させることで、ダンベル形状粒子の末端部分の組成を自在に制御できた。

大気中光電子分光より電子エネルギー構造を推定したところ、ダンベル形状 ZAIS ナノ粒子では楕円球状部分およびロッド形状部分の価電子帯位置にはほとんど差は無いが、楕円球状部分の伝導帯位置はロッド形状部分のものよりも低い電子エネルギー準位にあり、準 Type II ヘテロ構造が形成されていることがわかった。これらの ZAIS ナノ粒子を光触媒として H₂ 発生反応を行うと(Fig. 2)、その活性は粒子形状に大きく依存して変化し、ロッド形状<楕円球形状<ダンベル形状の順で増大した。さらに末端の楕円球状部分の Zn 含有割合が増大するほど、ダンベル形状粒子の光触媒活性が大きくなった。これらのことは準 Type II ヘテロ構造により光生成キャリアの再結合が抑制されたためであり、ダンベル形状粒子中の光励起電子が楕円球部分に優先的に集まり H⁺を H₂へと還元すること、さらにその励起電子のエネルギー準位は、楕円球状部分の Zn 含有割合の増大によって高くなることが示唆された。

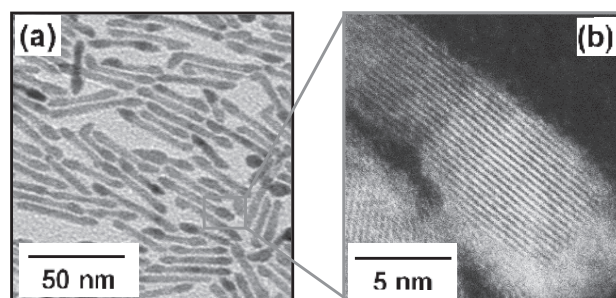


Fig. 1. (a) A wide-area TEM image of dumbbell-shaped ZAIS nanoparticles. (b) A HAADF-STEM image of the heterojunction of the dumbbell-shaped particle.

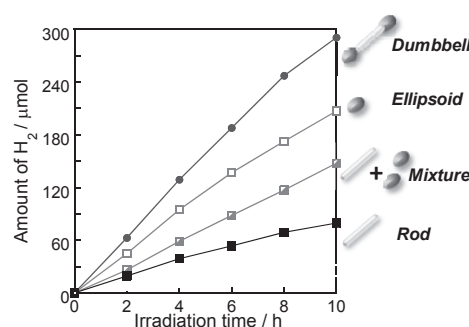


Fig. 2. Time courses of H₂ evolution with ZAIS nanoparticles with various shapes.

【参考文献】 [1] T. Torimoto *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **8**, 27151-27161 (2016). [2] T. Torimoto *et al.*, *J. Phys. Chem. C.*, in press (2018) . DOI:10. 1021/acs. jpc. 8b00255.

絶縁層の分極電流により駆動する交流光電変換セル

AC photoelectric conversion cells driven by polarization current of insulator layers

理学研究科 物質理学専攻(化学系)・理学部 化学科
横倉 聖也・松下 未知雄・阿波賀 邦夫

一般に有機光電変換素子では、半導体層で生じる光誘起キャリアを電極から取り出し、電気エネルギーを得るため、その金属-半導体界面の設計が重要となる。一方我々は、電極(M)/絶縁層(I)/半導体層(S)/電極(M)(MISM 構造)からなる光電セルにおいて巨大な光過渡電流が発生することを見出した。このセルでは、光誘起キャリアが M/I 及び I/S 界面に蓄積され、I 層の分極を誘起し、その分極が光電荷分離を促進するという正のスパイラスにより光過渡電流を巨大化する。また光照射を止めた際に、蓄積された電荷の放電により逆向きの電流が流れるため、このセルは変調光を交流電流に変換するのも特徴である。これまでに I 層にポリマー誘電体やイオン液体等様々な材料を用いた MISM セルを報告している¹⁾。

本研究では、さらに I 層を加えた MISIM 構造の交流光電変換セルを作製した(図 1)。このセルに 620nm (LED) の変調光 (10Hz~10kHz の断続光) を照射したところ、過渡光電流が観測された。このセルでは S 層の両側が I 層により絶縁されているため、S 層で発生した光誘起キャリアは直接電極に流れ込むことはできない。それにもかかわらず過渡電流が観察されるのは、発生したキャリアが各 I/S 界面に蓄積し、I 層の分極変化を通じて負荷回路側に電流が観測されるためと考えられる。光の on/off に伴い電極間をキャリアが振動することで交流電流が出力される点では先に報告した MISM 構造の素子と共通するが、このセルでは通常の有機光電変換素子でも問題となる M/S 層間の接触抵抗が排除されるため、潜在的により高い変換効率が期待される。

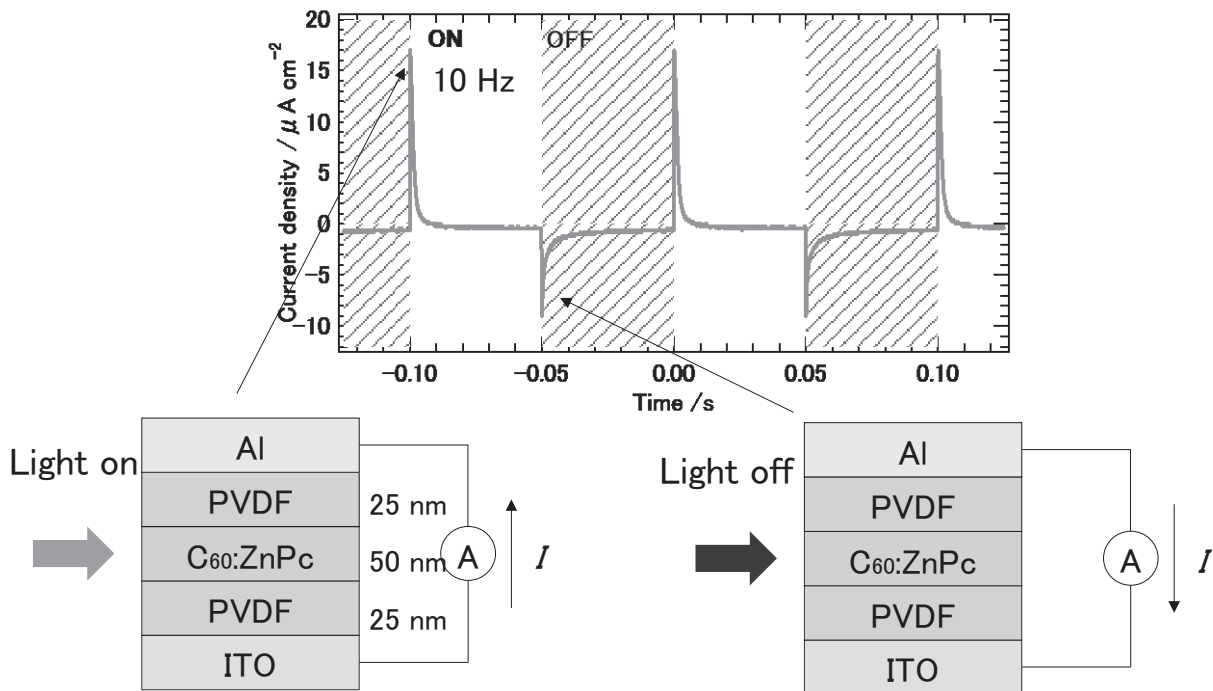


図 1 MISIM 構造の光電変換セルの構造と変調光の照射による交流信号発生

1) L. Hu, *et al.*, *J. Mater. Chem. C*, **2015**, 3, 5122.

ランダムプレーナー配向性を示す光応答性液晶高分子の設計と
有機 - 無機ハイブリッドマイクロ相分離構造の光配向への展開

工学研究科有機・高分子化学専攻 大塚祐実(M2), 永野修作(准教授), 関 隆広(教授)

側鎖型液晶高分子は、排除体積効果からホメオトロピック配向性を示すことが多く、特に、光応答性のアゾベンゼン(Az)分子を側鎖に導入した側鎖型光応答性液晶高分子(PAz)は、光反応に不向きな配向性となる。当研究グループでは、PAz からなるブロック共重合体の薄膜に偏光照射を行うことで液晶相およびマイクロ相分離構造の光配向制御や光配向スイッチングを報告している[1, 2]。しかし、PAz のホメオトロピック配向性のため、配向時の精密な温度制御や薄膜表面の偏析構造の設計など、複雑なプロセスを必要とする課題があった。本研究では、ランダムプレーナー配向性の光応答性液晶高分子を設計し、高い偏光光応答性を持つ液晶性ブロック共重合体の創出とブロック共重合体リソグラフィ(BCL)材料への展開を目的とした。

側鎖型液晶のポリシアノビフェニルメタクリレート(PCB)は、例外的にランダムプレーナー配向性を示すことが報告されている[3]。一方、かご型シルセスキオキサン(POSS)側鎖を持つ高分子(PPOSS)は、酸素プラズマに対するエッチング耐性が高く、BCL材料として有望なブロック鎖である [4]。配向性の異なるPCBとPAzを適切な共重合比によりランダム共重合とすることで、ランダムプレーナー配向性の光応答性高分子液晶(P(CB_m-r-Az_n))を設計し、PPOSSとのジブロック共重合化による有機-無機ハイブリッドマイクロ相分離構造の創出および光配向制御を試みた結果について報告する。

P(CB_{0.7}-r-Az_{0.3})-b-PMAPOSS (Figure 1)を2段階RAFT重合によって合成し、このブロック共重合体のスピコート膜を作製した。可視光(436nm)のLPL照射に伴う液晶相およびマイクロ相分離構造の配向構造を紫外可視吸収スペクトル測定、斜入射X線散乱(GI-SAXS)測定、原子間力顕微鏡 (AFM) にて解析した。

P(CB_{0.7}-r-Az_{0.3})-b-PPOSS (Figure 1)薄膜の紫外可視吸収スペクトル測定およびGI-SAXS測定の結果から、P(CB-*r*-Az)-b-PPOSS中の液晶相が薄膜にてランダムプレーナー配向となることがわかった。この薄膜に液晶温度下でLPLを照射し、偏光吸収スペクトル測定を行ったところ、高い二色性が観察された。LPLの偏光電場に対して、平行方向および垂直方向にX線を入射したときのGI-SAXS測定を行った結果、平行方向にX線を入射したときは、面内方向に液晶のスメクチック相由来の散乱のみが観察され、垂直方向にX線を入射したときは、面内方向の小角領域にマイクロ相分離ラメラ構造由来の散乱が観測された。これらの結果から、ブロック共重合体の液晶相およびマイクロ相分離構造が、光によって面内一軸配向したことが明らかになった。

- [1] Y. Morikawa et. al., *Chem. Mater.*, **19**, 1540-1542 (2007)
 [2] S. Nagano et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, **51**, 5884-5888 (2012)
 [3] D. Tanaka et al., *Langmuir*, **31**, 11379-11383 (2015)
 [4] T. Hayakawa et al., *Macromolecules*, **42**, 8835-8843 (2009)

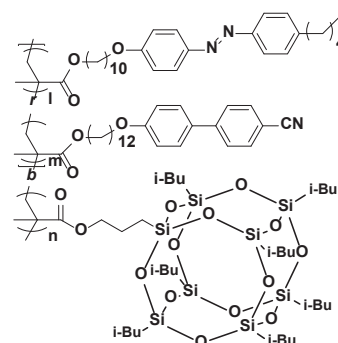


Fig. 1. Molecular structure of synthesized diblock copolymer, P(CB-*r*-Az)-*b*-PPOSS

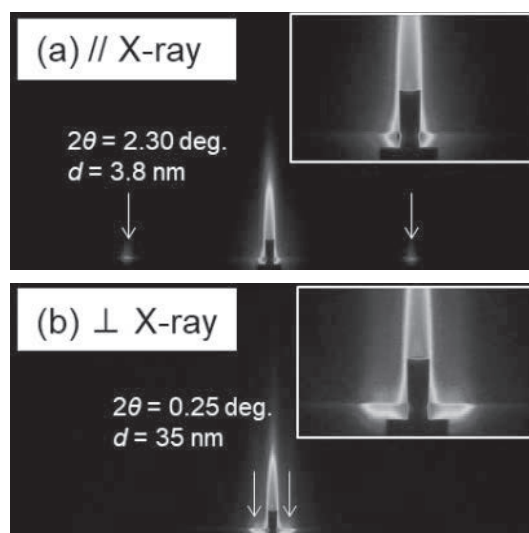


Fig. 2. 2D GI-SAXS images for a P(CB-*r*-Az)-*b*-PPOSS film taken by incident X-ray beam parallel (a) and perpendicular (b) to the electric field of irradiated LPL. Insets in the both images indicate the magnified figures of the small angle regions.

高分子・超分子のらせん構造制御と機能発現に関する研究 Studies on helicity control of polymers and supramolecules and their functions

工学研究科 有機・高分子化学専攻
八島栄次 (教授)、逢坂直樹 (講師)、田浦大輔 (助教)

水素結合を駆動力としたらせんフォルダマーの超分子重合と金属の配位によるらせん構造・らせん空孔の可逆的構造変換

汎用性のプラスチックであるシンジオタクチックポリメタクリル酸メチルをはじめ多種多様のラセン高分子・二重ラセンには、ユニークなラセン空間・空孔が存在し、特異な不斉反応場や不斉識別の場として機能することを実証している。本研究では、らせん空孔を自在にスイッチ可能ならせんフォルダマーおよびその自己集合（超分子重合）に由来するナノチューブの合成、さらに、外部刺激によるナノチューブのらせん構造・らせん空孔の制御を目指し検討を行った。まずモノマーとして、キラルな L-Ala 残基を導入したオリゴアミドを側鎖に有するビフェニル誘導体を合成し、ジアルデヒドとの重縮合により、フォルダマー (**1**) を得た。各種スペクトル測定から、**1** が分子内水素結合を駆動力として、極性溶媒に対しても安定ならせん構造を形成することが明らかになった。また、**1** のサイズ排除クロマトグラフィー (SEC) 測定や原子間力顕微鏡 (AFM) 観察により、**1** 同士が分子間水素結合を駆動力として積層し、超分子重合することでらせんナノチューブが生成することを見出した。

次に、フォルダマーおよびその超分子らせんポリマーが形成するらせん構造およびらせん空孔の可逆的構造変換について検討した。らせん空孔内部に導入した 2,6-ピリジンビス (アシルヒドラゾン) リンカーは、金属イオンの配位を駆動力として構造が W 字型から U 字型に変化し、さらに、紫外光照射によるイミン結合の E-Z 異性化を介して S 字型構造に変化することが知られている。この特徴を活用し、Ag (I) の添加と除去を交互に行うことにより、フォルダマーが積層して生成したらせん状の超分子ナノチューブの空孔の構造を可逆的に変換することに初めて成功した。興味深いことに、Ag (I) がリンカー部位の一部に配位することで、隣接するリンカーの構造も Ag (I) の配位に適した U 字型に変化するという正の協同効果を示すことも見出した。さらに、イミン結合の光照射による E-Z 異性化を介して、リンカー部位の構造が W/U 字型から S 字型へと変化し、その結果、らせん構造のさらなる構造変換も可能であることも実証した。本研究成果は、キラルならせん空孔を新たな不斉反応場に用いた、これまでに報告例のない、外部刺激に応答して不斉触媒能や不斉識別能をスイッチ可能ならせん状超分子ナノチューブの開発に繋がると期待される。



高分子の構造制御と機能発現に関する研究

Studies on structure control and functions of macromolecules

工学研究科 有機・高分子化学専攻
上垣外正己（教授）、佐藤浩太郎（准教授）、内山峰人（助教）

本研究では、構造が制御された高分子の合成手法の開発と、制御された高分子の構造に基づく機能の発現などに関する研究を進めている。本年度の成果のうちのいくつかを下記に述べる。

（１）交換連鎖移動（DT）機構による新規リビングカチオン重合系の開発

近年、種々の重合系においてリビング重合が可能となり、分子量の制御に加え構造の制御されたさまざまな高分子の精密合成が可能となり、一次構造制御に基づく機能性高分子の構築に関する研究が広く行われている。ビニル化合物のカチオン重合においては、炭素—ハロゲン結合などの共有結合をドーマント種として用い、金属ルイス酸で可逆的に活性化し炭素カチオンを生成させることで、リビングカチオン重合が可能となっている。最近、本研究室において、チオカルボニル化合物などの炭素—硫黄結合を、少量のプロトン酸から生じる炭素カチオンにより可逆的に活性化することで、交換連鎖移動（DT）機構に基づく新しいリビングカチオン重合系を見出した。本年度は、このカチオン重合系を、同様な炭素—硫黄結合をドーマント種としDT機構で進行するRAFTラジカル重合と組み合わせることで、リンキング反応に基づく星型ポリマーの合成法において、さまざまなアプローチが可能となることを明らかとし、その生成経路について解析を行った。

（２）活性種変換に基づく新規重合系の開発とモノマー連鎖制御による新しい共重合体の合成

ビニル化合物は、ラジカル重合、アニオン重合、カチオン重合、配位重合などさまざまな重合系により重合されるが、重合活性種の性質により、各重合系で重合可能なモノマーの種類に制約がある。重合活性種の枠を越えた広いモノマー範囲から共重合体の合成が可能になれば、これまでにない新しい高分子の設計が期待される。本研究室では、さまざまなリビング重合系において、重合反応の制御に用いられている共有結合種であるドーマント種を介して、活性種の変換を行うことで新しいポリマー設計に関する研究を展開している。例えば、これまでに、炭素—硫黄結合のドーマント種に、ラジカル発生剤とルイス酸を作用させることで、1本のポリマー鎖からラジカル種とカチオン種が相互に変換しながら生じることで、アクリル酸エステルとビニルエーテルから新しい連鎖を有する共重合体の合成を報告した。本年度は、このような共通のドーマント種を異なる条件下で用いることで、統計的、交互、マルチブロック、ジブロックなどさまざまな連鎖形式を有する共重合体の合成が可能となることを見出した。さらに、この手法を二官能性モノマーと共に、光刺激を用いることで、星型ポリマーやゲルなどの架橋構造制御が可能となることを見出している。

（３）植物由来モノマーの精密重合と機能性高分子の合成

近年、持続可能な社会構築の観点から、再生可能資源として天然に豊富に存在する植物由来の化合物を原料とするバイオベースポリマーの開発が重要視されてきている。本研究室では、テルペン類やフェニルプロパノイド類に豊富に含まれる天然由来のビニル化合物に着目し、これらの構造に基づいて、石油由来モノマーと同じようにオレフィン系、スチレン系、アクリル系のように分類し、従来の重合の知見を活かして適切な重合系を開発し、天然由来の特殊な骨格に基づく特性を有する新規バイオベースポリマーの開発を行ってきた。本年度は、種々の植物由来化合物に対して、高い重合反応性が期待されるエキソメチレン基を導入し効率的にポリマー化すると共に、植物由来化合物に基づく環状骨格などを利用したポリマーの高性能化をめざした研究を行った。例えば、油脂のケン化や糖類の発酵などにより豊富に得られるグリセロールと二酸化炭素から誘導されるグリセロールカーボネートから、エキソメチレン基を有する環状カーボネートを合成し、ラジカル重合および共重合を検討した。生成ポリマーは、高いガラス転移温度を示すと共に、共重合では酢酸ビニルと同様な反応性を示し、他のビニルモノマーとの共重合が可能であった。また、テルペノイド類に属する種々の環状 α,β -不飽和カルボニル化合物に対して、Wittig反応によりエキソメチレン基を導入した環状ジエンモノマーを合成し、非常に高いカチオン重合性と、生成ポリマーの高い耐熱性を見出した。

高圧力下におけるヒト・ユビキチンの結晶構造解析と分子動力学シミュレーション Crystal structure analysis and MD simulation of human ubiquitin at high pressure

シンクロトロン光研究センター 永江峰幸(特任助教)

シンクロトロン光研究センター, 大学院工学研究科化学・生物工学専攻 渡邊信久(教授)

蛋白質に圧力をかけると、多量体の解離、コンフォメーション変化などが起こる。こういった蛋白質の圧力応答は、高圧力が誘因する蛋白質と水分子との相互作用の変化に起因すると考えられている。

我々は放射光の高輝度短波長のX線とダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いる高圧力下における蛋白質結晶構造解析法の開発とその応用を進めており、高圧力下では蛋白質表面に観測される水和水が増加することを見出している[1, 2]。

ヒト・ユビキチンを高圧力下でX線結晶構造解析したところ、観測される分子表面の水和水が増加すると共に、分子の疎水的な溝部分に水分子が侵入して局在することを見出している。本課題ではこの水分子の侵入のメカニズムを検討するために、高圧力条件下で分子動力学シミュレーションを行ない、ユビキチンと水分子の挙動の解析を試みた。

分子動力学シミュレーションは、Discovery Studio 2017 (BIOVIA社)を用いて、ユビキチンの常圧と 290 MPaの構造に水溶媒モデルを付加し、それぞれ計算を行なった。まず第一のステップとして、Trajectoryを用いて水分子の根平均二乗揺らぎ(Root Mean Square Fluctuation: RMSF)を計算した。その結果、常圧下と290 MPa下において水和水の平均RMSFは各々 2.02 ± 0.64 , $1.76 \pm 0.57 \text{ \AA}$ であった(図1)。高圧力下では水分子の揺らぎが減少することが示唆された。

RMSFが低い水分子を抽出し図2に示す。高圧X線結晶構造解析の結果と整合して、常圧下に比べると290 MPa下では蛋白質周辺の揺らぎの小さい水分子が増加していることが分かる。蛋白質表面の疎水的な溝部分の水分子も増加しており、これも高圧X線結晶構造解析で得られた結果に一致する。

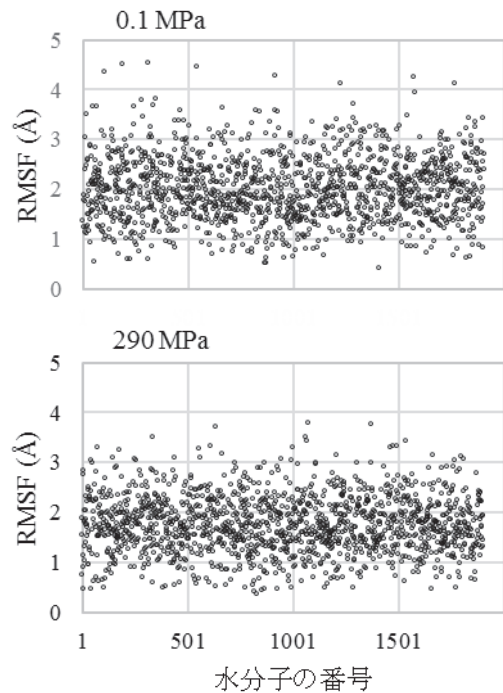


図1. 常圧下と290 MPa 下の水和水のRMSF.

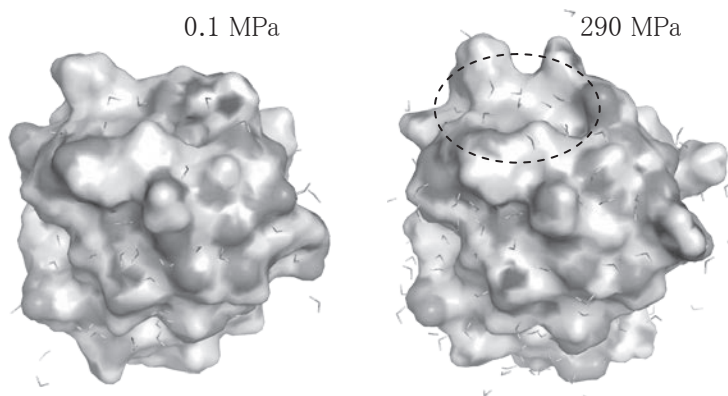


図2. RMSFが低い水分子. 蛋白質分子はサーフェス表示で、水分子はスティック表示で示してある。290 MPa 構造では、破線で囲った疎水的な溝部分に水分子が増加している。

参考文献

- [1] Nagee, T. et al., (2012). *Acta cryst. D*, **68**, 300-309.
- [2] Yamada, H. et al., (2015). *Acta cryst. D*, **71**, 742-753.

水素透過合金の電子状態の解析

Electronic Structures of Hydrogen Permeable Alloys

工学研究科 材料デザイン工学専攻
湯川宏(助教)

1. 背景

水素透過金属膜における水素透過能は一般に水素拡散性と水素溶解特性の積により決定される。代表的な水素透過金属膜として、Pd-Ag および Pd-Cu が広く用いられている。中でも、B2 型の結晶構造を有する Pd-53 mol%Cu 合金膜は、水素との親和性の低い Cu の多量添加によって固溶水素濃度が著しく抑制されているにもかかわらず、高温域では Pd と同等の高い水素透過能を示す。これは、bcc 構造における水素の拡散速度が fcc 構造のそれに比べて極めて速いためと理解されている。このとき、bcc 構造では水素の拡散の活性化エネルギーも小さいため、Pd-53 mol%Cu 合金膜は低温においても高い水素透過能を示すことが期待される。

本研究では、B2 構造を有する Pd-53mol%Cu 合金膜の室温付近における水素透過能を詳細に調べた

2. 実験および計算方法

Pd-53mol%Cu 合金膜 (膜厚 60 μm) を準備した。XRD 測定により、本研究で用いた試料が B2 型構造を有する単相合金であることを確認した。直径 12 mm のディスク状試料を用いて、水素透過試験を行った。透過試験は、一次圧を 0.10 MPa、二次圧を 0.01 MPa に固定し、室温から 400 $^{\circ}\text{C}$ の範囲で行った。

実験結果を考察するために、平面波基底擬ポテンシャル法 (CASTEP コード) を用いて、構造最適化計算を行った。本研究で用いた計算モデルを図 1 に示す。これは、Pd:Cu=1:1 の B2 構造の単位格子を $2 \times 2 \times 2$ に拡張し、格子間の四面体サイト (T サイト) に水素原子を 1 個または 2 個挿入したモデルである。

3. 結果と考察

最初に 400 $^{\circ}\text{C}$ で水素透過試験を行った。この時の水素透過係数は $1.3 \times 10^{-8} \text{ mol H}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1/2}$ であり、過去の報告と良く対応していた。その後、試料セルを炉から取り出して室温まで空冷し、室温における水素透過係数の経時変化を測定した。その結果を図 2 に示す。図中に示すように、室温へ冷却直後の水素透過係数は $6.7 \times 10^{-10} \text{ mol H}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1/2}$ であったが、およそ 4 日間にわたり水素透過係数は 2 段階で低下した。すなわち、水素透過係数は初期の数時間で約 $1.5 \times 10^{-10} \text{ mol H}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1/2}$ まで急速に低下し、短いプラトーを示したのち、およそ 3 日間をかけて $2.5 \times 10^{-11} \text{ mol H}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1/2}$ へ低下し、その後一定となった。Pd-Ag 合金膜では、このような室温近傍における特異な透過能の経時変化は観察されていない。また、試料セルを再び 400 $^{\circ}\text{C}$ に昇温すると、水素透過能は初期の値にほぼ回復した。

図 1(a) に示したように、水素濃度の低い場合には、構造最適化後も水素は T サイトを占有していた。一方、水素濃度が高い場合には、図 1(b) に示すように、構造最適化によって水素は T サイトから八面体サイト (O サイト) へ移動した。一般に水素透過合金は水素の溶解エンタルピーが負の値であり、温度の低下に伴って溶解度が増加する。すなわち、Pd-53mol%Cu 合金では、一定圧力条件の下で低温ほど固溶水素濃度が高いと考えられる。以上の結果より、図 2 に示す低温における水素透過能の特異的な減少は、水素濃度増加に伴う水素占有サイトの変化と関係している可能性が示唆される。

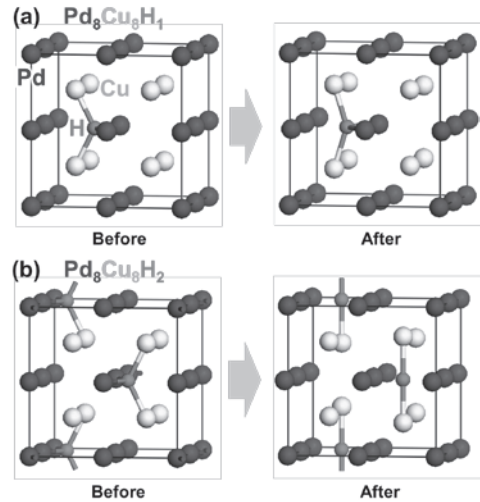


図 1 構造最適化計算前後の構造

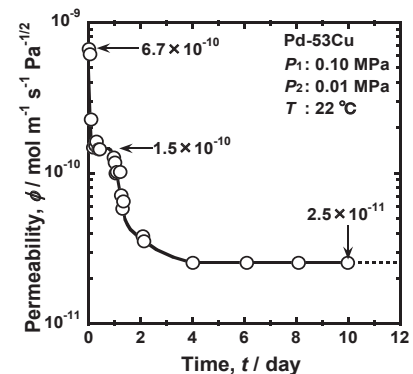


図 2 室温における水素透過係数の経時変化

第一原理計算による白金族元素のフェロシアン化物への吸着機構解析

First-principles analysis of adsorption properties for platinum group metals to ferrocyanides

工学研究科 エネルギー理工学専攻
渡邊真太(助教) 尾上順(教授)

原子力発電所の廃炉措置過程や使用済み核燃料の再処理過程で排出される高レベル放射性廃液を安全に最終処理するためのガラス固化技術の開発が急がれている。しかしながら、このプロセスにおいて、白金族元素 (Ru, Rh, Pd) がガラス熔融炉側壁に沈降することや、モリブデン (Mo) 化合物がガラス内に低粘性流体として析出することで、ガラス固化体の不均質化、ガラスメルトの短寿命化等の問題を引き起こしている。これらの問題を解決するために、我々のグループでは有機金属骨格体であるフェロシアン化物 ($M(III)_4[Fe(II)(CN)_6]_3$) ナノ粒子を用いて、それらの元素を、ガラス固化の前段階で一括回収するプロセスの開発を行っている。

これまでの研究結果から、Ru, Rh, Pd および Mo は、フェロシアン化物の骨格を成す金属イオンと置換することで、フェロシアン化物に収着されることが分かってきた。これらの置換反応について、定量的評価をすることにより、収着機構を分子レベルかつ電子論的に解明することが可能になり、収着剤設計への指針を得ることができると考えられる。

そこで、本研究では、第一原理バンド計算法である CASTEP を用いて、Ru, Rh, Pd および Mo が、鉄フェロシアン化物 (FeHCF) に置換型収着する最初の段階である表面吸着エネルギーを定量的に見積もった。第一原理計算では、ウルトラソフト擬ポテンシャルを用い、一般化勾配近似 (GGA-PBE) により交換相関ポテンシャルを考慮した。計算モデルとして、FeHCF の最安定表面である (100) 面を切り出し、真空層を 10 Å とした表面スラブモデルを構築した。そこに各金属イオンを吸着させ、安定位置を見積もった。さらに、最安定位置における表面吸着エネルギーを見積もった。k 点のサンプリングは、Monkhorst-Pack グリッド法で $4 \times 4 \times 2$ とし、平面波基底のカットオフエネルギーは 550 eV とした。

FeHCF の (100) 表面において、Ru, Rh, Pd および Mo は、(100) 面内の中心位置が最安定であることが分かった。この最安定位置は、図 1 中に模式図として示した。さらに、上記手法により見積もった各金属イオンの FeHCF (100) 表面上への表面吸着エネルギーを図 1 にプロットした。Rh および Pd は、表面吸着エネルギーが非常に低く、容易に FeHCF (100) 表面にトラップされることが分かった。一方で、Ru および Mo は、表面吸着エネルギーが高く、表面へのトラップが起こりにくいことが示唆された。これらの結果は、金属イオンの FeHCF への収着率へ影響を及ぼすものと考えられる。実際に、実験による収着試験では、Pd の FeHCF への収着率が最も高く、本計算結果と一致する。

Ru, Rh, Pd および Mo は、カチオンとして FeHCF 表面へ吸着し、FeHCF 内部を拡散して、(100) 面内に一旦トラップされ、骨格を成す Fe との置換反応が起こると考えられる。第一原理計算により算出した Pd の FeHCF への表面吸着、拡散および置換に対するエネルギー障壁は、3 過程全てにおいて低く容易に起こることが分かった。一方で、Mo, Ru, Rh は、上記 3 つの過程の何れかに律速過程があることが分かった。

今後、収着に関与するこれらの複合過程と収着率との相関関係を検討し、より良い収着剤設計を目指す。

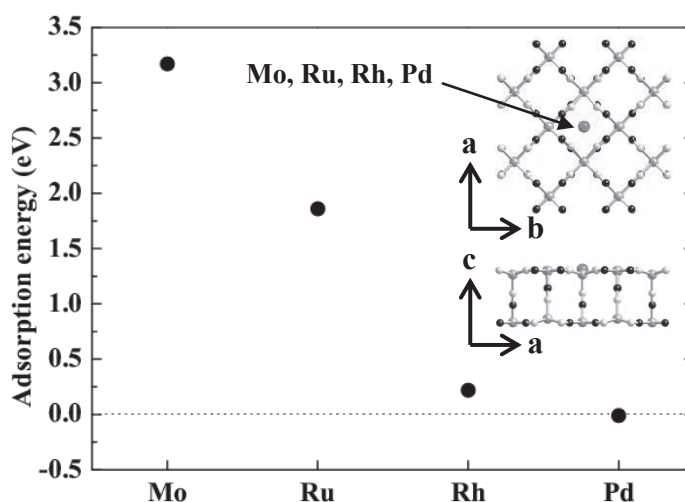


図 1. FeHCF 表面への Mo, Ru, Rh, Pd の吸着エネルギーと吸着構造

Structural Analysis of Supramolecular Cage in the presence of fullerenes

Department of Chemistry, Graduate School of Science
Shin-ichiro Kawano (Lecturer)

In order to recognize spherical-shaped fullerenes as guest, host molecules having extended or concave π -system have been investigated. In contrast, relatively weak yet versatile van der Waals interaction such as CH- π interaction has been regarded to be ineffective for the host-guest interaction for fullerenes. In this context, we successfully prepared supramolecular coordination cages possessing three dimensional (3D) discrete nanospaces built up with shape-persistent macrocycles and bidentate pillar molecules. A single crystal structure of the supramolecular cage revealed that it had a unique shape and size of the inner cavity with a net volume $> 670 \text{ \AA}^3$, which was suitable for the size of C_{70} . In deed, NMR study revealed that the supramolecular cage could selectively form a host-guest complex with C_{70} rather than C_{60} . In this study, we have investigated the structural analyses of the supramolecular cages in the presence of fullerenes by using MM calculation. The calculation suggested that the discrete nanospace endowed with 32 hydrogen atoms could be used for selective recognition of C_{70} with higher association over the structural derivative C_{60} . For example, the CH- π distances estimated by MM2 calculation were 3.3 \AA for C_{70} and the supramolecular cage, whereas the 3.7 \AA was suggested for C_{60} and the supramolecular cage (**Figure 1**). It is inferred that the latter would be too far to form the stable host-guest complex. Therefore, it was suggested by the evaluation that such selective recognition for C_{70} would be derived from the multiple CH- π interactions localized inside the nanocavity of the supramolecular cages.

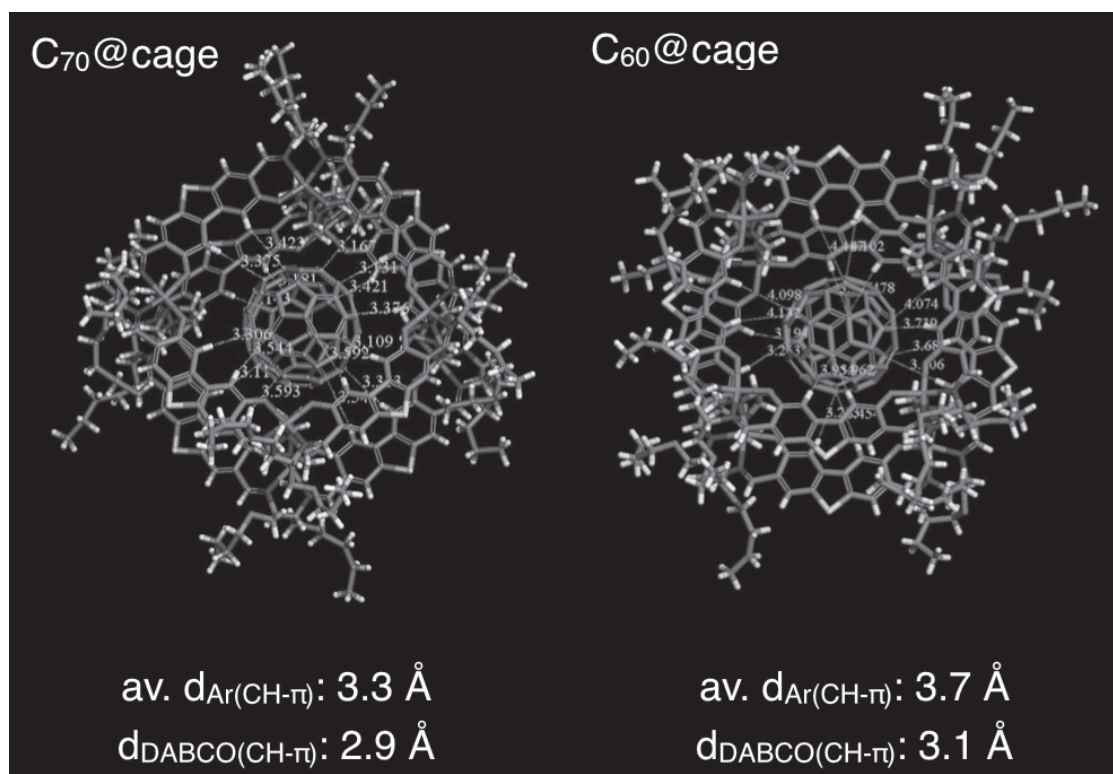


Figure 1. The calculated structures of the supramolecular cage in the presence of fullerenes.

3.2 非常勤研究員の活動

(Activities of VBL Postdoctoral Research Associates)

研究成果報告書

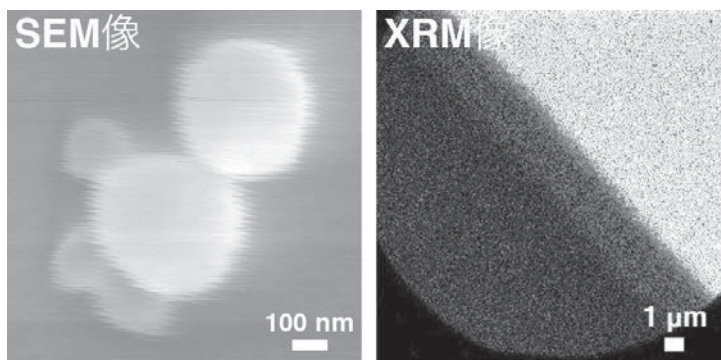
入田 賢

E-mail: masaru.iritama@surf.nuqe.nagoya-u.ac.jp

応募者は、博士号取得後、2016年度から名古屋大学 工学研究科 齋藤弥八研究室に異動し、博士研究員としてナノカーボンからの電界電子放出に関して次の3つの研究テーマに取り組んできました: ① 卓上電子顕微鏡と X 線顕微鏡の開発、② グラフェンエッジからの電界電子放出、③ 低真空度における電子放出。これらの研究は研究室の学生の研究指導を行いながら実施し、以下の研究成果を得ている。

① 卓上電子顕微鏡と X 線顕微鏡の開発

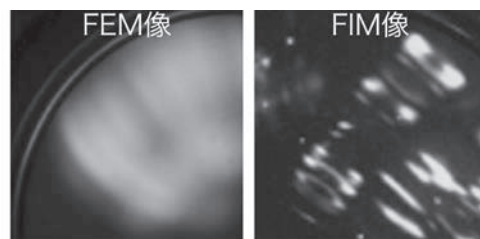
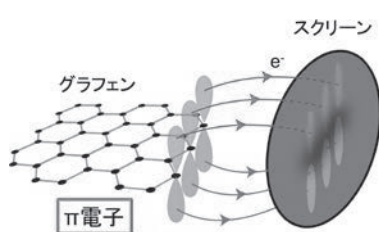
多層カーボンナノチューブ (MWNT)は、従来の FE 源に比べ 10^6 Pa の真空度でも使用可能である。本研究では、ナノマニピュレータを用い先端曲率半径 100 nm 程度の W 針先端に単一 MWNT を固定し電子源の作製を行った。そして、卓上 FE 型走査電子顕微鏡 (SEM) と X 線顕微鏡 (XRM) の開発を行った。



持ち運び可能な小型の顕微鏡は、発掘調査や惑星探索などの現場での利用が期待されている。開発した顕微鏡は、イオンポンプが不要であり、試料室下部から電子銃までの高さは 317 mm で、机上で使用している。その上、SEM 像の分解能 10 nm と XRM 像の分解能 400 nm を実現している、図に実験結果を示す。我々は、MWNT 本来の性能を十分に引出し、卓上顕微鏡分野において、世界トップクラスの分解能を記録している。

② グラフェンエッジからの電界電子放出

グラフェンエッジからの電界放出顕微鏡 (FEM) 像は、齋藤グループの研究によると、グラフェン面に対して垂直

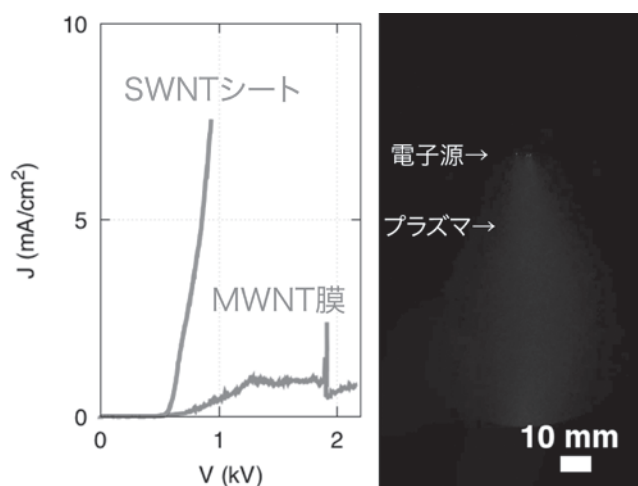


に縞状になり、中央に暗線が入ると報告され、その像は π 電子軌道を反映した像だと考えられている。これは、従来考えられていた FEM の観測限界を打破するものであり、ナノカーボン研究の

みならず FEM 手法に革新をもたらすインパクトをもち大変興味深い。我々は、上記の予測を明らかにするため、FEM よりも高い空間分解能を有する電界イオン顕微鏡(FIM)によるグラフェンエッジの観察を試み、成功を納めている。観察した FIM 像(上図)には、線状の像と共に複数のペアの輝点が配列した像を観察した。同一グラフェンエミッタの FEM 像と FIM 像を比較評価すると、グラフェンエッジの原子列に対応した電子軌道が観察できている可能性がある。更なる実験を重ね、FEM 像で何が見えているのか明らかにしたい。

③ 低真空度における電界電子放出

一般の電子源の場合、 10^{-1} Pa の真空では電界電子放出(FE)と共に瞬時に放電崩壊し使用不可能になるが、カーボンナノチューブ(CNT)電子源の場合はその常識の範疇ではなかった。ここでは、MWNT 膜と SWNT シート電子源を用いたところ、どちらの CNT も 10^{-1} Pa 程度の真空で動作可能であったが、電流密度 J という点では、SWNT シートの方が優れており、 $J \sim 7.6 \text{ mA/cm}^2$ を得ることができ、放電に対する耐性も高いことを明らか



にした。更に右図に示すように FE 中には電子線誘起のプラズマが発生し、 0.1 mA/cm^2 程度の電流密度であれば一時間程度 FE を維持できることがわかった。この結果は、従来の電子源の概念を覆すものであり、発光素子などへの応用が期待される成果である。

論文発表 (全 2 件)

1. M. Irita, S. Yamazaki, H. Nakahara, Y. Saito, Development of a compact FE-SEM and X-ray microscope with a carbon nanotube electron source, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering **304**, 012006, (2018).
2. M. Irita, H. Nakahara, Y. Saito, Compact Sub Micro-resolution X-ray Microscope Based on Carbon Nanotube FE-SEM, Surf. Sci. Nanotech **16**, 84 (2018).

学会発表 (全 7 件)

1. Masaru Irita, Shintarou Yamazaki, Shota Katsuyama, Hitoshi Nakahara, Koji Asaka, Yahachi Saito, Hidekazu Murata, Teruaki Ohno, "Development of Nano-Resolution Desktop FE-SEM and X-ray microscope with Multi-Walled Carbon Nanotube Electron Source", 第 53 回 フラワーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, [京都大学], (2017 年 9 月 13 ~ 15 日).
2. Shintaro Yamazaki, Masaru Irita, Hitoshi Nakahara, Koji Asaka, Yahachi Saito, "Development of

- Desktop High-Resolution X-ray Microscope with a Single Carbon Nanotube Emitter”, International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017, [名古屋大学], (2017年9月29日～10月1日).
3. Toru Hoshino, Yudai Watanabe, Masaru Irita, Hitoshi Nakahara, Koji Asaka, Yahachi Saito, “Field Emission and Field Ion Microscope Images Reflecting Electronic Orbitals of a Graphene Edge”, International Conference on Materials and Systems for Sustainability 2017, [名古屋大学], (2017年9月29日～10月1日).
 4. Masaru Irita, Shintarou Yamazaki, Hitoshi Nakahara, Yahachi Saito, “Compact nano-resolution X-ray microscope with carbon nanotube”, 第8回真空・表面科学若手研究会, [つくばイノベーションシヨンプラザ], (2017年10月27日).
 5. Masaru Irita, Shintarou Yamazaki, Hitoshi Nakahara, Yahachi Saito, “Compact nano-resolution X-ray microscope based on carbon nanotube FE-SEM”, 11th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices’17, [Kauai, USA], (2017年12月3～8日).
 6. Shigekazu Nagai, Hiromu Ikemizu, Kazuya Kunoh, Koichi Hata, Yudai Watanabe, Toru Hoshino, Masaru Irita, Hitoshi Nakahara, Yahachi Saito, “Spin polarization of field-emitted electrons from graphene edges”, 11th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices’17, [Kauai, USA], (2017年12月3～8日).
 7. Satoshi Toma, Koji Asaka, Masaru Irita, Yahachi Saito, “Bulk synthesis of linear carbon-chains confined inside single-wall carbon nanotubes by vacuum discharge”, 11th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices’17, [Kauai, USA], (2017年12月3～8日).

Quality Dependence of Epitaxial Growth of GaN/InN on Different Rough Si Substrates by Radical-Enhanced Metalorganic Chemical Vapor Deposition

Amalraj Frank Wilson

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Nagoya University.

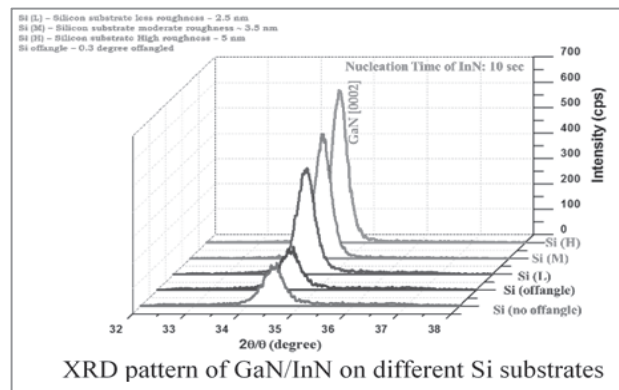
Introduction

III-nitride semiconductors have drawn a lot of attraction because of its wide band gap and potential application in optoelectronic devices, LED's and High electron mobility transistors (HEMT's). Recently, GaN-on-Si technology has made significant progress in high power electronic devices and high power switching devices because of its lower cost and large size availability [1]. Despite these advantages, it is difficult to grow device-quality GaN on Si substrates because of its large lattice mismatch, thermal expansion coefficients and gallium melt-back etching. It has been recognized that insertion of a buffer layer is inevitable for device-quality GaN on Si. Among III-nitrides, InN has a low band gap energy of 0.65 eV, smallest effect mass, highest measured electron mobility, exceeding 3500 cm²/V.s vs theoretical mobility as high as 14000 cm²/V.s respectively, at room temperature [2]. However, InN has received little attention because growing high quality single crystal is difficult due to its low dissociation temperature. Very recently, we have developed a novel growth system called radical-enhanced metalorganic chemical vapor deposition (REMOCVD)[3]. The features of REMOCVD are that nitrides can be grown without high cost ammonia gas and at lower temperatures than conventional MOCVD. Indeed, we have already succeeded in growing GaN single crystals on sapphire at 800 °C and InN on Si substrate at 200 °C without using ammonia gas [3, 4]. The advantage of low-temperature growth is that InN can be grown without dissociation. Here, we report the selection of suitable Si substrate for the growth of GaN/InN.

2. Experimental Procedure:

The REMOCVD technique was developed in our laboratory, which is a promising method to grow group-III nitride materials at low temperature without ammonia gas. The pure H₂ and N₂ are used as source gases with the flow rate of 750 and 250 sccm, which was introduced through the shower head of the top electrode. Plasma was generated by applying plasma power of 400W with a very high frequency (VHF, 60MHz) to the top of the electrode. Trimethyl gallium (TMGa) and trimethyl Indium (TMIn) were used as precursors. Five different Si substrates were used for this study and classified as Si-no off angle, Si-off angle (0.3°), Si-less roughness (2.5 nm), Si-medium roughness (3.5 nm), and Si-high roughness (5 nm). All these Si substrates used for this study were supplied by SUMCO company. InN nucleation layers were grown at room temperature with a nucleation time of 10sec with nitrogen as the carrier gas. The low temperature GaN was grown at 400 °C for 10 min with the TMGa flow rate of 0.82 sccm. Subsequently, the substrate temperature was raised to 800 °C for

the epitaxial growth of GaN with the same TMGa flow rate and growth time of two hours. The obtained GaN films on various Si substrates were characterized with, X-ray diffraction (XRD).



3. Results and Discussion

GaN was successfully grown on various Si substrates with the insertion of 10 sec InN nucleation layer. Figure shows the XRD pattern of GaN grown on various Si substrates with 10 sec of InN nucleation time. All the plots confirmed the presence of GaN (0002) at 34.5° . The intensity of GaN peak varies for different surface roughness Si substrates. In the case of both Si-no off angle and off angle Si substrate the GaN peak intensity was smaller, whereas the peak intensity increased with the increase of substrate roughness. The sticking coefficient of In and N adatom maybe more favorable for high roughness si substrate than mirror polished or off-angle substrates. As a result, 2D InN growth was achieved which facilitates the subsequent GaN growth.

The XRD pattern does not detect the presence of InN peaks because, the InN was decomposed at higher temperature of 800°C during GaN growth.

4. Conclusion

GaN was successfully grown on different Si substrates with 10 sec InN nucleation layers using REMOCVD. The sticking coefficient of InN on si substrates plays a key role for the subsequent GaN growth. It was found that the XRD peak intensity of GaN [0002] plane was maximal for 5nm rough surface Si substrates.

Reference

- [1] M. Miyoshi et al, Semicon. Sci. Technol. 31 (2016) 105016
- [2] V. M. Polyakov, Appl. Phys. Lett. 88 (2006) 032101
- [3] Y. Lu et al, J. Cryst. Growth 391, 97 (2014)
- [4] S. Takai et al, Jap. J. Appl. Phys. 56, 06HE08 (2017)

接着タンパク質 AtaA の接着メカニズム解明に向けて

VBL 中核的研究機関研究員 吉本将悟

背景

水中接着は固体表面に存在する水分子を排除する必要があるため非常に難しい。しかしながら貝類や藻類、微生物は海や川の岩や配管などに固着しているし、腹足綱（ナメクジ）やヤモリなどは濡れた固体表面上を自由に這い回ることができる。そのためそれら生物の接着機構は注目されており、疎水性や電荷の偏ったタンパク質、翻訳後修飾を受けた特殊なアミノ酸を含むタンパク質、粘着性の多糖、マイクロ/ナノ構造などが関わるということが報告されている^{1,2}。イガイやヤモリについては接着機構に関する研究が非常に進んでおり、その知見に基づいてこれまでにない接着特性を持ったバイオインスパイアドマテリアルが開発されている^{3,4}。

アシネトバクター属細菌Tol 5 はプラスチックからガラス、金属まで様々な材料表面に対し接着できる⁵。その接着性は細胞表層に提示されているタンパク質AtaAによるものであることがわかっている⁶。AtaAの材料非特異的かつ迅速で高い接着性は接着マテリアルとして有望であるが、その接着機構はわかっていない。そこで本研究では、塩濃度依存的なAtaAの接着特性の解析と、原子間力顕微鏡による接着力測定の検討を行った。

塩濃度依存的な AtaA の接着特性の解析

AtaAの接着性を評価するため、以前確立した手法⁷でバクテリア細胞表層からAtaAの接着性を担うパッセンジャードメイン (PSD) を分離精製した。精製したAtaA PSDを 0 mMから 100 mMの塩化カリウム水溶液に溶かしてポリスチレン (PS) 表面とガラス表面にのせ、ELISA法により接着したAtaAを検出した。その結果、AtaAは塩濃度が 10 mM以上の溶液中では高い接着性を示したが、塩濃度がそれ以下の条件では接着性が低下することが明らかになった (Fig. 1A)。水晶発振子マイクロバランス (QCM) を用いて塩によるAtaAの接着性の変化をモニタリングしたところ、純水にAtaAを加えてもほとんど接着しないが、塩を加えてわずか数秒以内に接着が始まり数分後には多量のAtaAがセンサー表面に接着した (Fig. 1B)。これらの結果から、AtaAの接着には塩が必要であること、さらに塩濃度によりAtaAの接着性を制御できることが明らかになった。実験で取り扱う容器の壁面にも接着してしまうAtaAの接着性を制御できることは、AtaAを接着マテリアルとして応用する上でも重要な知見となる。本成果はMicrobial Cell Factories誌に掲載された⁸。

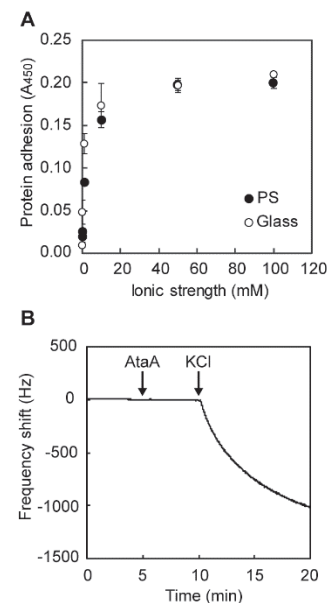


Fig. 1 (A) 各塩濃度条件におけるポリスチレン(PS)とガラスに対する AtaA の接着. (B) QCM センサーに対する AtaA の接着量変化.

原子間力顕微鏡による接着力測定の見直し

AtaAの接着機構を明らかにするには、その接着力を水中で定量的に測定する必要がある。そこで原子間力顕微鏡（AFM）を用いて、まずはAtaAを無数にもつTol 5細胞の付着力を測定することを試みた。ポリイミンコートしたガラスボトムディッシュをグルタルアルデヒドで活性化し、そこにTol 5細胞の懸濁液を載せ1時間静置することでTol 5細胞をガラス表面上に固定化した。固定されたTol 5細胞を探するためtapping modeでガラス表面を走査したところ、カンチレバーのフィードバック制御がすぐにうまくいかなくなり測定ができなかった。この原因として、AtaAがカンチレバーに接着しそのフィードバック制御に悪影響を与えているのではないかと考えた。そこでカンチレバーにAtaAが接着したとしても、測定点毎にカンチレバーを引き上げはがすことのできるフォースマッピングを、多点かつ高速に行った。その結果、接着性のTol 5細胞もイメージングでき、その接着力を測定することができた⁹。今後、溶媒条件を変えて接着力の測定を進めることで、AtaAの接着に重要な相互作用力が明らかになると考えられる。

参考文献

- 1 Ahn, B. K. Perspectives on Mussel-Inspired Wet Adhesion. *Journal of the American Chemical Society* **139**, 10166-10171 (2017)
- 2 Autumn K., Puthoff J. Properties, Principles, and Parameters of the Gecko Adhesive System. In: Smith A. (eds) *Biological Adhesives*. Springer, Cham (2016)
- 3 Lee, H., Lee, B. P. & Messersmith, P. B. A reversible wet/dry adhesive inspired by mussels and geckos. *Nature* **448**, 338-U334 (2007)
- 4 Zhao, Y. H. *et al.* Bio-inspired reversible underwater adhesive. *Nat Commun* **8** (2017)
- 5 Ishikawa, M., Shigemori, K., Suzuki, A. & Hori, K. Evaluation of adhesiveness of *Acinetobacter* sp. Tol 5 to abiotic surfaces. *J Biosci Bioeng* **113**, 719-725 (2012)
- 6 Ishikawa, M., Nakatani, H. & Hori, K. AtaA, a new member of the trimeric autotransporter adhesins from *Acinetobacter* sp. Tol 5 mediating high adhesiveness to various abiotic surfaces. *PLoS One* **7**, e48830 (2012)
- 7 Yoshimoto, S., Nakatani, H., Iwasaki, K. & Hori, K. An *Acinetobacter* trimeric autotransporter adhesin reaped from cells exhibits its nonspecific stickiness via a highly stable 3D structure. *Sci Rep* **6**, 28020 (2016)
- 8 Yoshimoto, S., Ohara, Y., Nakatani, H. & Hori, K. Reversible bacterial immobilization based on the salt-dependent adhesion of the bacterionanofiber protein AtaA. *Microb Cell Fact* **16**, 123 (2017)
- 9 Ishii, S., Yoshimoto, S. & Hori, K. Quantification of cell adhesion of *Acinetobacter* sp. Tol 5 via a trimeric autotransporter adhesin using atomic force microscopy, *FEMS 7th Congress of European Microbiologists*, Valencia, Spain, poster presentation (2017)

カーボンナノチューブ薄膜を用いた透明で伸縮性のある 摩擦帯電式発電シート

VBL 中核的研究機関研究員 松永正広

研究背景・目的

様々なものがインターネットにつながる IoT 社会の到来に際し、センサー等のデバイスが無給電で動作させるための電源として、エネルギーハーベスティング技術が関心を集めている。エネルギーハーベスティングとは、身の回りにある、振動や熱、光といった微小なエネルギーから電気エネルギーを取り出す技術のことである。人の動きに代表されるような小規模な機械的エネルギーから電力を取り出す技術としては圧電効果や電磁誘導を用いたものが知られている。そのような中、新たな手法として接触帯電と静電誘導の組み合わせにより電力を取り出す摩擦帯電型の発電機構が注目されている。この機構は高出力化が容易であり、さらに構造が簡便で低コスト等の特徴を併せ持っている。透明で伸縮性等の優れた特性を示すカーボンナノチューブ(CNT)薄膜を用いることで、ウェアラブルなエネルギーハーベスターの実現が期待される。透明でウェアラブルなエネルギーハーベスターの作製に向け、本研究では、CNT 薄膜とポリジメチルシロキサン(PDMS)を用いて透明で伸縮性のある摩擦帯電型発電シートの開発をおこなった。

研究成果

図 1 に作製した発電シートと発電実験の模式図を示す。発電シートは浮遊触媒化学気相成長法により成長したCNT薄膜を、スピコート法により作製したPDMS膜で挟むことで作製した(図 2)。この際、電気測定用に銅線を銀ペーストにてCNT薄膜に接着させた。発電シートの大きさはおよそ 5 cm × 5 cm である。この発電シートの可視光域における透過率を図 3 に示す。波長 550 nm における透過率は 91% であった。発電能力向上のため、作製した発電シート表面(PDMS)にCF₄プラズマ処理を行い、表面電荷の増加を図った[2]。

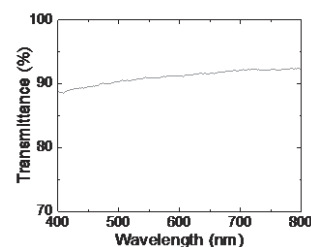
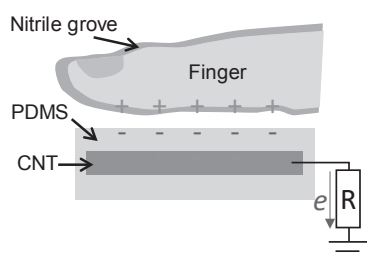


図 1, 摩擦帯電型発電シートの模式図.

図 2, 作製した摩擦帯電型発電シート.

図 3, 可視光域における透過率.

発電実験は、ニトリル手袋を装着した手でPDMS表面に接触し、その際に負荷抵抗($R = 10 \text{ k} \sim 1 \text{ G}\Omega$)間に生ずる電圧を測定した。ピーク出力密度の負荷抵抗依存性を図4に示す。ピーク出力密度は最大で $\sim 8 \text{ mW/m}^2$ を得た。ピーク電圧および電流密度は、それぞれ $1 \text{ G}\Omega$ のとき $\sim 850 \text{ V}$ 、 $10 \text{ k}\Omega$ のとき $\sim 48 \text{ mA/m}^2$ であった。これらの値は、先行研究であるハイドロゲルを用いて作製された透明発電シート($\sim 150 \text{ mW/m}^2$) [3]より十分大きい。また、作製した発電シートを用いて、100個の青色発光ダイオード(LED)を点灯させること(図5)や振動発電用のモジュール(Linear Technology)を用いることで 3.6 V の定電圧化(図省略)も可能であった。

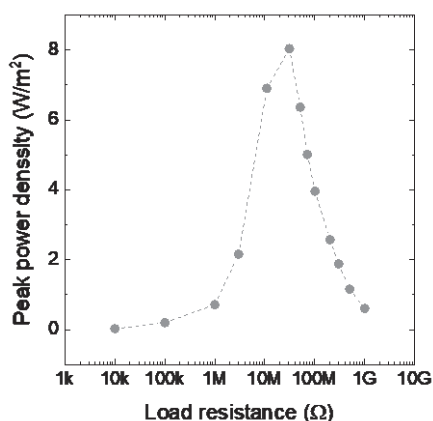


図4, CF_4 処理後のパワー出力密度.

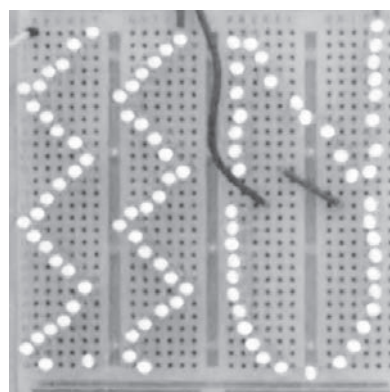


図5, 青色LED100個点灯の様子.

まとめ

本研究では、ウェアラブルなエネルギーハーベスターの開発に向け、CNT薄膜を用いた透明で伸縮性のある発電シートの作製と評価をおこなった。作製した発電シートのパワー密度はおよそ 8 W/m^2 と先行研究と比べ十分高い性能を得られた。今後は実際に人の動作(肘や膝等の関節の動き)からの発電について検証していきたい。

参考文献

- [1] Z. L. Wang, *Mater. Today* **20**, 74 (2017).
- [2] S.-H. Shin *et al.*, *ACS Nano* **9**, 4621 (2015).
- [3] X. Pu *et al.*, *Sci. Adv.* **3**, e1700015 (2017).

学会発表

1. 松永正広, 廣谷潤, 岸本茂, 大野雄高, “Transparent and flexible triboelectric generator based on carbon nanotube”, 第54回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム, 東京大学, 2018年3月.
2. 松永正広, 廣谷潤, 岸本茂, 大野雄高, 「カーボンナノチューブ薄膜を用いた透明でフレキシブルな摩擦帯電型発電シート」, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 早稲田大学, 2018年3月.

THERMAL EVAPORATION OF BaSi₂ THIN-FILMS ON Ge (100) – EFFECT OF SUBSTRATE MODIFICATION ON FILM PROPERTIES

Mai Thi Kieu Lien^{1,2}, Yoshihiko Nakagawa², Yasuyoshi Kurokawa², and Noritaka Usami²

¹*Venture Business Laboratory, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan*

²*Graduate School of Engineering, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8603, Japan*

1. Introduction

At present, silicon (Si) is the most used material in solar cell manufacturing thanks to some of its remarkable features. However, this material has two main drawbacks, which are high manufacturing cost due to the required thick film and slightly small band-gap for single-junction solar cell [1]. In order to overcome these drawbacks, other semiconductors such as cadmium telluride (CdTe) [2,3] and copper indium gallium diselenide (CIGS) [4,5] have received much attention. Thin-film solar cells based on these semiconductors have already been commercialized. However, these materials still cannot meet the global deployment due to the lack of some important properties such as earth-abundant, environment-friendly, and inexpensive components. Therefore, it is needed to explore alternative materials which meet all of the requirements for state-of-the-art solar cell applications. Barium disilicide (BaSi₂) is a promising candidate thanks to its remarkable features such as abundant and inexpensive components of Ba and Si, suitable band gap of approximately 1.3 eV [6-11], high absorption coefficient ($\sim 3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ at 1.5 eV) [9,11,12], long minority carrier diffusion length and lifetime ($\sim 10 \text{ }\mu\text{m}$ and $\sim 14 \text{ }\mu\text{s}$, respectively) [13,14]. At atmospheric pressure, orthorhombic BaSi₂ is the most suitable structure for utilization in photovoltaics [15].

For practical application of BaSi₂ on large-scale area, thermal evaporation (TE) is suitable method. This is because TE is the simple method which can reduce the deposition time thanks to the high deposition rate and still ensure to produce the uniform thin-film. Using TE method, BaSi₂ thin-film was successfully grown on various flat substrates such as Si [16-18], glass [12], CaF₂ [19], and Ge [20]. Using Ge as a substrate for growing BaSi₂ has some advantages. Firstly, the thermal expansion coefficient of Ge is close to that of BaSi₂, which may reduce cracks formation in BaSi₂ grown at high temperature. Secondly, BaSi₂/Ge heterojunction solar cells might absorb light in a wide wavelength range due to the small band gap of Ge. Modifying the substrate surface before growing BaSi₂ has effect on reducing the light reflection and increasing the absorption, which is a key issue in improving optoelectronic device performance.

In this study, we have employed Ge substrate and modified its surface by a simple method. Since the vapor composition produced from BaSi₂ source is Ba-rich at the initial stage [12,16], an amorphous Si (a-Si) supply layer is deposited prior to BaSi₂ growth to achieve stoichiometric BaSi₂ film. The purpose of this study is to grow and characterize properties of orthorhombic BaSi₂ films on modified Ge substrates. In order to show the advantage of substrate modification, we compare the properties of BaSi₂ grown on modified substrates with those on flat ones. The substrate modification condition is also optimized.

2. Experimental method

P-type (100) Ge ($\rho = 1\text{--}10 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$) substrates, after cleaning with acetone and deionized water (DI), were dipped into a diluted HNO₃ (70%) solution to form domes on the surface. The dipping time were varied from 5 to 20 mins. Then, the substrates were dipped into a diluted HF (5%) solution for 3 min to

remove the oxide layer. After cleaning with DI water, the substrates were loaded into a RF sputtering chamber for deposition of a 50 nm-thick-a-Si supply layer at a substrate temperature of 300 °C. After that, a 200 nm-thick-BaSi₂ films were evaporated at a substrate temperature of 500 °C and a base pressure of 1.0×10⁻⁵ mbar. For comparison, BaSi₂ films were also grown on flat substrates under the same condition.

Surface and interface morphologies as well as thickness of the evaporated film were observed by scanning electron microscopy (SEM; JEOL JSM-7001-FA). The crystalline property of BaSi₂ films were estimated by Raman spectroscopy (Tokyo Instruments Nanofinder) using Ar⁺ ion laser with an excitation wavelength of 488 nm and X-ray diffraction (XRD; Bruker Discover D8) analysis with Cu K α radiation. For optical properties characterization, we employed a JASCO Ubest V-570 spectrophotometer to obtain the reflectance (*R*) and transmittance (*T*) spectra from the samples. The absorptance (*A*) spectra were obtained using $A = 1 - R - T$. Excess-carrier decay kinetics were evaluated by the microwave-detected photoconductivity decay (μ -PCD) method (KOBELCO LTA-1512EP). Carriers were generated by a 5 ns laser pulse with a wavelength of 349 nm and a spot size of 2 mm in diameter at the photon density of 1.1×10¹⁵ cm⁻². Photoconductivity decay was measured using the reflectivity of a microwave with a frequency of 26 GHz.

3. Results and discussion

3.1 Structure and crystalline property of evaporated BaSi₂ films

Figure 1 shows SEM side and cross-sectional views of the evaporated BaSi₂ films on flat and modified Ge substrates at various etching times t_e . In Fig. 1(a), it can be seen that the evaporated BaSi₂ film has smooth surface and no crack formation on the surface as well as along the thickness. For the films grown on modified substrates, the dome morphology of Ge substrate after the evaporation of BaSi₂ films remains the same as before. The a-Si supply layer is almost consumed, which reveals the relatively smooth and clear BaSi₂/Ge interface for all of the samples. As shown in the insets of Figs. 1(b)-(e), the height and diameter of the domes increase with t_e . At t_e of 20 min, the BaSi₂ film surface becomes rough due to the increase in porosity. Under the same evaporation condition of BaSi₂ film, the higher and larger domes were, the larger BaSi₂/Ge interface area and more porous BaSi₂ film were obtained. The large interface area can reduce the in-plane film stress which is the cause of micro-crack formation when evaporating at high temperature [12,18] but increase the porosity (and thus crystal defects) of the film. Therefore, we should consider the trade-off between them and optimize t_e when employing the modified substrate.

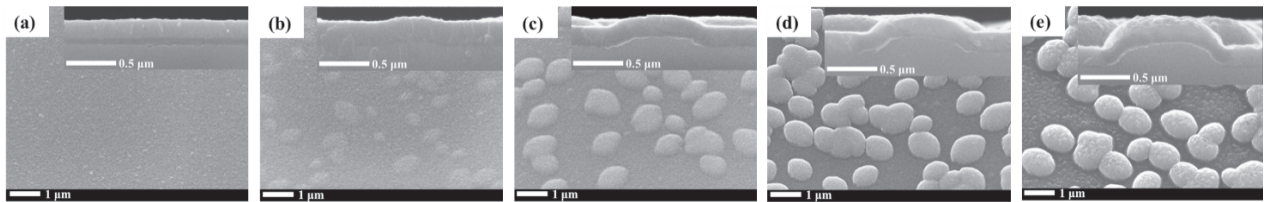


Fig. 1. SEM side and cross-sectional views of BaSi₂ films grown on (a) flat and modified Ge substrates at different etching times: (b) 5 min, (c) 10 min, (d) 15 min, and (e) 20 min.

Raman spectra of the evaporated BaSi₂ films on flat and modified Ge substrates at various t_e are shown in Fig. 2(a). The observed peaks are identified as the vibration modes of [Si₄]⁴⁺ anion in BaSi₂, suggesting that all films are orthorhombic BaSi₂ [21-24]. Figure 2(b) shows the FWHM values of A₁ mode, which are used as a measure of crystalline quality. It can be seen that FWHMs of the films on the modified substrates are smaller than that on the flat one, indicating that the films grown on the formers have a better quality than that on the latter. It can be explained by the reduction of the film stress when evaporating on

the modified substrates at a high temperature due to the increase in interface area, in comparison with evaporating on the flat substrate. For the films grown on the modified substrates, FWHM seems to be unchanged with t_e until 10 min, suggesting that 10 min is not a critical t_e for improving crystalline quality. FWHM, then, decreases with t_e up to 15 min and increases beyond it. This suggests that 15 min is the optimum t_e for the modification of the Ge substrate in improving crystalline quality of the evaporated BaSi₂. At the longer etching time (i.e. $t_e = 20$ min), due to the increase in porosity and therefore crystal defects as mentioned previously, the crystalline quality of the film begins to degrade.

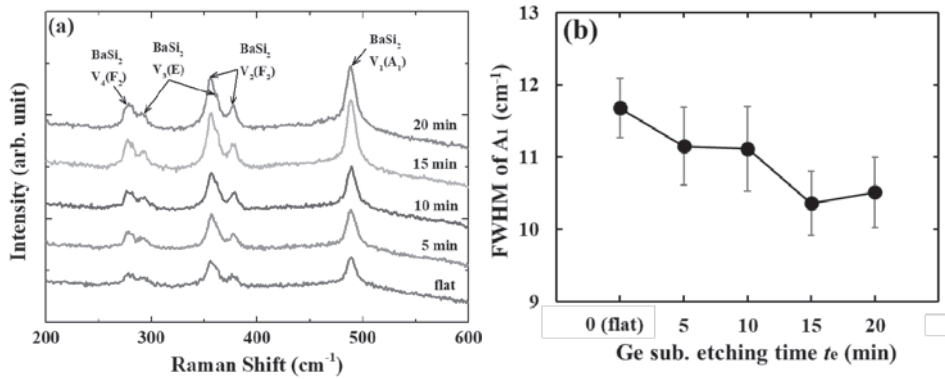


Fig. 2. (a) Raman spectra and (b) FWHM of A₁ mode of BaSi₂ films grown on flat and modified Ge substrates at various t_e .

3.2 Optical properties of evaporated BaSi₂ films

Figure 3 shows the absorbance A spectra of the evaporated BaSi₂ films on flat and modified Ge substrates at various t_e . It is obvious that A s of the films with t_e of 5 and 10 mins are almost the same as that on flat substrate. This indicates that the slight substrate modification has no effect on increasing the absorption of BaSi₂ films. On the other hand, A s of the films grown with t_e of 15 and 20 mins are higher than that on flat substrate. This suggests that the light trapping effect works well when t_e is equal or more than 15 min.

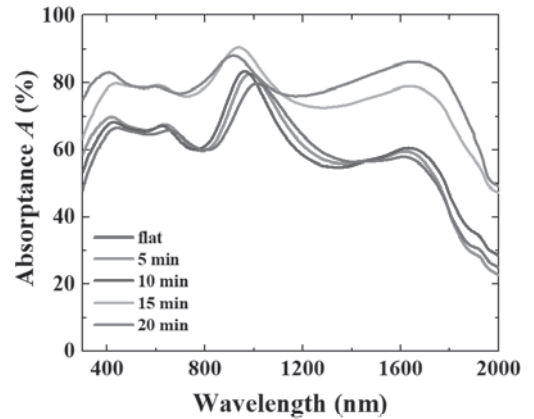


Fig. 3. Absorbance A spectra of BaSi₂ films grown on flat and modified Ge

3.3 Carrier lifetime of evaporated BaSi₂ films

In order to investigate the potential of BaSi₂ film on Ge modified substrate as an active-layer material for solar cells, we investigated the excess carrier lifetime τ of the film. Figure 4(a) shows the photoconductivity decay curves of the BaSi₂ films grown on flat and modified Ge substrates at various t_e at photon density of $1.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. The photoconductivity decay can be divided into three parts in terms of the decay rate: the initial rapid decay due to Auger recombination, the second approximately constant decay due to the Shockley-Read-Hall (SRH) recombination, and the third slow decay due to the carrier trapping effect [19,25]. Since the BaSi₂ films were unpassivated, the initial decay might be attributed to the surface recombination. Because SRH recombination without carrier trapping effect reflects crystalline quality and usually determines the minority-carrier lifetime, τ was extracted from the second decay as indicated by dashed lines in the figures. Since the second decay is very short for the films on flat substrate, it is hardly seen in the photoconductivity decay curves. The slow decay with carrier trapping effect starts at the earlier time in this film than in the other films probably due to the small amount of free or untrapped

carriers. This suggests that the amount of trapping center and therefore crystal defect in this film is larger than in other films. The dependence of excess carrier lifetime τ on the etching time t_e is shown in Fig. 4(b). It can be seen that τ of BaSi₂ films on modified substrates are longer than those on flat substrate, indicating the better crystalline quality of the formers than those of the latter. Focusing on the modified substrates, τ increases with t_e up to 15 min and then decreases at t_e of 20 min. This tendency is consistent with the analysis of film quality shown in section 3.1. At t_e of 15 min, τ achieved 3.17 μ s, which is among the highest value obtained for thin BaSi₂ films (thickness < 300 nm) evaporated on various substrates. These results suggest that the surface modification of Ge substrate has a positive impact and etching time t_e of 15 min is the optimized condition to obtain the BaSi₂ film with good crystalline quality as well as optical properties for thin-film solar cell application.

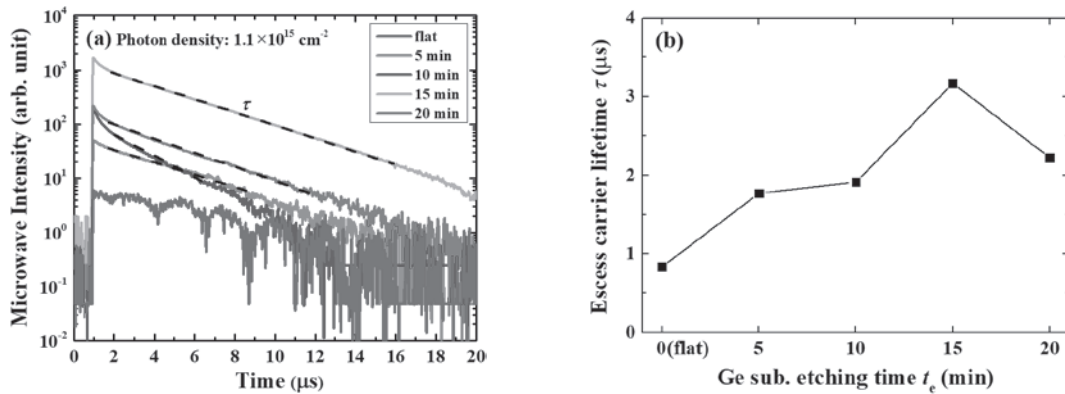


Fig. 4. (a) Photoconductance decay of BaSi₂ films grown on flat and modified Ge substrates at photon density of $1.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ measured by μ -PCD method. Dashed lines show the fitting approximately constant decays. (b) Excess carrier lifetime τ of BaSi₂ films grown on flat and modified Ge substrates at various t_e .

4. Conclusion

We have grown successfully the 200 nm-thick orthorhombic BaSi₂ films on flat and modified Ge substrates by TE method at 500 °C with an a-Si supply layer. At short etching time t_e (less than 15 min), the substrate modification had negligible impact in improving the crystalline quality and optical properties of the BaSi₂ films in comparison with using flat substrate. When t_e is 15 min, the crystalline quality as well as optical properties was improved significantly. The obtained minority-carrier lifetime at this t_e was 3.17 μ s, which is among the highest value ever reported for BaSi₂ thin-film. When t_e was beyond 15 min, the crystalline quality of BaSi₂ film was degraded although its optical properties were still improved. Therefore, t_e of 15 min was chosen as the optimized condition for surface modification of Ge substrate. The results obtained in this study confirms that the BaSi₂ thin-film evaporated on modified Ge substrate is a promising absorber for thin-film solar cells.

References

- [1] T. Suemasu, N. Usami, Exploring the potential of semiconducting BaSi₂ for thin-film solar cell applications, J. Phys. D: Appl. Phys. 50 (2017) 23001. doi:10.1088/1361-6463/50/2/023001.
- [2] J. Britt, C. Ferekides, Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency, Appl. Phys. Lett. 62 (1993) 2851–2852. doi:10.1063/1.109629.
- [3] X. Wu, High-efficiency polycrystalline CdTe thin-film solar cells, Sol. Energy. 77 (2004) 803–814. doi:10.1016/j.solener.2004.06.006.

- [4] I. Repins, M. A. Contreras, B. Egaas, C. DeHart, J. Scharf, C. L. Perkins, B. To, R. Noufi, 19.9%-Efficient ZnO/CdS/CuInGaSe² solar cell with 81.2% fill factor, *Prog. Photovolt.* 16 (2008) 235–239. doi:10.1002/pip.822.
- [5] P. Jackson, D. Harikos, E. Lotter, S. Paetel, R. Menner, W. Wischmann, M. Powalla, New world record efficiency for Cu(In,Ge)Se₂ thin-film solar cells beyond 20%, *Prog. Photovolt.* 19 (2011) 894–897. doi:10.1002/pip.1078.
- [6] J. Evers, A. Weiss, Electrical properties of alkaline earth disilicides and digermanides, *Mater. Res. Bull.* 9 (1974) 549–553. doi:10.1016/0025-5408(74)90124-X.
- [7] T. Nakamura, T. Suemasu, K. Takakura, F. Hasegawa, A. Wakahara, M. Imai, Investigation of the energy band structure of orthorhombic BaSi₂ by optical and electrical measurements and theoretical calculations, *Appl. Phys. Lett.* 81 (2002) 1032–1034. doi:10.1063/1.1498865.
- [8] L. I. Ivanenko, V. L. Shaposhnikov, A. B. Filonov, A. V. Krivosheeva, V. E. Borisenko, D. B. Migas, L. Miglio, G. Behr, J. Schumann, Electronic properties of semiconducting silicides: Fundamentals and recent predictions, *Thin Solid Films* 461 (2004) 141–147. doi:10.1016/j.tsf.2004.02.088.
- [9] K. Morita, Y. Inomata, T. Suemasu, Optical and electrical properties of semiconducting BaSi₂ thin films on Si substrates grown by molecular beam epitaxy, *Thin Solid Films* 508 (2006) 363–366. doi:10.1016/j.tsf.2005.07.344.
- [10] S. Kishino, T. Imai, T. Iida, Y. Nakaishi, M. Shinada, Y. Takanashi, N. Hamada, Electronic and optical properties of bulk crystals of semiconducting orthorhombic BaSi₂ prepared by the vertical Bridgman method, *J. Alloys Compd.* 428 (2007) 22–27. doi:10.1016/j.jallcom.2006.03.074.
- [11] K. Toh, T. Saito, T. Suemasu, Optical absorption properties of BaSi₂ epitaxial films grown on a transparent silicon-on-insulator substrate using molecular beam epitaxy, *Jpn. J. Appl. Phys.* 50 (2011) 68001. doi:10.1143/JJAP.50.068001.
- [12] K. O. Hara, Y. Nakagawa, T. Suemasu, N. Usami, Realization of single-phase BaSi₂ films by vacuum evaporation with suitable optical properties and carrier lifetime for solar cell applications, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54 (2015) 07JE02. doi:10.7567/JJAP.54.07JE02.
- [13] M. Baba, K. Toh, K. Toko, N. Saito, N. Yoshizawa, K. Jiptner, T. Sekiguchi, K. O. Hara, N. Usami, T. Suemasu, Investigation of grain boundaries in BaSi₂ epitaxial films on Si (111) substrates using transmission electron microscopy and electron-beam-induced current technique, *J. Cryst. Growth.* 348 (2012) 75–79. doi:10.1016/j.jcrysgro.2012.03.044.
- [14] K.O. Hara, N. Usami, K. Nakamura, R. Takabe, M. Baba, K. Toko, T. Suemasu, Determination of bulk minority-carrier lifetime in BaSi₂ earth-abundant absorber films by utilizing a drastic enhancement of carrier lifetime by post-growth annealing, *Appl. Phys. Express.* 6 (2013). doi:10.7567/APEX.6.112302.
- [15] R. A. McKee, F. J. Walker, J. R. Conner, R. Raj, BaSi₂ and thin film alkaline earth silicides on silicon, *Appl. Phys. Lett.* 63 (1993) 2818–2820. doi:10.1063/1.110297.
- [16] Y. Nakagawa, K. O. Hara, T. Suemasu, N. Usami, Fabrication of single-phase BaSi₂ thin films on silicon substrates by vacuum evaporation for solar cell applications, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54 (2015) 08KC03.
- [17] Y. Nakagawa, K. O. Hara, T. Suemasu, N. Usami, On the mechanism of BaSi₂ thin film formation on Si substrate by vacuum evaporation, *Procedia Eng.* 141 (2016) 23–26. doi:10.1016/j.proeng.2015.09.219.
- [18] C. T. Trinh, Y. Nakagawa, K. O. Hara, R. Takabe, T. Suemasu, N. Usami, Photoresponse properties of BaSi₂ film grown on Si (100) by vacuum evaporation, *Mater. Res. Express.* 3 (2016) 76204. doi:10.1088/2053-1591/3/7/076204.
- [19] K. O. Hara, J. Yamanaka, K. Arimoto, K. Nakagawa, T. Suemasu, N. Usami, Structural and electrical characterizations of crack-free BaSi₂ thin films fabricated by thermal evaporation, *Thin Solid Films* 595 (2015) 68–72. doi:10.1016/j.tsf.2015.10.025.

- [20] C. T. Trinh, Y. Nakagawa, K. O. Hara, Y. Kurokawa, R. Takabe, T. Suemasu, N. Usami, Growth of BaSi₂ film on Ge (100) by vacuum evaporation and its photoresponse properties, *Jpn. J. Appl. Phys.* 56 (2017). doi:10.7567/JJAP.56.05DB06.
- [21] J. Yeom, D. Ratchford, C. R. Field, T. H. Brintlinger, P. E. Pehrsson, Decoupling diameter and pitch in silicon nanowire arrays made by metal-assisted chemical etching, *Adv. Funct. Mater.* 24 (2014) 106–116. doi:10.1002/adfm.201301094.
- [22] F. Yuan, Z. Li, T. Zhang, W. Miao, Z. Zhang, Enhanced light absorption of amorphous silicon thin film by substrate control and ion irradiation, *Nanoscale Res. Lett.* 9:173 (2014) 1–5. doi:10.1186/1556-276X-9-173.
- [23] D. Ratchford, J. Yeom, J. P. Long, P. E. Pehrsson, Influence of inhomogeneous porosity on silicon nanowire Raman enhancement and leaky mode modulated photoluminescence, *Nanoscale* 7 (2015) 4124–4133. doi:10.1039/c4nr06329e.
- [24] R. Loudon, The Raman effect in crystals, *Adv. Phys.* 13:52 (1964) 423–482. doi:10.1080/00018736400101051.
- [25] K. O. Hara, N. Usami, K. Toh, M. Baba, K. Toko, T. Suemasu, Investigation of the recombination mechanism of excess carriers in undoped BaSi₂ films on silicon, *J. Appl. Phys.* 112 (2012) 083108. doi:10.1063/1.4759246.

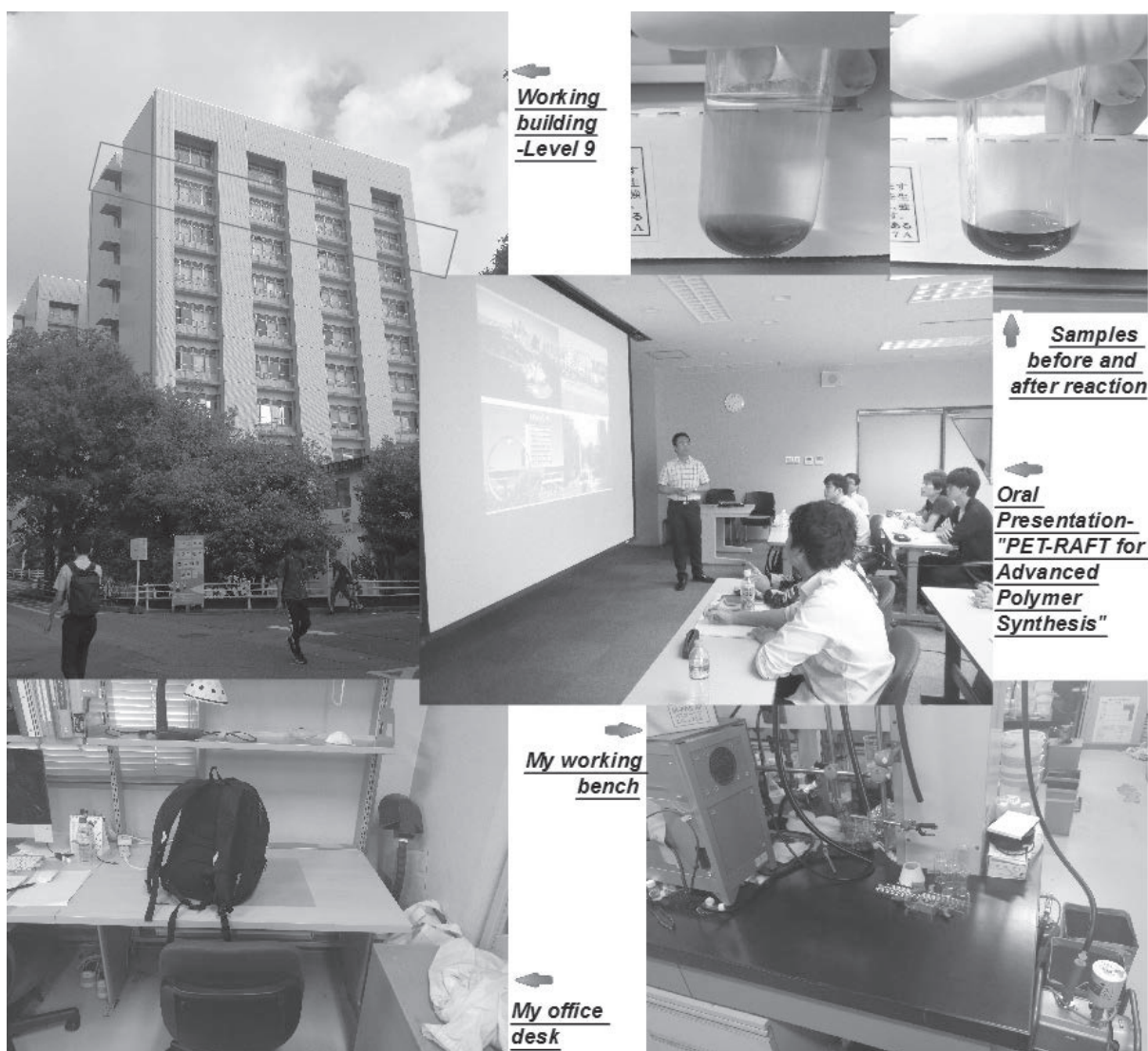
4. VBLで過ごした日々

(Days Spent at VBL)

Nagoya University Visit report

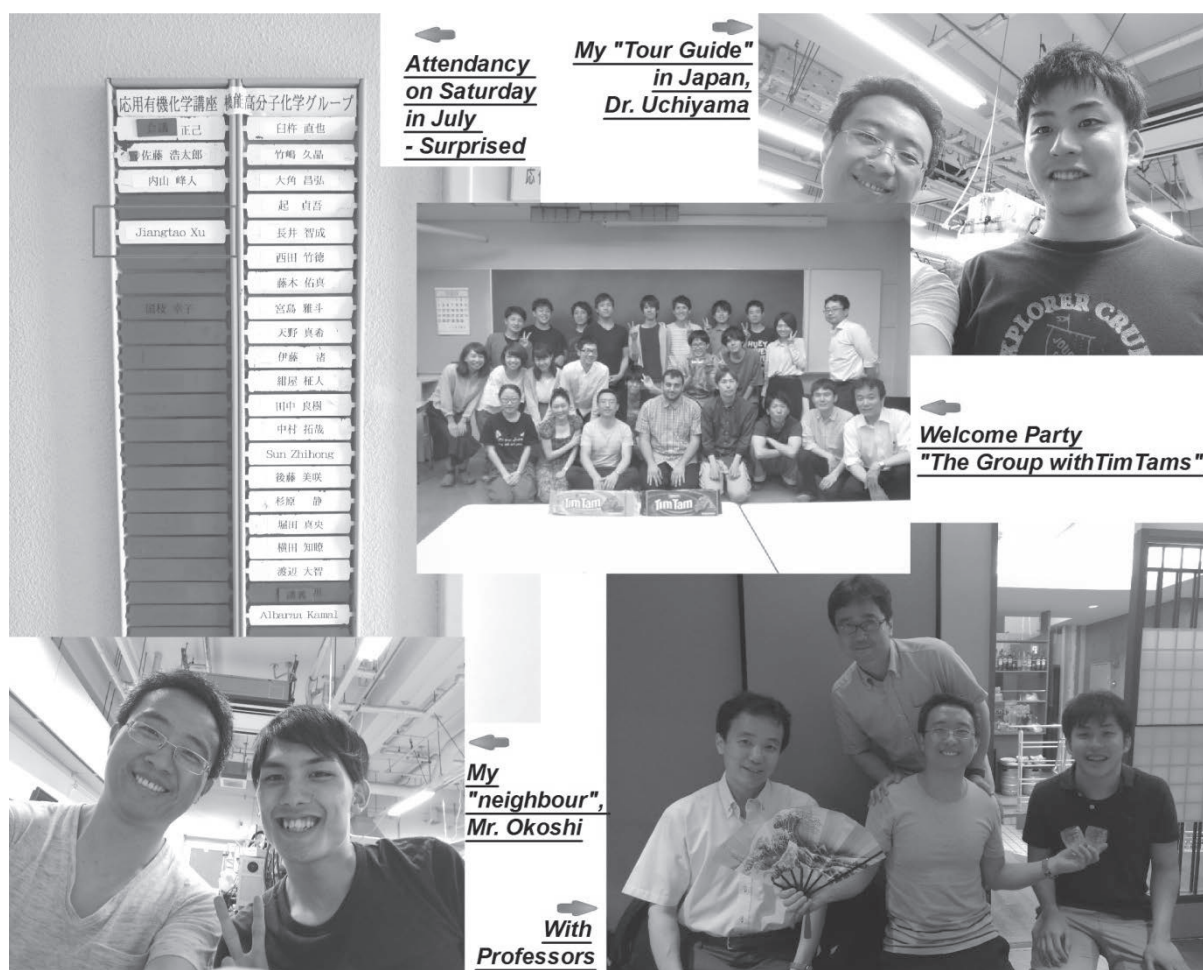
by Dr Jiangtao Xu, UNSW Sydney

Japan is at the forefront of world science and technology on many indicators, and is also a major knowledge producing country. Long-term substantial research investments assured the high quality research and development in the world. The investments to establish collaborations and friendship among the leading research institutes in Japan and other countries is a smart and efficient way to stimulate innovation and creativity in science and technology. Aligned with Global COE program initiated by Japanese government, the business unit of Venture Business Laboratory (VBL) in Nagoya University (NU) is thus providing fascinating opportunities to students and research scientists from all over the world. As one of the recipients, I was proud and appreciated to be financially supported to visit Prof



Kamigaito's group in NU for one month (June 19th – July 18, 2017). The whole visit is really enjoyable and productive.

Prof. Kamigaito is one of the world-leading scientists in the research area of macromolecular synthesis and advanced materials. High quality research can be demonstrated by his distinguished reputation in polymer community, and broad research networking in both academia and industry. On my side, I am currently ARC Future Fellow and Lecturer in School of Chemical Engineering, University of New South Wales (UNSW) Sydney in Australia. As a polymer chemist, I have made a significant contribution to the area of macromolecular design with a focus on the development of green technologies for advanced polymer synthesis. Recent achievement lies on the development of photoinduced living radical polymerization (termed "PET-RAFT") technique, which has been highly recognized and attracted a great deal of attention in polymer community. Since a few years ago, I have had several contacts with Profs Kamigaito and Satoh to exchange research ideas and interesting findings during international conferences. The collaboration has been initiated and one joint article review has been produced in 2016. However, this contact is not enough



for deep collaboration and effective communication on innovative projects. Thus, this one-month visit was an excellent opportunity to achieve the goals.

The achievement of this visit can be summarized as: (i) established my collaboration and networking with international leading research groups in Japan, including Profs Kamigaito's, Yashima's and Matsushita's groups in NU; (ii) improved the access to experienced skills and advanced equipment in polymer synthesis and characterization; (iii) opened up more opportunities for innovation and creativity by engaging high quality of Australia and Japan's science and research. The collaborated projects which were initiated or undergoing during the visit are listed as followed:

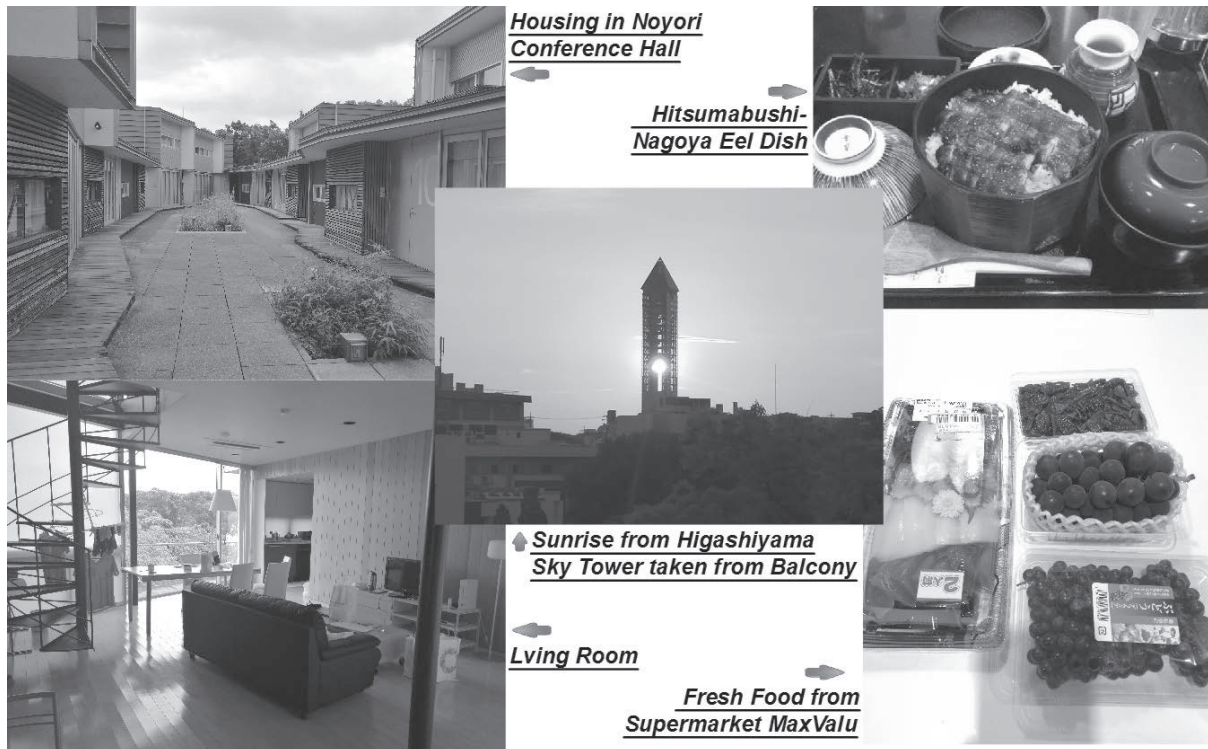
(1) Sequence control in polymer synthesis using PET-RAFT SUMI technology. There was a challenge in my research project on monomer selection for repeated SUMI addition to prepare multiple units sequence-controlled polymers. This challenge has been annoyed for a long time. During the visit, a systematic screening of eligible monomers for this reaction was comprehensively discussed with all professors in the group. Several monomers were selected for experimental tests, which fortunately presented Indene was the only monomer for the SUMI extension reaction and finally circumvent the challenge. More experimental work is still in progress in NU and UNSW.

(2) Cationic and radical convertible polymerization by $ZnCl_2$ and ZnTPP catalyst using RAFT approach under red light irradiation. Polymer architectures can be controlled by these two catalysts using two different initiation approaches through the control (switch on/off) of light. ZnTPP known as a Lewis acid is potentially playing as cationic activator as $ZnCl_2$. The concept has not been demonstrated yet but already on the way.

(3) Alternating copolymerization of natural occurring monomers using PET-RAFT technique. This project aims to prepare sustainable polymers with controlled molecular weight and architectures using green monomers and green polymerization technique. The selected monomers will be comprehensively investigated for polymerization under different conditions. One student in UNSW is currently leading this project.

Apart from the research work, everything I have seen, heard and learned during this visit is engraved on my memory forever. This was the first time I visited Japan in my life, although I knew a lot about Japan before. At the first day I arrived in Nagoya, my wife and I met our "tour guide" (actually a professor), Dr. Uchiyama, in Nagoya. I want to thank him for so much help, not only the work-related questions, but also the difficulties in my life in Japan.

Of course, the greatest thanks should be given to Profs Kamigaito and Satoh. They have provided a great opportunity and friendly environment to the overseas collaborators. I can't tell how much I appreciated to their kindness, generosity, hospitality and humours. I was offered to live in one of the houses in Noyori Conference Hall, which has fascinating view and living conditions. I received warm-hearted welcome and farewell parties, and also greetings and smiles from all the people in the group every day. Many thanks to all of them.



Moreover, this visit provided me chances to understand Japanese culture and enjoy local food. The professional ethics and Japanese craftsmanship are deepened in every aspects of daily life, not only industrial products but also academic research in whole country. It is impressive to see the systematic training in research for all honors and master students. Together with the hard working, the junior students possess professional training and comprehensive knowledge. There is no doubt that they will have bright future no matter where they will work.

I really like Japanese food, including noodles (Ramen, Tsukemen and Udon), sushi and sashimi, and assorted bakeries in convenient stores (really really convenient!). Japanese wines (Sake and Whisky) are my favourites, too. Additionally, I was impressed by Japanese public transportation, subways extended in all directions, JR line, Shinkansen.

During this visit, there were also the opportunities organized by Prof Kamigaito to meet some other top scientists in Japan, including Profs Yashima and Matsushita in NU, and Profs Aoshima, Hashidzume and Yamaguchi in Osaka University, Prof. Minami and A/Prof. Kitayama in Kobe University.

Memorable Days Spent in VBL, Nagoya University

From May 22nd to Aug 5th

Ph. D. MORALES IBARRA Rodolfo
Associate Professor

Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Facultad de Ingenieria Mecanica y Electrica
(Autonomous University of Nuevo Leon, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering)
Av. Universidad, S/N, Ciudad Universitaria, San Nicolas de los Garza, Nuevo Leon, C.P. 66052

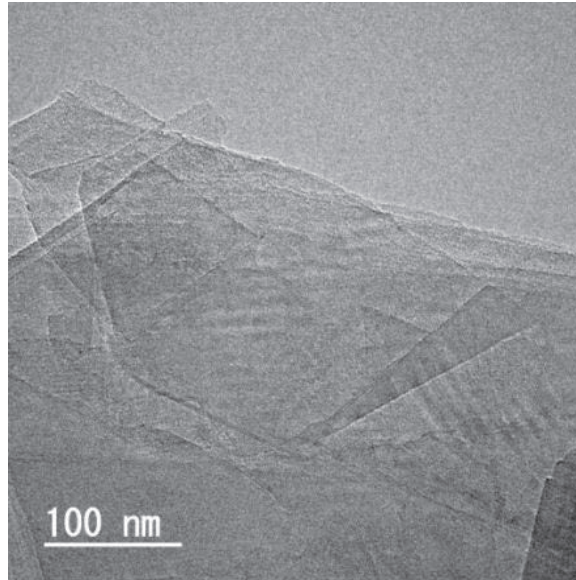
There are no words to describe how grateful I am to Nagoya University. Nagoya University and Nagoya City has received me with arms wide open. It has given me the opportunity to explore a new line of research, and in fact, a new line of research for this international group.



I have spent 75 memorable days as Associate Professor and Invited Researcher in the Chemical Engineering Department; therefore I would like to express my gratitude to the Venture Business Laboratory, namely to Professor Motonobu Goto for the Graduate School of Engineering, who was also my tutor during my Ph.D. in Kumamoto University, and to Professor Tomohide Niimi, Dean of the Graduate School of Engineering, who gladly accepted the project proposal and extended the official invitation to visit Nagoya University.

During my stay I occupied the position of Designated Associate Professor (Foreign Visiting Faculty) with the purpose of conducting research on Nano-Process Technology for Highly Functional Materials and Devices. In collaboration with Professor Goto we developed a Line of Research in Synthesis and Characterization of Graphene.

About the developed research, it is only fair to say that we have successfully accomplished the research objective of synthesizing Graphene; a two-dimensional hexagonal crystalline array of elemental carbon atoms which has drawn a lot of attention in recent years due to its outstanding properties. An important line of research on this matter is focusing in novel and more productive methods of synthesis of graphene while corroborating its properties and applications. In our exploratory research we have effectively exfoliated single layer and few layer graphene from graphite using supercritical water, supercritical carbon dioxide and supercritical ethanol. The exfoliated graphene was characterized by transmission electron microscopy (TEM), scanning electron microscopy (SEM), and Raman spectroscopy. TEM analysis showed the hexagonal crystalline structure of the graphene layers while corroborating the expected morphology and transparency of graphene in TEM; SEM micrographs also showed the morphology of graphene layers, while the results of the Raman spectra corroborated the supercritical exfoliation of graphene showing the characteristic shift towards smaller Raman number in the 2D band, 2676 cm^{-1} of graphene compared to the graphite 2D band spectra. Supercritical fluids exfoliation promises to be a simple and large-scale method for graphene production. Further research will be developed in collaboration with Professor Goto for this matter.



TEM Micrograph of Exfoliated Graphene via Supercritical Water

Nagoya city has welcomed my family as well. Giving the opportunity to my Daughter to attend the Itaka Kindergarten, where she was incredibly happy every morning... There, she could learn and play with her so many new friends. My wife has enjoyed the city and we have together visited around.

I've had an incredible amount of help, to get here and to go back again... Professor Goto is the kind of person which with very small acts of kindness can create a series of events that change the world for so many people; Kumiyo Matsuyama from International Affairs of Nagoya University, made our life so much easier with all the paperwork; Ishibashi san who is the assistant in Goto lab, helped us with administrative paperwork in Nagoya University; Kawai Shota kun, picked us up at the station and showed us to our apartment (while carrying one of our heaviest bags); Wahyu san helped us with the experiments every single time, nothing would have worked out without his help; the rest of the members of Goto Lab, Anthony, Kaga, Maiko, Katsube, Kimthet, Kodama, Yukako, Haruka, Ai, and all the others, made my time better every day in the University.

In these months, I have gained a unique experience, and I hope to continue to work with Professor Goto and Nagoya University. Wholeheartedly... Thank you so much for everything.

Memorable Days Spent in VBL, Nagoya University

From September 4 to October 6, 2017

Dr. Siti Machmudah

Department of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Surabaya 60111, Indonesia

First of all, I would like to express my greatest gratitude to the management of Venture Business Laboratory (VBL), Nagoya University for giving me opportunity to spend a memorable time at Nagoya University for the purpose of conducting research on “Nano-Process Technology for Highly Functional Materials and Devices” in collaboration with Professor Motonobu Goto of the Graduate School of Engineering. I also would like to thank Professor Tomohide Niimi, the Dean of Graduate School of Engineering, Assistant Professor Hideki Kanda, Ms. Kumiyo Matsuyama, and Mrs. Akira Ishibashi for the smooth arrangement of my arrival in Nagoya University as a Designated Associate Professor.

During my stay in Nagoya, I spent my time mostly at Professor Goto Laboratory for conducting analysis, experiments, discussing with Professor Goto as well as with graduate and undergraduate students, and writing some manuscripts and reports. At this time, my work was focused on the synthesis of composite nanomaterials using hydrothermal and solvothermal methods that is related to the sub- and supercritical fluids technology. Nanocomposites have attracted a huge amount of interest due to their improved mechanical properties, dimensional stability, thermal/chemical stability, and electrical conductivity. Nanostructures are found to be of great significance because of their inherent properties such as large surface area to volume ratio and the engineered properties such as porosity, stability, and permeability. Composite material can achieve multifunctionality by combining the relevant, desirable features of different materials to form a new material having a broad spectrum of desired properties. My work was focused on synthesis of ceria-zirconia oxide ($\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$) and zinc-silica oxide (ZnO-SiO_2) nanocomposites due to their broad range of applications in various fields. These nanocomposites were successfully fabricated with hydrothermal and solvothermal synthesis. The fabricated $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ nanocomposites with certain compositions could enhance their chemical and thermal properties to be used as electrolyte of Solid Oxide Fuel Cells. ZnO-SiO_2 nanocomposites fabricated by solvothermal synthesis increased their chemical and optical properties for energy saving. I presented a lecture on September 25 in the 3rd Venture Business Laboratory Seminar 2017 entitled “Hydrothermal and Solvothermal Synthesis for Composite

Nanomaterials Preparation”. It was my pleasure to give a lecture in front of graduate and undergraduate students who are very dedicated to their research.



Presentation in the 3rd Venture Business Laboratory Seminar 2017

I believe that during the one month at VBL, I have gained a lot of very useful experiences for my self-development through interaction with researchers and students who are very enthusiastic and passionate about their research field. I am very proud to be collaborated with them because some of them are at the forefront of their research fields. Last but not least, I would like to express my gratitude to Professor Motonobu Goto and his lab’s members as well as VBL staff for providing experimental and analysis facilities. Moreover, because of Professor Motonobu Goto, I had a good opportunity to meet Professors from Tohoku University in Nagoya, and discuss about Chemical Engineering Society in Japan and possibility of other collaborations. I thank again all who arranged the VBL program that is very useful both for foreign faculty staff as well as Professors or students in Nagoya University.

5. 事業委員会および専門委員会の活動

(Activities of VBL Committee)

5.1 事業委員会

委員会委員

天野浩（委員長、未来材料・システム研究所、教授、ラボラトリー長）
山田基成（経済学研究科、教授）
清水裕彦（理学研究科、教授）
梅原徳次（工学研究科、教授）
上垣外正己（工学研究科、教授）
中里和郎（工学研究科、教授）
青井啓悟（生命農学研究科、教授）
枝廣正人（情報科学研究科、教授）
宇治原徹（未来材料・システム研究所、教授）

オブザーバー

永野修作（工学研究科、准教授、VBL専任）

- ・第1回事業委員会 平成29年6月23日(金)

審議事項：

平成29年度事業計画(案)について
平成28年度決算(案)について
平成29年度予算(案)について
平成29年非常勤研究員の募集について
平成29年外国人研究員（外国人招へい研究員）の追加募集について
平成29年海外派遣者の追加募集について
その他

報告事項：

平成29年度非常勤研究員、招へい研究者及び海外派遣者について
平成28年度事業報告について
その他

- ・第2回事業委員会 平成29年8月31日(木) 書面審議のみ

審議事項：

平成29年度中核的研究機関研究員（非常勤職員）の採用について

- ・第3回事業委員会 平成29年12月7日(木) 書面審議のみ

審議事項：

平成30年度中核的研究機関研究員（非常勤研究員）の募集について
平成30年度外国人研究員（外国人招へい研究員）の募集について
平成30年度海外派遣者の募集について

- ・第4回事業委員会 平成30年1月9日(火)

審議事項：

次期ラボラトリー長候補者の選考について

第 5 回事業委員会 平成 30 年 2 月 19 日(月)

審議事項：

次期ラボラトリー長候補者の選考について

次期事業委員会委員の推薦依頼について

平成 30 年度中核的研究機関研究員（非常勤研究員）、外国人客員教員及び海外派遣者の採用について

報告事項：

平成 29 年度中核的研究機関研究員（非常勤研究員）、外国人研究員（外国人招へい研究員）及び海外派遣者について

平成 29 年度事業報告について

5.2 研究推進専門委員会

委員会委員

| | |
|-------|------------------------|
| 天野 浩 | (未来材料・システム研究所、教授、VBL長) |
| 宇治原徹 | (未来材料・システム研究所、教授、委員長) |
| 八島栄次 | (工学研究科、教授) |
| 上垣外正己 | (工学研究科、教授) |
| 馬場嘉信 | (工学研究科、教授) |
| 齋藤弥八 | (工学研究科、教授) |
| 渡邊信久 | (シンクロトロン光研究センター、教授) |
| 中里和郎 | (工学研究科、教授) |
| 鳥本 司 | (工学研究科、教授) |
| 岸田英夫 | (工学研究科、教授) |
| 堀 勝 | (工学研究科、教授) |
| 伊藤正行 | (理学研究科、教授) |
| 阿波賀邦夫 | (理学研究科、教授) |
| 松下未知雄 | (理学研究科、准教授) |
| 大野雄高 | (未来材料・システム研究所、教授、教授) |
| 田淵雅夫 | (シンクロトロン光研究センター、教授) |
| 永野修作 | (工学研究科、准教授、VBL専任教員) |
| 中村 彩乃 | (工学研究科、博士課程後期課程1年) |

- ・委員会開催：隔月を目安に開催

参加者は、上記委員の他、関係研究グループの構成員、施設利用者、VBL専任教官、VBL非常勤研究員など。

- ・審議事項：年間事業計画、研究計画、教育プログラム企画、施設維持管理体制、予算執行計画など。

5.3 研究企画専門委員会

委員会委員

- 天野 浩 (未来材料・システム研究所、教授、ラボラトリー長、委員長)
梅原徳次 (工学研究科、教授、外部委員)
内田浩二 (生命農学研究科、教授、外部委員)
上垣外正己 (工学研究科、教授、内部委員)
伊藤正行 (理学研究科、教授、内部委員)
宇治原徹 (未来材料・システム研究所、教授、内部委員)
山内幸二 (東レ(株) 化成品研究所 樹脂研究室、室長・リサーチフェロー、
学外委員)
奥野英一 ((株)デンソー基礎研究所先端研究部(株)、部長、学外委員)

オブザーバー

- 永野修作 (工学研究科、准教授、VBL 専任教員)

日時： 平成30年3月15日(金) 18:00-20:00

場所： VBL セミナー室

議題：

1. VBL の事業概要
2. VBL の研究活動
 - (1) 半導体ナノプロセスグループ、天野 浩 教授
題目： GaN nanorods for future nanoLED displays
 - (2) 半導体ナノプロセスグループ、宇治原 徹 教授
題目： 高熱伝導性 AlN ウィスカーフィラー材料の開発と応用
3. 意見 (外部委員)

6. ナノテクノロジープラットフォーム
(Nanotechnology Platform)

6.1 文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」

前年度までの「中部ナノテク総合支援」の後継のプロジェクトとして、本年度から新たに「ナノテクノロジープラットフォーム」が開始されました。本事業は、全国の大学と物材機構および分子研が密に連携することにより、最先端の研究設備とその活用のノウハウとともに、産官学を問わず共同利用を進める。「微細構造解析」、「微細加工」、「分子・物質合成」の3技術領域において、設備の共同利用を促進し、産業界や研究現場が有する技術的課題の解決へのアプローチを提供するとともに、産学官連携や異分野融合を推進する。

6.2 名古屋大学における支援

名古屋大学は、微細構造解析領域に「エコトピア科学研究所・超高压電子顕微鏡施設」、微細加工領域にナノ関連研究センターである「先端技術研究センター、プラズマナノ工学研究センター、ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー(VBL)」、分子・物質合成領域には「名古屋大学工学研究科応用化学専攻および物質制御工学専攻」が参画し、三つのすべての領域の支援体制を構築している。本事業に参加する25機関のうち、東北大、阪大とならんで3領域すべてに参画する特徴的な機関であり、名古屋大学内にてこれらの領域を横断、融合した連携を基軸に、最先端のナノテクノロジー支援を産学官の利用者に提供できる。

6.3 VBLにおける支援

VBLでは、本事業の前身である「中部ナノテク支援」の実績を踏まえ、化合物半導体やカーボンナノチューブをはじめとする新規材料の半導体ナノデバイス構造作製評価技術を支援する。具体的には、分子線結晶成長装置や電子ビーム描画装置をはじめとする高度な装置に加えて、フォトリソグラフィ装置、絶縁体薄膜形成装置、金属蒸着装置などの基本的な半導体プロセス技術を提供し、ナノ構造・ナノデバイス作製を可能とする。さらにこれらの構造を評価するための走査型電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、元素分析装置、原子結合状態評価装置等の高度な評価技術を提供し、高品質ナノ構造・ナノデバイスの研究開発を支援する。

6.4 支援実績

電子顕微鏡、アッシング装置の利用を中心に、68件の利用があり、開始当初から利用件数を増やしている(下図)。現状、学内の利用者が多く、ナノテクノロジープラットフォーム事業の目標として、今後、学外の利用、特に企業からの利用者を増大していく予定である。

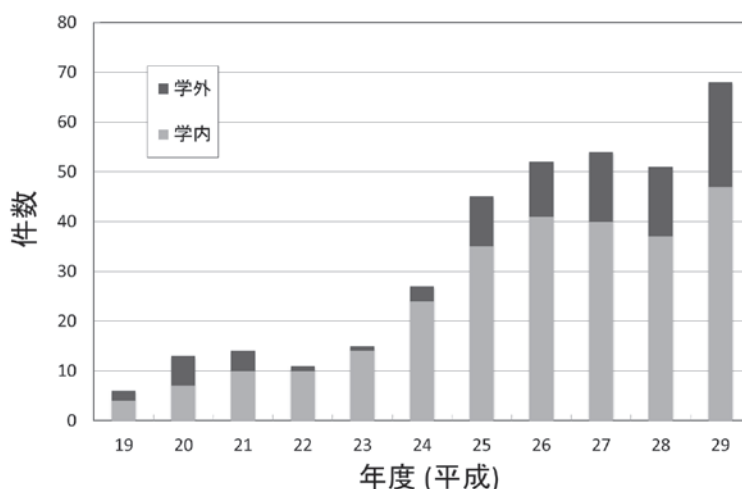


図. ナノテクプラットフォーム支援件数の推移(～22年度までナノ支援)

6.5 支援制度利用者リスト

名古屋大学VBLへのナノテクプラットフォーム申請は、支援制度を直接利用して申請される場合と、VBLの従来の課題申請の枠組みを通して併用で申請される場合がある。ここには、ナノテクプラットフォームを利用して申請された課題のリストを掲載する。6.6節にはその成果報告をまとめた。

| | | | |
|----|-----------------------------------|------|--------------|
| 1 | ドナー・アクセプター分子ヘテロ接合構造体の光電変換過程に関する研究 | 中谷真人 | 名古屋大学 |
| 2 | 感光性樹脂の研究 | 石川雄大 | 株式会社 FSCE |
| 3 | 磁性薄膜の磁壁を利用したスピン散乱効果の検証 | 桑原真人 | 名古屋大学 |
| 4 | 細胞培養マイクロデバイスの開発 | 清水一憲 | 名古屋大学 |
| 5 | 微細加工表面での動的接触角決定機構の解明 | 伊藤高啓 | 名古屋大学 |
| 6 | エネルギー創成・貯蔵材料に関する研究 | 鈴木康弘 | 名古屋大学 |
| 7 | 大気圧プラズマを用いたナノファイバー不織布膜の濾過性能の向上 | 向井康人 | 名古屋大学 |
| 8 | カーボンナノ物質の成長制御と電子源応用 | 齋藤弥八 | 名古屋大学 |
| 9 | 有機電子材料・ナノカーボン物質における新しい光・電子応答現象の探索 | 岸田英夫 | 名古屋大学 |
| 10 | 次世代半導体デバイスのための材料およびプロセスの開発研究 | 財満鎮明 | 名古屋大学 |
| 11 | シリコン量子ドット発電層の高品質化技術の開発と太陽電池構造の作製 | 黒川康良 | 名古屋大学 |
| 12 | 神経細胞ネットワークハイスループットスクリーニング装置の開発 | 王 志宏 | 名古屋大学 |
| 13 | 量子ナノ構造デバイスの研究 | 廣谷 潤 | 名古屋大学 |
| 14 | 高秩序ナノ構造体の創製と評価に関する研究 | 徳 悠葵 | 名古屋大学 |
| 15 | ハーフメタルを用いたスピndeデバイスの研究 | 植田研二 | 名古屋大学 |
| 16 | 高機能磁気センサデバイスの開発と評価 | 大島大輝 | 名古屋大学 |
| 17 | 高効率磁化反転技術の開発 | 大島大輝 | 名古屋大学 |
| 18 | 炭素系複合材料の界面熱コンダクタンス測定 | 長野方星 | 名古屋大学 |
| 19 | 高分子材料へのDFB型回析格子の導入によるレーザー発振 | 竹延大志 | 名古屋大学 |
| 20 | Si ライン&スペース上へのSi量子ドットの高密度形成 | 牧原克典 | 名古屋大学 |
| 21 | プラズマ照射試料の表面観察 | 梶田 信 | 名古屋大学 |
| 22 | 砒化亜鉛化合物新規磁性半導体の高品位薄膜成長とデバイス作製 | 生田博志 | 名古屋大学 |
| 23 | 亜臨界流体による微細藻類からの油脂抽出挙動の解明 | 後藤元信 | 名古屋大学 |

| | | | |
|----|--|--------------------------|---|
| 24 | オンチップ細胞計測を基盤とする光合成細胞の外部刺激応答特性の解明 | 魚住信之 | 東北大学 |
| 25 | マルチ材料積層造形技術による心臓モデルの開発 | 池田誠一 | ファイン・バイオメディカル株式会社 |
| 26 | 流体制御を基盤とする超高速・超精密単一細胞分取技術の開発 | 飯野敬矩 | 東京大学 |
| 27 | バイオニックヒューマノイドのシステム統合と眼球モデルの開発 | 荒木章之 | 東京大学 |
| 28 | 超高速オープンフローサイトメータの開発 | 齊藤俊樹 | 名古屋医療センター |
| 29 | 光学式応力センサを搭載した生体模擬網膜モデルの開発 | 益田泰輔 | 名古屋大学 |
| 30 | バイオニックヒューマノイドモデリングのための解剖構造モデリングと物性計測技術の開発 | 佐久間臣耶 | 名古屋大学 |
| 31 | スフェロイドの機械特性ソーティングを基軸とした培養環境との機械的相互作用評価 | 佐久間臣耶 | 名古屋大学 |
| 32 | カーボンナノチューブの結晶成長 | 丸山隆浩 | 名城大学 |
| 33 | GaN 系半導体微細構造の作製と評価に関する研究 | 出来真斗 | 名古屋大学 |
| 34 | 半導体のプロセス技術検討 | 武田恭英 | 株式会社ジェイテクト |
| 35 | GaN 系半導体光・電子デバイスの開発のための EB,レーザーによるフォトマスクの作製 | 岡田成仁 | 山口大学 |
| 36 | マイクロロボットの開発 | 市川明彦 | 名城大学 |
| 37 | 医療用マイクロデバイスとマイクロ流体デバイスの研究 | 福田敏男 | 名城大学 |
| 38 | TFT Device Fabrication using 輝創社製 UFL-Hybrid | KARIM Nissar Mohammad | 名古屋大学 |
| 39 | パワーデバイス用 GaN 基板の評価 | 大森雅登 | 名古屋大学 |
| 40 | 次世代ナノデバイスのための高度機能プロセスの研究 | 堤 隆嘉 | 名古屋大学 |
| 41 | 酸化物薄膜へのイオン挿入脱離による熱伝導率の変化を利用した熱スイッチ材料の提案 | 宇治原徹 | 名古屋大学 |
| 42 | STO 表面構造の制御とその解析 | 徳永智春 | 名古屋大学 |
| 43 | Chiral domain driven by current in the presence of external AC magnetic field in perpendicularly magnetized magnetic nanotraks | Long You | Hazhong University of Science and Technology |
| 44 | シリコンナノ粒子太陽電池に関する研究 | 加藤慎也 | 名古屋工業大学 |

| | | | |
|----|---|-------|---------------------------------|
| 45 | 半導体技術の基礎実験 | 丹野 聡 | 株式会社ジェイテクト |
| 46 | 高時間応答マイクロ壁面せん断応力センサの開発 | 岩野耕治 | 名古屋大学 |
| 47 | 微細加工プロセスを利用した工学素子の作成 | 稲田雅宣 | ソニーグローバルマニュファクチャリング&オペレーションズ(株) |
| 48 | ハイパボリック・メタマテリアルによる高効率有機発光デバイスの開発 | 松井龍之介 | 三重大学 |
| 49 | 非空間反転対称磁性体の新規スピン光機能の探索 | 松原正和 | 東北大学 |
| 50 | 強誘導体薄膜キャパシタ向け白金電極の作製と評価 | 山田智明 | 名古屋大学 |
| 51 | 窒化物半導体マイクロ LED に向けた選択成長に関する研究 | 熊谷直人 | 産業技術総合研究所 |
| 52 | 天文観測用の接合型 Ge 遠赤外線検出器の超薄層化・高感度化への挑戦 | 鈴木仁研 | 名古屋大学 |
| 53 | デジタル画像相関法による金属材料の塑性変形挙動の解析 | 足立吉隆 | 名古屋大学 |
| 54 | 光応答性ブロック共重合体薄膜の配向制御と応用 | 関 隆弘 | 名古屋大学 |
| 55 | Al ₂ O ₃ /BN 複合材料の微細組織と熱伝導率に関する研究 | 山下誠司 | 名古屋大学 |
| 56 | 高成形性形状記憶合金のコンビナトリアル評価 | 櫻井淳平 | 名古屋大学 |
| 57 | 薄膜金属ガラスを用いた超小型高感度静電容量型圧力センサの研究 | 櫻井淳平 | 名古屋大学 |
| 58 | バイオ燃料電池を搭載した超小型自己泳動マイクロロボットへの挑戦 | 益田泰輔 | 名古屋大学 |
| 59 | ガラス上へのエッチング用マスク作製法の検討 | 小高秀文 | 旭硝子(株)先端技術研究所 |
| 60 | ヒドロキシアパタイト/セルロースナノファイバー複合体の合成 | 中村 仁 | 名古屋大学 |

他 成果非公開自主事業等 8 件

6.6 ナノテクプラットフォーム利用報告

課題番号 : F-17-NU-0001
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : ドナー・アクセプター分子ヘテロ接合構造体の光電変換過程に関する研究
 Program Title (English) : Evaluation of photoelectric conversion properties of molecular photovoltaic cell
 利用者名(日本語) : 加藤雅洋, 中谷真人, 尾上 順
 Username (English) : M. Kato, M. Nakaya, J. Onoe
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 有機光電変換素子, ITO 薄膜, 化学エッチング, 形状・形態観察

1. 概要(Summary)

有機光電変換素子の応用へ向けて、実用化レベルのエネルギー変換効率を実現するための研究開発が広く進められている。我々は、最もシンプルな構造である積層型素子(金属電極/電子受容体層/電子供与体層/透明電極)を作製し(Fig.1a,b), 素子のエネルギー変換効率を決定する諸因子の解明や最適な素子構造の探索等を進めている。本研究では、ガラス基板上に予め形成した厚さ160 nmの酸化インジウムスズ(ITO)薄膜を化学エッチングにより加工し透明電極として使用しており、その加工精度は、素子の特性やその評価精度を左右する。そこで、今回、化学エッチングがITO電極加工に与える影響を微細加工プラットフォームの設備を利用して評価し、最適な加工条件を探索した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査電子顕微鏡(日立ハイテクフィールドエング社製 S4300)

【実験方法】

カットした耐酸性ポリマーテープをマスクとしてITO膜/ガラス基板へ貼り付け、混酸エッチング溶液に浸漬させることでITO薄膜を加工した。ITO膜表面は、走査電子顕微鏡を用いて、ミリメートルからサブマイクロメートルの広測定範囲で評価した。特に、マスク下へのエッチング液の回り込みによる、電極端のアスペクト比の変化を評価するため、試料を切断してITO膜端部の断面観察を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

最初に、エッチング溶液の温度を変化させたときに非マスク領域のITOが全て除去される時間を調べ、エッチング速度や加工精度を調べた。その結果、溶液温度30°Cおよび40°Cにおけるエッチング速度は、それぞれ5.3 nm/minおよび14.5nm/minであることが分かった。次に、2種類のエッチング条件(温度30°Cおよび40°C)で、加工したITO電極を走査電子顕微鏡で観察したところ、30°C溶液によるエッチング(Fig. 1c)では、40°Cの条件(Fig. 1d)よりも電極端の凹凸が小さくなることが分かった。さらに、断面観察の結果から、溶液温度30°Cの条件の方が、溶液の回り込みが小さく、高アスペクト比で加工

できることが分かった。即ち、溶液温度を制御することでITO電極を設計通りに再現性よく形成できる。さらに、このITO電極上に、亜鉛フタロシアニン(ZnPc)薄膜、C₆₀薄膜およびアルミニウム(Al)電極を順番に積層し(Fig. 1b), 変換特性を評価したところ、素子動作に高い再現性が得られた。

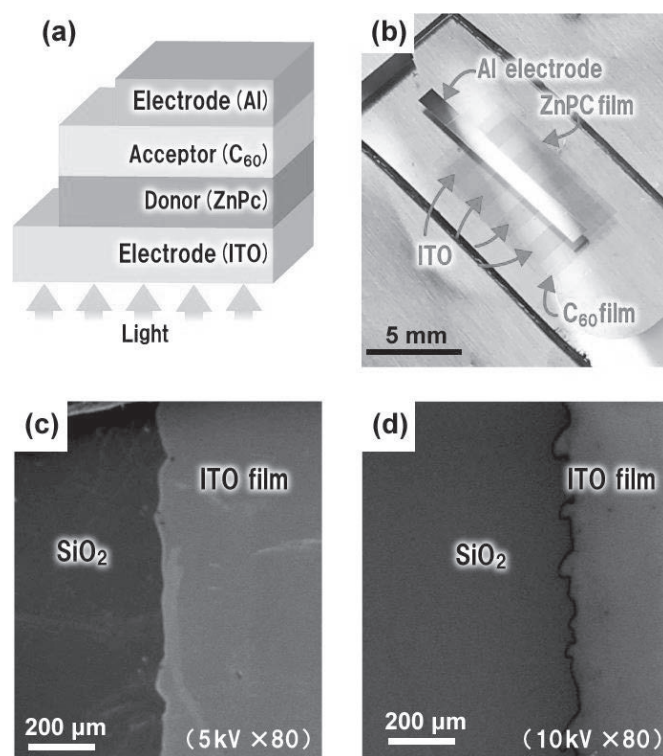


Fig. 1 (a) Schematic illustration and (b) photograph of Al/C₆₀/ZnPc/ITO heterojunction devices. SEM images of ITO electrodes fabricated by chemical etching at (c) 30°C and (d) 40°C.

4. その他・特記事項(Others)

・JSPS 日仏二国間交流事業共同研究
 (日本側代表: 尾上 順)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0010
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 次世代半導体デバイスのための材料およびプロセス開発研究
 Program Title (English) : Materials and Process Developments for Future Semiconductor Devices
 利用者名(日本語) : 中島啓佑
 Username (English) : K. Nakashima
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Eng., Nagoya Univ.
 キーワード/Keyword : イオン注入装置、半導体、Ge、欠陥、電気計測、合成、熱処理、ドーピング

1. 概要(Summary)

Ge は Si に比較して電子・正孔ともに高い移動度をもつことから次世代の金属-酸化膜-半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)への応用が期待されている。MOSFET のソース・ドレイン領域の形成においては、イオン注入法がしばしば用いられる。しかし、Ge-Ge の結合エネルギーは Si-Si 結合に比較して小さいため[1]、イオン注入等のプロセスで空孔等の欠陥が形成されやすい[2]。そのため、欠陥密度の低減や不活性化といった欠陥制御は重要な課題である。そこで、本研究では、Ge 基板に対して様々な元素をイオン注入法によって導入し、形成された欠陥の電気的な特性および熱消滅過程について deep-level transient spectroscopy (DLTS) 測定により詳細に調べた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 イオン注入装置

【実験方法】

n-Ge(001)基板(Sb 濃度: $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)に本支援設備のイオン注入装置を用いて C、O、N、および Ne イオンを注入した。TRIM 計算から全ての試料において注入ピーク位置が 300 nm となるように、C、O、N、Ne イオンの注入エネルギーをそれぞれ 130、150、150、および 200 keV に設計した。注入ドーズ量は $10^{10} \sim 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ とした。注入後、一部の試料は窒素雰囲気中、200~300°C の後熱処理を施した。さらに、HF 溶液によって表面自然酸化膜を除去後、基板表面および裏面に Al 電極を蒸着し、ショットキーダイオードを作製した。比較のため、イオン注入なしのダイオード試料(w/o I/I)も作製した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

低ドーズ試料($10^{10}, 10^{11} \text{ cm}^{-2}$)の DLTS 測定結果を Fig. 1 に示す。120K 付近に正(E1)と負(H1)のピークを顕著に観測した。E1 と H1 のピークはそれぞれ $E_c - 0.25 \text{ eV}$ および $E_c + 0.24 \text{ eV}$ のエネルギー準位の欠陥と見積もった。これらの欠陥は過去の報告との比較から、E1 は

Sb と格子間 Ge との複合欠陥、および H1 は Sb と空孔との複合欠陥または V(-/-)起因の欠陥と考えられる。欠陥の消滅温度を調べるため、熱処理温度を変え熱処理を行った。E1 および H1 は熱処理温度の上昇と共に欠陥密度に比例するピーク強度が減少し、300°C 熱処理では顕著に観測できなかつた。これらのことから、Sb と格子間 Ge の複合欠陥および空孔関連欠陥は 300°C 熱処理によって消滅させられることがわかった。

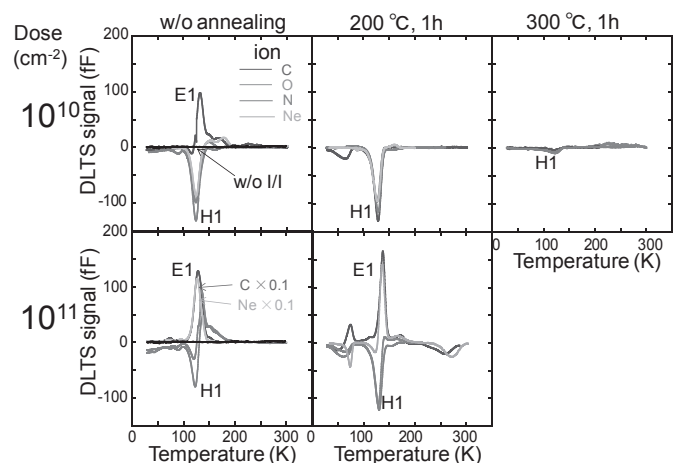


Fig. 1 Various DLTS signal of C, O, N, and Ne I/I samples ($T_w=10 \text{ ms}$).

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

- [1] A. Fazzio *et al.*, Phys. Rev. B, **61**, 2401 (2000).
- [2] B. R. Appleton *et al.*, Appl. Phys. Lett., **41**, 711 (1982).

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1)中島ら、第 23 回電子デバイス界面テクノロジー研究会 (2018).

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0013
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 磁性薄膜の磁壁を利用したスピン散乱効果の検証
 Program Title(English) : Observation of spin scattering using magnetic domain-walls in a magnetic thin film
 利用者名(日本語) : 濱中幸祐¹⁾, 鈴木潤士¹⁾, 富樫将孝¹⁾, 水野りら¹⁾, 村山恒介¹⁾, 桑原真人^{1),2)}
 Username(English) : K. Hamanaka¹⁾, H. Suzuki¹⁾, M. Togashi¹⁾, L. Mizuno¹⁾, K. Murayama¹⁾, M. Kuwahara^{1),2)}
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院工学研究科, 2) 名古屋大学未来材料・システム研究所
 Affiliation(English) : 1) Graduate School of Engineering, Nagoya University, 2) Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、磁性薄膜、スピン散乱

1. 概要(Summary)

スピン偏極した電子線によるスピン散乱効果を TEM 像および小角散乱回折図形において見出すため、最適な磁性試料を必要とする。この候補として、パーマロイ薄膜およびハーフメタル材料をパターンニングにより所定の形状を有した構造にすることで、必要とする磁壁構造を得る。この作成のため、フォトリソグラフおよび電子ビーム露光による数 μm ～数百 nm のマスクパターン作成を行う。これにより得られたスピン効果は、電子顕微鏡で捉えることができなかった微小領域のスピン情報を引き出す新たな分析手法につながる。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子線露光装置、走査型電子顕微鏡、スプレーコーター一式

【実験方法】

TEM を用いた磁壁構造観察を可能とするため、パターンニングする基板サンプルに NaCl 結晶上に蒸着した SiN 薄膜を用いた。これに、スプレーコーター一式を用いて PMMA レジスト膜を作成し、EB 露光装置を用いて種々の長方形パターンを作成した。EB レジスト現像後に、磁性金属蒸着を施しリフトオフを実施することで、所定のパターンの磁性薄膜作製を実施した。その後、純水中に作成基板結晶を浸すことで SiN 薄膜およびパターンニング磁性膜を剥離し、これを TEM 用マイクログリッド上に設置した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

電子線露光装置を用いて、 $3\mu\text{m}$ 正方形パターンを作製

した。次に、PLD 蒸着装置を用いて基板上にパーマロイ薄膜を蒸着し、パターンニングされたパーマロイ薄膜を得た。この試料を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察し、エネルギー分散型 X 線分光器(EDX)を取得しパーマロイが蒸着されていることを確認した。また、透過電子顕微鏡(TEM)を用いてディフォーカス像を取得、磁壁の観察を行った。これにより Fig.1 のような磁壁構造が発現するパーマロイ膜厚条件を見出した。さらに、面内磁場印加により、Fig.1 に示すような磁壁移動が発生することを確認することに成功した。今後は、スピン偏極パルス透過電子顕微鏡(SP-TEM)を用いたスピン状態の観察を行い、さらに磁壁移動をパルス電子線による時間分解測定を通して動的観察を実施する予定である。

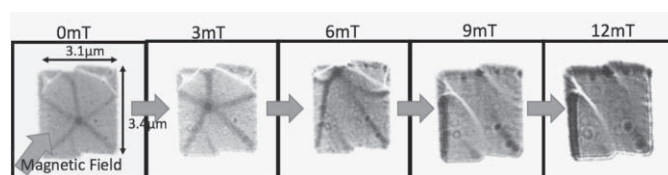


Fig. 1 Lorentz-TEM images of permalloy thin film fabricated on a SiN membrane under applying several in-plane magnetic field.

4. その他・特記事項(Others)

・科学研究費補助金基盤研究(B)、「コヒーレント偏極電子プローブを活用した次世代スピン分析法の開発」、研究代表: 桑原真人

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 濱中幸祐, 日本物理学会 2017 年秋期大会, 平成 29 年 9 月 21 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0014
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 細胞培養マイクロデバイスの開発
Program Title (English) : Development of Cell Culture Microdevices
利用者名(日本語) : 清水一憲, 山岡奈央, 古谷太樹
Username (English) : K. Shimizu, N. Yamaoka, T. Furutani
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、細胞培養、マイクロ流路

1. 概要(Summary)

医薬品開発プロセスの非臨床試験として培養細胞実験が実施されるが、ヒトの生理現象を正確に再現することが難しく、これが医薬品開発プロセスの非効率化や高コスト化につながっている。このような背景から、上記技術の開発が期待されている。

微細加工技術を用いると、培養細胞に対して時空間的制御した化学・物理刺激を負荷することが可能であると考えられ、従来の細胞培養法よりも、高度に生体内に類似した環境を創り出せると考えられる。本研究では、骨格筋細胞と運動神経細胞を位置制御し、それらの細胞を共培養可能なバイオマイクロデバイスの開発を目指した。名古屋大学の微細加工ナノプラットフォームの複数の装置を利用してバイオマイクロデバイスを作製し、実際に細胞培養を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置、両面露光用マスクアライナ、パレレンコーティング装置一式

【実験方法】

レーザー描画装置を用いて、ガラス製のフォトマスクを作製した。次に、シリコンウェハ上にネガティブフォトレジストである SU-8 3005 (MicroChem) をスピコートし、薄膜を形成した。ホットプレートを用いて、100°C で 45 分間加熱した。フォトリソグラフィ装置を用いて作製したフォトマスクを用いて露光した。95°C で 5 分間加熱した後に、SU-8 用現像液で露光していない部分の SU-8 3005 を除去した。さらに、シリコンウェハ上にネガティブフォトレジストである SU-8 3050 (MicroChem) をスピコートし、薄膜を形成した。上記と同じ手順で、露光、加熱、現像を行った。作製した鋳型にポリジメチルシロキサン (PDMS) を注ぎ、75°C で 2 時間硬化させた。硬化したマイクロパターン付

PDMS をカバーガラスに密着させ、デバイスを完成させた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

複数の異なる細胞培養マイクロデバイスを設計・作製し、骨格筋細胞と運動神経細胞の共培養を試みた。マイクロ流路の高さと幅をコントロールすることで、細胞の位置制御に成功し、ヒト由来骨格筋細胞とヒト iPS 由来運動神経細胞の共培養に成功した。現在はより長期間培養するために、デバイスの構造や表面の性質の最適化を行っている。

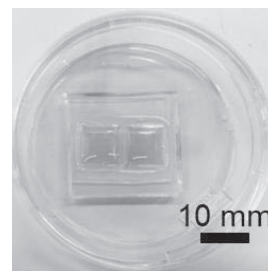


Fig. 1 Pictures of cell culture device fabricated in this study.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 山岡奈央、清水一憲、今泉裕、伊藤卓治、岡田洋平、本多裕之、化学とマイクロ・ナノシステム学会第35回研究会、平成 29 年 5 月 22 日。
- (2) 山岡奈央、清水一憲、今泉裕、伊藤卓治、岡田洋平、本多裕之、第 69 回日本生物工学会大会、平成 29 年 9 月 12 日。
- (3) 山岡奈央、清水一憲、今泉裕、伊藤卓治、岡田洋平、本多裕之、シンポジウム:細胞アッセイ技術の現状と将来、平成 30 年 1 月 19 日。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0018
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 高時間応答マイクロ壁面せん断応力センサの開発
 Program Title (English) : Development of fast response micro wall shear stress sensor
 利用者名(日本語) : 岩野耕治
 Username (English) : K. Iwano
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate school of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 成膜・膜堆積, 膜加工・エッチング

1. 概要(Summary)

乱流により壁面摩擦力が発生するメカニズムを解明するためには、数十 μm の空間スケール、数kHzの時間スケールで空間的、時間的に変動する壁面せん断応力を精度良く測定することが必要不可欠である。そこで本研究では、高空間・高時間分解能を有するマイクロメートルサイズの壁面せん断応力センサの開発を目的としている。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 両面露光用マスクアライナ、スパッタリング装置一式

【実験方法】

Fig.1 に本研究で製作した熱式マイクロセンサの概略図を、Fig.2 にその断面図を示す。本センサは、厚さ $350\ \mu\text{m}$ のシリコンウェハの基板の上に薄膜金属として $10\ \text{nm}$ の厚さのクロム(Cr)と厚さ $250\ \text{nm}$ の白金(Pt)をスパッタリングにより積層したものである。昨年度は白金ではなく金を使用していたが、温度ドリフトを抑えるためにセンサ金属を金から白金に変更した。センサのサイズは幅 $3\ \mu\text{m}$ 、長さ $0.3\ \text{mm}$ (抵抗値は約 $20\ \Omega$)である。この薄膜金属に電流を流して加熱部として使用する。また熱容量を小さくし、時間応答性の向上を図るため、表面を酸化膜(SiO_2)で覆い、加熱部下はシリコン基板をエッチングし、厚さを $1\ \mu\text{m}$ の酸化膜のみとしている。本センサは加熱された金属薄膜の温度を一定に保つための定温度型回路とともに用い、流体による加熱部の熱拡散によって変化するセンサの出力値を、壁面せん断応力値に変換することで計測を行う。本センサを二次元チャンネルの底面に設置し、壁面乱流による摩擦応力変動を測定した。

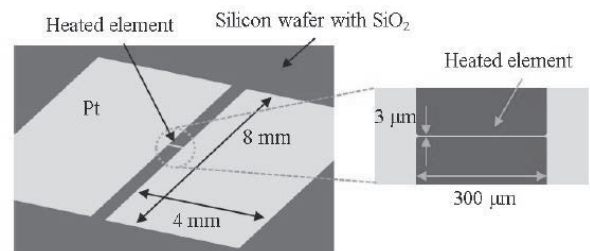


Fig.1 Enlarged view of heated element of the sensor.

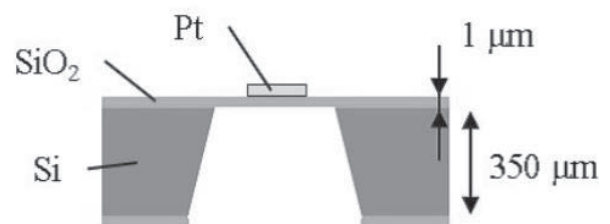


Fig.2 A cross section of the sensor.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.3 に異なる3つの壁面摩擦速度 U_τ における壁面摩擦応力 τ_w のパワースペクトル E_{τ_w} を示す。Fig.1~3 には本研究で製作したセンサに加えて、直接数値計算(DNS)により得られた結果を合わせて示す。Fig.3 より、 $100\ \text{Hz}$ 程度までは実験値とDNSによる計算値は良く一致していることがわかる。しかしながら、それ以上の周波数では実験値はDNSによる計算値よりも小さな値を取ることがわかる。これは、本研究で製作したセンサが熱式であるため、シリコン基板への熱伝導により応答性が低下しているためであると考えられる。

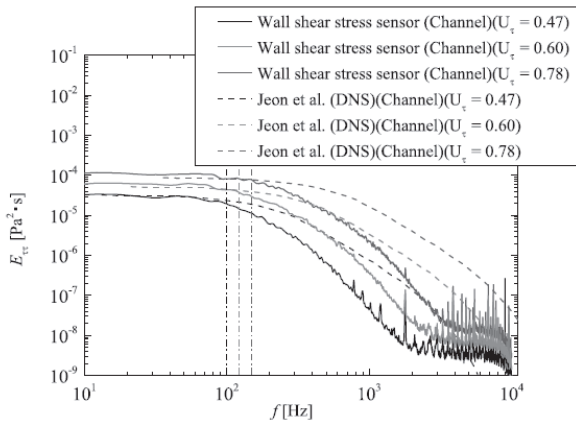


Fig.3 Power spectrum of wall shear stress fluctuation

4. その他・特記事項 (Others)

・参考文献

(1) Jeon et al., Space-time characteristics of the wall shear-stress fluctuations in a low-Reynolds-number channel flow, Phys. Fluids, vol. 11 (1999), pp.3084-3094.

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし.

6. 関連特許 (Patent)

なし.

課題番号 : F-17-NU-0021
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : シリコン量子ドット発電層の高品質化技術の開発と太陽電池構造の作製
 Program Title (English) : Improvement of a silicon quantum dots absorber layer and fabrication of solar cell structure
 利用者名(日本語) : 小野聖, 黒川康良
 Username (English) : S. Ono, Y. Kurokawa
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : ナノ構造、太陽電池、膜加工・エッチング

1. 概要(Summary)

シリコンナノ構造を利用した太陽電池は、太陽電池の限界効率を打破するための新技术として注目されている[1]。本研究では、直径5nm程度のSi量子ドットを発電層とする太陽電池構造の作製を行った。太陽電池のアイソレーションのため、名古屋大学微細加工プラットフォームのリアクティブイオンエッチング装置を用いた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

1. RIE エッチング装置(サムコ社製 RIE-10NR)
2. 段差計(アルバック社製 Dektak150)

【実験方法】

Fig.1(a)に示すような太陽電池構造(ITO/p型アモルファスSi/Si量子ドット積層膜/TiO₂:Nbバッファ層/n⁺⁺型多結晶Si/裏面電極)を作製した。発電層のSi量子ドット積層膜は、プラズマCVD法によりアモルファスSiO_xとSiO_y(x>y)膜を交互に積層し、それを900℃のアニール処理を行うことで作製された。量子ドットのサイズは5nm程度になるように調節した。太陽電池のアイソレーションのため、リアクティブイオンエッチング装置を用いた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製した太陽電池について暗状態とAM1.5G下において、*J-V*特性を測定したところ、整流性を確認し、開放電圧498mVを得ることができた。Fig.1(b)は作製した太陽電池の外部量子効率を示している。吸収端はV=-1.0Vを印加した場合には吸収端が1.38eVとなった。これは逆バイアスにより、Si量子ドット発電層の電界が増大し、Si量子ドットにおける光生成キャリアが収集できたためと考えられる。このことから本結果はSi量子ドット由来の発電

を示唆する結果と言える。

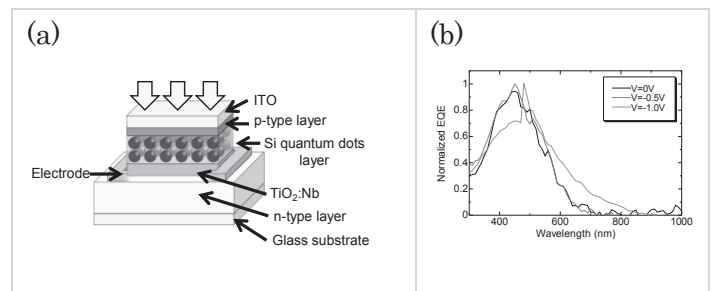


Fig. 1 (a) Schematic diagram of a fabricated solar cell. (b) Normalized external quantum efficiency.

4. その他・特記事項(Others)

- ・参考文献:[1] M. A. Green, Proc. 20th EUPVSEC, Barcelona, Spain (2005) pp. 3-7.
- ・ALCA(JST)「元素戦略上優位なシリコン系ナノ材料を利用した高効率オールシリコンタンデム太陽電池の開発」

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) K. Kitazawa, R. Akaishi, S. Ono, I. Takahashi, N. Usami, and Y. Kurokawa, PVSEC-27, Otsu, Japan, 2017年11月16日
- (2) 北沢宏平, 赤石龍士郎, 小野聖, 宇佐美德隆, 黒川康良, 第2回フロンティア太陽電池セミナー, 金沢大学, 2017年11月30日
- (3) 赤石龍士郎, 北沢宏平, 小野聖, 加藤慎也, 後藤和泰, 宇佐美德隆, 黒川康良, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 早稲田大学, 2018年3月17-21日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0022
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 微細加工表面での動的接触角決定機構の解明
 Program Title (English) : Dynamic Contact Angle on a Micro-Structured Solid Surface
 利用者名(日本語) : 松田悠平, 伊藤高啓
 Username (English) : Y. Matsuda, T. Ito
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 接触角, 三相界線, 接触線

1. 概要(Summary)

液体-気体間界面が固体表面と接する線(接触線)の運動やそこでの界面と固体面のなす角度(接触角)は液体の固体面の濡れを支配するだけでなく、液体界面の運動の境界条件となって界面運動に大きな影響を与えるため、それらの挙動を明らかにすることはコーティングや液滴冷却などの工学分野においてきわめて重要である。本研究では特に固体表面の微細な凹凸や濡れ性の局所変化による濡れ線(接触線)および動的接触角(接触線が運動する際の界面-固体表面の成す角)の挙動を明らかにすることを目的として行った。本プラットフォームでは上記の目的のため、微細な凹凸や濡れ性の局所の差異を固体表面に設けるための加工作業を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザー描画装置(DWL66FS)、RIE エッチング装置(RIE-10NR)、デジタルマイクロスコープ(VK-9700)

【実験方法】

レーザー描画装置にてブランクマスクを作成し、フォトリソグラフィにて試料材料である熱酸化膜付 Si ウェハに転写の後、100~1000 μ m の間隔で配置された深さ 100nm オーダーの溝を RIE にて作成した。加工領域の大きさは 10mmx25mm とした。エッチングは RIE のレシピに従い、100nm の溝深さを目標として2分、500nm の溝深さを目標として 10 分実施したものを作成した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

測定実験は加工試料を水槽内に鉛直に固定し、ポンプで試料液体(エチレングリコール)を水槽に一定速度で注入することにより、固体表面上を接触線が運動する装置を用いて行った。測定の結果、エッチングされた部分と

そうでない部分では接触角が異なることがわかった。Fig. 1 には 100nm の深さの溝を持つ試料を用いたときの、水平界面位置からの接触線の相対高さの時間変化の例を示す。接触線が凹凸に固着して一時的に固体面の特定の位置に留まるために接触線相対高さが減少する期間(1~1.5s など)があることがわかる。

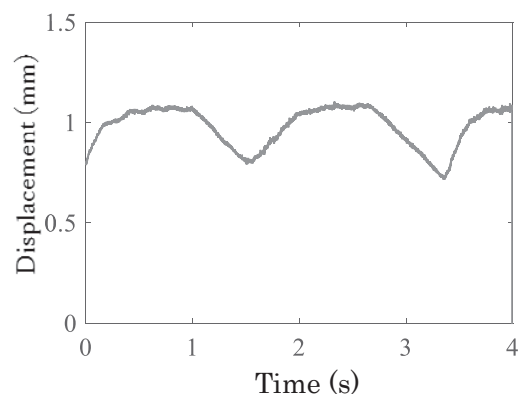


Fig.1 Trend of measured contact line height relative to the static interface.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 松田 悠平, 伊藤 高啓, 辻 義之ら, 混相流シンポジウム 2017, 平成 29 年 8 月 20 日.
- (2) 松田 悠平, 伊藤 高啓, 辻 義之ら, 日本流体力学会中部支部講演会 2017, 平成 29 年 12 月 1 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0023
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 神経細胞ネットワークハイスループットスクリーニング装置の開発
 Program Title(English) : Development of neuron network high throughput screening device
 利用者名(日本語) : 王志宏, 宇野秀隆, 栗田裕子, 宇理須恒雄
 Username(English) : Z. Wang, H. Uno, Y. Kurita, T. Urisu
 所属名(日本語) : 名古屋大学未来社会創造機構
 Affiliation (English) : Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、膜加工・エッチング、 Incubation type planar patch clamp

1. 概要(Summary)

ボッシュプロセスを用いた SOI ウェーハの微細加工にリソグラフィ装置やエッチング装置を利用しています。培養型プラナーパッチクランプバイオチップを製作し、これを用いたハイスループットスクリーニングデバイスを開発中です。チップ構成の 1 つのセグメントが Fig.1 のように示されています。周りの柵は神経細胞を培養中に微細貫通穴の上に固定するための構造です。昨年末、神経細胞ネットワークのイオンチャンネル電流の測定に成功しました。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 ICP エッチング装置一式, 両面露光用マスクアライナ, ダイシングソー装置

【実験方法】

(1)微細貫通穴形成: レジストパターンは分子研ナノプラットのマスクレス露光機で形成し、名大ナノプラットの ICP エッチング装置一式でエッチング。

(2)セルケージ構造形成: 分子研ナノプラットのマスクレス露光機でレジストパターン形成し、名大ナノプラットの ICP エッチング装置一式でエッチング。

(3)ピペット溶液溜め構造形成: 名大ナノプラットの両面露光用マスクアライナでセルケージと微細貫通穴のパターンに位置合わせをして、裏面の溶液溜め加工のためのレジストパターンを形成。その後ボッシュプロセスで深穴形成。

(4) ダイシングソー装置を利用し、最後のプレナーパッチクランプチップを正確にカットする。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1 のプレナーパッチクランプチップを製作しました。この基板を利用し、ラットの海馬神経細胞の初代培養を長時間で成功しました。3週間後、チャンネル電流の測定を完成しました(Fig.2)。

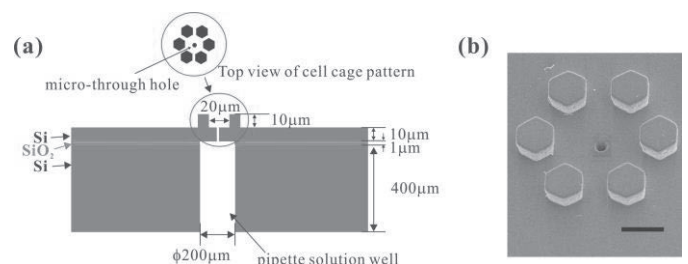


Fig. 1. (a) Schematic cross section image of the planar patchclamp chip fabricated by Bosch process. (b) SEM image of the chip surface with micro-through hole and cage structure.

Incident angle is 15 degrees. Scale bar is 10 μm.

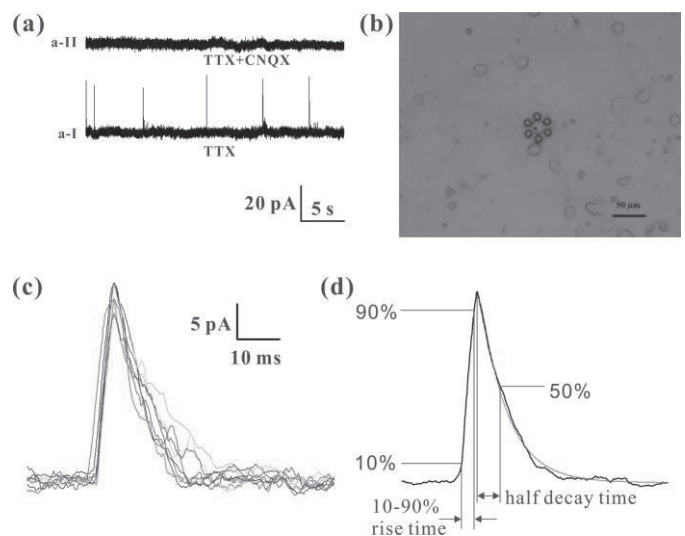


Fig. 2. (a) Observed spontaneous channel current recordings. (a-I) TTX (Tetrodotoxin) (1 μM) is added to the bath solution, and the membrane potential (V_m) is 12.6 mV. (a-II) TTX (1 μM) + CNQX (6-Cyano-7-nitroquinoxaline-2,3-dione) (25 μM) is added to the bath solution, and the V_m is 16.0 mV. (b) Bright field image of neuron after 24 days culture observed before channel current measurement (a). Scale bar is 50 μm. (c) Eight examples of overlaid channel current waveforms of (a-I). (d) Average channel current waveforms in (c). Single exponential fit is overlaid. The 10-90% rise time is 3.6 ms, and the half decay time is 6.2 ms.

4. その他・特記事項 (Others)

・謝辞: エッチング装置の利用について、ご指導、御協力くださいました、新井研究室、中原康様、福澤研究室東直輝様に感謝いたします。

・競争的資金名: CREST「培養型プレーナーパッチクランプ」

・他の大学との共同研究: 北陸先端科学技術大学院大学、高村禪教授。名古屋大学大学院医学系研究科、石垣診祐助教。自然科学研究機構分子科学研究所、高田紀子、近藤聖彦技術課職員 (S-17-MS-0011、S-17-MS-1008)。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) 王志宏、宇野秀隆、栗田裕子、中尾聡、熊澤正幸、高村禪、宇理須恒雄「単一細胞解析用抽出基板における微細貫通孔の微細構造制御」 ナノ学会第15回大会、5月10-12日、札幌、北海道

(2) 王志宏、宇野秀隆、栗田裕子、高田紀子、中尾聡、上田正、浮田芳昭、高村禪、中山章弘、宇理須恒雄「培養型プレーナーパッチクランプの製作と自発的シナプス電流測定への応用」応用物理学会春季学術講演会、2018年3月17日～2018年3月20日、東京、日本

6. 関連特許 (Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0024
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : カーボンナノ物質の成長制御と電子源応用
 Program Title (English) : Growth Control of Nanocarbon Material and Application to Electron Source
 利用者名(日本語) : 齋藤弥八, 當間郷史, 安坂幸師, 中原仁
 Username (English) : Y. Saito, S. Toma, K. Asaka, H. Nakahara
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積, 表面処理, カルビン, ナノ炭素, カーボンナノチューブ, 電界放出

1. 概要(Summary)

究極の一次元炭素鎖であるカルビンは 1960 年代後半から、その存在の真偽を含め、研究者の興味を引き付けて来た。近年、直線炭素鎖(Linear Carbon-Chains: LCCs)は高温でアニールした二層カーボンナノチューブ(DWCNT)や、水素雰囲気下でのアーク放電により作製された多層カーボンナノチューブの中心空洞に、わずかな量で発見されてきた。本研究では、ラマン分光法と透過電子顕微鏡(TEM)により、電界放出(FE)後に生じた放電によるダメージを受けた CNT フィルムの中にかなり大量の LCCs の存在を見出した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 RIE エッチング装置

【実験方法】

高純度の単層カーボンナノチューブ(SWCNT)の膜(厚さ 60 μm)を Al 陰極表面に接着し、2 極型の FE 装置を用いて、真空(10^{-6} Pa)において電極間で放電が起こるまで FE 電流を上げた。回収した SWCNT の膜表面を顕微ラマン分光および TEM により分析評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 に放電によるダメージを受けた部分と受けなかった部分のラマンスペクトルを示す。前者だけに 1857 cm^{-1} に強いピークが確認された。このピークは LCC バンドと名付けられ、一次元の炭素原子間の伸縮モードに由来する。Fig. 2 に SWCNT に閉じ込められた LCC の TEM 像を示す。SWCNT に LCC が内包される例は、従来の報告にはなく、本研究が最初であり、また、ラマンスペクトルにおける LCC バンドの G バンドに対する相対強度 ($I_{\text{LCC}}/I_{\text{G}}$) の大きさ(~ 2.2)から、およそ 36%の SWCNT が LCC を内包していると推測される。本方法は、LCC のバルク合成への新たな方法になると期待できる。

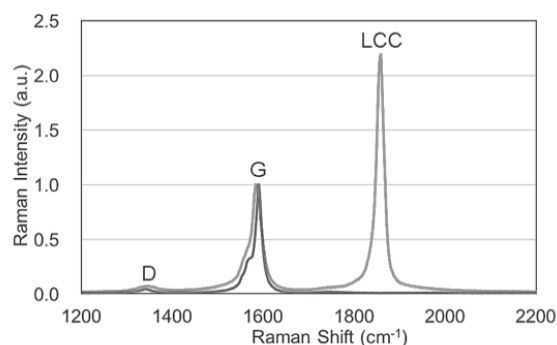


Fig.1 Raman scattering spectra from a damaged region (red) and an intact region (blue).

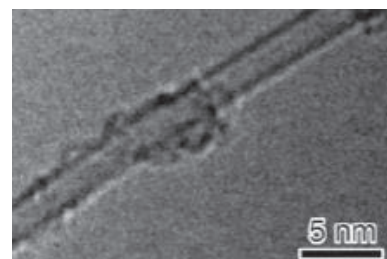


Fig. 2 TEM image of a LCC inside SWCNT.

4. その他・特記事項(Others)

・本研究で用いた SWCNT 膜は、(株)名城ナノカーボンから提供されたものである。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) S. Toma, K. Asaka, M. Irita and Y. Saito, 11th Inter. Symp. Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices, 2017 年 12 月 5 日発表.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0026
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 量子ナノ構造デバイスの研究
Program Title (English) : Study on quantum nanostructure devices
利用者名(日本語) : 廣谷潤
Username (English) : J. Hirotani
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、膜加工・エッチング、超臨界乾燥

1. 概要(Summary)

カーボンナノチューブ(CNT)薄膜はその高いキャリア移動度、透明性、伸縮性などの優れた性能からフレキシブルデバイス分野で有望視されている。CNT 薄膜を用いたデバイス作製・評価において微細加工プラットフォームの各種装置を利用した。カーボンナノチューブ薄膜トランジスタ(CNT TFT)を用いたセンサからの信号を増幅するための柔軟なアナログ集積回路の実現を目指し、CNT TFT のデバイスモデルの構築と回路設計・シミュレーション技術の構築、差動増幅器の設計と試作を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザー描画装置、走査型電子顕微鏡、段差計

【実験方法】

柔軟なプラスチックフィルム上に CNT 差動増幅回路の試作を行った。基板はポリエチレンナフタレート(Polyethylene naphthalate: PEN)を用いた。トランジスタにはボトムゲート型 CNT TFT を用いた。はじめにゲート電極と配線(Ti/Au = 10/20nm)を形成した後、ゲート絶縁膜および層間絶縁膜として原子層堆積法により Al₂O₃ (40 nm)を成膜し、窓空けを行った。半導体型 CNT 薄膜を転写法により形成し、酸素プラズマを用いたドライエッチングにより素子間分離を行った。ソース/ドレイン電極と配線(Ti/Au = 10/100 nm)を形成した。最後に、*n*型化するためポリエチレンイミンをスピコートにより成膜した後、窒素雰囲気中で 145°Cにて 6 時間加熱した。作製した *n*型 CNT TFT のしきい値電圧は約-600 mV であった。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

*n*形 CNT TFT を用いた負荷型差動増幅回路に直流

オフセットと小信号入力を印加し、回路のオープンループゲインを測定した。電源電圧は 12 V、正極入力と負極入力の直流バイアス電圧は 2.5 V とした。入力信号は負極入力に対して行い、100Hz、80 mV_{p-p} の正弦波である。入力信号に対して差動増幅動作を確認でき、この時の電圧ゲインは 54 (34.7 dB)、位相遅れは 40°であった。

周波数を掃引したときの、電圧ゲインと位相を遅れの周波数特性を測定した結果、低周波領域においては一定の電圧ゲインが得られ、最大で 62 (35.9 dB)であった。高周波側では-20 dB/decade の傾きでゲインは減衰し、カットオフ周波数(-3dB)は 20Hz、ユニティゲイン周波数は 803Hz であった。位相余裕は~60°であった。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) T. Kashima, T. Matsuura, J. Hirotani, S. Kishimoto and Y. Ohno, Modeling of carbon nanotube thin film transistors and its application for circuit design including characteristic variations, The 53th FNTG General Symposium, 2017.09.13, Kyoto, Japan [Poster].
- (2) 松浦 智紀, 鹿嶋 大雅, 廣谷 潤, 岸本 茂, 大野 雄高, フレキシブル基板上カーボンナノチューブアナログ集積回路の設計と作製, 電子情報通信学会電子デバイス研究会, 北海道 2018.02.28, [口頭発表]

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0028
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 有機電子材料・ナノカーボン物質における新しい光・電子応答現象の探索
Program Title(English) : Search for novel optical and electronic responses in organic electronic materials and nanocarbons
利用者名(日本語) : 大橋亮介, 横山嵩弘, 前多辰樹, 水越和志, 岸田英夫
Username(English) : R. Ohashi, T. Yokoyama, T. Maeda, K. Mizukoshi, H. Kishida
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation(English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : 形状・形態観察, 多環芳香族炭化水素, カーボンナノチューブ

1. 概要(Summary)

有機電子材料・ナノカーボン物質における新しい光・電子機能性の探索やその物理的機構の解明を目指して様々な観点から研究を行っている。一連の研究において、光学的な物質評価に薄膜試料を用いることがある。薄膜試料の光学応答を定量的に測定・解析することにより、詳細な物理的機構を明らかにすることができる。今年度は、多環芳香族炭化水素物質 (polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH)、単層カーボンナノチューブ、共役系高分子の膜状試料について研究を進めた。その研究において薄膜の光学測定を行うとともに、微細加工プラットフォームの装置(段差計)を用いて膜厚を測定し、光学応答を定量的に評価した。これらの結果をもとに、光学応答の起源や電子状態について詳細な議論を行った。また分光実験で用いる金属膜の膜厚測定にも段差計を用いた。以下では主な実験・研究内容について報告する。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 段差計 Dektak150

【実験方法】

PAH に属するコロネン、ベンゾ[ghi]ペリレンを PMMA (poly(methyl methacrylate))中に分散させ、スピコート法により膜状試料を作製した。また単層カーボンナノチューブの薄膜を研究室所有の装置を用い吸引濾過法により作製した。これらの薄膜について、Dektak150を用いて膜厚測定を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

コロネンおよびベンゾ[ghi]ペリレンをそれぞれ PMMA 中に分散させた膜について段差計を用いて膜厚を評価した。これらの試料について、吸収スペクトル測定及び電

場変調吸収測定を行い、光学スペクトルおよび光学応答における電場効果について研究を行った。

単層カーボンナノチューブ薄膜の光学的評価は吸収スペクトル測定により行い、カイラル指数(6,5)のカーボンナノチューブがもっとも多く含まれる試料であることを確認した。この試料について、研究室所有のレーザー分光システムを用いて第三高調波発生法により非線形感受率の評価を行った。非線形感受率の絶対値の評価には、微細加工プラットフォームの段差計により測定した膜厚を使用した。このようにして定量評価を行った結果、他の物質系との比較が可能になった。

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者: 名古屋大学 中村優斗, 小山剛史
京都大学 吉田幸大
豊田理化学研究所 齋藤軍治

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 大橋亮介, 中村優斗, 岸田英夫, 吉田幸大, 齋藤軍治, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017 年 9 月 22 日.
- (2) T. Yokoyama, T. Koyama, and H. Kishida, The 54th Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium, 2018 年 3 月 10 日.
- (3) 大橋亮介, 中村優斗, 吉田幸大, 岸田英夫, 日本物理学会第 73 回年次大会(2018 年), 2018 年 3 月 22 日.

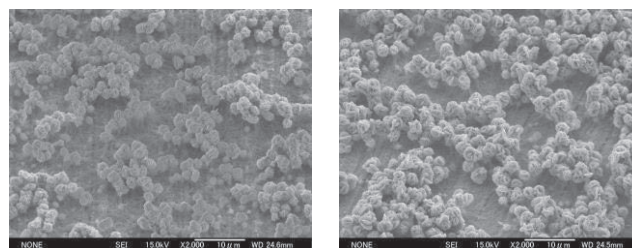
6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0029
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 高秩序ナノ構造体の創製と評価に関する研究
Program Title (English) : Fabrication and Evaluation of Highly Ordered Nanostructures
利用者名(日本語) : 巨陽, 森田康之, 徳悠葵
Username (English) : Y. Ju, Y. Morita, Y. Toku
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate school of Eng., Nagoya University.
キーワード/Keyword : Cu₂O, ナノ構造体, 形状・形態観察, 水分解

1. 概要(Summary)

本研究では, Cu₂O/Cu 水分解光電極の太陽光水素変換効率向上を目指し, 光電極に三次元 Cu₂O ナノ構造体を利用した. 三次元ナノ構造体の作製方法として, 湿式化学酸化法を選択した. 化学酸化させる時間を変更することにより, ナノ構造体の形態制御を試みた.



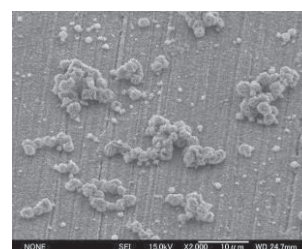
(a) (b)

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 高精度電子線描画装置一式

【実験方法】

まず, 銅基板を混合化学溶液(2.5 M の NaOH 水溶液 50 ml, 0.125 M の(NH₄)₂S₂O₈水溶液 50 ml)に浸すことにより酸化反応を生じさせ, 基板上に CuO ナノフラワ /Cu(OH)₂ ナノワイヤを作製した. その後, CuO と Cu(OH)₂ を Cu₂O に変化させるため, 不活性ガス中にて, 加熱温度 500°C, 加熱時間 1 h の条件にて加熱還元をさせた. さらに, 作製した Cu₂O ナノ構造体を有する Cu 基板を用いて光電極を作製し, 人工太陽光を照射して定電位水分解を行うことにより, 光電流密度の測定を行った. また, 光電流密度を用いて太陽光水素変換効率を導出した. SEM 観察は実施機関の高精度電子線描画装置一式を用いて行った.



(c)

Fig. 1 SEM images of CuO nanoflower/Cu(OH)₂ nanowire with reaction time of (a) 60 min, (b) 70 min and (c) 80 min.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

化学反応時間を 70 min にすることによって, 太陽光水素変換効率が最大となった. 最大光電流密度は 2.03 mA/cm², 太陽光水素変換効率 2.50% が得られた. Fig.1(a), (b), (c) はそれぞれ反応時間 60 min, 70 min, 80 min にて作製した CuO ナノフラワ /Cu(OH)₂ ナノワイヤの観察像である. Fig.1(b) は Fig.1(a), (c) と比べると, ナノフラワの大きさが大きく, 密度が高いことが分かる.

この結果より, ナノ構造体が反応時間 70 min にて大きさ・数ともに最大となり, 光電極の太陽光エネルギー吸収量が最大となったため, 太陽光水素変換の高効率化に期待できる.

4. その他・特記事項(Others)

・本研究は, JSPS 科研費 17H06146, 2721643673 によったことを記し, 感謝の意を表する.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし.

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-17-NU-0030
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : ハーフメタルを用いたスピンドバイスの研究
 Program Title (English) : Study on spin-based devices using half-metal ferromagnet
 利用者名(日本語) : 羽尻哲也, 吉田拓也, 植田研二, 浅野秀文
 Username (English) : T. Hajiri, T. Yoshida, K. Ueda, H. Asano
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング, 積層膜

1. 概要(Summary)

反強磁性体 MnN はレアメタルを含まないにも関わらず高い反強磁性転移温度 ~ 640 Kを有することより、現在使用されている IrMn 等のレアメタルを含む反強磁性体として注目を集めている。そこで本研究では、MnN とハーフメタル強磁性体 Co_3FeN のフルエピタキシャル成長した積層膜の作製を行い、その磁気特性の評価を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 薄膜 X 線回折装置、RIE エッチング装置、フォトリソグラフィ装置

【実験方法】

MnN/ Co_3FeN 積層膜は Mn および Co_3Fe ターゲットを用いて Ar+N₂ 混合ガスによる反応性マグネトロンスパッタリングにより作製した。作製した積層膜は薄膜 X 線回折装置により構造解析を、異方性磁気抵抗効果により磁気特性の評価を行った。また異方的磁気抵抗効果測定のためにフォトリソグラフィおよび RIE エッチングを用いてホールバーの加工を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 に作製した MnN/ Co_3FeN 積層膜の面直および面内 XRD の結果を示す。MnN および Co_3FeN に由来する面直 XRD パターンが観測され、面内 ϕ スキャンで 4 回対称が観測されていることより、フルエピタキシャル成長した積層膜が得られたことがわかる。

Fig. 2(a)にフォトリソグラフィおよび RIE エッチングにより作製したホールバーの写真を示す。作製したホールバーを用いて室温で測定を行った異方的磁気抵抗効果の結果を Fig. 2(b)に示す。保磁力に対応するピークが明瞭に得られ、左右のピークが磁場 0 を中心に対象でなく、負の磁場側にシフトしていることは交換結合している事を示している。すなわち、MnN とハーフメタル強磁性体

Co_3FeN において、室温で交換結合を示すフルエピタキシャル成長した積層膜の作製に成功した事を示している。

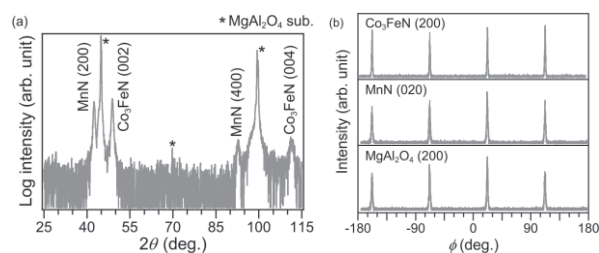


Fig. 1. Out-of-plane (a) and in-plane ϕ scans.

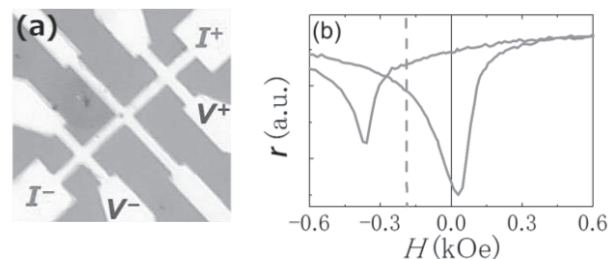


Fig. 2. (a) Photo of Hall bar. (b) Anisotropic magnetoresistance measured at room temperature.

4. その他・特記事項(Others)

本研究は Johannes-Gutenberg Universität Mainz の M. Filianina 氏, S. Jaiswal 氏, B. Borie 氏, H. Zabel 氏および M. Kläui 氏との共同研究である。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) T. Hajiri, T. Yoshida, M. Filianina, S. Jaiswal, B. Borie, H. Asano, H. Zabel, and M. Kläui, J. Phys.: Condens. Matter **30**, 015806 (2018).

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0031
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 大気圧プラズマを用いたナノファイバー不織布膜の濾過性能の向上
 Program Title (English) : Improvement in filtration performance of nanofiber fabric membrane by using atmospheric pressure
 利用者名(日本語) : 向井康人, 高山義弘
 Username (English) : Y. Mukai, Y. Takayama
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 形状・形態観察、プラズマ表面処理、膜濾過、ナノファイバー、微粒子

1. 概要(Summary)

本研究では、三次元ネットワーク構造と高空隙率を有するナノファイバー不織布膜による内部濾過に着目し、内部空間の有効活用を目指して大気圧プラズマによる表面処理の適用を試みる。プラズマは材料を超親水性に改質する効果があることが知られており、これをナノファイバー不織布膜に適用することにより、微粒子はナノファイバー不織布膜のより深部まで侵入できるようになる。その結果、内部濾過期間は延長され、濾過性能の向上が図られる。平成 28 年度の研究課題において、この効果が実験的検討と走査型電子顕微鏡観察により実証されたので、本年度はこの効果についてさらに深く掘り下げて検討する。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡(日立ハイテク フィールドインテック社製 S4300)

【実験方法】

平均繊維径 400 nm のポリアクリロニトリル製ナノファイバー不織布膜に種々のガス種の大気圧プラズマを照射し、粒子径 1.0 μm のポリメタクリル酸メチル微粒子の濾過を行った。ナノファイバー不織布膜の平均孔径は粒子径よりも大きい 2.3 μm であるが、濾液中への粒子の透過はみられなかった。濾過速度の経時変化を測定し、その挙動からナノファイバー不織布膜内部の粒子充填率を推算した。また、走査型電子顕微鏡によって不織布膜内部の粒子捕捉状態を観察した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

種々のガス種の大気圧プラズマを発生させ、これらを照射したナノファイバー不織布膜で濾過実験を行った結果、不織布膜の内部空間の粒子充填率はプラズマ照射によって顕著に増加し、特に Ar プラズマを照射したときに最大の粒子充填率が観測された。その値は、六方最密充填

率が 74%であるのに対し、63%にも達した。また、濾過後の不織布膜の断面 SEM 画像(Fig. 1)を観察した結果、プラズマ未照射では微粒子がわずかしか見られなかった中層や下層にも、Ar プラズマを照射することで微粒子が密に充填されるようになることが確認された。

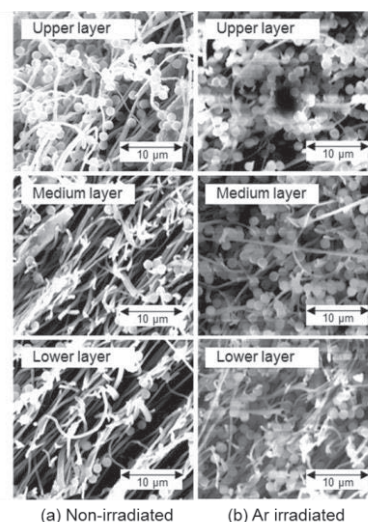


Fig. 1 SEM images of internal particle retention.

4. その他・特記事項(Others)

・本研究はJSPS 科学研究費補助金 16K06824 の助成を受けて実施した。

・実験にご協力頂いた名古屋大学大学院工学研究科 後藤元信 教授、神田英輝 助教、林祐衣 氏、間野翔 氏、高橋茂則 氏、ナノファイバー不織布膜をご提供頂いた日本バイリーン株式会社に感謝申し上げます。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 高山義弘 他, 日本繊維機械学会第 70 回年次大会, 平成 29 年 6 月 2 日
- (2) 高山義弘 他, 化学工学会第 49 回秋季大会, 平成 29 年 9 月 20 日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0032
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : エネルギー創成・貯蔵材料に関する研究
 Program Title (English) : Study of Materials for Energy Creation and Storage
 利用者名(日本語) : 鈴木康広
 Username (English) : Y. Suzuki
 所属名(日本語) : 名古屋大学未来社会創造機構
 Affiliation (English) : Institutes of innovation for Future Society, Nagoya University
 キーワード/Keyword : SMES、MEMS、形状・形態観察

1. 概要(Summary)

SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage)は超電導材料を用いて作ったコイルに電流を流し、回路を閉じて永久電流した際に発生する磁界を磁気エネルギーとして貯蔵するシステムである。シリコン基板上に MEMS (Micro Electro Mechanical System)技術を用いて渦状の溝を作製し、この中に超電導材料を埋め込むことで超電導コイルを作製することができる。この超電導コイルを積層することでコンパクトながら Li 二次電池に匹敵する貯蔵エネルギーを持つ小型 SMES の実現を目指している。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡、段差計、透過型電子顕微鏡

【実験方法】

Si 基板上に超伝導性材料である YBCO を結晶方向が揃った状態で成膜するためには、バッファ層として YSZ 層および CeO₂ 層が必要である。各層を 3 元マグネトロンスパッタ装置を使用して成膜を行った後、膜厚および成膜レートを測定するために段差計を利用した。また、膜質および組成を分析するため、表面および断面を走査型電子顕微鏡を利用して観察した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

スパッタ成膜条件によりバッファ層の配向方向は大きく変化することが Fig. 1 に示す XRD 分析からわかった。適切な条件でバッファ層を配向成膜し、その上に成膜した YBCO は $T_c=45.5\text{K}$ で超伝導特性を示した (Fig.2)。

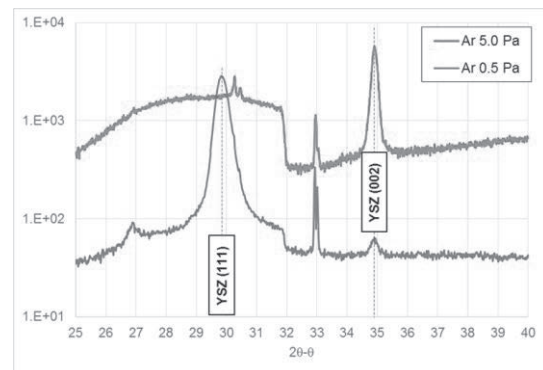


Fig.1 XRD spectra of of YSZ buffer layer on Si wafer at different sputter-deposition condition.

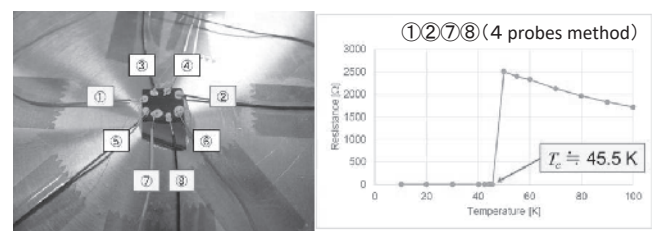


Fig.2 Superconductive characteristics of sputter-deposited YBCO on Si wafer.

4. その他・特記事項(Others)

- NEDO:蓄電池代替、埋込み超電導蓄電コイル積層体の研究開発

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Y. Ichiki et al., 30th International Symposium on Superconductivity, **EDP2-10**, December 13th-15th, 2017.

6. 関連特許(Patent)

なし。

| | |
|-------------------------|---|
| 課題番号 | : F-17-NU-0034 |
| 利用形態 | : 機器利用 |
| 利用課題名(日本語) | : 高成形性形状記憶合金のコンビナトリアル評価 |
| Program Title (English) | : Combinatorial evaluation of high formable shape memory alloys |
| 利用者名(日本語) | : 櫻井淳平, 千須和要 |
| Username (English) | : J. Sakurai, K. Chizuwa |
| 所属名(日本語) | : 名古屋大学大学院工学研究科 |
| Affiliation (English) | : Graduate School of Engineering, Nagoya University. |
| キーワード/Keyword | : リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング, スパッタ装置 |

1. 概要(Summary)

Ti-Ni 形状記憶合金は、その形状記憶特性や超弾性等の機械的機能性や、すぐれた生体適合性を有するため、様々な医療デバイスへ応用されている。しかし、Ti-Ni 形状記憶合金の加工性が乏しく、単純なワイヤー材や板材形状で使用されていることが多い。近年、この Ti-Ni 形状記憶合金の加工性を改善した、粘性流動特性を利用した成形加工が可能な Ti-Ni 系高成形性形状記憶合金が注目されている。

高成形性形状記憶合金は、Ti-Ni に第三元素を添加した合金で、スパッタ等の方法で成膜すると、ガラス転移を示す薄膜金属ガラスになる。本合金を過冷却液体域まで加熱すると粘性流動特性を示し、成型加工が可能となり、従来にない三次元構造の形状記憶合金デバイスの作製が可能となる。

本研究では、Ti-Ni-Zr 高成形性形状記憶合金の医療デバイスへの応用を目指し、本合金の生体適合性の一つとして、アノード分極試験にて評価する。効率的な材料探索を行うため、コンビナトリアル手法を用いる。多元同時スパッタ装置を用いて異なる組成のサンプル群(ライブラリ)を同一基板に集積・作製する。アノード分極試験は、JIS T 0302:2000 の「金属系生体材料のアノード分極試験による耐食性の評価方法」に準じて、生理食塩水に作製した基板を浸漬し、電位を掃引することで分極曲線を取得し、生体適合性の一括評価を行う。本講演ではアノード分極試験のコンビナトリアル評価が可能なライブラリ基板の設計・製作を行い、その有用性を確認する。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザ描画装置一式, 3次元レーザ・リソグラフィシステム一式, スパッタリング装置

一式

【実験方法】

作製した評価ライブラリを Fig.1 に示す。評価基板はガラス基板上にリフトオフプロセスを用いて Au/Cr 配線層, サンプル層を成膜した。Ti-Ni-Zr サンプルの結晶化熱処理 (773 K · 1 hour in vacuum) の後、電極パッド・サンプル部分以外に絶縁層をコーティングし、作製した。Au 層, サンプル層の成膜にはスパッタリング法を用いた。

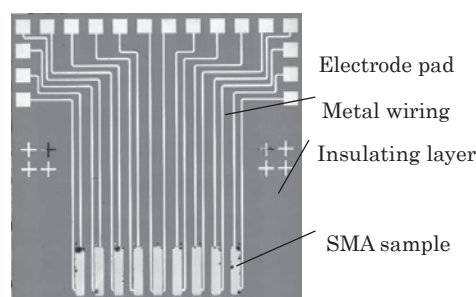


Fig.1 Image of HFSMA library for anodic polarization test.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

本評価基板を用いてリニアスイープボルタメトリ法を行った。その結果を Fig.2 に示す。カソード電流の増加から、 P_{corr} は -0.44 V であると推測される。また、走査電位が 0.76 V に達したときアノード電流が増加し始めたので、 P_{ctr} は 0.76 V である。1.0 V 付近で動態化が完了したことが確認された。その後、 $P_p=1.49$ V 付近から再び電流が上昇し始め、3.0 V 付近になったとき測定不能となった。Ti-Ni 形状記憶合金のバルク材でも同様なアノード分極曲線を示しており、本コンビナトリアル評価基板での測定に問題ないことが明らかになった。

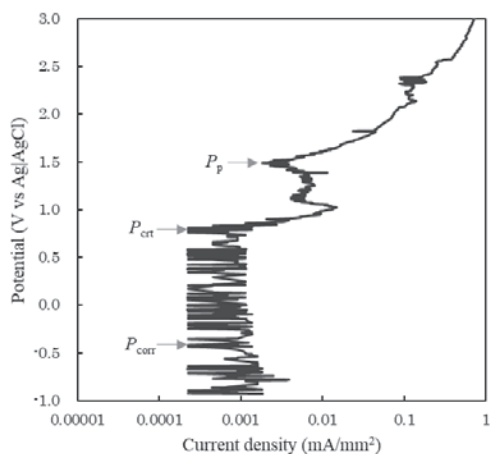


Fig.2 Polarization curve of Ti-Ni-Zr sample.

4. その他・特記事項 (Others)

・本課題はJSPS科研費JPJP17H03143 の助成を受けた
ものです。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1)千須和要, 溝尻瑞枝, 秦誠一, 櫻井淳平, 日本機械
学会東海支部第 67 期総会・講演会, 平成 30 年 3 月
14 日

6. 関連特許 (Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0035
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 薄膜金属ガラスを用いた超小型高感度静電容量型圧力センサの研究
 Program Title (English) : Fabrication of light management substrate for Dye Sensitized Solar Cell
 利用者名(日本語) : 櫻井淳平, 上嶋祥平
 Username (English) : J. Sakurai, S. Uejima
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University.
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング, MEMS

1. 概要(Summary)

現在, 更なるMEMSの小型化・高機能化のため, 微小薄膜構造体の作製プロセスの確立が求められている。

MEMSの小型化は, 生産性の向上が期待できる一方, 素子の厚さも薄くなり剛性の低下が顕著になる。その結果, プロセス時に導入される内部応力の影響が無視できなくなり, 安定したデバイス性能を実現のために, 従来とは異なるプロセスや材料が必要となる。本報告では, 過冷却液体域での内部応力を緩和が可能な薄膜金属ガラスに着目し^①, スパッタ時のAr圧調整による内部応力制御^②と熱処理による薄膜金属ガラスの応力緩和により, MEMSの基本構造である平坦なダイアフラムの作製を目的とした。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置一式, リアクティブイオンエッチング装置

【実験方法】

Fig.1 に作製プロセスを示す。シリコン基板上にスパッタ装置を用いて, 薄膜金属ガラスを成膜する。膜厚は 3.3 μm , ダイアフラム直径は 1.7 mm, Si 基板サイズは $\square 25 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$ とした。この時, 薄膜に圧縮応力がかかるように Ar 圧を調整する。その後, ガラス転移温度以下で熱処理を施し, 金属ガラスの構造緩和を誘起する。最後に, シリコン

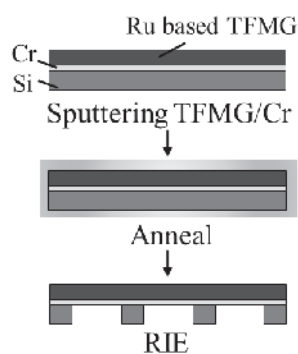


Fig.1 Fabrication process of TFMG diaphragm.

基板をRIEエッチングすることで円形の薄膜金属ガラスのダイアフラムを作製する。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.2 に, 熱処理を行わずに as-deposited の金属ガラスで作製したダイアフラムの写真を示す。Ar 圧 0.8 Pa で作製した場合は, 圧縮応力によりダイアフラムは基板側に変形した。

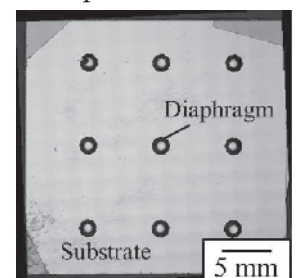


Fig.2 Image of as-deposited TFMG diaphragms.

Fig.3 に, 熱処理温度と基板の内部応力の関係を示す。熱処理により薄膜金属ガラスの構造緩和が起こり, 冷却すると基板と薄膜金属ガラスの界面で引張の熱応力が発生する。この熱応力を考慮し, Ar 圧 0.8 Pa の圧縮の内部応力を持つサンプルを用いた。熱処理温度が 320 $^{\circ}\text{C}$ と 340 $^{\circ}\text{C}$ の間で, 内部応力は圧縮から引張に転換した。

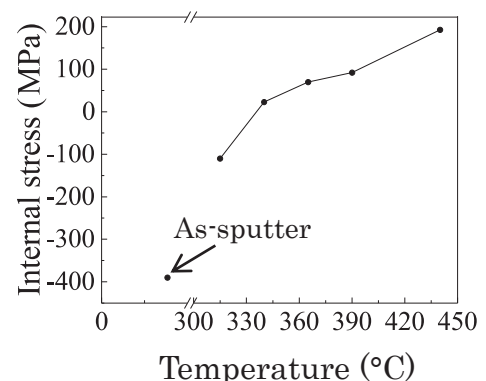


Fig.3 Effect of annealing temperature on internal stress of TFMG diaphragm.

Fig.4 に, 熱処理温度とダイアフラムのたわみ量の関係を示す。成膜直後のサンプルは, 自身の圧縮応力を開放するため, 46 μm のたわみが発生した。330 $^{\circ}\text{C}$ 以上で熱処理したサンプルで, 平坦な形状のダイアフラムを獲得で

きた。今後は、提案手法により得られた微小で平坦なダイアフラム構造体を用いて静電容量型圧力センサの作製を行う。

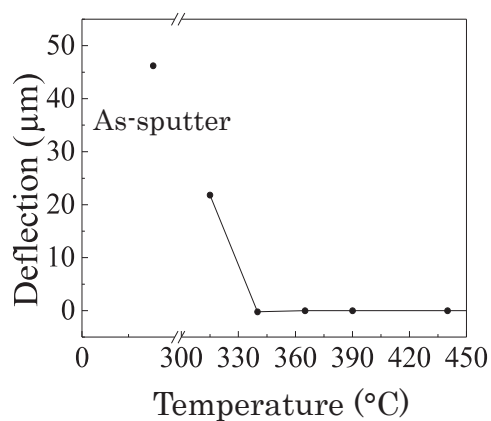


Fig.4 Deflection of TFMG diaphragm.

4. その他・特記事項 (Others)

なし。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(1) 上嶋祥平, 秦誠一, 櫻井淳平, 「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 平成 29 年 11 月 2 日

6. 関連特許 (Patent)

なし。

| | |
|-------------------------|---|
| 課題番号 | : F-17-NU-0036 |
| 利用形態 | : 機器利用 |
| 利用課題名(日本語) | : 高機能磁気センサデバイスの開発と評価 |
| Program Title (English) | : Development and evaluation of high-performance magnetic sensor device |
| 利用者名(日本語) | : 橋本侑也 ¹⁾ , 大島大輝 ²⁾ |
| Username (English) | : Y.Hashimoto ¹⁾ , D.Oshima ²⁾ |
| 所属名(日本語) | : 1) 名古屋大学大学院工学研究科, 2) 名古屋大学未来材料・システム研究所 |
| Affiliation (English) | : 1) Graduate School of Engineering, Nagoya University, 2) Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University |
| キーワード/Keyword | : 成膜・膜堆積、膜加工・エッチング、応力センサ |

1. 概要(Summary)

巨大磁気抵抗(GMR)効果を利用した磁界センサーは微細化が可能、高感度といった特徴を持つ。一方、GMR素子を応力センサーに応用するという研究も行われているが、GMR効果を利用しているために、外部磁界と応力を分離できないという問題がある。本研究では、変調法を用いることにより応力のみを測定する方式を提案し、実験を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

8元マグネトロンスパッタリング装置, 磁気特性評価システム群, ECR-SIMS エッチング装置

【実験方法】

8元マグネトロンスパッタリング装置を用いて Ta / MnIr / CoFe / Cu / CoFeB / FeSiB / Ta /Glass sub.(D-263 0.1mmt) の膜構成でサンプルを作製した。その後、Fig. 1に示すように1つの基板の上に7つのGMR素子をフォトリソグラフィおよび ECR-SIMS エッチング装置を用いて作製した。作製したGMR素子を検出回路に組み込み、ガラス基板を曲げたときの信号の変化をオシロスコープにより観測した。測定の際、GMR素子に対し、外部コイルを用いて変調のための交流磁界を加えた。サンプルの磁気特性は磁気特性評価システム群を用いて測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

GMR素子には変調のための交流磁界が印加されており、GMRの出力は常に振動しているが、ガラス基板を曲げて素子に応力を加えると振幅の増減が見られた。FeSiBは大きな磁歪定数を持っており、応力によりその磁気異方性が変化するために振幅の変化が見られたと考えられる。振幅の応力依存性からゲージ率を見積もると、最大で139であった。また、この振幅の応力依存性を説明するため、磁気異方性、静磁エネルギーを考慮したエネルギーの観点からシミュレーションを行うと、実験結果とほぼ同じ傾向が得られた。

4. その他・特記事項(Others)

・謝辞 (Acknowledgement) :
機器利用に際してご助力いただきました名古屋大学岩田聡先生、加藤剛志先生に感謝申し上げます。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

1) Y. Hashimoto et. al., IEEE International Magnetism Conference, Dublin, Ireland, HP-10, April 28, 2017, HP-10

6. 関連特許(Patent)

なし。

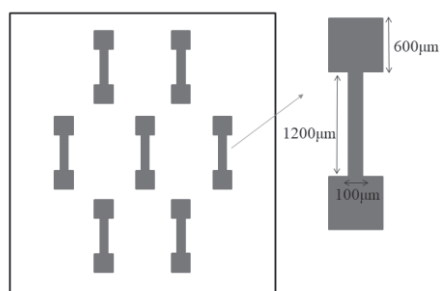


Fig. 1 Top view of GMR elements on glass substrate.

| | |
|-------------------------|---|
| 課題番号 | : F-17-NU-0037 |
| 利用形態 | : 機器利用 |
| 利用課題名(日本語) | : 高効率磁化反転技術の開発 |
| Program Title (English) | : Development of high efficient magnetization switching technique |
| 利用者名(日本語) | : 周興 ¹⁾ , 大島大輝 ²⁾ |
| Username (English) | : X. Zhou ¹⁾ , D. Oshima ²⁾ |
| 所属名(日本語) | : 1) 名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻, 2) 名古屋大学未来材料・システム研究所 |
| Affiliation (English) | : 1) Graduate School of Engineering, Nagoya University, 2) Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University |
| キーワード/Keyword | : 成膜・膜堆積、膜加工・エッチング、リソグラフィ・露光・描画装置、磁性薄膜 |

1. 概要(Summary)

現在、種々の磁化反転手法が提案されている。今回、Co 超薄膜の電界アシストスピンホール磁化反転層を試みた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 電子線露光装置, 磁気特性評価システム群, ECR-SIMS エッチング装置

【実験方法】

Fig. 1 に示すような構造を微細加工技術を用いて以下のような手順で作製した。マグネトロンスパッタ装置を用いて作製した MgO / Co / Pt / Ta / SiO₂ / Si sub. を電子ビーム露光装置および ECR-SIMS エッチング装置を用いてホールバーの形状に加工した。ホールバーの幅は 3 μ m および 6 μ m とした。その後、フォトリソグラフィーを用いて絶縁体である HfO₂ と電極の Al を堆積させた。作製した素子に対し、Fig.1 に示すように電流パルスを流し、その際に生じる異常ホール電圧を測定して Co の磁化状態を観測した。また、Fig.1 のように HfO₂ を通してゲート電圧 V_G を印加した。

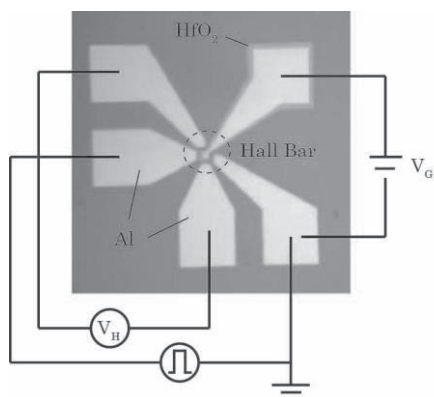


Fig. 1 Top view of fabricated sample.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

磁界を印加しながら異常ホールループを測定すると角型のループを示し、Co が垂直磁化を示していることがわかる。異常ホールループ測定の際、V_G を印加すると保磁力に変化が見られ、電圧効果が発現していることがわかった。この素子に対し、10 μ sec の電流パルスを印加すると、7.9 \times 10⁶ A/cm² の電流密度のときにホール電圧が反転している様子が見られた。これは Pt 層で発生したスピン流のスピントルクにより Co 層の磁化が反転したためと考えられ、スピンホール磁化反転が実現できていることを示している。また、その電流密度は V_G により変化した。その割合は最大で 0.07 %/V であり、効果はまだ小さいものの、電界アシストスピンホール磁化反転に成功したと言える。

4. その他・特記事項(Others)

・謝辞 (Acknowledgement) :
機器利用に際してご助力いただきました名古屋大学 岩田聡先生、加藤剛志先生に感謝申し上げます。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- 1) 周興 他, 第 5 回応用物理学会 SC 東海地区学術講演会, 名古屋大, 愛知, PA30 (2017)
- 2) 周興 他, IEEE Magnetics Society 名古屋支部若手研究会, 豊橋技術科学大, 愛知 (2018)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0041
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : NiO 薄膜の形成
Program Title(English) : The formation of NiO thin film
利用者名(日本語) : 辻輝
Username(English) : A. Tsuji
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation(English) : Graduate school of Eng., Nagoya Univ.
キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積, スパッタ, NiO, 表面処理

1. 概要(Summary)

炭素系複合材料の炭素繊維・樹脂間の界面熱コンダクタンスは詳細な熱設計を行なうのに重要な値である。炭素系複合材料の試料表面に NiO 薄膜を成膜することで、試料表面の放射率の均一化を図り、炭素系複合材料の界面での熱物性測定を試みる。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 3 元マグネトロンスパッタ装置

【実験方法】

CFRP 基板に NiO を積層した。スパッタは Ar 雰囲気、圧力 6.2×10^{-3} Pa, RF パワー 100 W の条件で行った。作製したサンプルは以下の通り:

- (i) NiO/CFRP 基板(4 inch \square), 積層時間 20 分
- (ii) NiO/CFRP 基板(4 inch \square), 積層時間 15 分
- (iii) NiO/CFRP 基板(4 inch \square), 積層時間 10 分

3. 結果と考察(Results and Discussion)

積層後のサンプルを Fig. 1 に示す。

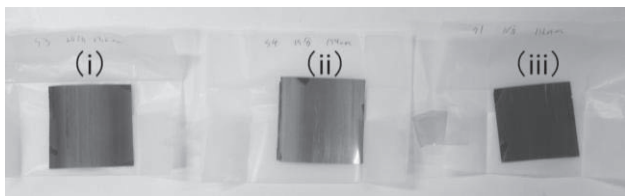


Fig. 1 Pictures of NiO/Substrate fabricated by different conditions (i), (ii), and (iii).

NiO の膜厚は、左から 232, 174, 116 nm であった。これらをマイクロレンズを装着したサーモグラフィを用いて室温時での表面温度の測定を行なった。その結果の代表として 232 nm の測定結果を Fig. 2 に示す。なお、1 pixel は $2.5 \mu\text{m}$ である。

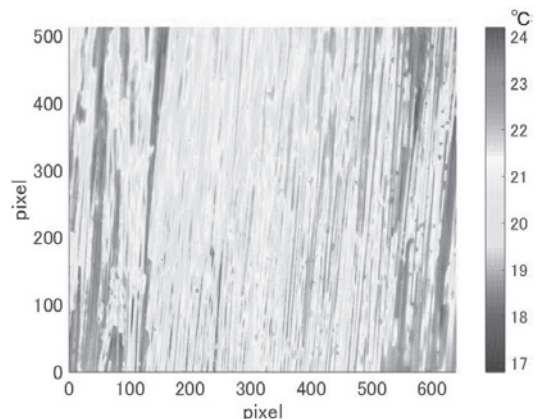


Fig. 2 Temperature distribution of CFRP.

試料に加熱を行っていないため、本来であれば均一温度となるが、見かけ上では炭素繊維と樹脂の放射率の差に起因する温度差が生じている。その最大差は約 5°C であり、正確な温度分布ではない事が確認できた。他の膜厚の測定においても同様の結果となった。結果より、232 nm では厚みが十分でなく、NiO の透過率が大きくなっており、試料表面の放射率を均一化できなかったと考えられる。より膜厚を大きくすることで透過率を低減させることができるが、薄膜の影響による温度測定誤差が増加してしまう。そのため、薄膜のモデルを組み、膜厚が温度測定に与える影響を調べる必要がある。

4. その他・特記事項(Others)

・岩田研究室熊沢様(名古屋大学)に感謝します。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0043
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名(日本語) : オンチップ細胞計測を基盤とする光合成細胞の外部刺激応答特性の解明
 Program Title (English) : Measurement of mechanical properties of single *Synechocystis* sp. PCC 6803 in response to osmotic stress
 利用者名(日本語) : 魚住信之¹⁾, チャン ディ²⁾
 Username (English) : N. Uozumi¹⁾, D. Chang²⁾
 所属名(日本語) : 1) 東北大学大学院工学研究科
 : 2) 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : 1) Graduate School of Engineering, Tohoku University
 : 2) Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : Cyanobacteria, MEMS, Osmotic, Mechanical Properties, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

Synechocystis sp. PCC 6803 is a kind of model organism for the study of photosynthesis, biofuel and environmental stress adaptation. In the adaption mechanism, mechanosensitive channels play important roles that they work as a kind of regulator to response intracellular pressure relating to osmotic condition of culture medium. Thus, we can evaluate the activity and role of the mechanosensitive channels by measuring single cellular stiffness by using the robot integrated microfluidic chip and optical tweezers.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 マスクアライナ、レーザ描画装置、スパッタリング装置一式、ICP エッチング装置一式、ダイシングソー装置、Deep Si Etcher

【実験方法】

Firstly, rectangular substrate chips are cut out from the wafer using a dicing saw. The photoresist on the silicon chips and glass chips are patterned using a mask aligner. The mask used in the patterning process is manufactured by a laser drawing device. After that, metal film formation is performed by using a sputtering device. Then chips are etched by an ICP etching device and a deep Si etcher. Then, the etched glass chip and silicon chip are bonded together by a bonding device. Finally, the backside of the bonded chip is patterned again and etched. Thus, the chip used in our experiment is fabricated.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

The microfluidic chip utilized in this research was made of silicon on insulator (SOI) wafer consisting of three layers, a device layer, an

intermediate oxide layer and a substrate layer. A stretchable pushing probe and a beam type force sensor were formed in the device layer by microfabrication technology. The pushing probe was connected to the thick silicon substrate layer via the intermediate oxide layer. In this way, we actuated the probe by pushing the thick substrate using a piezo actuator.

The target cell was moved to the gap between the pair of probes by optical tweezer and then compressed. By measuring the displacement of the pushing probe and the force sensor, we evaluated the stiffness of the cell, successfully.

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:新井 史人 教授(名古屋大学大学院工学研究科)

・関連文献:

- (1) Chang, D., Sakuma, S., Kera, K., Uozumi, N., & Arai, F. (2017, December). Mechanical characterization of a single *Synechocystis* sp. PCC 6803. In *Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS)*.
- (2) Sakuma, S., Chang, D., Arai, F., Kera, K., & Uozumi, N. (2017, January). Mechanical characterization of cyanobacteria under osmotic stress. In *Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし.

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-17-NU-0044
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名(日本語) : マルチ材料積層造形技術による心臓モデルの開発
 Program Title (English) : Development of heart model Using multi materials
 利用者名(日本語) : 池田誠一
 Username (English) : S. Ikeda
 所属名(日本語) : ファイン・バイオメディカル株式会社
 Affiliation (English) : Fain-Biomedical
 キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積, 形状・形態観察, 分析

1. 概要(Summary)

マルチ材料積層造形技術による心臓モデルの開発における、感温性色素が導入されたハイドロゲルを腎動脈や心臓といった三次元構造体に造形する課題について、名古屋大学支援機関の設備を利用した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 デジタルマイクロスコープ一式

【実験方法】

光硬化性ハイドロゲルを3Dプリンタを用いた直接造形や、透明型にハイドロゲルを導入し外周からの紫外光照射による露光により、心臓や腎動脈等の三次元構造体を作製し、形状や膜厚をデジタルマイクロスコープを用いて計測した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1 に作製した心臓モデルを、Fig.2 に腎動脈モデルを示す。

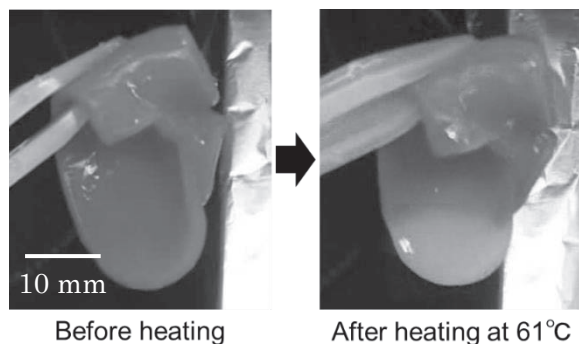


Fig. 1 Photograph of left atrium model.

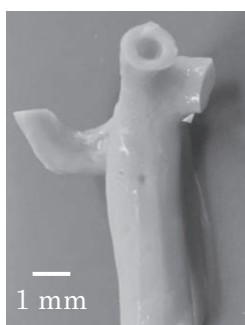


Fig. 2 Photograph of artery model.

この心臓モデルには温度が 55°C でマゼンタから無色に不可逆的に変色する色素を導入しており、カテーテルアブレーションによる焼灼範囲を色変化範囲として定量的に評価可能である。この心臓モデルと同じ材料を用いて、腎動脈モデルを作製した。ヒトの腎動脈の厚さは年齢や性別によらず 0.6~0.7 mm の膜厚である。この薄膜中空構造体を作製するため、透明型に導入したハイドロゲル材料に対して外部から露光する時間を調整することで、Fig.3 に示すように 1 mm 以下範囲で膜厚を制御して造形可能な方式を開発し、腎動脈モデルの作製に成功した。

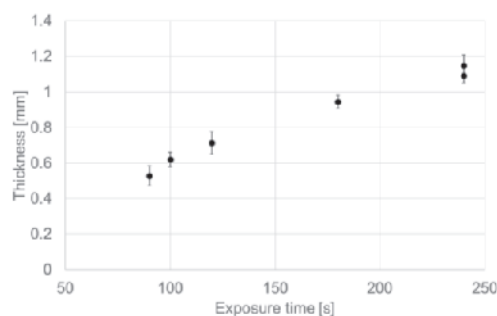


Fig.3 Relationship between thickness and exposure time.

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:

新井 史人 教授(名古屋大学大学院工学研究科)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

特許出願済み。

課題番号 : F-17-NU-0045
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名(日本語) : 流体制御を基盤とする超高速・超精密単一細胞分取技術の開発
 Program Title (English) : Development of ultra-high speed and high-resolution single cell sorting technique based on flow control
 利用者名(日本語) : 笠井宥佑¹⁾, 飯野敬矩²⁾
 Username (English) : Y. Kasai¹⁾, T. iino²⁾
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院工学研究科, 2) 東京大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : 1) Graduate school of engineering, Nagoya University, 2) Graduate school of engineering, The University of Tokyo
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、MEMS、単一細胞分取

1. 概要(Summary)

近年、単一細胞解析の重要性から、希少細胞などを対象としてシングルセルソーティング技術に注目が集まっている。本研究では、高速かつ広い領域での流体制御機構の設計・作製を目的とする。本稿では、流体制御デバイスとして、MEMS加工技術を用いてメンブレンポンプを有するマイクロ流体チップを作製した。メンブレンポンプに高速駆動が可能な外部駆動アクチュエータを統合することで、高速かつ広い領域での流体制御機構を実現した。作製した流体制御機構を用いて、従来困難であった大きな細胞の高速ソーティングに成功したのでそれを報告する。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 両面露光用マスクアライナ、レーザー描画装置、スパッタリング装置一式、ICPエッチング装置一式、ダイシングソー装置、小型微細形状測定機一式

【実験方法】

ファブリケーションプロセスの手順を下記に示す。まず、スパッタリング装置を用いて金属薄膜をガラス基板上に成膜し、レーザー描画装置で作製したフォトマスクとマスクアライナを用いてガラス基板上にエッチングマスクを作製する。その後、フッ酸エッチングを用いてガラスをエッチングする。続いて、ガラスとSiを陽極接合で接合し、Si面上にSU-8をパターニングし、ICPエッチング装置を用いてSiの深堀加工を行う。次に、フッ酸エッチングをしたガラスのうちSiと接合していないガラス基板にフォトレジストを用いてエッチングマスクをパターニングし、サンドブラストを用いてガラスの貫通加工を行う。最後に深堀加工したSi-ガラス基板と貫通加工したガラス基板を陽極接合で接合した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

上記のファブリケーションプロセスを経て、ガラス-Si-ガラスの3層構造の、メンブレン構造を有するマイクロ流体

チップの作製に成功した。作製したマイクロ流体チップを用いて流体制御の応答を評価したところ、応答領域150 μm 、応答時間16 μs という広領域の高速制御に成功した。さらに、細胞のソーティングを行ったところ、流速2 m/sの条件下で、スループット23 kHz、成功率92.8%、純度95.8%、ソーティング後の細胞の生存率90.8%を達成した。

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:

新井 史人 教授(名古屋大学大学院工学研究科)

・関連文献:

- (1) Shinya Sakuma, Yusuke Kasai, Takeshi Hayakawa, Fumihito Arai, "On-chip cell sorting by high-speed local-flow control using dual membrane pumps", Lab on a Chip, 2017, 17, 2760-2767, DOI: 10.1039/C7LC00536A
- (2) 局所流体制御による超高速オンチップ細胞ソーティング, 笠井宥佑, 佐久間臣耶, 早川健, 新井史人, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2017), 2P1-P06, 2017
- (3) 3次元マイクロ流路における微粒子流れのフォーカシング, 笠井宥佑, 佐久間臣耶, 新井史人, 第35回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017), 3E1-05, 2017

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0046
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名(日本語) : バイオニックヒューマノイドのシステム統合と眼球モデルの開発
 Program Title (English) : System integration of Bionic Humanoid and development of eye surgery simulator
 利用者名(日本語) : 荒木章之
 Username (English) : F. Araki
 所属名(日本語) : 東京大学医学部附属病院 眼科・視覚矯正科
 Affiliation (English) : Ophthalmology, Department of medicine, The University of Tokyo
 キーワード/Keyword : 生体模倣手術モデル、マイクロ流体チップ、3D プリンタ、リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

リアリティの高い人体シミュレータを実現し、手術トレーニングやデバイス評価環境を構築するために、生体と類似する物理特性を再現した眼球モデルを作製する。その際、作製及び物理特性の計測に、名古屋大学先端技術共同研究施設の設備を利用した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

マスクアライナ, 段差計, デジタルマイクروسコープ一式, 光三次元造形装置一式, 高精度電子線描画装置一式

【実験方法】

マスクアライナを用いて露光を行い、レジスト微細パターンを形成し、眼底の微細血管の作製に活用した。

また、原子間力顕微鏡, 段差計及びデジタルマイクروسコープを用いて、作製した擬似生体組織の膜厚測定を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

マスクアライナを用いて露光処理を行い、レジスト微細パターンを作製した(Fig.1)。

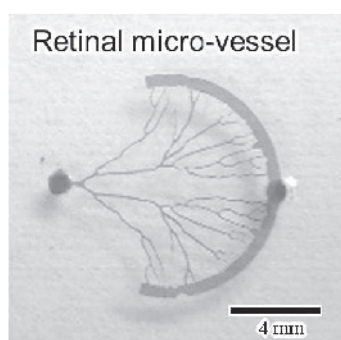


Fig.1 Snapshot of a resist pattern of a blood vessel model.

このパターンを樹脂材料に転写することで、眼底の微細血管を模したモデルの作製に成功した。また、原子間力顕微鏡, 段差計及びデジタルマイクروسコープを用いて、薄膜状の模擬生体組織の膜厚を測定し、実際のヒト眼が持つ薄膜組織と同等の膜厚で模擬組織を作製したことを確認できた(Fig.2)。

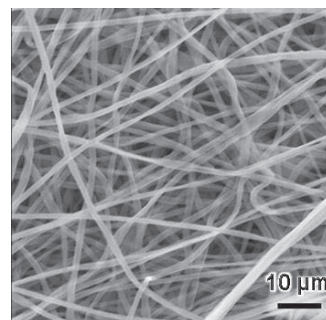


Fig.2. Snapshot of surface observation of artificial sclera with nanofiber.

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者: 新井 史人 教授(名古屋大学大学院工学研究科)

・関連文献:

(1)M. Gallab, K. Tomita, S. Omata, F. Arai. Fabrication of 3D Capillary Vessel Models Having Circulatory Connection Ports. *Micromachines*, Accepted, 2018.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1)S. Omata, Y. Someya, S. Adachi, T. Masuda, F. Arai, K. Harada, M. Mitsuishi, K. Totsuka, F. Araki, M. Takao, M. Aihara, “Eye Surgery Simulator for Training Intraocular Operation of Inner Limiting Membrane,” 2017 IEEE Int. Conf. Cyborg and Bionic Systems (CBS), 41–44, 2017.

(2)高尾 宗之, 荒木 章之, 戸塚 清人, 外山 琢, 上田 高志, 野田 康雄, 相原 一, 小俣 誠二, 早川 健, 新井 史人, 原田 香奈子, 光石 衛. 水中で模擬内境界膜剥離が出来る眼球モデルの開発. 第71回日本臨床眼科学会, 10.2017.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0047
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名(日本語) : 超高速オープンフローサイトメーター
 Program Title (English) : High Speed Opened flow cytometer
 利用者名(日本語) : 齋藤俊樹¹⁾, A. M. Noor²⁾
 Username (English) : T. Saito¹⁾, A. M. Noor²⁾
 所属名(日本語) : 1) 国立病院機構 名古屋医療センター, 2) 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : 1) National Hospital Organization Nagoya Medical Center, 2) Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 成膜・膜堆積, 膜加工・エッチング

1. 概要(Summary)

独自のオープンチップによる超高速な細胞分離法を用いて、血液などの細胞集団から目的の細胞を1細胞レベルで分離・採取を可能とするフローサイトメータの開発を行う。処理時間の短縮(既存装置の1/4)、試料品質の維持(細胞生存率90%以上)、細胞ロストの抑制(細胞回収率90%以上)、さらには画像による診断、の装置仕様を達成し、臨床的有用性を示す。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 両面露光用マスクアライナ, レーザー描画装置, スパッタリング装置一式, ICP エッチング装置一式

【実験方法】

クロームフォトマスクを利用し、感光性樹脂がコーティングされているシリコン基板の上に、マスクアライナを利用してパターニングを行う。この様にしてパターニングされたシリコン基板をICPエッチング装置一式により、エッチングを行うことで、より深いパターンを形成することができる。このパターンをMoldとし、独自のマイクロ流体チップを作製する。また、作製したマイクロ流体チップをフローサイトメータに搭載し、ヒト血液からT細胞B細胞の分離を行う。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

T細胞B細胞百分率の検査を対象に、ヒト血液からT細胞B細胞の分離実験を行った。作製したマイクロ流体チップにてT細胞・B細胞を捕捉したチップ表面をFig.1に示す。チップ全体にわたりT細胞(緑色)B細胞(黄色・赤色)が補足され、T細胞・B細胞の画像取得に成功した。

本チップにて、百分率を測定した結果、通常フローサイトメータにて得られるT細胞・B細胞百分率にほぼ同等の数値を得ることが可能となった。また、T細胞・B細胞百分

率の変動係数(CV)を4~5%まで、抑えることが出来た。この数値は、既存フローサイトメータの変動係数(CV)とほぼ同程度であった。

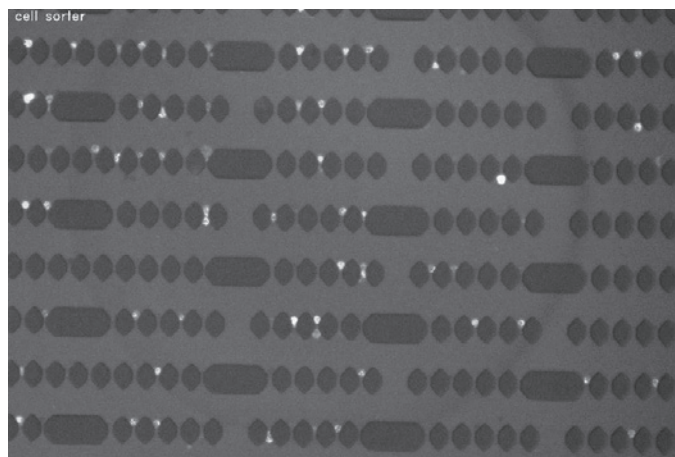


Fig. 1 Photograph of captured T and B cell on chip.

4. その他・特記事項(Others)

- ・共同研究者: 新井 史人 教授(名古屋大学大学院工学研究科)
- ・関連文献:

(1) A Noor, T Masuda, W Lei, K Horio, T Saito, Y Miyata, F Arai, The 28th 2017 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS), 2017

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし..

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-17-NU-0048
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 光学式応力センサを搭載した生体模擬網膜モデルの開発
 Program Title (English) : Development of retinal model having optical stress sensor
 利用者名(日本語) : 益田泰輔
 Username (English) : T. Masuda
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積, 形状・形態観察, 分析

1. 概要(Summary)

生体の力学的特性を模擬し, 力が印加された際の表面の応力分布を非接触に計測可能な網膜モデルの開発を行った. ヒト網膜に近いヤング率を有する網膜部とヒト強膜に近いヤング率を有する強膜部から構成される網膜の作成に名古屋大学の設備を利用した.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 デジタルマイクロスコープ一式

【実験方法】

シリコーンゴムの一つであるポリジメチルシロキサン(PDMS)に混合する硬化剤濃度を調整したものを用いた. 網膜部(厚さ:300 μm , ヤング率:20 kPa), 強膜部(厚さ1 mm, ヤング率:2.0 MPa)を模擬するため, 硬化剤濃度を主剤に対してそれぞれ 3 wt%, 10 wt%として作製し, モデルの膜厚をデジタルマイクロスコープを用いて計測した.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1に硬化剤10 wt%のPDMS, Fig.2硬化剤3 wt%のPDMSに対する試験片で引張試験を行った結果を示す. 強膜部のヤング率は1.9 MPa, 網膜部のヤング率は30 kPaであり, ヒト網膜のヤング率に近い結果が得られた. これらのPDMSを積層し網膜モデルを作製した. デジタルマイクロスコープを用いた膜厚を計測し, 網膜部の厚さが約300 μm , 強膜部の厚さが1 mmとヒト網膜部の文献値に近い値が得られた. Fig.3に示すように, この網膜モデルに鉄棒で垂直印加力を加えた際にモデル表面のひずみを, デジタル画像相関法で検出することに成功した.

4. その他・特記事項(Others)

なし.

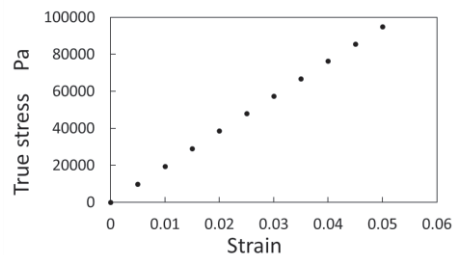


Fig. 1 Relationship between strain and stress of sclera part.

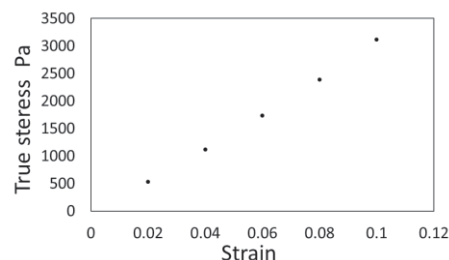


Fig. 2 Relationship between strain and stress of retina part.

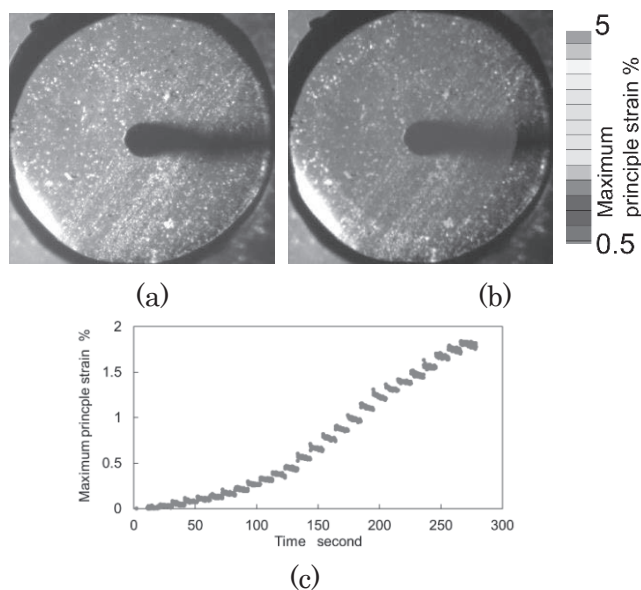


Fig. 3 Strain mapping on retina model. (a) IR image, (b) Before loading, (c) Strain measurement result.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし.

6. 関連特許(Patent)

なし.

| | |
|-------------------------|--|
| 課題番号 | : F-17-NU-0049 |
| 利用形態 | : 機器利用 |
| 利用課題名(日本語) | : バイオニックヒューマノイドモデリングのための解剖構造モデリングと物性計測技術の開発 |
| Program Title (English) | : Development of anatomical structure modeling and physical property measurement technology for Bionic Humanoid modeling |
| 利用者名(日本語) | : 長谷川敬晃, 佐久間臣耶 |
| Username (English) | : N. Hasegawa, S. Sakuma |
| 所属名(日本語) | : 名古屋大学大学院工学研究科マイクロ・ナノ機械理工学専攻 |
| Affiliation (English) | : Graduate School of Engineering, Nagoya University |
| キーワード/Keyword | : リソグラフィ・露光・描画装置, 成膜・膜堆積, 膜加工・エッチング |

1. 概要(Summary)

生体組織を計測するためには、その状態や形状、さらには個体間のばらつきに対応できる広い計測レンジが求められる。そこで、ワイドな計測レンジを有する力センサ、および、微小生体組織物理特性計測プラットフォームの開発を行う。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 両面露光用マスクアライナ, スパッタリング装置一式, ICP エッチング装置一式, ダイシングソー装置

【実験方法】

薄膜の機械的特徴量計測には、薄膜の固定方法と、薄膜に対して変位を加えた際の反力を計測することが必要となる。厚みが数マイクロメートルしかない薄膜組織の機械的特徴量計測のためには、サンプルの固定方法と個体間のばらつきに対応するワイドな計測レンジを持つ力センサが必要となる。そこで力センサには水晶振動式力センサを用いた。力センサはスパッタリング装置を用いて電極形成及びパッケージングを行った。

固定デバイスには、デバイス層－中間酸化膜層－基板層の3層からなるSOIウエハを用いた。微細加工技術を用いてマスクアライナーを用いたフォトレジストのパターニングを行い、ICPエッチング装置でデバイス層をドライエッチングすることで直径10 μm のマイクロチャンネルを形成し、中間酸化膜層をフッ酸エッチングによって貫通させ、ガラスと接合を行った。外部ポンプを通して減圧をすることで液中での薄膜の固定を可能とする。作製した水晶振動式力センサと固定デバイスはダイシングソーで分割することで一括作製を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製した水晶振動式力センサのキャリブレーションを行

った結果、分解能は130 μN であり、計測レンジは 3.7×10^4 であった。固定デバイスを統合することで薄膜の引張特性計測システムを構築し、生体組織を模擬した薄膜モデルの引張特性計測を行った。引張特性計測は薄膜モデルを固定デバイスによってアライメント、および固定を行った後、電動ステージを駆動させ、一定速度で変位を固定した薄膜モデルに加え、その際の反力を水晶振動式力センサによって計測した。構築したシステムを用いることで微小薄膜の機械的特徴量を計測することに成功した。

4. その他・特記事項(Others)

・関連文献:

- (1) N.Hasegawa, S.Sakuma, Y.Murozaki, F.Arai. The 28th 2017 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS), MA-1-2-5, p.32-33, 2017.
- (2) S.Sakuma, N.Hasegawa, Y.Murozaki, F.Arai. 2017 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS), p.198-201, 2017.
- (3) 長谷川敬晃, 佐久間臣耶, 佐藤彩夏, 新井史人. ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2017 (ROBOMECH), 2A1-N08, 2017.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0050
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : スフェロイドの機械特性ソーティングを基軸とした培養環境との機械的相互作用
 Program Title (English) : Mechanical interactions between spheroids and their culturing environment based on mechanical characteristics activated sorting
 利用者名(日本語) : 佐久間臣耶, 中原康
 Username (English) : S. Sakuma, K. Nakahara
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduating school of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング, 成膜・膜堆積, 膜加工・エッチング

1. 概要(Summary)

細胞凝集体(スフェロイド)を器官原器へと分化誘導する過程において, 分化誘導に対する培養時の基材とスフェロイドのそれぞれの機械的な相互作用はほとんど知られていない. そこで本研究では, ハイスループットにスフェロイドの硬さ等の機械的特性をマルチにソーティングする, Mechanical-characteristics Activated Cell Sorting (MechACS) を開発するための, ガラス-シリコン系の材料で構成した高剛性のロボット統合型マイクロ流体チップを開発する.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 両面露光用マスクアライナ, レーザ描画装置一式, スパッタリング装置一式, ICP エッチング装置一式, ダイシングソー装置

【実験方法】

レーザ描画装置一式を用いてフォトマスクを作製する. フォトレジストを成膜したシリコン基板に, フォトマスクのパターンを両面露光用マスクアライナを用いて転写する. 転写したパターンをマスクとして, ICP エッチング装置一式を用いてシリコン基板の深堀加工を行う. その後, 深堀加工を行ったシリコン基板と, ガラス基板を接合するが, その際に不要な部分が接合されてしまうことを防ぐために, 接合前に予めスパッタリング装置一式を用いてガラス基板上に金属膜を成膜する. 接合後, ダイシングソー装置を用いてチップサイズに切り出すことで, ロボット統合型マイクロ流体チップの完成となる.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製したロボット統合型マイクロ流体チップを用いて機械特性ソーティングの原理確認を行った. ポンプへの電圧印加による流体制御技術を利用して対象物の位置制御を行い, さらにチップ内のロボットを駆動させる事により

機械特性の計測を行う. 更にその後, 得られた機械特性に応じてポンプへの電圧印加による流体制御技術を用いて対象物ソーティングを行う. 原理確認としてポリスチレンビーズの位置制御, 機械特性計測, ソーティングを想定したポンプ制御を行い, これら一連の処理を, 対象となるビーズ 1 つあたり 4.1 ± 0.1 秒で行うことに成功した.

4. その他・特記事項(Others)

・関連文献:

- (1) Kou Nakahara, Shinya Sakuma, Fumihito Arai, "ON-CHIP CELL SEPARATION BASED ON MECHANICAL CHARACTERISTICS," The 21st international conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, pp.144-145, Savannah, The united states of America, October 22-26, 2017
- (2) Kou Nakahara, Shinya Sakuma, Fumihito Arai, "Automated On-Chip Sorting System for Separation of Spheroid Based on the Mechanical Characteristics," 2017 international symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, pp.161, Nagoya, Japan, December 3-6, 2017
- (3) 中原康, 佐久間臣耶, 新井史人, "スフェロイドの機械特性に基づく分離を目指したオンチップソーティングシステム", 化学とマイクロ・ナノシステム学会第 35 回研究会, pp.69, 東京, 2017 年 5 月 22-23 日

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし.

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-17-NU-0053
 利用形態 : 技術代行
 利用課題名(日本語) : GaN 系半導体光・電子デバイスの開発のための EB、レーザーによるフォトマスクの作製
 Program Title (English) : Fabrication of photo-mask for GaN based optical and electron devices
 利用者名(日本語) : 岡田成仁
 Username (English) : N. Okada
 所属名(日本語) : 山口大学大学院創成科学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Science and Technology for Innovation, Yamaguchi University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、窒化物半導体、発光・電子デバイス、フォトマスク、GaN 基板

1. 概要(Summary)

GaN 系半導体光・電子デバイスの開発のための EB、レーザーによるフォトマスクの作製をおこなう。基板となる GaN に対し選択成長用のマスクを作製し、高品質化を図る。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザー描画装置

【実験方法】

今回はレーザーによるフォトマスクの作製を行った。名古屋大学は 2 インチ、京都大学では 6 インチ基板用にレーザー描画装置を用いて様々なパターンのマスクを作製した。上記様々なパターンのマスクを用いて、フォトリソグラフィと CIP-RIE エッチングにより GaN テンプレートに Fig.1 に示すようなサファイアが露出したストライプ構造を作製した。その後高品質厚膜 GaN 結晶作製のため、山口大学において Dislocation elimination by the epitaxial-growth with inverse-pyramidal pits (DEEP)法を用いたハイドライド気相成長(HVPE)法にて厚膜成長を行った。この手法は Ga 極性と N 極性を同時成長させることによって、面内成長速度異方性を付け、ファセット構造が維持した状態で成長させることである。

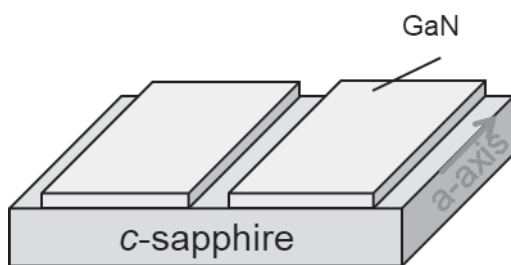


Fig.1 Schematic illustration of the GaN template.

3. 結果・考察(Results and Discussion)

DEEP 法を用いた HVPE 成長の結果、Fig.2 に示すように、ファセット構造を有する GaN を得ることに成功した。DEEP 法によって作製されたファセット構造を有する GaN は転位密度がファセット単部に吐き出されることにより高品質化が可能である。この結晶の転位密度は Ga 極性の面で 10^4cm^{-2} 台となり、サファイア基板を用いた GaN 基板の転位密度としては世界最高レベルとなることが実証できた。

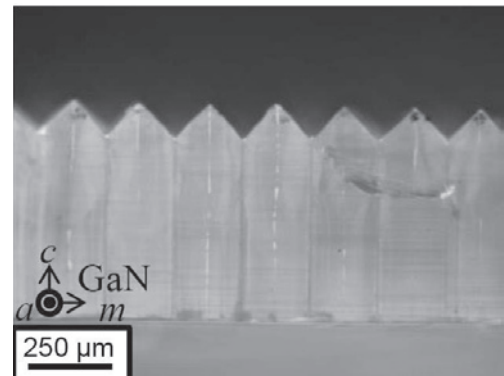


Fig.2 Florescent microscope image of GaN layer grown by DEEP method.

4. その他・特記事項(Others)

・F-17-YA-0026(山口大)、F-17-KT-0170(京都大)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 江崎建弥, 重藤祐輔, 岡田 成仁, 只友 一行「ハイドライド気相成長法における Ga・N 両極性を有する GaN のファセット成長」2017 年 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 福岡国際会議場 福岡県, 2017 年 9 月 5~8 6a-A301-2

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0054
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 高分子材料へのDFB型回折格子の導入によるレーザー発振
 Program Title (English) : DFB laser of organic polymer
 利用者名(日本語) : 坂上知, 竹延大志
 Username (English) : T. Sakanoue, T. Takenobu
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate school of Eng., Nagoya Univ.
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、有機高分子、レーザー

1. 概要(Summary)

有機材料は優れた発光特性を有しており、近年では有機ELテレビが各社より販売されなど、発光素子材料として不可欠な材料となっている。特に、有機高分子は液相法により素子作製が可能であり、今後は柔軟な基板上に安価かつ簡便な液相法により作製された発光素子の重要性が高まると考えられる。そのため、我々のグループでは有機高分子を用いた発光素子である電気化学発光セルに着目し、本素子を用いた電流励起レーザー発振素子実現を目指している。[1] しかしながら、レーザー素子の実現には共振器構造の導入が不可欠であり、名古屋大学工学研究科微細加工プラットフォームの設備を利用して、DFB型共振器構造の作製を試みた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 電子線露光装置、両面露光用マスクアライナ、ICPエッチング装置一式、走査型電子顕微鏡
 【実験方法】

電子線露光装置とICPエッチング装置を用いてSiO₂表面に以下のグレーティングパターンを作製した。作製したパターンは走査型電子顕微鏡(SEM)と原子間力顕微鏡(AFM)を用いて確認した。

- (i) ピッチ 340 nm、凹凸部の長さ比率が 1:1
(凹部 170 nm、凸部 170 nm)
- (ii) ピッチ 340 nm、凹凸部の長さ比率が 3:1
(凹部 255 nm、凸部 85 nm)
- (iii) ピッチ 340 nm、凹凸部の長さ比率が 1:3
(凹部 85 nm、凸部 255 nm)

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製したグレーティング構造をAFMによって観察した結果をFig.1に示す。深さプロファイルより、深さが数百ナノメートルの構造が設計通りに作製されたことを確認した。そのため、本基板上に有機高分子膜を作製し、光励起に

よる発光特性観察も行った。得られた結果はDFB型共振器として本基板が機能していることを明確に示しており、今後はレーザー発振を目指して素子構造と測定方法の最適化を行う。

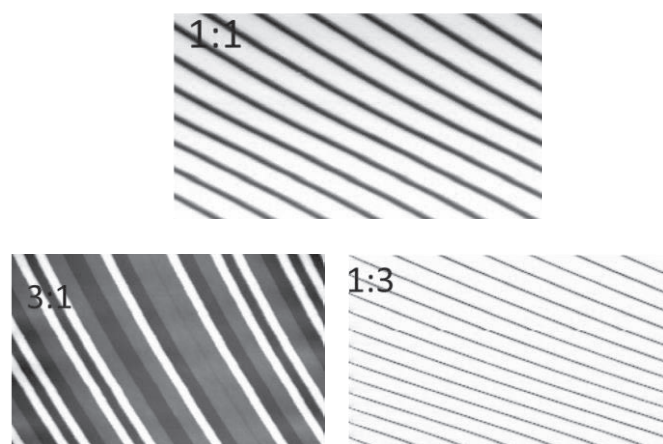


Fig.1 AFM images of grating structure. (top) 1:1, (middle) 3:1, and 1:3.

4. その他・特記事項(Others)

- ・参考文献:[1] T. Sakanoue *et al.*, *Adv. Mater.* **29**, 1606392 (2017).
- ・科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型) 「 π 造形システム集合体の物性制御」
- ・科学研究費補助金 特別推進研究 「イオントロニクス学理の構築」
- ・杉浦広峻様(名古屋大学)、加藤剛志様(名古屋大学)、大島大輝様(名古屋大学)に感謝します。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0055
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : Si ライン&スペース上への Si 量子ドットの高密度形成
Program Title (English) : High density formation of Si-QDs on Sub-micron patterned Si Substrates
利用者名(日本語) : 永井僚, 牧原克典
Username (English) : R. Nagai, K. Makihara
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate school of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積、Si 系量子ドット、発光ダイオード、LPCVD

1. 概要(Summary)

SiH₄と GeH₄のLPCVDにおいて、反応初期過程を交互に精密制御することにより、Si 熱酸化膜上に Ge 核を有する Si 量子ドットを自己組織化形成し、Al 上部および下部電極を形成した Ge コア Si 量子ドット発光ダイオード構造において、Ge コアの量子準位間での電子-正孔再結合に起因する室温 EL が顕在化することを明らかにしている。本申請研究では、p-Si (100) 基板を EB リソグラフィおよびドライエッチングを用いてライン&スペース構造形成後、熱酸化した Si 細線構造へ Si 量子ドットを高密度形成した。尚、ドット形成は走査型顕微鏡により確認した。その後、上部および下部電極として Al 電極を真空蒸着し、室温エレクトロルミネッセンス測定を評価した結果、Ge コアの量子準位間での電子-正孔再結合に起因する発光が Si 細線端面から観測された。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡

【実験方法】

p-Si(100)基板に EB リソグラフィおよびドライエッチングを用いて高さ 300nm、幅 400 nm のライン&スペース構造を形成し(豊田工大)、RCA 洗浄後、1000°C、2% O₂ 中で膜厚 3.5 nm の酸化膜を形成した。その後、希釈 HF 処理を施した後、SiH₄ ガスを用いた LPCVD により Si 量子ドットを自己組織化形成した。尚、ドット形成・面密度は走査型電子顕微鏡(名古屋大)により評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

基板温度 560°C、SiH₄ ガス圧力 0.5 Torr で LPCVD を行った結果、ライン幅 400 nm(スペース幅 400 ~1000 nm)の Si 細線上面、側面および底面(スペース)において Si 量子ドットの形成が認められ、ドット面密度(~2×10¹¹ cm⁻²)およびサイズに顕著な変化は認められなかった。こ

の結果から、幅~400 nm の溝内部においても Si 初期核発生・成長が均一に進行し、立体構造上に均一サイズの Si 量子ドットが高密度・一括形成できることが分かる。この結果を基に、Si 細線構造上に Ge コア Si 量子ドット 3 層積層構造(Ge コアサイズ: ~6 nm)を形成し、Al 電極を形成した LED 構造において、順方向パルス電圧 (1kHz、duty ratio :50%)を印加し、Si 細線構造の劈開面から室温 EL を測定した結果、4 V 以上の順方向パルス電圧印加で 0.75 eV 近傍に室温 EL が認められた。また、印加電圧の増大に伴い、EL 強度は増加するものの、発光のエネルギー位置に変化は認められなかった。これらの結果は、順方向バイアス 4V 以上印加することで、Al 上部電極からドットへの電子注入と p-Si(100)基板から Ge コアへの正孔注入が同時に起こることにより、Ge コアの量子準位間で電子-正孔対が発光再結合し、発光再結合により生じた光が Si 細線構造内を伝搬した結果として説明できる。

4. その他・特記事項(Others)

- ・本研究の一部は科研費基盤研究(S)の支援を受けて行われた。
- ・他の機関の利用：本研究は、豊田工業大学ナノテク支援プラットフォーム(利用課題番号: F-17-TT-0006、佐々木実教授、熊谷慎也准教授および梶原建支援員)を併用して得られた成果である。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

| | |
|------------------------|--|
| 課題番号 | : F-17-NU-0056 |
| 利用形態 | : 機器利用 |
| 利用課題名(日本語) | : プラズマ照射試料の表面観察 |
| Program Title(English) | : Observation of plasma irradiated sample surfaces |
| 利用者名(日本語) | : 梶田信 ¹⁾ , 河口翔太 ²⁾ , 三室文明 ²⁾ |
| Username(English) | : S. Kajita ¹⁾ , S. Kawaguchi ²⁾ , F. Mimuro ²⁾ |
| 所属名(日本語) | : 1)名古屋大学未来材料・システム研究所, 2)名古屋大学大学院工学研究科 |
| Affiliation (English) | : 1) IMaSS, Nagoya University, 2) Grad. School of Eng., Nagoya University |
| キーワード/Keyword | : 形状・形態観察、分析、プラズマ、ヘリウムバブル、ナノ構造 |

1. 概要(Summary)

タングステンは高融点、低スパッタリング率という特性から、将来の核融合炉のダイバータ材の候補になっている。しかしタングステンはヘリウムイオンの入射により表面にナノ構造と呼ばれる繊維状微細構造が形成されやすい性質を持ち、核融合炉内でナノ構造が形成されれば材料損耗や炉心温度低下などの悪影響を与える危険性が考えられる。本研究では炉壁やダイバータから損耗した金属がヘリウムと同時に入射するなどの環境を模擬し、ヘリウムとタングステンの同時照射実験を行い表面観察を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡

【実験方法】

直線型ダイバータプラズマ模擬装置 NAGDIS-II を用いて行われた。タングステンとヘリウムを同時照射する実験では、タングステン線を試料付近に設置し \sim 500 V のバイアスを印加する手法をとった。タングステン線からスパッタリングされたタングステン原子はヘリウムプラズマ中でイオン化され、試料に印加されたバイアス電圧によりヘリウムイオンとともに入射する。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

ヘリウムとタングステンを同時照射することにより高さ \sim 1 mm と通常のナノ構造層のおよそ 100 倍の厚み、0.1mm と通常のナノ構造繊維のおよそ 1000 倍の太さの構造を持つ巨大な構造が形成された。SEM 観察からこの巨大な繊維状構造は Fig.1(a)のように通常のナノ構造と同等スケールの微細構造の集合により形成されていることが分

かった。更に Fig.1(b)のように通常のナノ構造には見られない微細な膜状構造が繊維間に形成されていた。

これらの構造はヘリウムのみやタングステンのみの照射やタングステンを堆積させた後にヘリウム照射を行った場合には見られないことから、タングステンとヘリウムの同時照射による効果だと考えられる。通常の照射ではナノ構造を形成するタングステンは基板から移動してきたものであるため、成長量が増すに伴い移動距離が増し成長速度が低下するのだと考えられる。一方で、本実験ではタングステンはナノ構造上部から供給されるため成長速度の低下が発生しなかったのだと考えられる。また突出した個所はタングステンとヘリウムのイオンが集中するため、更に成長速度を増すことが示唆される。

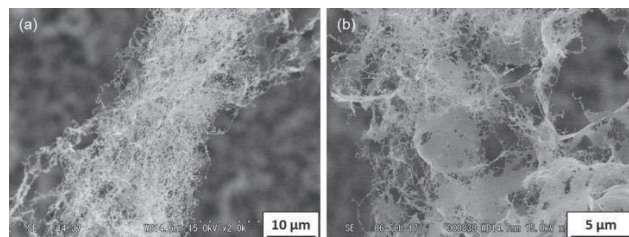


Fig.1 SEM micrographs of the He irradiated nanostructured W with W precipitation.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) S. Kajita, et al. Scientific Reports 8 (2018) 56.
- (2) S. Kajita et al. Surface and Coatings Technol. 340 (2018) 86-92.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0057
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 砒化亜鉛化合物新規磁性半導体の高品位薄膜成長とデバイス作製
 Program Title (English) : High quality thin film growth and device fabrication of novel zinc-arsenide magnetic semiconductors
 利用者名(日本語) : 畑野敬史, 生田博志
 Username (English) : T. Hatano, H. Ikuta
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング, 磁性半導体

1. 概要(Summary)

近年、鉄系超伝導体と類似構造を有する様々な砒化亜鉛化合物が、高いキュリー点(T_C)を持つ希薄磁性半導体であると報告されている。中でも(Ba,K)(Mn,Zn)₂As₂は T_C が220 Kに達し、現在、精力的な研究が行われている(Ga,Mn)Asを上回っている。本研究では、これらの系の高品位薄膜成長や、Asを同族の他のニクトゲン元素で置換するなど、周辺物質を含めた新規の磁性半導体の開発に取り組んでいる。また、元素置換や電界二重層トランジスタ(EDLT)法によるキャリア量制御を行い、その影響も調べる。これら薄膜の評価、およびデバイス作製などに、微細加工プラットフォームの機器を利用した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 フォトリソグラフィ装置、RIEエッチング装置、レーザー描画装置、電子ビーム蒸着装置

【実験方法】

薄膜成長には分子線エピタキシー(MBE)法、薄膜評価には X 線回折、抵抗率測定、エネルギー分散型 X 線分析(EDX)による組成分析等を用いた。また、ナノテク PFにて輸送特性測定用に試料のブリッジ状加工や、EDLTの作製などを行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

薄膜成長には Knudsen-cell(Kセル)を蒸着源とした MBE 法を用いている。薄膜成長の開始にあたって、最初に様々な原料について K セルの温度と蒸気圧の関係を調べた。その上で、分子線圧と基板温度を変えて、形成される相を調べた。また、デバイス加工の準備として、既に単相化に成功した FeAs 系薄膜などを

用いて、エッチング条件などの、プロセス条件の最適化を行った。一方、新規材料の開発を目的に関連物質の物性をバルク試料で詳細に調べた。一例として、BaZn₂Sb₂に K と Mn を部分置換した単結晶の磁化曲線を様々な温度で測定した結果を Fig. 1 に示す。図中に記載されているのは、出発組成である。測定した全温度で磁化が低磁場で急激に立ち上がる振る舞いがみられ、300 K でも強磁性秩序を形成していることが示唆される。

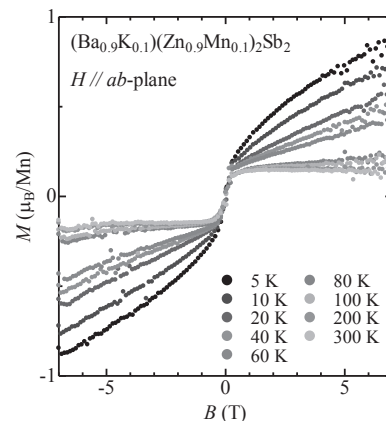


Fig. 1 Magnetization curves of (Ba,K)(Mn,Zn)₂Sb₂ measured at several temperatures.

4. その他・特記事項(Others)

・科研費基盤(B)「砒化亜鉛化合物新規磁性半導体の高品位薄膜成長と高機能化」

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 伊藤巧他, 日本物理学会第 73 回年次大会, 平成 30 年 3 月 22 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0058
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 亜臨界流体による微細藻類からの油脂抽出挙動の解明
 Program Title(English) : Lipid extraction from microalgae by subcritical fluid
 利用者名(日本語) : 神田英輝, 後藤元信
 Username(English) : H. Kanda, M. Goto
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation(English) : Graduate school of Eng., Nagoya Univ.
 キーワード/Keyword : 形状・形態観察、抽出、バイオ燃料

1. 概要(Summary)

近年、光合成の速さや豊富な油脂の含有量から微細藻類からのバイオ燃料の生産が期待されている。トウモロコシなどの植物由来のバイオ燃料と比較して食糧問題と競合しないことや通年の収穫が可能など多くの利点がある。従来の有機溶媒を用いた微細藻類からの油脂抽出では、前処理として乾燥が必要であり、大量のエネルギーが投入される。そこで本研究では、乾燥を省略できる液化ジメチルエーテル(DME)抽出を用いた微細藻類からの油脂抽出を研究している。抽出物の分析は、DME抽出法の特徴の理解に重要である。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡 S5200、S4300

【実験方法】

実験装置を Fig. 1 に示す。液化 DME の供給器、抽出カラム、回収器を直列に接続し、抽出カラムに水分 80.1% の微細藻類を充填した。20°C、0.51 MPa で液化 DME を流速 10 mL/min で供給し油脂と水を抽出した。抽出終了後、抽出物から水を蒸発させて、残った抽出油脂の重量を秤量して油脂抽出量を決定した。

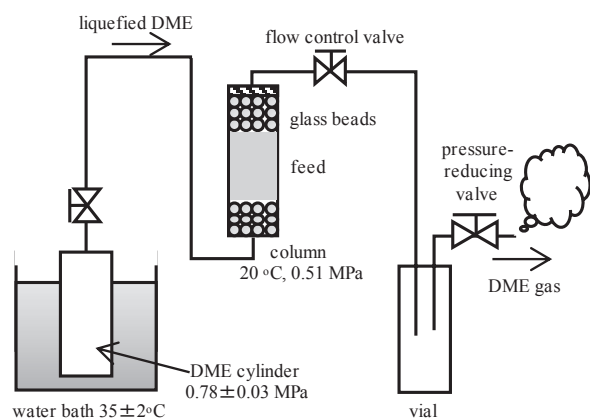


Fig. 1 Lipid extraction apparatus from wet microalgae by liquefied DME.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 2 に、液化 DME(左)とヘキサン(右)で抽出した油脂を示す。液化 DME 抽出法では抽出油脂に微細藻類の細胞壁の破片が存在しないのに対して、ヘキサン抽出では 1µm 以下の破片が白い像として確認され油脂に混入する問題が判明した。また、液化 DME によって抽出された油脂の Ca 含有量は 0.041wt% であり、ヘキサン抽出法の 0.086wt% より低く、液化 DME 抽出法の優位性が明らかになった。

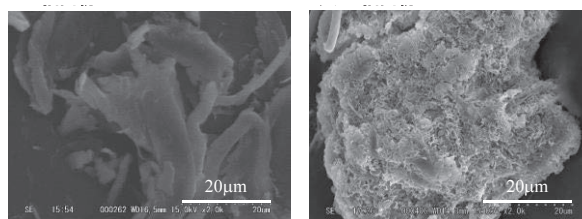


Fig. 2 SEM images of extracts from microalgae.

4. その他・特記事項(Others)

・SATREPS (JST/JICA) 「水処理システムと湿式抽出法による藻類の高効率燃料化の融合と実用化」

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) N. Yamamoto, et al., International Conference on Separation Science and Technology, Pusan, Korea, (2017)
- (2) K. Murakami, et al., The 24th regional symposium on chemical engineering, Java, Indonesia, (2017)
- (3) H. Kanda, et al., The 10th International Conference on Supercritical Fluids, Nagoya Univ., Japan, (2017)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0059
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : ALD 法を用いた GaN 基板上 Al₂O₃ 薄膜作製
 Program Title (English) : Fabrication of Al₂O₃ thin film on GaN substrate using ALD method
 利用者名(日本語) : 出来真斗
 Username (English) : M. Deki
 所属名(日本語) : 名古屋大学未来材料システム研究所
 Affiliation (English) : Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積、ALD、GaN、MOS

1. 概要(Summary)

窒化ガリウム(Gallium Nitride: GaN)を用いたパワーデバイス実用化には、ゲート絶縁膜の高信頼性化が必要である。しかしながら GaN を用いた MOSFET におけるゲート絶縁膜は何れも堆積膜であり、界面準位密度の低減と動作信頼性の担保が要求されている。本研究では、GaN 表面に O₃ 酸化を行い、GaN 表面への酸化処理および熱処理が ALD-Al₂O₃/GaN 界面の電気特性に与える影響に関して評価を行った。今回、ALD 製膜後の Al₂O₃ の膜厚測定と試料作製のため、名古屋大学の VBL 施設の Dektak150 および EB 蒸着装置を使用した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 段差計、電子ビーム蒸着装置

【実験方法】

用いた試料は n 型 GaN 基板であり、GaN 基板上に MOVPE 法を用いて n 型 GaN を 5 μ m 成長させた。C-V 特性からエピ膜の実効ドナー濃度は 2 $\times 10^{16}$ cm⁻³であった。GaN エピ膜へ O₂ 雰囲気において UV 光照射を行った後、熱 ALD 法を用いて Al₂O₃ 膜を 60nm 堆積させた。オーミック電極には Al(100nm)を用い、ゲート電極には Ni/Au(20/200 nm)を用いて GaN-MIS キャパシタを作製した。試料作製後、N₂ 雰囲気、400 $^{\circ}$ C および 600 $^{\circ}$ C において 60min 間の熱処理を行い、試料の電気特性を評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1 に酸化処理および熱処理を行った試料の 1MHz における C-V 特性(ヒステリシス含む)を示す。Fig.1 において表面酸化処理のみを行った試料はフラットバンド電圧が負方向に大きくシフトしており、Al₂O₃/GaN 界面に正の固定電荷が発生していると考えられる。一方、400 $^{\circ}$ C で熱処理を行った試料に関しては ΔV_{FB} が低減され、その

ヒステリシスは 5mV 程度であった。また、ALD-Al₂O₃ を 600 $^{\circ}$ C 以上の高温で熱処理を行うと、Al₂O₃ の多結晶化が発生し、リーク電流の増加と C-V 特性の悪化が懸念される[1]。しかしながら O₃ 酸化を行った試料に関しては熱処理温度を 600 $^{\circ}$ C まで上昇させても、C-V 特性の大きな変化は生じず、良好な C-V 特性が得られた。XPS による評価から、O₃ 酸化を行った試料において Ga₂O₃ におけるピーク強度が As-depo. 試料と比較して大きくなったことから、Al₂O₃/Ga₂O₃/ GaN 界面が形成され、界面における電気特性の向上と、熱処理温度耐性の向上が達成されたと期待できる。

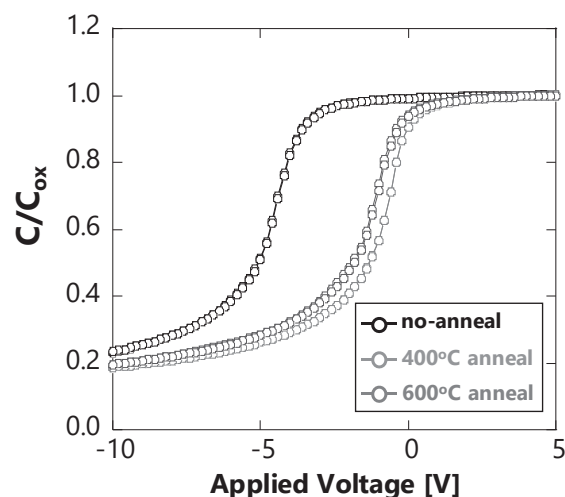


Fig1: C-V characteristics of MOS capacitor.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献：曾根他、第 64 回応用物理学会春季学術講演会、15p-315-10

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 出来他、第 65 回応用物理学会春季学術講演会、18p-C302-3、平成 30 年 3 月 18 日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0060
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : カーボンナノチューブの結晶成長
Program Title(English) : Growth of Carbon Nanotube
利用者名(日本語) : 岡田拓也, 熊倉誠, 丸山隆浩
Username(English) : T. Okada, M. Kumakura, T. Maruyama
所属名(日本語) : 名城大学理工学部応用化学科
Affiliation(English) : Department of Applied Chemistry, Meijo University
キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積, 触媒, カーボンナノチューブ

1. 概要(Summary)

単層カーボンナノチューブ(SWCNT)のエレクトロニクス応用実現のために, 作製温度の低温化が望まれている。我々の研究室では, これまでRhを触媒に用いることで300°CでのSWCNT作製を報告している[1]。本研究では, SWCNT作製用に一般に用いられているCoを触媒に用い, 作製条件を最適化することでSWCNT成長温度の低温化を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 電子ビーム蒸着装置

【実験方法】

SiO₂/Si基板上にスパッタ蒸着により, アルミナ膜を10nm程度堆積させ, その上に, 電子ビーム蒸着装置を用いて, Coを平均膜厚0.2~0.4nm蒸着し, Co触媒粒子を形成した。本基板を用いてSWCNT成長を行った。SWCNT作製は高真空タイプのコールドウォール型化学気相成長(CVD)装置を用いて行い, エタノール蒸気を炭素源とした。作製した試料は, ラマン分光および走査電子顕微鏡(SEM)により評価を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

成長温度700°Cと300°Cで作製した試料のSEM像をFig. 1に示す。それぞれ, エタノール圧力を最適化して作製したものである。Fig. 1(a)の700°Cで作製した試料のSEM像から, 蜘蛛の巣状にからまった繊維状の生成物が基板表面全面に存在している様子が観察された。ラマン分光測定の結果から, この繊維状の物質はSWCNTであることが確認できた。また, 300°Cで作製した試料のFig. 1(b)の像からも, わずかではあるが繊維状の物質が生成していた。ラマン分光測定の結果, この生成物もSWCNTであることが確認できた。以上から, エタノール圧力の最適化により, Co触媒を用いて300°Cの低温においてもSWCNTを作製できることがわか

った。

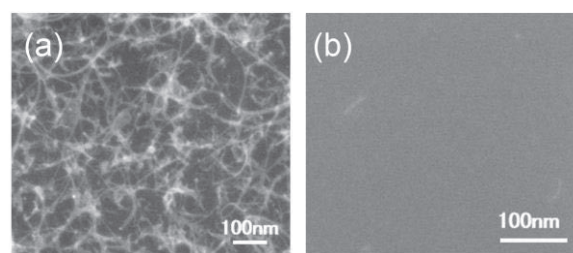


Fig. 1 SEM images of SWCNTs grown at (a) 700°C and (b) 300°C.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献:[1] T. Maruyama *et al.*, Carbon **116**, (2017) 128.

・関連文献:K. Tanioku *et al.*, Diamond Relat. Mater **17** (2018) 589.

・共同研究者:名城大学 成塚重弥, 才田隆広

・他の機関の利用:分子科学研究所

・電子ビーム蒸着装置の使用にあたり, 岸本 茂様(名古屋大学)に感謝します。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) T. Okada, S. Ogawa, T. Fujii, T. Saida, S. Naritsuka, T. Maruyama, ISPlasma2018/IC-PLANTS2018, 平成30年3月5日.

(2) 岡田拓也, 小川征悟, 藤井貴之, 才田隆広, 丸山隆浩, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 平成29年9月5日

(3) 岡田拓也, 小川征悟, 藤井貴之, 才田隆広, 成塚重弥, 丸山隆浩, 第65回応用物理学会春季学術講演会, 平成30年3月17日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0061
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名(日本語) : パワーデバイスのプロセス技術検討
 Program Title (English) : Study of the process technology about the Power Device
 利用者名(日本語) : 武田恭英, 高里明洋
 Username (English) : Y.Takeda, A.Takazato
 所属名(日本語) : 株式会社ジェイテクト
 Affiliation (English) : JTEKT, Co. Ltd.
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング, パワー半導体, エッチングレート

1. 概要(Summary)

パワーデバイスを作製する前提としてICP エッチング装置の諸条件を変更し, 半導体基板でのエッチングレートの評価を行った.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

ICP エッチング装置一式

【実験方法】

下記手順で評価サンプルを作製し, その後に ICP エッチング装置の各項目を変更してエッチングを行い, それぞれのエッチングレートを求めた. ICP エッチング時には酸化膜をマスクとして使用した.

- (1) 前処理: RCA 洗浄
- (2) 酸化膜形成: TEOS 100nm
- (3) フォトリソ
レジスト塗布, プリベーク, 露光, ポストベーク,
全面露光, 現像, 検査.
- (4) 酸化膜エッチング(RIE エッチング装置)
エッチング後に RCA 洗浄を実施.
- (5) ICP エッチング
エッチング後に RCA 洗浄を実施.
- (6) エッチング段差測定
AFM にて段差を測定.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1 にエッチングを実行したときの条件と, エッチングレートを示す. Cl₂ 流量を 2[sccm]としたときは, 「MFCACT が上昇しない」というアラームが発生しエッチングを行うことができなかった.

結果からバイアス RF パワーの変更がエッチングレートに大きく影響を与えていることが分かった. 10~20nm/min 程度のエッチングレートを初期の目標としていたので, 概ね目標を達成することができた(#4 の条件). 今後は 10nm/min 以下のエッチングレートとなるよう諸条件の微調整を行った後にパワーデバイスの作製を行う.

| | conditions | | | | |
|----------------------------|------------|------|------|------|------|
| | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 |
| Pressure[Pa] | 0.25 | | | | 1 |
| Cl ₂ Flow[sccm] | 2 | 3 | | | |
| Antenna RF Power[w] | 80 | | | | |
| Bias RF Power[w] | 20 | 10 | 5 | 10 | |
| Etching time[sec] | 30 | | | | |
| Etching rate[nm/min] | - *1 | 69.2 | 32.7 | 14.9 | 28.5 |

*1 ICP Etcher does not operate due to alarm occurrence

Fig.1 Conditions, Etching rate.

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者: 名古屋大学 未来材料・システム研究所
 本田善央 准教授

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし.

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-17-NU-0062
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : マイクロロボットの開発
Program Title (English) : Development of Micro-robot
利用者名(日本語) : 市川明彦
Username (English) : A. Ichikawa
所属名(日本語) : 名城大学理工学部
Affiliation (English) : Department of Science and Engineering, Meijo University
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, Bio-micro-nano system, Mechatronics

1. 概要(Summary)

当研究室で作成している人工血管作成のため、ナノテクプラットフォームの装置を用いて、血管用の型を作成した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザ描画装置一式、両面露光用マスクアライナ

【実験方法】

実験においては、レーザ描画装置一式、両面露光用マスクアライナ等を用いて、型の製作を行った。型はシリコンウェハ上にSU-8にて作成した。血管形状は円筒になるため、今後グレーマスクの作成を検討する。

作製した型を Fig.1 に示す。この型ではアルギン酸ゲルを用いて血管構造のもととなる型を作成する。アルギン酸ゲルは塩化カルシウムにて硬化するので、PDMS 型に塩化カルシウムを塗布して乾燥させる。ここにアルギン酸水溶液を滴下することで瞬時にゲルが硬化して、型に沿ったアルギン酸ゲルのファイバーが作成可能となる。アルギン酸ゲルはクエン酸水溶液にて溶解することができる。そこで、このアルギン酸ゲルファイバーに高分子素材をコーティングして、その後にアルギン酸ゲルを溶解することで、高分子の中空構造を作成することが可能である。

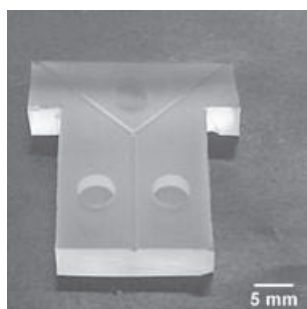


Fig.1 PDMS mold.

作製したアルギン酸ゲルのモールドを Fig.2 に示す。型により作成したことで分岐構造が作成可能であり、また太さの調整が可能である。



Fig.2 Gel mold.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

先述したように、血管構造にするには円筒形状である必要があり、今後グレーマスクにより円筒形状を実現する。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0063
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 医療用マイクロデバイスとマイクロ流体デバイスの研究
Program Title (English) : Research of Medical Micro-devices and Micro-fluidic devices
利用者名(日本語) : 馬場雄也, 岩本佑太, 小塚太郎, 福田敏男
Username (English) : Y. Baba, Y. Iwamoto, T. Koduka, T. Fukuda
所属名(日本語) : 名城大学理工学部
Affiliation (English) : Faculty of Mechatronics Engineering, Meijo Univ.
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, Bio-micro-nano system, Mechatronics

1. 概要(Summary)

当研究室で作成している医療用デバイス, マイクロ流体チップ作成のために, ナノテクプラットフォーム事業に登録されているマスク作製機器を使用し, 高精度なデバイス作製を実現した.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザ描画装置一式, 両面露光用マスクアライナ

【実験方法】

実験においては, レーザ描画装置一式, 両面露光用マスクアライナ, D-UV 等を用いて, 製作を行った. マイクロ流体チップについては, SU-8 により型を作成した. その型の作成には, マスク作成装置にて, クロムマスクを作製した. SU-8 をシリコンウエハーに塗布し, そのマスクをもちいて, 露光装置にて露光を行い, 高さ約 120 ミクロンの型を作成した. その型に高分子素材である PDMS を流し込み型の形状を転写することで, 高精度な流路の作成を実現した.

また, マイクロスケールでの細胞組み上げのためのチップとして, ゲルを融解しマイクロチャネルを作製するチップの作成を行った. これには, マスク作成装置, 露光装置, スパッタリング装置を用いた.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製したマスクを Fig.1 に示す. 今回作成したマイクロ流路では, 作成した微小構造体を組み上げる必要があり, 精度として, 数ミクロンオーダーの精度が必要となる. また, 作成した SU-8 の型を Fig.2 に示す. 本研究では, 2 層構造のマイクロ流路が必要となるため, 同様の型を 2 個作製し, 2 段露光を行っている. 露光には両面露光用マスクアライナを用いて, アライメントを行い, 位置合わせを行った.

また, 厚みについて, 段差計を用いてレジストの厚みを計測し, 高さ方向の制御を行っている.

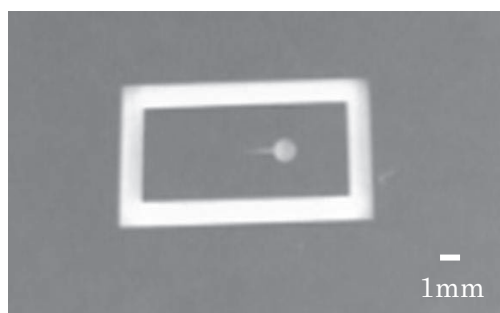


Fig.1 Cr mask.

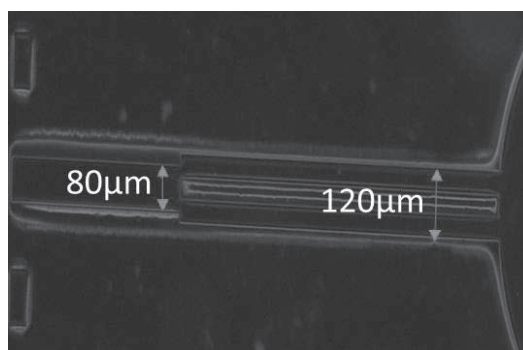


Fig.2 Su-8 mold.

4. その他・特記事項(Others)

なし.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし.

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-17-NU- 0064
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名 (日本語) : ハイパボリック・メタマテリアルによる高効率有機発光デバイスの開発
 Program Title (English) : Development of efficient organic luminescent devices based on hyperbolic metamaterials
 利用者名 (日本語) : 松井龍之介, 須賀俊輝
 Username (English) : T. Matsui, T. Suga
 所属名 (日本語) : 三重大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Mie University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、成膜・膜堆積、膜加工・エッチング、ハイパボリック・メタマテリアル、有機エレクトロニクス

1. 概要 (Summary)

誘電体と金属のナノ超薄膜の交互積層により得られるハイパボリック・メタマテリアル (HMM) の高いパーセル因子を活用すれば、高発光デバイスの創成が可能となる。H25 年度より継続して二酸化チタン/銀の交互積層 HMM の作製と、有機半導体薄膜の発光増強に関する研究に取り組んできた[1]。しかしながら、銀のスパッタ膜に問題があることが明らかとなり、今年度からは金とアルミナに変更した。まずは金とアルミナによる HMM 上での発光増強を確認し、次に有機発光トランジスタ (OLET) に HMM を組み込んだ素子を検討した。

2. 実験 (Experimental)

【利用した主な装置】

3元マグネトロンスパッタ装置、電子ビーム蒸着装置

【実験方法】

金とアルミナによる HMM の作製には名大先端研の3元マグネトロンスパッタ装置を用いた。HMM 上に高発光性の導電性高分子 MEH-PPV をドロップキャスト法により成膜し、発光スペクトルを評価した。

OLET のためのソース・ドレイン電極としては昨年度に引き続き楕形の形状を採用し、名大 VBL にて作製したフォトマスクを用いフォトリソグラフィおよびリフトオフにて形成した。電極材料としてはアルミと金を採用することとし、同じく VBL の電子ビーム蒸着装置により成膜し、リフトオフにより楕形電極を得た。MEH-PPV をドロップキャスト法により成膜し OLET 素子とした。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

MEH-PPV 薄膜の発光では、HMM 上ではガラス上比べて最大約 2.8 倍の発光増強が得られた。

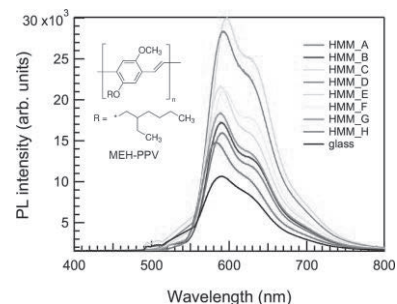


Fig. 1 Photoluminescence of MEH-PPV thin film on HMM and glass substrate.

次に有機トランジスタ素子を試作し、真空中において電流-電圧特性を評価したところ、一部の素子においてはトランジスタ動作を確認できた。

4. その他・特記事項 (Others)

・参考文献

[1] 松井, 宇佐美, 電学論, **135**, 408 (2015).

・名古屋大学未来材料・システム研究所共同利用・共同研究 (H29 年度)

・本研究の実施に際しては、名大微細加工 NPF の岩田聡教授、加藤 剛志准教授、熊沢 正幸技術補佐員、名大 VBL の齋藤 清範技術補佐員のご協力を頂きました。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許 (Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0066
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : UFL-Hybrid を用いた薄膜トランジスタ作成
Program Title (English) : TFT Device Fabrication Using UFL-Hybrid
利用者名(日本語) : カリム ニッサ ムハマド、新津葵一、中里和郎
Username (English) : K. N. Mohammad, K. Niitsu, K. Nakazato
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : 二次元薄膜、成膜・膜堆積、スパッタ、結晶性、膜加工・エッチング

1. 概要(Summary)

本研究においては、新規に化学合成された二次元原子薄膜を用いた分子・バイオ CMOS 融合デバイス実現に向けた基盤技術確立をその目的とする。初めのステップとして、新規二次元原子薄膜の特性評価のための電極形成技術の確立ならびにトランジスタ特性の評価を目指す。我々は、新規二次元原子薄膜である有機・無機複合二次元物質、配位ナノシートの特性評価を行っている。

配位ナノシートは、金属イオンと平面形 π 共役架橋配位子の様々な組み合わせで、多彩な化学構造、幾何構造を取り、そのドメインサイズも多様である。小さいドメインサイズの配位ナノシートの評価には微小電極形成が必須であり、本研究では電子ビーム蒸着装置を用いて電極形成を行った。現状のドメインサイズは、数マイクロメートル～数十マイクロメートル程度であり、電子ビーム蒸着装置を用いての電極形成が必須である。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

フェムト秒レーザー加工分析システム(UFL-Hybrid)

【実験方法】

UFL-Hybrid を用いて、配位ナノシートの特性評価が可能なサイズならびにパターン微小電極の形成を行う。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

配位ナノシートの特性評価が可能なサイズならびにパターンをデザインした。そのデザインをもとにして、UFL-Hybrid を用いて、電極パターンニングを 2 回にわたって行った。しかしながら、1 回目はパターンニングの際のレーザー強度を高く設定しすぎてしまい、シリコン基板へのダメージが確認された。2 回目においては、レーザー強度を下げて行い、おおよそパターンニングが確認できた。

パターンニングされた電極を用いて、トランジスタ特性の評価を行ったが、所望のトランジスタ動作は確認できなかった。

現在、理論モデルとの比較・解析を行っている。

4. その他・特記事項(Others)

・本研究は JST・CREST「二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出」からの支援をいただいている。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) K. Niitsu, et al, "A Self-Powered Supply-Sensing Biosensor Platform Using Bio Fuel Cell and Low-Voltage, Low-Cost CMOS Supply-Controlled Ring Oscillator with Inductive-Coupling Transmitter for Healthcare IoT," accepted to IEEE Transactions on Circuits and Systems I (TCAS-I).
- (2) A. Kobayashi, et al., "Design and Experimental Verification of 0.19 V 53 μ W 65 nm CMOS Integrated Supply-Sensing Sensor with a Supply-Insensitive Temperature Sensor and Inductive-Coupling Transmitter for a Self-Powered Bio-Sensing Using a Biofuel Cell," IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems (TBioCAS), vol. vol. 11, no. 6, pp. 1313-1323, Dec. 2017.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0069
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : パワーデバイス用 GaN 基板の評価
 Program Title (English) : Characterization of GaN substrates for power device applications
 利用者名(日本語) : 大森雅登
 Username (English) : M. Ohmori
 所属名(日本語) : 名古屋大学未来材料・システム研究所
 Affiliation (English) : Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 形状・形態観察, 走査電子顕微鏡, 窒化ガリウム, パワーデバイス, GaN

1. 概要(Summary)

窒化ガリウム(GaN)パワーデバイスは高出力化と高周波化の双方で高い性能指数を持つことから、次世代省エネルギー技術のキーデバイスとして注目が集まっている。特に近年 GaN 基板の高品質化が進んだことで、高耐圧・大電流用途の GaN 縦型パワートランジスタが作製可能となり研究開発が活発化している。しかし、熱処理やエッチング、成膜工程などで導入されるプロセスダメージの影響によって素子の性能が著しく劣化することから、十分な性能のパワーデバイスはまだ実現していないのが現状である。したがって、各種プロセス工程による GaN 表面および内部へのダメージを詳細に解明していくことが重要な課題となっている。

本研究では、GaN のアニール処理後の表面状態への影響を調べるため、走査型電子顕微鏡を用いて表面観測を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡 S4300

【実験方法】

試料は HVPE 法で作製された n 型 GaN 基板を用いた。ランプアニール装置を用い、窒素雰囲気中にて N 極性面を 1100°C にて 30s アニール処理した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1 にアニール処理後の GaN・N 極性面の表面の走査型電子顕微鏡像を示す。Fig.1(a)および Fig.1(b)のスケールはそれぞれ 2 μ m と 10 μ m となっている。Fig.1(a)から、本来平坦であるはずの GaN 表面が数百 nm 程度の凹凸で荒れている様子が分かる。これは、1100°C というアニール温度により GaN 中の窒素が脱離したことに起因していると考えている。また、Fig.1(b)の広範囲の視野においては、1 μ m 程度のサイズの突起状の異物が多数

観測された。これは、Ga および Ga 酸化物のドロップレットであり、窒素脱離により過剰となった金属 Ga が凝集し生成したためと考えられる。

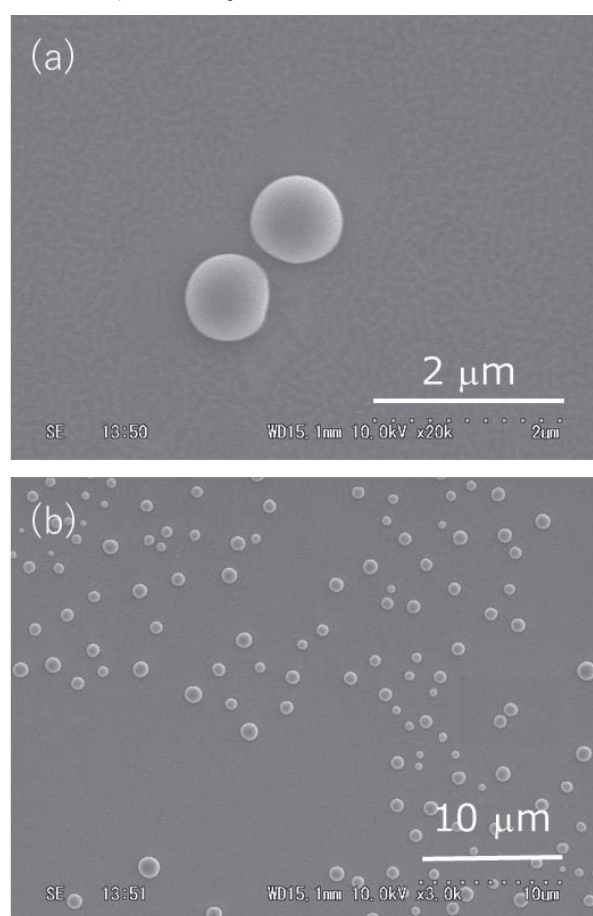


Fig. 1 SEM images of a GaN surface after annealing.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0071
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 次世代ナノデバイスのための高度機能プロセスの研究
 Program Title(English) : Advance nano-processes for next-generation nano-scaled devices
 利用者名(日本語) : 堤隆嘉
 Username(English) : T. Tsutsumi
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation(English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : プラズマプロセス、表面処理、X線光電子分光、形状・形態観察、分析

1. 概要(Summary)

プラズマエッチング、薄膜堆積、新規ナノ材料合成をはじめとしたプラズマナノテクノロジーに関する研究を通じて、次世代ナノデバイス製造のための高度機能プロセスの実現を目指した研究を行う。特に合成・加工された薄膜表面の形状や組成の分析を行い、反応性プラズマで生成される活性種の材料表面での反応メカニズムを解明するとともに、合成した薄膜・材料のデバイス化に向けた電気特性の評価などを実施した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 X線光電子分光装置

【実験方法】

プラズマプロセス後の表面化学組成比および結合をX線光電子分光法により解析を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 にプラズマプロセス後の窒化シリコン膜のXPS解析により算出した組成比を示す。プラズマプロセスにより初期状態で見られていたカーボンが減少していることがわかった。

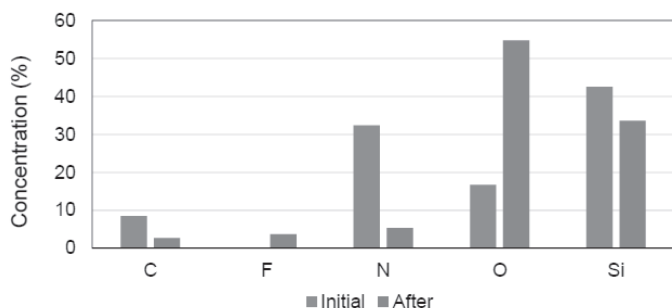


Fig. 1 Changing in chemical component of Si_xN_y before and after plasma treatment.

Fig. 2 にプラズマプロセス後の窒化シリコンのC1sスペクトルの変化を示す。高エネルギー側に信号が生じており、プラズマ処理により表面近傍でC-OおよびC-CFxの結合ができたことがわかった。

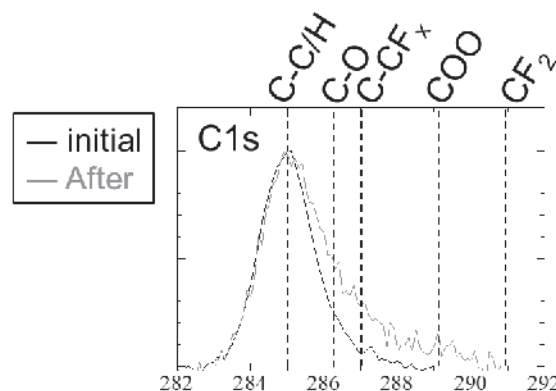


Fig. 2 Changing in chemical bond of Si₃N₄ before and after plasma treatment.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0087
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : LSAT 表面構造の制御とその解析
Program Title (English) : Control of LSAT Surface Structure and that Analysis
利用者名(日本語) : 杵本岳史, 徳永智春
Username (English) : T. Irimoto, T. Tokunaga
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : 結晶成長, 表面処理, SEM, STEM, 形状・形態観察, 分析

1. 概要(Summary)

高品質な薄膜作製のためには基板結晶表面に原子レベルで平坦なテラスを有するいわゆるステップテラス構造を形成させることが求められる。この表面構造の形成には、基板表面での物質拡散を利用する熱処理法がしばしば用いられてきた。しかしながら、この手法では基板結晶を高温において熱処理するために、表面での空孔形成や組成変化が生じやすいこと、また、熱処理温度などの処理条件の選定が難しいことなどいくつかの欠点が存在する。そのため、より簡便な表面制御技術の確立が期待されている。そこで、抵抗値を規定した純水による表面処理法の開発を試みた。種々の代表的な酸化物基板結晶に対して純水を用いた表面エッチングを行い、その有用性及び処理後の基板表面状態の評価を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡 (S5200、S4300)

【実験方法】

実験試料には SrTiO₃, LaAlO₃, LSAT, Al₂O₃, TiO₂ 基板結晶を用いた。これら酸化物基板結晶を抵抗値を規定した純水中に浸水し、保持温度及び浸水時間を変化させ、エッチング処理を行った。その後、走査型電子顕微鏡 (SEM) による表面構造の観察、および高分解能走査透過型電子顕微鏡 (STEM) による基板表面の原子構造の直接観察を行った。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

それぞれの基板表面において抵抗値を規定した純水を用いたエッチングにより表面ラフネスが減少することが明らかとなった。一部の基板結晶表面においては明瞭なステップテラス構造の形成も確認された。SEM 観察結果から微細な凸凹が認められるが、60 分間処理を行った基板表面ではそのラフネスが大きく減少していることが認め

られた。それに伴い広範な領域にわたって平坦なテラス構造が表れていることも確認された。この形成されたテラス構造の最表面原子層を特定するために基板表面と平行方向から HAADF-STEM 観察を行った。

HAADF-STEM 像及び最表面原子層のコントラスト強度の測定結果を Fig.1 に示す。Fig.1 の HAADF-STEM 像からは基板最表面部は原子レベルで平坦であることを直接確認できた。さらに HAADF-STEM 像に現れる原子カラムのコントラスト強度から基板表面最終端原子層を同定したところ、エッチング後に形成される最表面原子層は Al、Ta からなる B サイト原子層終端であることが明らかとなった。また最表面原子層においてコントラスト強度を測定したところ、結晶内部に存在する Al、Ta 原子の規則構造を反映した周期性が維持されていることが見出された。

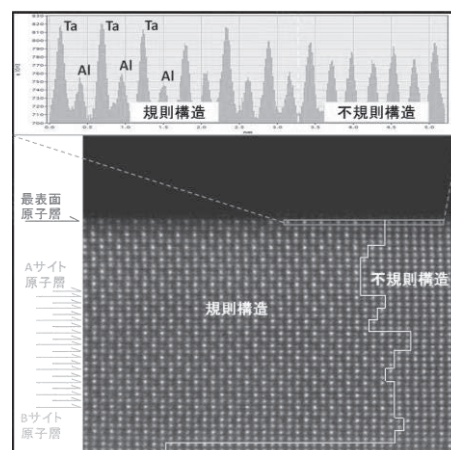


Fig. 1 Surface cross-section STEM image of LSAT.

4. その他・特記事項 (Others)

なし。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許 (Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0088
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 酸化物薄膜へのイオン挿入脱離による熱伝導率の変化を利用した熱スイッチ材料の提案
 Program Title (English) : Heat switching by the intercalation to oxide thin film.
 利用者名(日本語) : 小林竜大¹⁾, 原田俊太^{1,2)}, 宇治原徹^{1,2)}
 Username (English) : R. Kobayashi¹⁾, S. Harada^{1,2)}, T. Ujihara^{1,2)}
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院工学研究科, 2) 名古屋大学 未来材料・システム研究所
 Affiliation (English) : 1) Department of Materials Science and Engineering, Nagoya University,
 2) Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University
 キーワード/Keyword : セラミックス、薄膜、熱伝導率、成膜・膜堆積

1. 概要(Summary)

我々は熱伝導率を可逆的に変化させることができる「熱スイッチ材料」の開発を試みている。Fig. 1 に熱スイッチのコンセプトを示す。熱スイッチは熱伝導率が高い状態と低い状態を切り替えることができ、熱流のコントロールを可能にする。我々のグループではアモルファス WO₃ 薄膜への水素挿入により、熱伝導率が変化することを見出してきた [1]。この変化は格子熱伝導率の変化によるものである。それに対して本研究では電子熱伝導率の変化に注目した。WO₃ 薄膜には水素と同様に Li を挿入することができ、それに伴い電気伝導率が大きく変化することが報告されている [2]。つまり、電子熱伝導率も大きく変化することが期待される。そこで本研究では WO₃ 薄膜に Li を挿入し、それに伴う熱伝導率の変化を調べた。

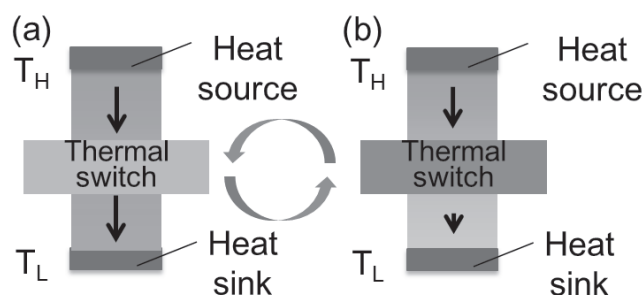


Fig. 1 Schematic of Thermal switch, (a)High thermal conductivity (b)Low thermal conductivity.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 段差計、走査型電子顕微鏡

【実験方法】

RF マグネトロンスパッタリング法により、ITO (Indium Tin Oxide) をコートしたガラス上に室温で WO₃ 薄膜を成膜した。ターゲットには金属 W (フルウチ化学, 純度 3N) を用いた。成膜時の圧力は 4.0 Pa (Ar:O₂=10:1.5) とした。WO₃ の膜厚は触針段差計を用いて測定した。WO₃ への Li 挿入は電気化学反応を用いた。Ar 雰囲気中で密閉された電解セル内で、作用電極に WO₃ 薄膜、対向電極と参照電極には金属 Li (本城金属, 純度 99.8%) を用いた。電解液には 1M LiClO₄ in PC (プロピレンカーボネート) を

用いた。100 μA/cm² の定電流条件で Li 挿入を行った。Li 挿入量 x (Li _{x} WO₃) は充電量によって制御した。本実験では Li 挿入量は $x=0.2$ とした。WO₃ 薄膜の結晶性の評価には XRD を用いた。熱伝導率測定は光交流法を用いて行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

XRD 測定の結果から成膜した WO₃ 薄膜はアモルファスであることがわかった。Li 挿入前の WO₃ 薄膜の膜厚は 590 nm であったが Li 挿入後には 720 nm に増加していたため、膜厚の変化を考慮して熱伝導率を算出した。 $x=0$ から $x=0.2$ において熱伝導率は 0.83 W/mK から 1.5 W/mK に増加した。Li _{x} WO₃ 単結晶の電気伝導率は $x<0.1$ において急激に増加し、 $x=0$ から $x=0.2$ にかけて電気伝導率が $5.0 \times 10^{-2} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ から $2.5 \times 10^3 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ まで増加することが報告されている [2]。Wiedemann-Franz 則により電子熱伝導率を見積もると、1.7 W/mK の変化が予想される。このことから、Li 挿入に伴う熱伝導率の変化は、電子熱伝導率の増加によるものと考えられる。

4. 参考文献

- [1] 中村彩乃 ほか, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 15p-F206-12
 [2] K. Yoshimatsu, *et al.*, *Appl. Phys. Express*, **9**, (2016) 075802

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 小林竜大, 中村彩乃, 原田俊太, 田川美穂, 宇治原徹, 応用物理学会第 78 回秋期学術講演会, 平成 29 年 9 月 7 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0090
利用形態 : 技術相談
利用課題名(日本語) :
Program Title (English) : Chiral domain wall driven by current in the presence of external AC magnetic field in perpendicularly magnetized magnetic nanotracks
利用者名(日本語) :
Username (English) : L. You
所属名(日本語) :
Affiliation (English) : Huazhong University of Science & Technology
キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積, 電気計測, Co/Ni, Co/Pt

1. 概要(Summary)

Racetrack memories, which utilize spin-polarized current to move the domain walls in the magnetic nanowire, have been proposed as a new non-volatile memory device which offers storage density higher than the conventional solid-state memory and also offers read/write performance much better than the hard disk drive. From our latest simulation, we found the interesting domain wall motion behavior in the magnetic nanowire with strong Dzyaloshinskii-Moriya interaction. We asked Nanofabrication Platform Nagoya University to fabricate magnetic thin films with special layered structures and to characterize the magnetic properties of the thin films.

The technical staffs of the Nanofabrication Platform, Nagoya University, responded that it is possible to fabricate and characterize the thin films, however, a TaN target will be necessary to prepare before the sputtering, since they do not have that target. We decided to carry out the simulation of the magnetic thin films to replace TaN to other materials in stock, such as Ta, and if we find an alternative structure, we will contact them again to prepare the new magnetic thin films.

2. 実験(Experimental)

<技術相談のため概要のみ記載。以下、空欄。>

3. 結果と考察(Results and Discussion)

<技術相談のため概要のみ記載。以下、空欄。>

4. その他・特記事項(Others)

None

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

None

6. 関連特許(Patent)

None

課題番号 : F-17-NU-0096
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : シリコンナノ粒子太陽電池に関する研究
 Program Title (English) : Study of silicon nanoparticle solar cell
 利用者名(日本語) : 加藤慎也
 Username (English) : S. Kato
 所属名(日本語) : 名古屋工業大学電気・機械工学科
 Affiliation (English) : Faculty of Electrical and Electronic Engineering, Nagoya institute of technology
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング、太陽電池、ナノ粒子

1. 概要(Summary)

結晶シリコン太陽電池の変換効率の向上と作製コストの低減に向けて、膜厚を 10 μm 以下にする技術が注目されている。本研究は溶液塗布用によりシリコンナノ粒子膜を形成し、膜厚 10 μm 以下の太陽電池構造を作製する。太陽電池構造を作製する過程で、リーク防止が必要になる。RIE エッチング装置を用いてシリコン膜のエッチングを行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 RIE エッチング装置

【実験方法】

太陽電池の構造はガラス/透明導電膜/シリコンナノ粒子層/電極となっている。電極を作製する前に、シリコンナノ粒子層をエッチングするために CF₄ ガスを用いた Flow rate を 80sccm、圧力を 4Pa、RF 電力を 100W、エッチング時間を 1 時間でエッチングを行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

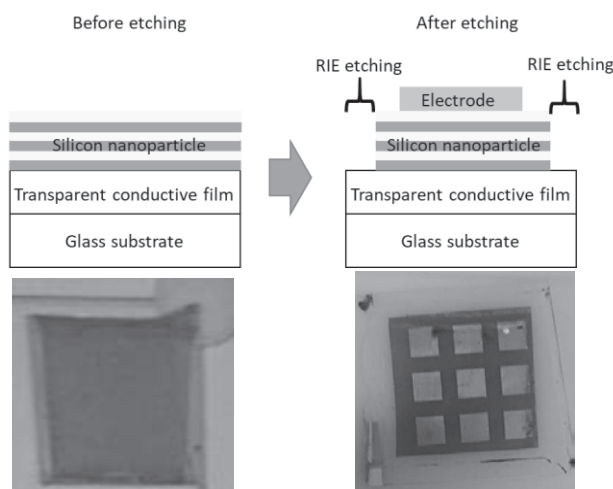


Fig.1 に示すように、エッチング前はガラス全体にシリコンナノ粒子層が形成されており、ガラスの端の部分でリークしてしまう。そこで、RIE エッチング装置で、エッチングを行わない部分をガラス基板で保護し、保護していない部分をエッチングしシリコンナノ粒子層の除去を行った。Fig.1 の写真より除去できていることが確認でき、太陽電池の電流電圧特性を測定したところ光起電力を確認した。

4. その他・特記事項(Others)

- ・ALCA (JST) 「元素戦略上優位なシリコン系ナノ材料を利用した 高効率オールシリコンタンデム太陽電池の開発」
- ・若手 B(科研費)「ホットプレス法によるシリコンナノ粒子膜の多結晶化とワイヤー型極薄膜太陽電池の作製」

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

Fig.1 schematic diagram and the picture of the silicon nanoparticle layer before and after etching using RIE etching system.

課題番号 : F-17-NU-0097
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 半導体プロセス基礎実験
 Program Title (English) : Basic experiment of semiconductor process
 利用者名(日本語) : 丹野聡, 武田恭英, 上岡力, 瀬尾良太郎, 瀧幸生, 林裕二
 Username (English) : S. Tanno, K. Yasuhide, C. Kamioka, R. Seo, Y. Taki, Y. Hayashi
 所属名(日本語) : 株式会社ジェイテクト
 Affiliation (English) : JTEKT CORPORATION.
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング、ICP-RIE、洗浄

1. 概要(Summary)

ICP-RIE を用いた塩素ガスによるエッチング時の後洗浄方法を検討した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 ICP エッチング装置

【実験方法】

被エッチング対象膜を成膜したウェハに、ハードマスクとなるプラズマ TEOS 膜を成膜し、フォトリソ及び RIE にて TEOS 膜をパターンニングし、レジストを除去した。

このウェハに対し、ICP-RIE を用いて以下の条件でエッチングした。

- ・ ガス: Cl₂ 4sccm
- ・ 圧力: 0.25Pa
- ・ 上部 RF: 70W
- ・ 下部 RF: 20W

このエッチング済みウェハに対し、SPM、APM、HPM、DHF 洗浄を施し、エッチング面を AFM にて測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

洗浄前の測定結果を Fig.1 に、洗浄後の結果を Fig.2 に示す。測定結果より、洗浄前はエッチ面・非エッチ面共に異物が付着し、特にエッチ端に大量の異物が付着しており、数十 nm 隆起していることが分かる。

これに対し、洗浄後の測定ではこれらの異物がすべて除去され、被エッチング膜成膜直後のフラットな面が得られた。

この結果から、ICP-RIE を用いた Cl₂ ガスによるエッチングを行った際は、各種洗浄にて異物の除去工程を実施する必要があることが分かった。

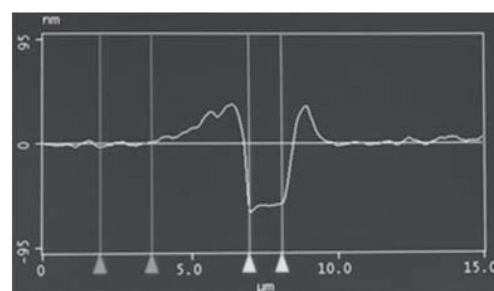
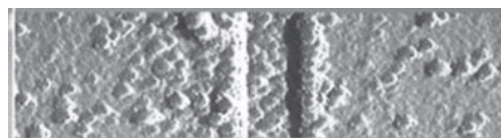


Fig.1 Before cleaning.

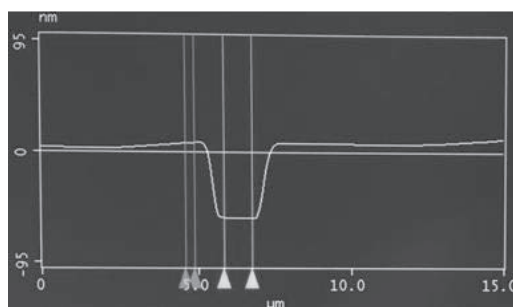
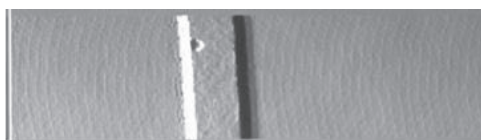


Fig.2 After cleaning.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0098
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 微細加工プロセスを利用した光学素子の作成
 Program Title (English) : Fabrication of optical element
 利用者名(日本語) : 稲田雅宣, 北居幸子
 Username (English) : M. Inada, S. Kitai
 所属名(日本語) : ソニーグローバルマニュファクチャリング&オペレーションズ株式会社
 Affiliation (English) : Sony Global Manufacturing & Operations Corporation
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング、微細光学素子、マイクロレンズアレイ

1. 概要(Summary)

微細構造光学素子は、医療や通信、レーザー光学、計測システム、3Dイメージングや光コンピューティングなど、様々な用途に活用されている。それぞれの用途に応じて、微細構造の配列や形状、サイズ、曲率などは、任意のものが必要となる。そこで、本実験では、名古屋大学の微細加工プラットフォームの設備を利用して、微細構造光学素子の一つであるマイクロレンズアレイの作成を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 3元マグネトロンスパッタ装置、RIEエッチング装置、スパッタリング装置一式

【実験方法】

フォトリソグラフィを用いて、石英基板上にマイクロレンズの形状を作成。その後、反応性イオンエッチングを用いて、レジストごと石英基板のエッチングを行った。作成したマイクロレンズアレイは、スパッタ装置を用いて、必要部分に遮光を行った。イオンエッチングの条件は、Table 1 に示す。

| | RF Power (W) | Gas | Flow Rate (SCCM) | Pressure (Pa) |
|------|--------------|--------|------------------|---------------|
| No.1 | 150 | CF4 | 20 | 5 |
| No.2 | 150 | CF4/O2 | 36/10 | 2 |

Table.1 Ion etching recipes.

レジスト(ノボラック系樹脂)と石英基板のエッチング比は、事前実験により、

- No.1 石英/レジスト=0.38/1
- No.2 石英/レジスト=0.30/1

であったため、このエッチング比を考慮して、初期形状の作成を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作成したマイクロレンズアレイの顕微鏡写真を Fig. 1 に示す。各条件でイオンエッチングした後のレンズ断面プロ

ファイルの一部を Fig. 2 に示す。レンズ形状の測定には、三鷹光器株式会社の NH-3 を用いた。断面プロファイルの測定結果より、イオンエッチング条件の No.2 では、レンズの表面粗さが粗くなっていることが分かった。

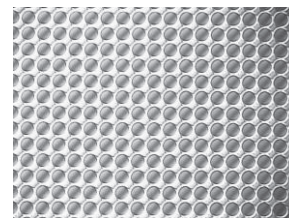


Fig. 1 Picture of Microlens arrays.

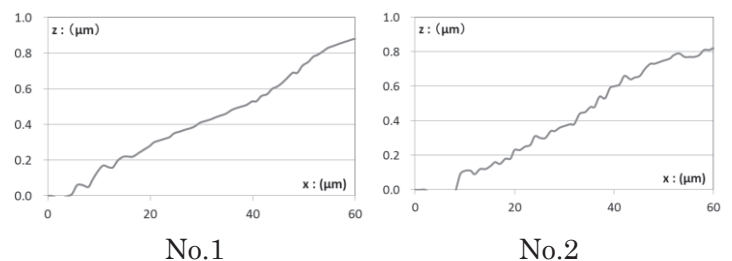


Fig. 2 Microlens array surface by different conditions No.1 and No.2.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0106
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 天文観測用の接合型 Ge 遠赤外線検出器の超薄層化・高感度化への挑戦
 Program Title (English) : Development of ultra-thin and high sensitive far-infrared Ge detectors for astronomical observations
 利用者名(日本語) : 鈴木仁研, 花岡美咲, 斎藤太志
 Username (English) : T. Suzuki, M. Hanaoka, F. Saito
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院理学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Science, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 形状・形態観察、熱処理、切削

1. 概要(Summary)

天文観測のためのゲルマニウム (Ge) を用いた遠赤外線検出器の開発を進めている。高い光感度を得るためには、Ge 層を 1 μm 程度まで極薄化する必要がある。Si で確立しているスマートカットの技術を Ge に応用し、Ge 層の極薄化に挑戦する。今回、Ga をドーブした Ge (Ge:Ga) ウエハに接合した高純度 Ge ウエハに対してスマートカットを行うため、急速加熱処理装置を使用した。結果、接合面から期待通りの厚さ(1.6 μm)で、加熱によるクラックが生じたことから、高純度 Ge の極薄化の見通しが得られた。

2. 実験(Experiment)

【利用した主な装置】原子間力顕微鏡、ダイシングソー装置、急速加熱処理装置、走査型電子顕微鏡 (SEM)

【実験方法】

Ge:Ga ウエハに水素イオンを注入 (エネルギー: 180 keV, フラックス: $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$) した高純度 Ge ウエハを接合させた試料を製作し、急加熱処理装置で 800 $^{\circ}\text{C}$ ・10 時間の加熱を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

加熱により高純度 Ge の極薄化には及ばなかった。しかし、加熱後のウエハ断面観察から、加熱により、ウエハ接合面から高純度 Ge 側へ 1.6 μm の厚さでクラックが形成されたことを確認した (Fig.1)。この厚さは、二次イオン質量分析によって得られた水素濃度のピーク位置と一致している。これより、同エネルギーで水素イオン注入を行うことで、厚さ 1.6 μm の高純度 Ge 層の形成が可能であることが分かった。

Ge のスマートカットを成功させるには、水素イオンフラックス $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ では不十分であることが明らかになった。つまり、剥離に必要なクラックの形成には、Ge 中に取り込まれた水素原子が熱処理によりガス化し、熱膨張することで Ge に亀裂を生じさせる必要がある[1]。そこで、注入した水素が全てガス化することを仮定した場合、

理想気体の状態方程式から要求される水素イオンのフラックスは、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ であった。今後、前述のフラックスで水素イオン注入を行うと共に、Ge:Ga/Ge ウエハに Si ウエハも接合することで熱応力も与え、確実な剥離を試みる。

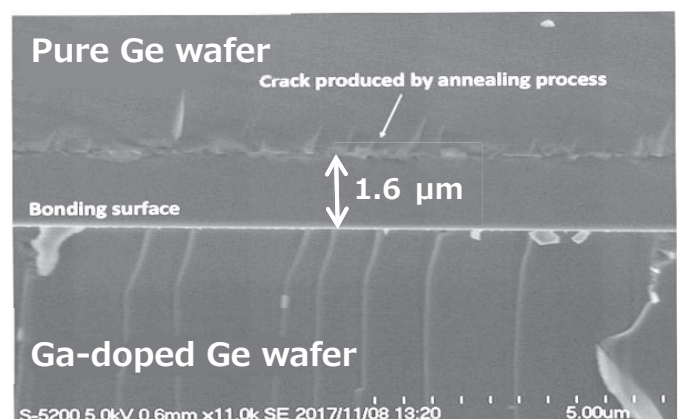


Fig.1 SEM image for the cross-sectional view of the Ge/Ge:Ga interface after annealing.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献: [1] L.B.Freund, Appl. Phys. Lett. 70, 3519, (1997)

・共同研究者の宇宙科学研究所 和田武彦助教、石丸貴博様に感謝いたします。接合にご協力頂きました三菱重工工作機械株式会社殿に感謝致します。イオン注入にご協力頂きました神奈川大学の星野靖特別助教に感謝いたします。スマートカット技術をご教示頂きました東京大学竹中充 准教授に感謝いたします。

・競争的資金名: リーディング大学院フロンティア宇宙開拓リーダー養成プログラム 研究拠点形成費等補助金(平成 29 年度・花岡)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation):

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0108
 利用形態 : 技術代行
 利用課題名(日本語) : 非空間反転対称磁性体の作製と新規スピン光機能の探索
 Program Title (English) : Fabrication of noncentrosymmetric magnets and exploration of novel spin-photonics functionality
 利用者名(日本語) : 小林隆嗣, 佐藤佳史, 松原正和
 Username (English) : T. Kobayashi, Y. Sato, M. Matsubara
 所属名(日本語) : 東北大学大学院理学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Science, Tohoku University
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、膜加工・エッチング、光メタマテリアル、磁気光ガルバノ効果

1. 概要(Summary)

光の波長より十分に小さな構造を持つ人工物質(メタマテリアル)を用い、自然界に存在する物質では実現できない光学応答を生み出すことが可能となっている。現在、メタマテリアルを用いた光-物質機能の制御は非線形光学応答の領域にまで拡大してきており、このような「非線形メタマテリアル」の開発は新規光-物質機能の開拓に向け大きな可能性を秘めている。

本研究では、空間反転対称性と時間反転対称性が同時に破れた非線形メタマテリアルを用いた新規なスピン光機能を開拓するために、空間反転対称性の破れを人工的に導入した種々の非反転対称磁性体メタマテリアル(マルチフェロイックメタマテリアル)を作製し、その機能の検証を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子線露光装置、8 元マグネトロンスパッタ装置、ECR-SIMS エッチング装置、原子間力顕微鏡

【実験方法】

マグネトロンスパッタ、電子線露光装置、エッチング装置を用いて、空間反転対称性の破れを導入した磁性体メ

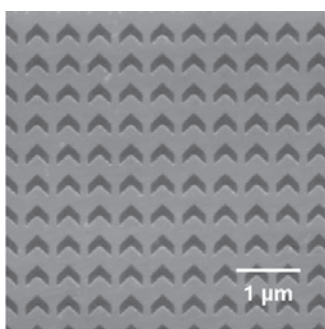


Fig.1 Atomic force microscopy image of artificial noncentrosymmetric magnets.

タマテリアルを作製した。それらの試料を用いて、磁気光ガルバノ効果や光第二高調波発生などの非線形光学応答を研究室の光学系を用いて調べた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

垂直磁化を持つ強磁性金属として知られている Co/Pt 多層膜に、数百ナノメートル周期の構造を描画した。作製した試料の典型的な原子間力顕微鏡像(Fig. 1)が示すように、非反転対称構造を有する磁性体メタマテリアルをほぼ設計通り作製することに成功した。これらの試料を用い、磁気光ガルバノ効果を測定したところ、外場を加えることなく(ゼロバイアスで)光照射のみによりスピン偏極電流の生成と方向を制御することに成功した。これらの結果、スピン光機能の新規開拓に非反転対称磁性体が有効であることが分かった(学会発表 (1))。

4. その他・特記事項(Others)

- ・本研究の一部は、科学研究費補助金 若手研究(A) 17H04844「非線形光学プローブによる室温人工マルチフェロイック物質の開拓と新機能創出」により行われた。
- ・本研究を遂行するにあたり多大なご協力を頂きました名古屋大学工学研究科の加藤剛志准教授、名古屋大学未来材料・システム研究所の岩田聡教授に御礼申し上げます。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 小林隆嗣, 富樫拓也, 加藤剛志, 岩田聡, 松原正和, 日本物理学会第 73 回年次大会, 平成 30 年 3 月 23 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0109
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 強誘電体薄膜キャパシタ向け白金電極の作製と評価
Program Title (English) : Fabrication and evaluation of Pt electrodes for ferroelectric thin film capacitors
利用者名(日本語) : 山田智明, 松尾翔吾
Username (English) : T. Yamada, Shogo Matsuo
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : 強誘電体, キャパシタ, 電極, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

強誘電体は高い誘電率を示すことから、薄膜キャパシタへの応用が期待されている。また、薄膜キャパシタ構造を作製することで、本来のキャパシタ用途のみならず、自発分極の反転を利用した不揮発性メモリや、電気熱量効果を利用した小型冷却デバイスなどへの応用も期待できる。

強誘電体薄膜のキャパシタ特性は、結晶性、歪み、配向など、薄膜自体の構造に影響されるだけでなく、電極の種類や界面の接合状態など、電極の特性にも大きく左右されることが知られている。そのため、薄膜の特性を明らかにするためには、高品質な電極の作製が必須である。本研究では、上部電極の材料として、仕事関数や安定性の観点から白金を選択し、これを強誘電体薄膜の表面にリフトオフプロセスで作製することを目的とした。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置, フォトリソグラフィ装置

【実験方法】

まず、研究室のパルスレーザー堆積装置を用いて、 SrTiO_3 単結晶基板上に下部電極として SrRuO_3 薄膜、強誘電体層として $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ 薄膜を堆積した。

次に、レーザーリソグラフィを用いて 3 インチのブランクマスクに CAD で設計したネガフォトレジスト用マスクパターンを描画した後、Cr エッチングを行い、上部電極用のフォトマスクを作製した。

上記の強誘電体 $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ 薄膜試料表面に、ネガフォトレジスト(ZPN1150)を塗布し、作製したフォトマスクを用いて露光及び現像を行った。その後、白金薄膜を電子ビーム蒸着法もしくは DC スパッタリング法で堆積し、リフト・オフを行った。作製したレジストパターンおよび電極

の成形状態を顕微鏡で観察した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

ブランクマスクへのマスクパターンの描画と Cr エッチングについては、既に本装置で最適化されたパラメータを使用して行った。そのため、特段の条件調整なしで設計通りのフォトマスクを作製できた。フォトリソグラフィ工程では、昨年度までの実験で得られた知見を元に、スピコート回転数 3000 rpm, プリベイク 90°C, 90 秒, 露光時間 10 秒, PEB 110°C, 60 秒, 現像時間 70 秒とすることで、欠陥のないレジストパターンが得られた。その後、電子ビーム蒸着法もしくは DC スパッタリング法で厚み 30 ~ 50 nm の白金薄膜を成膜し、リフト・オフを行った結果、欠陥のない白金の上部電極構造が作製できることが分かった。

作製した強誘電体 $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ 薄膜キャパシタ構造の特性を LCR メータで評価した。その結果、強誘電体の歪みから予想される相転移温度近傍で静電容量が最大値を示し、その時の損失も 0.2 以下であったことから、本プロセスにより、強誘電体薄膜キャパシタ構造に適した白金上部電極が作製できたことが明らかになった。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0110
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : GaN 選択成長用基板に向けた RIE 加工
 Program Title (English) : RIE process for selective area growth of GaN
 利用者名(日本語) : 熊谷直人
 Username (English) : N. Kumagai
 所属名(日本語) : 産業技術総合研究所 中部センター 窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーション
 ラボラトリ
 Affiliation (English) : GaN Advanced Device Open Innovation Laboratory(GaN-OIL), National
 Institute of Advanced Industrial Science and Technology(AIST) Chubu
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング、選択成長、GaN、マイクロ LED

1. 概要(Summary)

近年次世代ディスプレイへの応用に向けて、窒化物半導体によるマイクロ LED が注目されている。マイクロ LED の実現を目指し、GaN 上の SiO₂ マスクに 200nm 径に開口加工を施して、窒化物半導体の選択成長用テンプレート基板を作製する。電子線露光により描画されたパターンに対し、RIE 装置を用いて、SiO₂ 膜に円形の開口加工を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 RIE エッチング装置

【実験方法】

サファイア基板の上に MOCVD で成長した GaN 上にプラズマ CVD で SiO₂ を 110nm 製膜し、電子線露光による φ200nm の三角格子配置のパターン描画を行った。これらを反応性イオンエッチング(RIE) 加工し、SiO₂ 膜に開口部を作製した。RIE 加工は O₂: 10sccm と CF₄: 36sccm の混合ガスでプラズマを発生し、パワーは 150W、圧力は 2Pa の条件で行った。この条件では 42nm/min のエッチングレートである。SiO₂ の完全開口を図り、エッチング時間は膜厚 50~60nm に応じて、1 割増を想定して、行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1 は RIE 後、GaN 初期成長時の断面 SEM 像である。断面径が約 250nm であることが確認できる。

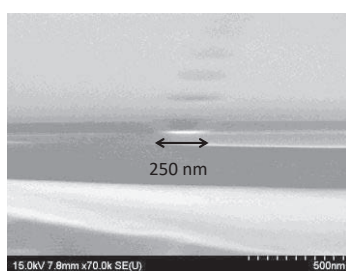


Fig. 1 The cross-sectional SEM image of openings of SiO₂ mask on GaN after the initial GaN growth.

Fig.2に Fig.1とは別の基板を使用し、開口部にMOCVD 選択成長により形成した GaN 六角錐台構造の断面 SEM 像を示す。

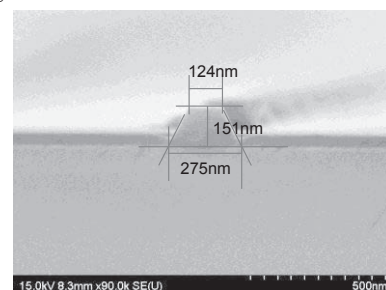


Fig. 2 The cross-sectional SEM image of GaN frustum on the opening pattern.

SEM 観察結果から、RIE により SiO₂ マスクに選択成長に適した開口部の加工が出来る事を確認できた。Fig.2 中のパターン径は約 275nm であった。これらの結果から再現性良く RIE による開口処理ができていている事が示された。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 熊谷 直人、高橋 言緒、Cong Guangwei、王 学論、清水 三聡, “高指向性マイクロ LED に向けた微小発光源の選択成長(2)”, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 18a-E202-10 (2018).
- (2) 熊谷直人、王学論、「GaN 指向性マイクロ LED の開発」、InterOpto 展 2017、幕張メッセ 国際展示場 (2017. 10).

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0113
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : オーステナイト系ステンレス鋼の不均一変形挙動に関する研究
利用者名(日本語) : 山田英史
Username(English) : H. Yamada
所属名(日本語) : 名古屋大学工学部
Affiliation(English) : School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : オーステナイト系ステンレス鋼、形状・形態観察、分析

1. 概要(Summary)

現在使用されている構造材料の多くは多結晶体である。そのため、多結晶材料の力学特性を理解することは重要である。材料の力学的特性に関する研究は、材料の微視的な構造の性質を理解するだけでなく、巨視的な材料の性質との関係を明らかにする必要がある。

本研究では、走査型顕微鏡を用いて、オーステナイト系ステンレス鋼の塑性変形の挙動を観察した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡

【実験方法】

本研究では SUS310 を用いた。表面を研磨、エッチングを施した試料の表面を走査型電子顕微鏡で観察した。加速電圧は 10kV、ワーキングディスタンス(WD)は 20mm と一定の条件とし観察を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

試料の変形前の撮影画像を Fig.1 に示す。Fig.1 より、試料の変形前の結晶粒径は約 30 μm であることがわかった。

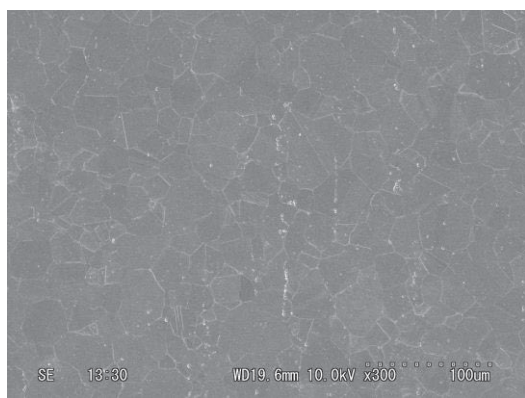


Fig.1 surface image.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

- 1) 鶴園弘明, 鹿児島大学, 修士論文, 2017
- 2) 出水享, 松田浩, 戸次翔, 森崎雅俊, 内野正和, 伊藤幸広, 森田千尋, デジタル画像相関法のひずみ計測向上に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.68, No.2(応用力学論文集 Vol.15), I_683-I_690, 2012
- 3) 土田紀之, ステファヌスハルヨ, 大貫貴久, 友田陽, 鉄鋼材料の応力-ひずみ曲線, 鉄と鋼, Vol.100, No.10, 2014

・用語説明

1) オーステナイト系ステンレス鋼

オーステナイト系ステンレス鋼とは、常温でオーステナイトを主要な組織とするステンレス鋼である。通常は常温ではオーステナイトは残存しないが、Niなどの合金元素を添加することでオーステナイトが安定化して常温で存在するようになる。約 920 $^{\circ}\text{C}$ ~1150 $^{\circ}\text{C}$ 程度まで材料温度を上げ、材料全体をオーステナイト化させて、合金元素を十分に固溶させた後に急冷すると得ることができる。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU- 0116
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 光応答性ブロック共重合体薄膜の配向制御と応用
 Program Title (English) : Orientational control of microphase separated structures in photoresponsive block copolymer thin films.
 利用者名(日本語) : 大塚裕実¹⁾, 永野修作²⁾, 関隆広¹⁾
 Username (English) : Y. Otsuka¹⁾, S. Nagano²⁾, T. Seki¹⁾
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院工学研究科, 2) 名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリー
 Affiliation (English) : 1) Graduate School of Engineering, Nagoya University, 2) Venture Business Laboratory, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング、ブロック共重合体、directed selfassembly

1. 概要(Summary)

当研究室では、アゾベンゼ側鎖を持つ光応答性ブロック共重合体を用いた、マイクロ相分離構造の光配向制御を行っている[1]。かご型シルセスキオキサン側鎖高分子ブロック(PPOSS)含有ブロック共重合体は、POSS 成分の酸素プラズマに対するエッチング耐性から、ブロック共重合体リソグラフィ材料として有用であることが報告されている[2]。本研究では、光応答性高分子(P(CB-*r*Az))と PPOSS からなるジブロック共重合体(P(CB-*r*Az)-*b*-PPOSS)のマイクロ相分離構造を光一軸配向し、酸素の反応性イオン・エッチング(O₂ RIE)による薄膜中の P(CB-*r*Az)成分(液晶ドメイン)の選択的エッチングを試みた。その結果、マイクロ相分離構造に対応する数ナノの凹凸差を持つナノパターンを得た。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 RIE エッチング装置

【実験方法】P(CB-*r*Az)-*b*-PPOSS を合成し、膜厚約 17 nm の薄膜を調製した。液晶温度下にて偏光子を介した 436 nm の可視光を薄膜に照射し、マイクロ相分離構造の一軸配向膜を作製した。O₂ RIE にてこの薄膜を処理し、原子間力顕微鏡(AFM)によるマイクロ相分離構造の topo 像観察よりマイクロ増分離モルフォロジーを評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

P(CB-*r*Az)および PPOSS のそれぞれのホモポリマー薄膜を O₂ RIE 処理することでエッチングレートを検討し、PPOSS に対する P(CB-*r*Az)のレート比が14倍となる条件(出力 50 w, O₂ 流速 10 sccm, 圧力 2Pa)に設定した。その条件にて時間 20 s にて光一軸配向した P(CB-*r*Az)-*b*-PPOSS 薄膜を処理し、AFM 観察を行った。O₂ RIE 処理前後の P(CB-*r*Az)-*b*-PPOSS 薄膜の AFM 観察結果を Fig. 1 に示す。照射前では、凹凸差が 1 nm 以下程度のマイクロ相分離由来のモルフォロジーが、

RIE 処理後では、4 nm 以上の凹凸差を示し、液晶ドメインの選択的エッチングが行われていることがわかる。

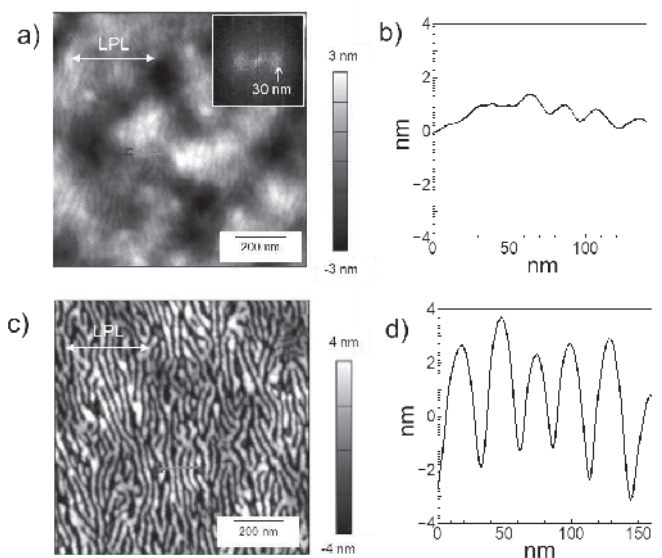


Fig. 1 Topographical AFM images and height profiles of a photoaligned P(CB-*r*Az)-*b*-PPOSS film before (a, b) and after O₂ RIE (c, d), respectively. The bidirectional allows and red lines indicate the electric field of the irradiated linear polarized light and extracted parts for the left height profiles, respectively.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

[1] S. Nagano et al., *Angew. Chem. Int Ed.* **51** 5884-5888 (2012). [2] T. Hayakawa et al., *Macromolecules*, **42** 8835-8843 (2009).

・競争的資金名

科学研究費 基盤研究(S)「自由界面のトリガー効果に基づく高分子膜の増幅的変換プロセスの創出」

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0118
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : Al₂O₃/BN 複合材料の微細組織と熱伝導率に関する研究
Program Title (English) : Research of the thermal conductivity and the microstructure of Al₂O₃/BN composite
利用者名(日本語) : 市川諒, 山下誠司
Username (English) : R. Ichikawa, S. Yamashita
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate school of engineering, Nagoya University,
キーワード/Keyword : 複合材料、Al₂O₃、BN、形状・形態観察

1. 概要(Summary)

耐熱性、精密加工性、電気絶縁性に優れるマシナブルセラミックスは、例えば半導体の検査治具として、我が国のものづくりを支えている。当該部材には、従来、アルミナ(Al₂O₃)や窒化ケイ素(Si₃N₄)中に窒化ホウ素(Boron Nitride、以下 BN) 粒子などの層状化合物を添加し、ホットプレスで成形・緻密化した材料が使用されてきた。ここで窒化ホウ素粒子は、母相と濡れ難く焼結を阻害し適度な欠陥となるとともに、固体潤滑作用を有することが加工性の向上に効果をもたらすと考えられる。しかし、これらが材料組織中で凝集した状態で存在すると、それらは大きな欠陥となり、材料強度ならびに加工精度の著しい低下を招く。すなわち高強度と加工性を両立させたセラミックスを得るには、分散粒子やその周辺に存在する空隙をより小さくし、均一に分散させるだけでなく、粒界破壊を示す材料の場合、母相を構成する結晶粒子サイズの微細化が必要である。また、加工時には切削工具と材料との摩擦により切削熱が発生し、切削熱が高くなるほど材料強度が低下し、切削工具の寿命が短くなる。このため、被切削材料の熱伝導率が高い方が外部に熱が放出されやすく、工具の寿命を長くすることができる。本研究では、Al₂O₃/BN 複合セラミックスを対象として一連の検討を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡

【実験方法】

Al₂O₃ 粉末 (平均粒径 : 100 nm) を主成分原料として、h-BN 粉末 (平均粒径 : 3 μm)、蒸留水及びバイ

ンダーを混合し、射出成形によりペレット状成形体を作製した。得られた成形体を乾燥後、大気及び窒化雰囲気下、1600°C~1800°C で焼成を行った。得られた試料の表面に極細ドリルを用いて、穴加工を施した。作製した試料断面の微細組織を走査型電子顕微鏡で観察し、得られた画像から結晶粒径及び加工穴の直径を測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

得られた焼結体の断面(鏡面加工)の SEM 観察結果から、h-BN 粒子は Al₂O₃ 母相中に均一に分散しており、添加量の増加に伴い、高温での焼結においても粒成長抑制効果が確認された。また、h-BN 添加に伴い Al₂O₃ 相との界面に気孔が形成しているのが観察され、熱伝導率の低下の原因であることが示唆された。

4. その他・特記事項(Others)

・日比科学技術振興財団 研究助成「微粒子吸着構造を利用した h-BN 複合セラミックヒートシンク材の開発」

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0121
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : バイオ燃料電池を搭載した超小型自己泳動マイクロロボットへの挑戦
Program Title (English) : Challenge of Self-Propelled Swimming Micro-robot Having Biofuel Cell
利用者名(日本語) : 山中俊郎, 益田泰輔
Username (English) : T. Yamanaka, T. Masuda
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate school of Eng., Nagoya University
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 形状・形態観察, マイクロロボット

1. 概要(Summary)

バイオ燃料電池を搭載した新規マイクロ泳動ロボットを提案し、マイクロスケールのプロトタイプを開発する。プロトタイプを用いた実験により、その生成速度を実証・評価し、生体医用マイクロロボットシステムの要素技術として完成させる事に挑戦するのが目的である。

本機器利用ではその基本的な製造プロセスの検討を行う。特にマイクロスケールの3次元的な形状の作成において、必要なパラメータ条件、可能な形状、形状精度、最小サイズを特定する。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 3次元レーザ・リソグラフィシステム一式、スパッタリング装置一式、走査型電子顕微鏡、両面露光用マスクアライナ、レーザ描画装置一式

【実験方法】

洗浄したガラス基板にUV硬化性フォトレジストSU-8をスピコートによって塗布し、ソフトベークを行う。

3次元レーザ・リソグラフィシステム一式にガラス基板を設置し、予め作成したプログラムに基づいて、レジスト内をフェムト秒レーザで3次元的に走査し、単純な形状(ピラー、チューブ形状など)のマイクロ構造体となるよう局所的に露光を行う。

ガラス基板をポストベークし、現像液による現像、及びイソプロピルアルコールによる洗浄を行い、乾燥の後、マイクロ構造体を、光学顕微鏡で観察する。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

3次元レーザ・リソグラフィシステム一式により、ほぼ所望の形状の3次元的なマイクロ構造体を得られた。

現在、より高精度の形状を得るため、レーザパワー、スキャンスピードを変化させ、前記と同様の実験を行い、形

状の最適化を行っている。また最小化可能なサイズを判断する検討を行っている。

4. その他・特記事項(Others)

・日本学術振興会、科学研究費助成事業、挑戦的研究(萌芽)、“バイオ燃料電池を搭載した超小型自己泳動マイクロロボットへの挑戦”, JP17K18853

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0124
利用形態 : 機器利用、技術相談
利用課題名(日本語) : ガラス上へのエッチング用マスク作製法の検討
Program Title (English) : Micro-fabrication of etching mask on glass substrate
利用者名(日本語) : 小高秀文¹⁾, Thi-Thuy-Nga Nguyen²⁾
Username (English) : H. Odaka¹⁾, T. Nguyen²⁾
所属名(日本語) : 1) AGC 旭硝子(株) 2) 名古屋大学未来社会創造機構
Affiliation (English) : 2) Asahi Glass, Co. Ltd. 2) Nagoya University,
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、成膜・膜堆積、ガラス

1. 概要(Summary)

ガラスに微細加工を行うことで機能デバイスの開発を目指している。この中で、ガラス上にエッチング用のマスクを作成する手法の検討が必要であり、微細加工プラットフォームの機器利用による、微細マスクパターンを試作した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 電子線露光装置、3元マグネトロンスパッタ装置

【実験方法】

3元マグネトロンスパッタを用い、ガラス基板にクロム層(50 nm)を成膜し、その上にレジスト ZEP520A を 400 nm スピンコートし、電子線露光により微細パターンを形成した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig1 はスパッタ成膜した Cr (50 nm) 上に電子線露光により試作したレジストパターンの光学顕微鏡像である。中央部にライン/スペース構造を試作し、光学顕微鏡レベルでの観察から、設計通りの構造が得られていると考えられる。今後、走査電子顕微鏡によるレジスト構造のより微細な観察とともに、メタル層のエッチングを行う予定である。

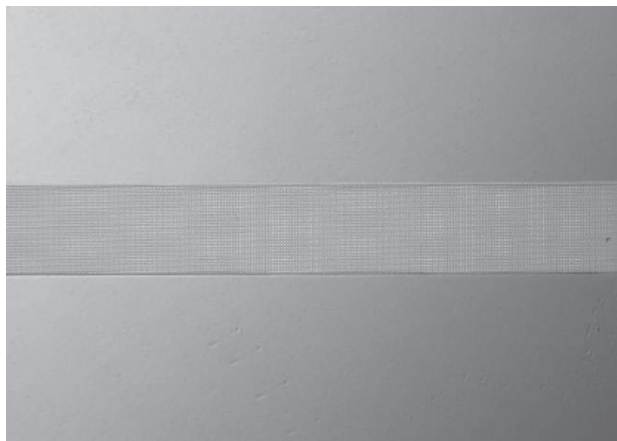


Fig.1 Optical micrograph of resist pattern.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-17-NU-0128
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : セルロースナノファイバー/リン酸カルシウム複合体の微細構造観察
Program Title (English) : Observation of Microstructure of Cellulose Nanofiber/Calcium Phosphate Composite
利用者名(日本語) : 中村仁
Username (English) : J. NAKAMURA
所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : セルロースナノファイバー、リン酸カルシウム、複合体、形状・形態観察、分析

1. 概要(Summary)

骨の細胞外マトリックスは常温、常圧、ほぼ中性の環境下で作られ、天然の有機/無機複合体である。骨の機械的強度は、コラーゲンのナノ繊維の束に、リン酸カルシウム(一種であるヒドロキシアパタイト(HAp))の微細な結晶が巧みに複合化された精緻な三次元構造であることに由来する。骨の細胞外マトリックスに類似した構造を環境低負荷な方法で構築するバイオミメティックなプロセスは、新しい複合材料を合成する手法として興味深い。

本研究では、有機高分子のナノ繊維とリン酸カルシウムの結晶が複雑に絡み合った構造を持つ複合体の作製を試みた。有機高分子としてセルロースを用い、原料混合物を 100°C 以下の処理により複合体とするための作製条件を探索した。複合体の微細構造を走査型電子顕微鏡を用いて観察することで、有機高分子/無機結晶の詳細な絡み合い構造を調べた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡

【実験方法】

リン酸カルシウム系化合物を出発原料にしてスラリーを作製し、これにセルロースナノファイバーを含有する水溶液を加え、自動乳鉢で攪拌混合した。混合物の水分を自然乾燥で取り除いた後に、混合粉末を平板状に成形した。この試料をガラス製容器中に入れ、水蒸気が飽和した条件で静置し、100°C 以下の所定の温度で処理した。処理後の試料を室温にて乾燥し、セルロースナノファイバー/リン酸カルシウム複合体を得た。試料の結晶相を X 線回折にて同定した。試料の破断面を作成し、スパッタ法で白金をコーティングし

た後に S-4300 走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて微細構造を観察した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

試料の結晶相に HAp が検出され、リン酸カルシウム系化合物のスラリーから HAp が形成されることが分かった。試料の破断面を SEM で観察した結果 (Fig.)、試料の破断面には、幅 30 nm 以下の屈曲した繊維と直径 60~100 nm の柱状の粒子が絡み合っている様子が観察された。幅 30 nm 以下の屈曲した繊維はセルロースナノファイバーの形態、直径 60~100 nm の柱状粒子は HAp の形態によるものと推察される。

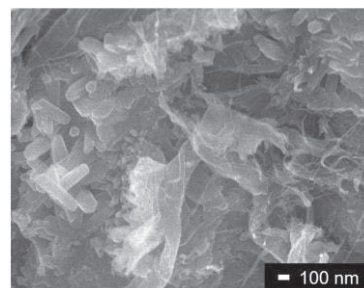


Fig. SEM image of fractured surface of cellulose nanofiber/calcium phosphate composite.

4. その他・特記事項(Others)

・本研究は文部科学省卓越研究員制度の補助により行われた。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

7. 他機関との交流
(Reports of Collaborations)

1. 「カーボンナノチューブ薄膜の形成とトランジスタ応用」
(共同研究)
未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
Aalto 大学 (フィンランド) 応用物理学専攻 Esko I. Kauppinen
2. 「カーボンナノチューブ透明導電膜の車載向け部材応用」
(共同研究)
未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
(株) デンソー 大島 久純
3. 「カーボンナノチューブ薄膜の電極応用」
(共同研究)
未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
豊田合成 (株) 竹中 靖博
4. 「カーボンナノチューブ薄膜配線の開発」
(共同研究)
未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
日東電工 (株) 山田 泰美
5. 「カーボンナノチューブによるナノ情報通信技術」
(共同研究)
未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
トヨタ中央研究所 田所 幸浩
6. 「カーボンナノチューブの成長とバイオセンサ応用」
(共同研究)
未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
早稲田大学 高等研究所 杉目 恒志
7. 「カーボンナノチューブ薄膜トランジスタの放射線環境下における特性評価」
(共同研究)
未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
東京電機大学 理工学部 石井 聡
8. 「高純度半導体カーボンナノチューブの抽出と素子応用」

(共同研究)

未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 片浦 弘道

9. 「グラフェン電子エミッタの電子スピン偏極度の測定およびアトムプローブ分析」

(共同研究)

工学研究科 量子工学専攻 齋藤弥八, 中原 仁

三重大学・工学研究科 永井滋一

グラフェンの端から π 電子をトンネル効果により真空中へ電界放出させ、そのスピン偏極度をモット検出器により測定し、グラフェン端における電子スピン状態を明らかにする。また、グラフェン端の電子状態は端を修飾する官能基の種類に強く依存するので、端に存在する官能基を電界電離させ、飛行時間型質量分析計により分析する。

10. 「有機分子性物質の物性に関する共同研究」

(共同研究)

工学研究科 応用物理学専攻 岸田英夫、中村優斗

吉田幸大(京都大学)、前里光彦(京都大学)、矢持秀起(京都大学)、大塚晃弘(京都大学)、中野義明(京都大学)、齋藤軍治(豊田理化学研究所)

11. 「強相関電子系物質の光物性に関する共同研究」

(共同研究)

工学研究科 応用物理学専攻 岸田英夫、中村優斗

岩井伸一郎(東北大学)、伊藤弘毅(東北大学)、川上洋平(東北大学)

12. 「有機電荷移動錯体の電場応答および光物性に関する共同研究」

(共同研究)

工学研究科 応用物理学専攻 岸田英夫、中村優斗

佐々木孝彦(東北大学)、井口敏(東北大学)、橋本顕一郎(東北大学)、米山直樹(山梨大学)

13. 「ナノカーボン複合材料の合成に関する共同研究」

(共同研究)

工学研究科 応用物理学専攻 岸田英夫、小山剛史

吉田幸大(京都大学)、齋藤軍治(豊田理化学研究所)

14. 「ナノカーボン物質の光物性に関する共同研究」

(共同研究)

工学研究科 応用物理学専攻 岸田英夫、小山剛史
吾郷浩樹 (九州大学)、河原憲治 (九州大学)

15. 「ナノカーボン物質の光物性に関する共同研究」

(共同研究)

工学研究科 応用物理学専攻 岸田英夫、小山剛史
岡田晋 (筑波大学)

16. 「RAFT カチオン重合と光 RAFT ラジカル重合を用いた星型ポリマーの合成」

(共同研究)

工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外正己、佐藤浩太郎、内山峰人
豪州・メルボルン大学 化学生物工学科 G. G. Qiao, T. McKenzie
RAFT カチオン重合と光 RAFT ラジカル重合を組み合わせ、ビニルエーテルとアクリル
酸エステルから成る新規星型ポリマーの合成を行った。

17. 「リビングラジカル重合とカチオン重合によるフッ素系モノマーとビニルエーテル共
重合体の合成」

(共同研究)

工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外正己、佐藤浩太郎、内山峰人
仏国・モンペリエ シャルル・ジェラル研究所 Bruno Améduri, Vincent Ladmiral,
Marc Guerre
RAFT ラジカル重合と RAFT カチオン重合を組み合わせ、フッ素系モノマーとビニルエ
ーテルから成る新規共重合体の合成を行った。

18. 「シラン化合物とチオールを用いた RAFT 末端の水素化」

(共同研究)

工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外正己、佐藤浩太郎、内山峰人
株式会社クラレ 井田大嗣
RAFT 重合により得られたポリマー末端を、触媒量のチオールの存在下でシラン化合物
により水素化することで、効率的にチオエステル末端の除去が可能となった。

19. 「システムバイオロジーナノデバイスに関する研究」

(共同研究)

工学研究科 生命分子工学専攻 馬場嘉信
オランダ トウェンテ大学 Albert van den Berg 教授

細胞中の遺伝子のバイオロバストネスを解析するための新規デバイス開発を進め論文発表した。

20. 「DNA 超高感度検出デバイスに関する研究」
(共同研究)

工学研究科 生命分子工学専攻 馬場嘉信
スウェーデン スtockホルム大学 Mats Nilsson 教授
DNA を超高感度検出できるナノデバイスを開発し、論文発表した。

21. 「遺伝子解析技術開発に関する研究」
(共同研究)

工学研究科 生命分子工学専攻 馬場嘉信
大阪大学産業科学研究所 川合知二教授
遺伝子の解析を超高速化できるナノデバイスを開発し、特許出願するとともに、論文を
発表した。

22. 「エアロゾル解析技術開発に関する研究」
(共同研究)

工学研究科 生命分子工学専攻 馬場嘉信
九州大学先導化学研究所 柳田剛教授
エアロゾルの解析を超高速化できるナノデバイスを開発し、特許出願するとともに、論
文を発表した。

23. 「シンクロトロン放射光ビームラインの運用支援」
(協定に基づく支援)

シンクロトロン光研究センター 渡邊信久
あいちシンクロトロン光センター
名古屋大学ビームラインの運用を実施した。

24. 「新規抗 HIV 薬の開発に向けた HIV 関連蛋白質の構造研究」
(共同研究)

シンクロトロン光研究センター 渡邊 信久
(独)国立病院機構 名古屋医療センター臨床研究センター 岩谷 靖雅
HIV が属するレトロウイルスの増殖を抑制する細胞内防御因子 APOBEC3 および vif,
HIV の RNaseH の新規阻害剤開発にむけ、X 線結晶構造解析と変異体作製による機能解
析実験を継続して行っている。

25. 「有機過渡光電変換素子」

(共同研究)

理学研究科 物質理学専攻 横倉聖也・南条知紘・松下未知雄・阿波賀邦夫

日清紡ホールディングス 湯山佳菜子

有機ペロブスカイト半導体を活物質とし、日清紡から提供された種々のイオン液体を絶縁分極層とした MSIM 型素子を作成した。VBL2 階実験室に設置の疑似太陽光源、パルス光源装置、高速電流アンプ、及びオシロスコープを用いて、光電流変換特性におけるイオン液体の種類による影響を調べ、MSIM 型素子の光エネルギー変換への適用可能性を検討した。

26. 「強相関分子系の新しい有機エレクトロニクス」

(共同研究)

理学研究科 物質理学専攻 横倉聖也・阿波賀邦夫・松下未知雄

北海道大学大学院総合化学院 高橋幸裕・原田潤

VBL2 階実験室に設置の CVD 装置を用い、北大で作製した有機電荷移動錯体結晶の表面に有機絶縁体薄膜 (パリレン) を形成し、北大でその上から金を蒸着することでゲート電極を形成し、単結晶 FET 素子を作成した。様々な温度における FET 特性を測定し、異なる温度領域で観察される FET 特性の変化について解明した。

27. 「Sr₂V₀₄ の軌道状態と磁性」

「欠損した三角格子を持つバナジウム酸化物の基底状態」

(共同研究)

理学研究科物質理学専攻(物理系) 伊藤正行

早稲田大学先進理工学部 勝藤拓郎

軌道自由度を持つ強相関電子系では、スピン・軌道・電荷の三つの自由度が協奏して興味深い物性を示す。さらに、幾何学的フラストレーションを持つと、多量体を形成し、非磁性基底状態を持つ場合がある。欠損した三角格子を持つ Ba_{1-x}Sr_xV₁₃O₁₈ はそのような系の一つと考えられていたが、NMR 測定の結果、基底状態でも完全に非磁性化されず、遍歴的な電子が存在することを見出した。

28. 「レニウム酸化物の物性」

(共同研究)

理学研究科物質理学専攻(物理系) 伊藤正行

豊田理化学研究所 上田寛

レニウム酸化物の物性は、あまり研究されていない物質が多い。そのようなレニウム酸化物の中で、Sr₇Re₄O₁₉ をとりあげ、電気抵抗と帯磁率の測定、および、Re 核の核

四重極共鳴を用いて調べた結果、新奇な相転移を見出した。今後、他のレニウム化合物の物性についても調べる予定である。

29. 「分子集積膜の構造解析」

(共同研究)

VBL 永野修作

北陸先端科学技術大学大学院 長尾祐樹

・JAIST 長尾研にて作製した分子集積膜の X 線散乱測定および X 線反射率測定による構造解析を行っている。

30. 「プロトン伝導性ポリイミド配向膜の調製と構造評価」

(共同研究)

VBL 永野修作

北陸先端科学技術大学大学院 長尾祐樹

・プロトン伝導性高分子材料の主鎖配向手法の研究およびその構造評価を行っている。名古屋大学の研究グループで開発された疎水性高分子に適用可能な液晶混合展開法を用いた Langmuir-Blodgett 法を用いたアルキルスルホン化ポリイミドの一軸配向膜の調製や湿度下の *in-situ* 斜入射 X 線散乱測定による薄膜構造の評価を行っている。

31. 「プロトン伝導性高分子組織体の構築と構造評価」

(共同研究)

VBL 永野修作

山形大学 松井淳

・プロトン伝導性高分子材料の主鎖配向手法の研究およびその構造評価を行っている。山形大学にて開発されているプロトン伝導性高分子の Langmuir-Blodgett 膜の構造評価を湿度下の *in-situ* 斜入射 X 線散乱測定にて行っている。

32. 「ブロック共重合体薄膜の内部構造解析」

(共同研究)

VBL 永野修作

東北大学 藪 浩

・東北大学の研究グループにて開発されたカテコール基を含むブロック共重合体薄膜の内部構造解析を行っている。

33. 「ポリビニルアルコールゲルの X 線散乱による構造解析」

(共同研究)

VBL 永野修作

北陸先端科学技術大学大学院 松村和明

・北陸先端科学技術大学大学院の研究グループにて開発された新しいプロセスのポリビニルアルコールゲルの構造解析を小角および中角領域の散乱測定によって行っている。

34. 「多環芳香族化合物有機半導体の薄膜構造の解明」

(共同研究)

VBL 永野修作

東京農工大学大学院工学研究院 中野幸司

・東京農工大 中野研にて開発されたヘテロ環が縮環した様々な縮合多環芳香族半導体蒸着膜の分子配向構造の解析を斜入射 X 線回折測定(GI-XRD)により行っている。

35. 「光応答性イオン分子集積体の *in-situ* 構造解析」

(共同研究)

VBL 永野修作

山形大学 山門 陵平

立命館大学 前田 大光

・立命館大学 前田研にて開発されているアゾベンゼンカルボンキシレート誘導体テトラブチルアンモニウム塩の光応答性および集合体の分子構造解析を行っている。

36. 「再沈法によって調製される p-n 半導体高分子微粒子の応用」

(共同研究)

VBL 永野修作

山形大学 増原 陽人

・p型およびn型の半導体高分子の複合微粒子に関する研究を行い、微粒子の構造解析、光電荷分離状態など研究している。

37. 「高分子薄膜の構造解析」

(共同研究)

VBL 永野修作

企業との共同研究、技術指導

・斜入射法による高分子薄膜 X 線散乱測定を行い、高分子薄膜構造を解析する。

38. 「高分子光配向に関する研究」

(共同研究)

VBL 永野修作

企業との共同研究、技術指導

- ・高分子構造体の光配向に関する研究を行う。

8. 発表論文リスト
(List of Published Papers)

8.1 原著論文

1. N. Komatsu, T. Mitani, Y. Hayashi, T. Kato, S. Harada, T. Ujihara, H. Okumura, “Modification of the surface morphology of 4H-SiC by addition of Sn and Al in solution growth with SiCr solvents”, *J. Cryst. Growth*, **458**, 37-43 (2017).
2. K. Ishikawa, Y. Ito, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, “Crystal Orientation Dependence of Precipitate Structure of Electrodeposited Li Metal on Cu Current Collectors, *Cryst. Growth Des.*”, **17** (5), 2379-2385 (2017).
3. T. Isogai, S. Nakada, N. Yoshida, H. Sumi, R. Tero, S. Harada, T. Ujihara, M. Tagawa, “Phase transition process in DDAB supported lipid bilayer”, *J. Cryst. Growth*, **468**, 88-92 (2017).
4. K. Murayama, T. Hori, S. Harada, S. Xiao, M. Tagawa, T. Ujihara, “Two-step SiC solution growth for dislocation reduction”, *J. Cryst. Growth*, **468**, 874-878 (2017).
5. M. Matsumoto, H. Saitou, Y. Takeuchi, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, “Morphology of AlN whiskers grown by reacting N₂ gas and Al vapor”, *J. Cryst. Growth*, **468**, 576-580 (2017).
6. T. Yamamoto, Y. Okano, T. Ujihara, S. Dost, “Global simulation of the induction heating TSSG process of SiC for the effects of Marangoni convection, free surface deformation and seed rotation”, *J. Cryst. Growth*, **470**, 75-88 (2017).
7. K. Murayama, T. Hori, S. Harada, S. Xiao, M. Tagawa, T. Ujihara, “SiC solution growth on Si face with extremely low density of threading screw dislocations for suppression of polytype transformation”, *Mater. Sci. Forum*, **897**, 24-27 (2017).
8. T. Hori, K. Murayama, S. Harada, S. Xiao, M. Tagawa, T. Ujihara, “Formation of basal plane dislocations introduced by collision of macrosteps on growth surface during SiC solution growth”, *Mater. Sci. Forum*, **897**, 28-31 (2017).
9. S. Harada, G. Hatasa, K. Murayama, T. Kato, M. Tagawa, T. Ujihara, “Solvent design for high-purity SiC solution growth”, *Mater. Sci. Forum*, **897**, 32-35 (2017).
10. T. Yamamoto, N. Adkar, Y. Okano, T. Ujihara, S. Dost, “Numerical investigation of the transport phenomena occurring in the growth of SiC by the induction heating TSSG method”, *J. Cryst.*

Growth, **474**, 50-54 (2017).

11. F. Ichihashi, T. Kawaguchi, X. Dong, M. Kuwahara, T. Ito, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, “Temperature dependence of carrier relaxation time in gallium phosphide evaluated by photo emission measurements”, *AIP Advances*, **7** (11), 115314 (2017).
12. H. Niinomi, T. Sugiyama, M. Tagawa, M. Maruyama, T. Ujihara, T. Omatsu, Y. Mori, “Plasmonic Heating-Assisted Laser-Induced Crystallization from a NaClO₃ Unsaturated Mother Solution”, *Cryst. Growth Des*, **17**, 809-818 (2017).
13. A. Tanaka, O. Barry, K. Nagamatsu, J. Matsushita, M. Deki, Y. Ando, M. Kushimoto, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, “Facet dependence of leakage current and carrier concentration in m-plane GaN Schottky barrier diode fabricated with MOVPE”, *Phys. Status Solidi A*, **214** (8), 1600829 (2017).
14. A. Tanaka, Y. Ando, K. Nagamatsu, M. Deki, H. Cheong, B. Ousmane, M. Kushimoto, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, “m-Plane GaN Schottky Barrier Diodes Fabricated With MOVPE Layer on Several Off-Angle m-Plane GaN Substrates”, *Phys. Status solidi A*, **254**, 1700645 (2017).
15. S.-Y. Bae, K. Lekhal, H.-J. Lee, J.-W. Min, D.-S. Lee, Y. Honda, H. Amano, “Selective-area growth of doped GaN nanorods by pulsed-mode MOCVD: Effect of Si and Mg dopants”, *Phys. Status Solidi B*, **254** (8), 1600722 (2017).
16. X. Yang, S. Nitta, K. Nagamatsu, S.-Y. Bae, H.-J. Lee, Y.-H. Liu, M. Pristovsek, Y. Honda, H. Amano, “Growth of hexagonal boron nitride on sapphire substrate by pulsed-mode metal-organic vapor phase epitaxy”, *J. Cryst. Growth*, **482**, 1-8 (2018).
17. K. Nagamatsu, S. Nitta, Z. Ye, H. Nagao, S. Miki, Y. Honda, H. Amano, “Decomposition of trimethylgallium and adduct formation in a metalorganic vapor phase epitaxy reactor analyzed by high-resolution gas monitoring system”, *Phys. Status Solidi B*, **254** (8), 1600737 (2017).
18. K. Matsumoto, T. Ono, Y. Honda, T. Yamamoto, S. Usami, M. Kushimoto, S. Murakami, H. Amano, “Reduction of Dislocations in GaN on Silicon Substrate Using In Situ Etching”, *Phys. Status Solidi B*, **254**, 1700387, (2017).
19. X. Yang, S. Nitta, K. Nagamatsu, S.-Y. Bae, H.-J. Lee, Y. Liu, M. Pristovsek, Y. Honda, H.

- Amano, "Growth of hexagonal boron nitride on sapphire substrate by pulsed-mode metalorganic vapor phase epitaxy", *J. Cryst. Growth*, **482**, 1-8 (2018).
20. P. Kempisty, Y. Kangawa, A. Kusaba, K. Shiraishi, S. Krukowski, M. Bockowski, K. Kakimoto, H. Amano, "DFT modeling of carbon incorporation in GaN(0001) and GaN(000-1) metalorganic vapor phase epitaxy", *Appl. Phys. Lett.*, **111**, 141602/1-5 (2017).
 21. L. Sang, B. Ren, M. Sumiya, M. Liao, Y. Koide, A. Tanaka, Y. Cho, Y. Harada, T. Nabatame, T. Sekiguchi, S. Usami, Y. Honda, H. Amano, "Initial leakage current paths in the vertical-type GaN-on-GaN Schottky barrier diodes", *Appl. Phys. Lett.*, **111**, 122102/1-5 (2017).
 22. H. Kawai, S. Yagi, S. Hirata, F. Nakamura, T. Saito, Y. Kamiyama, M. Yamamoto, H. Amano, V. Unni, E. M. S. Narayanan, "Low cost high voltage GaN polarization superjunction field effect transistors", *Phys. Status Solidi A*, **214** (8), 1600834/1-10 (2017).
 23. S. Usami, R. Miyagoshi, A. Tanaka, K. Nagamatsu, M. Kushimoto, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, "Effect of dislocations on the growth of p-type GaN and on the characteristics of p-n diodes", *Phys. Status Solidi A*, **214** (8), 11600837/1-5 (2017).
 24. T. Tanikawa, K. Shojiki, R. Katayama, S. Kuboya, T. Matsuoka, Y. Honda, H. Amano, "Absolute technique for measuring internal electric fields in InGaN/GaN light-emitting diodes by electroreflectance applicable to all crystal orientations", *Appl. Phys. Express*, **10**, 082101/1-4 (2017).
 25. G. Ju, M. Tabuchi, Y. Takeda, H. Amano, "Role of threading dislocations in strain relaxation during GaInN growth monitored by real-time X-ray reflectivity", *Appl. Phys. Lett.*, **110**, 262105/1-5 (2017).
 26. S.-Y. Bae, K. Lekhal, H.-J. Lee, T. Mitsunari, J.-W. Min, D.-S. Lee, M. Kushimoto, Y. Honda, H. Amano, "Selective-area growth of vertically oriented GaN nanostructures with a hafnium pre-orienting layer", *J. Cryst. Growth*, **468**, 110-113 (2017).
 27. H.-J. Lee, S.-Y. Bae, K. Lekhal, A. Tamura, T. Suzuki, M. Kushimoto, Y. Honda, H. Amano, "Orientation-controlled epitaxial lateral overgrowth of semipolar GaN on Si(001) with a directionally sputtered AlN buffer layer", *J. Cryst. Growth*, **468**, 547-551 (2017).

28. O. I. Barry, A. Tanaka, K. Nagamatsu, S.-Y. Bae, K. Lekhal, J. Matsushita, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, "Effect of V/III ratio on the surface morphology and electrical properties of m-plane (10 $\bar{1}$) GaN homoepitaxial layers", *J. Cryst. Growth*, **468**, 552-556 (2017).
29. H. Iwata, H. Kobayashi, T. Kamiya, R. Kamei, H. Saka, N. Sawaki, M. Irie, Y. Honda, H. Amano, "Annealing effect on threading dislocations in a GaN grown on Si substrate", *J. Cryst. Growth*, **468**, 835-838 (2017).
30. Z. Sun, P. Song, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, "A-plane GaN growth on (11-20) 4H-SiC substrate with an ultrathin interlayer", *J. Crystal Growth*, **468**, 866-869 (2017).
31. M. Kaneda, C. Pernot, Y. Nagasawa, A. Hirano, M. Ippommatsu, Y. Honda, H. Amano, I. Akasaki, "Uneven AlGaIn multiple quantum well for deep-ultraviolet LEDs grown on macrosteps and impact on electroluminescence spectral output", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **56**, 061002/1-9 (2017).
32. X. Yang, S. Nitta, M. Pristovsek, Y. Liu, K. Nagamatsu, M. Kushimoto, Y. Honda, H. Amano, "Interface amorphization in hexagonal boron nitride films on sapphire substrate grown by metalorganic vapor phase epitaxy", *Appl. Phys. Express*, **11** (5), 051002/1-4 (2018).
33. C. Qin, X. Gao, J. Yuan, Z. Shi, Y. Jiang, Y. Liu, Y. Wang, H. Amano, Transferrable monolithic multicomponent system for near-ultraviolet optoelectronics, *Appl. Phys. Express*, **11** (5), (2018).
34. H. Amano, Y. Baines, E. Beam, M. Borga, T. Bouchet, P. R. Chalker, M. Charles, K. J. Chen, N. Chowdhury, R. Chu, C. D. Santi, M. M. D. Souza, S. Decoutere, L. D. Cioccio, B. Eckardt, T. Egawa, P. Fay, J. J. Freedman, L. Guido, O. Haeberlen, G. Haynes, T. Heckel, D. Hemakumara, P. Houston, J. Hu, M. Hua, Q. Huang, A. Huang, S. Jiang, H. Kawai, D. Kinzer, M. Kuball, A. Kumar, K. B. Lee, X. Li, D. Marcon, M. Maerz, R. McCarthy, G. Meneghesso, M. Meneghini, E. Morvan, A. Nakajima, E. M. S. Narayanan, S. Oliver, T. Palacios, D. Piedra, M. Plissonnier, R. Reddy, M. Su, I. Thayne, A. Torres, N. Trivellin, V. Unni, M. J. Uren, M. V. Hove, D. J. Wallis, J. Wang, J. Xie, S. Yagi, S. Yang, C. Youtsey, R. Yu, E. Zanoni, S. Zeltner, Y. Zhang, "The 2018 GaN power electronics roadmap", *J. Phys. D, Appl. Phys.*, **51**(16), 163001/1-48 (2018).
35. M. Irita, S. Yamazaki, H. Nakahara, Y. Saito, "Development of a compact FE-SEM and X-ray microscope with a carbon nanotube electron source", *IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.*, **304** 012006/1-6 (2017).

36. K. Nishikawa, K. Asaka, H. Nakahara, Y. Saito, "In-situ TEM study on structural change and light emission of a multiwall carbon nanotube during Joule heating", *IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.*, **304** 012011/1-5 (2017).
37. M. Sasaki, T. Koyama, H. Kishida, K. Asaka, Y. Saito, Y. Yoshida, G. Saito, "Facile Synthetic Route to Atomically Thin Conductive Wires from Single-Species Molecules in One-Dimensionally Confined Space: Doped Conjugated Polymers inside Single-Walled Carbon Nanotubes", *J. Phys. Chem. Lett.*, **8**, 1702-1706 (2017).
38. Y. Kawakami, Y. Yoneyama, T. Amano, H. Itoh, K. Yamamoto, Y. Nakamura, H. Kishida, T. Sasaki, S. Ishihara, Y. Tanaka, K. Yonemitsu, S. Iwai, "Polarization selectivity of charge localization induced by a 7-fs nearly single-cycle light field in an organic metal", *Phys. Rev. B*, **95** (20), 201105/1-5 (2017).
39. Y. Yoshida, Y. Nakamura, H. Kishida, H. Hayama, Y. Nakano, H. Yamochi, G. Saito, "Racemic charge-transfer complexes of a helical polycyclic aromatic hydrocarbon molecule", *CrystEngComm.*, **19** (26), 3626-3632 (2017).
40. T. Hiramatsu, Y. Yoshida, G. Saito, A. Otsuka, H. Yamochi, M. Maesato, Y. Shimizu, H. Ito, Y. Nakamura, H. Kishida, M. Watanabe, R. Kumai, "Design and Preparation of a Quantum Spin Liquid Candidate κ -(ET)₂Ag₂(CN)₃ Having a Nearby Superconductivity", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **90** (9), 1073-1082 (2017).
41. H. Itoh, R. Fujiwara, Y. Kawakami, K. Yamamoto, Y. Nakamura, H. Kishida, S. Iwai, "Modulation of terahertz emission in time-domain waveform via a photoinduced phase transition in a charge ordered organic ferroelectric", *Appl. Phys. Lett.*, **112** (9), 093302/1-5 (2018).
42. T. Koyama, K. Fujiki, Y. Nagasawa, S. Okada, K. Asaka, Y. Saito, H. Kishida, "Different Molecular Arrangement of Perylene in Metallic and Semiconducting Carbon Nanotubes: Impact of van der Waals Interaction", *J. Phys. Chem. C*, **122** (10), 5805-5812 (2018).
43. P. Laiho, K. Mustonen, Y. Ohno, S. Maruyama, E. I. Kauppinen, "Dry and Direct Deposition of Aerosol-Synthesized Single-Walled Carbon Nanotubes by Thermophoresis", *ACS App. Mater. Interfaces*, **9**, 20738-20747 (2017).

44. H. Tanaka, T. Ozaki, Y. Ohno, Y. Tadokoro, "Phase shifter tuned by varying the spring constant of a nanomechanical cantilever", *J. Appl. Phys.*, **122**, 234501/1-5 (2017).
45. Y. Tadokoro, Y. Ohno, H. Tanaka, "Detection of Digitally Phase-Modulated Signals Utilizing Mechanical Vibration of CNT Cantilever", *IEEE Trans. Nanotechnol.*, **17**, 84-92, (2018).
46. Y. Chen, L. M. Dai, Y. Ohno, "Carbons for wearable devices - Commentary and introduction to the virtual special issue", *Carbon*, **126**, 621-623 (2018).
47. N. Usuki, K. Satoh, M. Kamigaito, "Synthesis of Syndiotactic Macrocyclic Poly(methyl Methacrylate) via Transformation of the Growing Terminal in Stereospecific Anionic Polymerization", *Macromol. Chem. Phys.*, **218**, 1700041/1-10 (2017).
48. K. Satoh, H. Hashimoto, S. Kumagai, H. Aoshima, M. Uchiyama, R. Ishibashi, T. Fujiki, M. Kamigaito, "One-Shot Controlled/Living Radical Copolymerization for Various Comonomer Sequence Distributions via Dual Radical and Cationic Active Species from RAFT Terminals", *Polym. Chem.*, **8**, 5002-5011 (2017).
49. M. Gueere, M. Uchiyama, E. Folgado, M. Semsarilar, B. Améduri, K. Satoh, M. Kamigaito, V. Ladmiral, "Combination of Cationic and Radical Polymerizations: A Versatile Route to Well-Defined Poly(ethyl Vinyl Ether)-block-Poly(vinylidene Fluoride) Block Copolymers", *ACS Macro Lett.*, **6**, 393-398 (2017).
50. H. Takeshima, K. Satoh, M. Kamigaito, "Bio-Based Functional Styrene Monomers Derived from Naturally Occurring Ferulic Acid for Poly(vinylcatechol) and Poly(vinylguaiacol) via Controlled Radical Polymerization", *Macromolecules*, **50**, 4206-4216 (2017).
51. M. Uchiyama, K. Satoh, T. G. McKenzie, Q. Fu, G. G. Qiao, M. Kamigaito, "Diverse Approaches to Star Polymers via Cationic and Radical RAFT Cross-Linking Reactions Using Mechanistic Transformation", *Polym. Chem.*, **8**, 5972-5981 (2017).
52. N. Usuki, K. Satoh, M. Kamigaito, "Synthesis of Isotactic-block-Syndiotactic Poly(methyl Methacrylate) via Stereospecific Living Anionic Polymerizations in Combination with Metal-Halogen Exchange, Halogenation, and Click Reactions", *Polymers*, **9**, 723/1-13 (2017).
53. M. Guerre, M. Uchiyama, G. Lopez, B. Améduri, K. Satoh, M. Kamigaito, V. Ladmiral,

- “Synthesis of PEVE-*b*-P(CTFE-*alt*-EVE) Block Copolymers by Sequential Cationic and Radical RAFT Polymerization”, *Polym. Chem.*, **9**, 352–361 (2018).
54. N. Usuki, H. Okura, K. Satoh, M. Kamigaito, “Synthesis and Stereocomplexation of PMMA-Based Star Polymers Prepared by a Combination of Stereospecific Anionic Polymerization and Crosslinking Radical Polymerization”, *J. Polym. Sci., Part A, Polym. Chem.*, **56**, 1123–1127 (2018).
55. H. Iida, K. Ohmura, R. Noda, S. Iwahana, H. Katagiri, N. Ousaka, T. Hayashi, Y. Hijikata, S. Irle, E. Yashima, “Double-Stranded Helical Oligomers Covalently Bridged by Rotary Cyclic Boronate Esters”, *Chem. Asian J.*, **12**, 927-935 (2017).
56. R. Ishidate, T. Ikai, S. Kanoh, E. Yashima, K. Maeda, “Chromatographic Enantioseparation by Poly(biphenylacetylene) Derivatives with Memory of Both Axial Chirality and Macromolecular Helicity”, *Chirality*, **29**, 120-129 (2017).
57. J. Tanabe, D. Taura, N. Ousaka, E. Yashima, “Chiral Template-Directed Regio-, Diastereo-, and Enantioselective Photodimerization of an Anthracene Derivative Assisted by Complementary Amidinium–Carboxylate Salt Bridge Formation”, *J. Am. Chem. Soc.*, **139**, 7388-7398 (2017).
58. U. Lewandowska, W. Zajaczkowski, S. Corra, J. Tanabe, R. Borrmann, E. M. Benetti, S. Stappert, K. Watanabe, N. A. K. Ochs, R. Schaeublin, C. Li, E. Yashima, W. Pisula, K. Müllen, H. Wennemers, “A Triaxial Supramolecular Weave”, *Nature Chem.*, **9**, 1068-1072 (2017).
59. N. Ousaka, S. Yamamoto, N. Hayashi, M.-C. Li, R.-M. Ho, Eiji Yashima, “Alkali Metal Ion-Enhanced Threading of a Perylenediimide-Bound Polymer Chain through a Double-Stranded Spiroborate Helicate with a Bisporphyrin Unit”, *Chem. Lett.*, **46**, 970-972 (2017).
60. M.-C. Li, N. Ousaka, H.-F. Wang, E. Yashima, R.-M. Ho, “Chirality Control and Its Memory at Microphase-Separated Interface of Self-Assembled Chiral Block Copolymers for Nanostructured Chiral Materials”, *ACS Macro Lett.*, **6**, 980-986 (2017).
61. K. Maeda, K. Shimomura, T. Ikai, S. Kanoh, E. Yashima, “Static Memory of Enantiomeric Helices Induced in a Poly(biphenylacetylene) by a Single Enantiomer Assisted by Temperature- and Solvent-Driven Helix Inversion”, *Macromolecules*, **50**, 7801-7806 (2017).

62. D. Taura, N. Horimoto, E. Yashima, “Thermally Stable Helical Poly(4-carboxyphenyl isocyanide) with a Helicity Memory Assisted by Metal Coordination”, *Polymer J.*, **49**, 741-744 (2017).
63. K. Maeda, D. Hirose, N. Okoshi, K. Shimomura, Y. Wada, T. Ikai, S. Kanoh, E. Yashima, “Direct Detection of Hardly Detectable Hidden Chirality of Hydrocarbons and Deuterated Isotopomers by a Helical Polyacetylene through Chiral Amplification and Memory”, *J. Am. Chem. Soc.*, **140**, 3270-3276 (2018).
64. S. Kawabata, N. Ousaka, E. Yashima, “Allosteric Regulation of Metal-Binding Sites inside an Optically-Active Helical Foldamer and Its Tubular Assemblies”, *Chem. Commun.*, **54**, 2417-2420 (2018).
65. H. Yasaki, T. Shimada, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai, Y. Baba, “Robust ionic current sensor for bacterial cell size detection”, *ACS Sensors*, **3**, 574-579 (2018).
66. H. Watanabe, T. Tsuchiya, K. Shimoyama, A. Shimizu, S. Akita, H. Yukawa, Y. Baba, “Nagayasu T., Adipose-derived mesenchymal stem cells attenuate rejection in a rat lung transplantation model”, *Journal of Surgical Research*, **227**, 17-27 (2018).
67. S.S. Pillai, H. Yukawa, D. Onoshima, V. Biju, Y. Baba, “Quantum dot-peptide nanoassembly on mesoporous silica nanoparticle for biosensing”, *Nano Hybrids and Composites*, **19**, 55-72 (2018).
68. N. Kihara, H. Odaka, D. Kuboyama, D. Onoshima, K. Ishikawa, Y. Baba, M. Hori, “Facile fabrication of a poly(ethylene terephthalate) (PET) membrane filter with precise arrangement of through-holes”, *Japanese Journal of Applied Physics*, **57**, 037001/1-6 (2018).
69. H. Yasaki, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawaie, Y. Baba, “A real-time simultaneous measurement on a microfluidic device for individual bacteria discrimination”, *Sensors and Actuators B: Chemical.*, **260**, 746-752 (2018).
70. Hi. Yasaki, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai, Baba Y., “Effect of Channel Geometry on Ionic Current Signal of Bridge Circuit Based Microfluidic Channel”, *Chem. Lett.*, **47**, 350–353 (2018).

71. Y. Hiroshima, T. Yamamoto, M. Watanabe, Y. Baba, Y. Shinohara, "Effects of cold exposure on metabolites in brown adipose tissue of rats", *Molecular Genetics and Metabolism Reports*, **15**, 36-42 (2018).
72. 小野島大介, 笠間敏博, 馬場嘉信, "ラブオンチップの最前線", *CSJ カレントレビュー* 24 化学で医療・診断・創薬の革新を目指す, 78-83 (2017).
73. 安井隆雄, 湯川博, 馬場嘉信, "miRNA 検出測定用ツールの最新の成果", *miRNA の最新知識*, 139-144 (2017).
74. A.M. Zeid, N. Kaji, J. J. M. Nasr, F. F. Belal, Y. Baba, M. I. Walash, "Stacking-cyclodextrin-microchip electrokinetic chromatographic determination of gabapentinoid drugs in pharmaceutical and biological matrices", *Journal of Chromatography A*, **1503**, 65-75 (2017).
75. T. Yasui, T. Yanagida, S. Ito, Y. Konakade, D. Takeshita, T. Naganawa, K. Nagashima, T. Shimada, N. Kaji, Y. Nakamura, I. A. Thiodorus, Y. He, S. Rahong, M. Kanai, H. Yukawa, T. Ochiya, T. Kawai, Y. Baba, "Unveiling massive numbers of cancer-related urinary-microRNA candidates via nanowires", *Science Advances*, **3** (12), e1701133 (2017).
76. H. Yasaki, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai, Y. Baba, "Substantial Expansion of Detectable Size Range in Ionic Current Sensing through Pores by Using a Microfluidic Bridge Circuit", *J. Am. Chem. Soc.*, **139** (40), 14137-14142 (2017).
77. Q. Wu, N. Kaji, T. Yasui, S. Rahong, T. Yanagida, M. Kanai, K. Nagashima, M. Tokeshi, T. Kawai, Y. Baba, "A millisecond micro-RNA separation technique by a hybrid structure of nanopillars and nanoslits", *Scientific Reports*, **7**, 43877-43883 (2017).
78. M. Tsutsui, T. Yoshida, K. Yokota, H. Yasaki, T. Yasui, A. Arima, W. Tonomura, K. Nagashima, T. Yanagida, N. Kaji, M. Taniguchi, T. Washio, Y. Baba, T. Kawai, "Discriminating single-bacterial shape using low-aspect-ratio pores", *Scientific Reports*, **7** (1), 17371/1-92(2017).
79. I.A. Thiodorus, N. Kaji, T. Yasui, B. Yoshinobu, "A zinc oxide nanowires devices for extracellular vesicles isolation and purification", *Micro Total Analysis Systems 2017*, **1**, 886-887 (2017).

80. T. Ajiri, T. Yasui, M. Maeki, A. Ishida, H. Tani, Y. Baba, M. Tokeshi, "Optimization of the nanofluidic design for label-free detection of biomolecules using a nanowall array", *Sensors and Actuators B: Chemical*, **250**, 39-43 (2017).
81. X. Y. Sun, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, S. Rahong, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai, Y. Baba, "Nanostructures Integrated with a Nanochannel for Slowing Down DNA Translocation Velocity for Nanopore Sequencing", *Anal. Sci.*, **33** (6), 735-738 (2017).
82. X. Y. Sun, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, S. Rahong, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai, Y. Baba, "Effect of DNA Methylation on the Velocity of DNA Translocation through a Nanochannel", *Anal. Sci.*, **33** (6), 727-730 (2017).
83. T. Shimada, T. Yasui, A. Hibara, H. Yasaki, T. Yanagida, M. Hara, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai, Y. Baba, "PM2.5 collection into aqueous solution via hydrophilic oxide nanowire surface", *Micro Total Analysis Systems 2017*, **1**, 1433-1434 (2017).
84. T. Naganawa, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, H. Yukawa, T. Kawai, Y. Baba, "Nanowires enabling cancer diagnosis from 1 mL urine", *Micro Total Analysis Systems 2017*, **1**, 1271-1272 (2017).
85. M. Maeki, Y. Fujishima, Y. Sato, T. Yasui, N. Kaji, A. Ishida, H. Tani, Y. Baba, H. Harashima, M. Tokeshi, "Understanding the formation mechanism of lipid nanoparticles in microfluidic devices with chaotic micromixers", *PLoS One*, **12**(11), e0187962 (2017).
86. D. H. T. Le, Y. Tsutsui, A. Sugawara-Narutaki, H. Yukawa, Y. Baba, C. Ohtsuki, "Double-hydrophobic elastin-like polypeptides with added functional motifs: Self-assembly and cytocompatibility", *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, **105**(9), 2475-2484 (2017).
87. N. Kaji, S. Ito, H. Yasaki, T. Yasui, H. Yukawa, Y. Baba, "Millisecond mechanophenotyping of stem cells by electrical detection in microfluidic constrictions", *Micro Total Analysis Systems*, **1**, 832-833 (2017).
88. N. Kaji, Y. Hattori, H. Yasaki, T. Yasui, Y. Baba, "Extracellular vesicles separation by electroosmotic flow-driven deterministic lateral displacement in nanopillar chips", *Micro Total Analysis Systems 2017*, 904-905 (2017).

89. H. Yasaki, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai, Y. Baba, “Substantial Expansion of Detectable Size Range in Ionic Current Sensing through Pores by Using a Microfluidic Bridge Circuit”, *J. Am. Chem. Soc.*, **139**, 14137-14142 (2017).
90. D. H. T. Le, Y. Tsutsui, A. Sugawara-Narutaki, H. Yukawa, Y. Baba, C. Ohtsuki, “Double-hydrophobic elastin-like polypeptides with added functional motifs: Self-assembly and cytocompatibility”, *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, **105**(9), 2475-2484 (2017).
91. R. Doi, T. Tsuchiya, N. Mitsutake, S. Nishimura, M. Matsuu-Matsuyama, Y. Nakazawa, T. Ogi, S. Akita, H. Yukawa, Y. Baba, N. Yamasaki, K. Matsumoto, T. Miyazaki, R. Kamohara, G. Hatachi, H. Sengyoku, H. Watanabe, T. Obata, L.E. Niklason, T. Nagayasu, “Transplantation of bioengineered rat lungs recellularized with endothelial and adipose-derived stromal cells”, *Scientific Reports*, **7**, 8447/1-15 (2017).
92. T. Ajiri, T. Yasui, M. Maeki, A. Ishida, H. Tani, Y. Baba, M. Tokeshi, “Optimization of the nanofluidic design for label-free detection of biomolecules using a nanowall array”, *Sensors and Actuators B*, **250**, 39-43 (2017).
93. T. Hamada, D. Sugioka, T. Kameyama, S. Kuwabata, T. Torimoto, “Electrocatalytic Activity of Bimetallic Pd-Au Particle Films Prepared by Sequential Sputter Deposition of Pd and Au onto Hydroxyl-functionalized Ionic Liquid”, *Chem. Lett.*, **46**, 956-959 (2017).
94. R. Izumi, Y. Yao, T. Tsuda, T. Torimoto, S. Kuwabata, “Pt-Nanoparticle-Supported Carbon Electrocatalysts Functionalized with a Protic Ionic Liquid and Organic Salt”, *Adv. Mater. Interfaces*, **5**, 1701123 (2018).
95. T. Kameyama, K. Sugiura, Y. Ishigami, T. Yamamoto, S. Kuwabata, T. Okuhata, N. Tamai, T. Torimoto, “Rod-shaped Zn-Ag-In-Te Nanocrystals with Wavelength-Tunable Band-Edge Photoluminescence in the Near-IR Region”, *J. Mater. Chem. C.*, **6**, 2034-2042 (2018).
96. T. Kameyama, S. Koyama, T. Yamamoto, S. Kuwabata, T. Torimoto, “Enhanced Photocatalytic Activity of Zn-Ag-In-S Semiconductor Nanocrystals with a Dumbbell-Shaped Heterostructure”, *J. Phys. Chem. C.*, in press (2018).
97. M. Nakashima, S. Tsuzuki, H. Awazu, A. Hamano, A. Okada, H. Ode, M. Maejima, A. Hachiya,

- Y. Yokomaku, N. Watanabe, H. Akari, Y. Iwatani, “Mapping Region of Human Restriction Factor APOBEC3H Critical for Interaction with HIV-1 Vif”, *J. Mol. Biol.*, **429** (8), 1262-1276 (2017).
98. K. Eguchi, S. Heutz, K. Awaga, “Templating effects of tetrakis(thiadiazole) porphyrazine on the structure and optical properties of copper phthalocyanine thin films”, *J. Porphyrins Phthalocyanines*, **21** (4-6), 322-326 (2017).
99. L. Pilia, M. M. Matsushita, K. Awaga, N. Robertson, “Fluorination induced electronic effects on a Pt(II) square-planar complex of the o-phenylenediimine ligand”, *New J. Chem.*, **41** (13), 5487-5492 (2017).
100. D. Tonouchi, M. M. Matsushita, K. Awaga, “Negative differential resistance in the Peierls insulating phases of TTF-TCNQ”, *Phys.Rev.B.*, **96** (4), 045116/1-7 (2017).
101. A. Mizuno, Y. Shuku, M. M. Matsushita, M. Tsuchiizu, Y. Hara, N. Wada, Y. Shimizu, K. Awaga, “3D Spin-Liquid State in an Organic Hyperkagome Lattice of Mott Dimers”, *Phys. Rev. Lett.*, **119**(5), 057201/1-6 (2017).
102. Y. Wu, Z. Zhang, S. Bandow, K. Awaga, “A Novel Strategy to Functionalize Covalent Organic Frameworks for High-Energy Rechargeable Lithium Organic Batteries via Graft Polymerization in Nano-Channels”, *Bull. Chem. Soc. Japan*, **90** (12), 1382-1387 (2017).
103. N. Black, D. Tonouchi, M. M. Matsushita, J. D. Woollins, K. Awaga, N. Robertson, “Giant negative magnetoresistance in Ni(quinoline-8-selenoate) (2)”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **20** (1), 514-519 (2018).
104. S. Yamamoto, J. Pirillo, Y. Hijikata, Z. Zhang, K. Awaga, “Nanopore-induced Host-guest Charge Transfer Phenomena in a Metal-Organic Framework”, *Chem. Sci.*, **9**, 3282-3289 (2018).
105. Y. Shuku, A. Mizuno, R. Ushiroguchi, C. S. Hyun, Y. J. Ryu, B. K. An, J. E. Kwon, S. Y. Park, M. Tsuchiizu, K. Awaga, “An exotic band structure of a supramolecular honeycomb lattice formed by a pancake π - π interaction between triradical trianions of triptycene tribenzoquinone”, *Chem. Comm.*, **54**, 3815-3818 (2018).
106. S. Li, Y. Kobayashi, M. Itoh, D. Hirai, H. Takagi, “Metal-insulator transition and magnetic

- fluctuations in polycrystalline $\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x\text{P}$ investigated by ^{31}P NMR”, *Phys. Rev. B*, **95**, 155137/1-8 (2017).
107. I. Yamauchi, M. Itoh, T. Yamauchi, J.-I. Yamaura, Y. Ueda, “Local magnetic susceptibility, spin dynamics, and charge order in the quasi-one-dimensional conductor $\beta\text{-Li}_{0.33}\text{V}_2\text{O}_5$ investigated by site-selective ^{51}V NMR”, *Phys. Rev. B*, **96**, 205114/1-13 (2017).
108. T. Kajita, Y. Obata, Y. Kakesu, Y. Imai, Y. Shmizu, M. Itoh, H. Kuwahara, and T. Katsufuji, “Trimerization and orbital ordering in $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{V}_{13}\text{O}_{18}$ ”, *Phys. Rev. B*, **96**, 245126/1-7 (2017).
109. Y. Shimizu, T. Takahashi, S. Yamada, A. Shimokata, T. Jin-no, M. Itoh, “Symmetry preservation and critical fluctuations in a pseudospin crossover perovskite LaCoO_3 ”, *Phys. Rev. Lett.*, **119**, 2672031-6 (2017).
110. M. Toyoda, Y. Kobayashi, M. Itoh, “Nematic fluctuations in iron arsenides NaFeAs and LiFeAs probed by ^{75}As NMR”, *Phys. Rev. B*, **97**, 094515/1-10 (2018).
111. K. Ogawa, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, Y. Takeoka, “Photo-tunable Christiansen Colour Filter Using Photoisomerization of Stilbene”, *Chem. Lett.*, **46** (9), 1386-1389 (2017).
112. K. Beppu, Y. Nagashima, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Photoalignment of Vertically Oriented Microphase Separated Lamellae in LC-LC Diblock Copolymer Thin Film”, *Macromol. Rapid Commun.*, **38**, 1600659/1- 6 (2017).
113. T. Sakaguchi, S. Nagano, M. Hara, S. H. Hyon, M. Patel, K. Matsumura, “Facile preparation of transparent poly (vinyl alcohol) hydrogels with uniform microcrystalline structure by hot-pressing without using organic solvents”, *Polym. J.*, **49**, 535-542 (2017).
114. H. Yabu, S. Nagano, “Formation of unusual microphase-separated ultrathin films of poly (vinyl catechol-block-styrene)(PVCa-b-PSt) at the air-water interface by solution casting onto water” , *RSC Adv.*, **7**, 33086-33090 (2017)
115. R. Yamakado, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, H. Maeda, “Photo-Responsive Soft Ionic Crystals: Ion-Pairing Assemblies of Azobenzene Carboxylates”, *Chem. Eur. J.*, **23**, 9244-9248 (2017).
116. 向井孝次, 今井絢二郎, 原光生, 永野修作, 関隆広, “アゾベンゼン側鎖を有するポリマ

- ーブラシ膜の液晶相転移挙動”, *高分子論文集*, **74**, 59-63 (2017).
117. S. Mitsui, S. Nagano, M. Hara, T. Seki, “SRG Inscription in Supramolecular Liquid Crystalline Polymer Film: Replacement of Mesogens”, *Crystals*, **7**, 52/1-10 (2017).
118. Y. Nagao, K. Krishnan, R. Goto, M. Hara, S. Nagano, “Effect of Casting Solvent on Interfacial Molecular Structure and Proton Transport Characteristics of Sulfonated Polyimide Thin Films” , *Anal. Sci.*, **33**, 35-39 (2017).
119. Y. Hashimoto, T. Sato, R. Goto, Y. Nagao, M. Mitsuishi, S. Nagano, J. Matsui, “In-plane oriented highly ordered lamellar structure formation of poly (N-dodecylacrylamide) induced by humid annealing”, *RSC Adv.*, **7**, 6631-6635 (2017).
120. T. Sato, M. Tsukamoto, S. Yamamoto, M. Mitsuishi, T. Miyashita, S. Nagano, “Acid-Group-Content-Dependent Proton Conductivity Mechanisms at the Interlayer of Poly (N-dodecylacrylamide-co-acrylic acid) Copolymer Multilayer Nanosheet Films”, *Langmuir*, **33** (45), 12897-12902 (2017).

8.2 総説

1. 上垣外正己, 佐藤浩太郎, 内山峰人, ”交換連鎖移動機構に基づく精密重合”, *高分子*, **67**, 30-33 (2018).
2. 内山峰人, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, “可逆的連鎖移動機構によるメタルフリーのリビングカチオン重合”, *日本接着学会誌*, **53**, 179-187 (2017).
3. K. Maeda and E. Yashima, “Helical Polyacetylenes Induced via Noncovalent Chiral Interactions and Their Applications as Chiral Materials”, *Top. Curr. Chem.*, Vol. **375** (2017), pp. 1-31.
4. 逢坂直樹, 八島栄次, ”伸縮運動をさせるせん分子・高分子の開発”, *有機合成化学協会誌*, **75**, 466-475 (2017).
5. 馬場嘉信, “DDSとナノテクノロジーがもたらす超スマート社会”, *DDS学会誌*, **32**, p.8, (2017)
6. 安井隆雄, 加地範匡, 馬場嘉信, “尿を使った疾病診断を目指したナノワイヤ空間の創製”, *化学工業*, **68** (10), 768-772 (2017).
7. Tsukasa Torimoto, “Nanostructure Engineering of Size-Quantized Semiconductor Particles for Photoelectrochemical Applications”, *Electrochemistry*, **85**, 534-542 (2017).
8. 渡邊信久, 山田裕之, 永江峰幸, “「高圧蛋白質 X線結晶構造解析法」 高圧力学会誌(高圧力の科学と技術)”, **27**(1), 18-25 (2017).

8.3 著書

1. 上垣外正己, “精密合成技術”, CSJ カレントレビュー29 構造制御による革新的ソフトマテリアル創成, 日本化学会編, 化学同人.
2. 馬場嘉信, “量子ドットおよび無機蛍光体”, 蛍光イメージング・MRIプローブの開発(普及版), 菊池和也監修, CMC, 51-58 (2018).
3. N. Kaji, T. Yasui, M. Tokeshi, Y. Baba, “Nanopillars, Nanowires and Nanoballs for DNA and Protein Analysis Nanofluidics” 2nd Edition, J. Edel, A. Ivanov, M. Kim (Ed.), Royal Society of Chemistry, Chap. 3, 76
4. Daisuke Onoshima, Yoshinobu Baba, “Microfluidic DNA Stretching Device for Single-Molecule Diagnostics”, Methods in Molecular Biology, Microchip Diagnosis, V. Taly, J.L. Viovy, S. Descroix (Eds.), Springer Science + Business Media LLC, Chapter 8, 105-112 (2017).
5. 安井隆雄, 湯川博, 馬場嘉信, “miRNA 検出測定用ツールの最新の成果”, miRNA の最新知識, 落谷孝広編, 医薬ジャーナル社, Chap. 13, 139-144. (2017).
6. 馬場嘉信, “食の安全・安心を計測するナノバイオ技術”, 食のバイオ計測の最前線 (普及版) —機能解析と安全・安心の計測を目指して— CMC, 186-193 (2017).
7. 安井隆雄, 小野島大介, 湯川博, 馬場嘉信, “ナノバイオデバイスによる体液中エクソソーム解析”, リキッドバイオプシー—体液中腫瘍マーカーの検出・解析技術—, 落谷孝広編, CMC, 220-225 (2017).

9. 研究助成金リスト
(List of Research Grants)

1. 宇治原徹：溶液法 SiC 結晶とデバイス開発
科学技術交流財団 スーパークラスター事業、共同研究
2. 宇治原徹：サーマルマネジメント用 AlN 結晶とデバイス
科学技術交流財団 スーパークラスター事業、共同研究
3. 宇治原徹：「次世代 SiC ウェハの技術開発」のうち「溶液法による SiC 結晶欠陥制御／成長安定化技術の原理実証」
独立行政法人産業技術総合研究所、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)
4. 宇治原徹：可視光励起光電子分光法による GaN 中の欠陥と電子挙動との相関解明の研究
民間との共同研究
5. 宇治原徹：デバイス実装用高熱伝導部材およびデバイス材料研削砥石の開発
民間との共同研究
6. 宇治原徹：パワーデバイス実装用超高熱伝導接着剤フィルムの開発
民間との共同研究
7. 宇治原徹：溶液成長法によるバルク基板技術の開発
民間との共同研究
8. 宇治原徹（分担者）：省エネルギー社会の実現に資する次世代半導
民間との共同研究
9. 宇治原徹：金属負極用新規集電箔に関する研究
民間との共同研究
10. 宇治原徹：戦略的省エネルギー技術革命プログラム/実用化開発/大口経 SiC 接合基板生産技術の開発
民間との共同研究
11. 宇治原徹：SiC 溶液成長における転位挙動に関する基礎的研究
民間との共同研究

12. 宇治原徹：高機能セラミックス材料の研究
民間との共同研究
13. 宇治原徹：低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／GaN
パワーデバイス等の実用化加速技術開発／低不純物・高成長速度の次世代 HVPE 法に
よる低価格・大電力 GaN パワーデバイス製造プロセスの研究開発
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
14. 宇治原徹：地域中核企業創出・支援事業（ネットワーク型）／窒化ガリウム等次世代
半導体の社会実装加速に向けた中間・後工程に係る高度な技術を有する企業群の拡大
支援事業
国立大学法人名古屋工業大学
15. 宇治原徹：AlN ウィスカー技術の実製品適用に向けた基礎検討
民間との共同研究
16. 宇治原徹：機械学習を用いた結晶成長炉内部品の物性値のその場推定法に関する研究
民間との共同研究
17. 大野雄高：電荷・スピンハイブリッド量子科学の研究
文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域計画研究（分担）
18. 大野雄高：超薄膜材料に基づく電解液流体発電技術の創出」
科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST
19. 齋藤弥八：グラフェンから電界放出される電子のスピン状態の解明と新規スピン偏極
電子源への展開
文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的研究（萌芽）
20. 齋藤弥八：次世代自動車に関連するセラミック材料とその応用に関する研究
(0117D0601b)
日本特殊陶業との包括共同研究の一部
21. 岸田英夫：分光学的手法を駆使した π 電子デバイスの動作状態の解明
科研費 基盤研究(B)

22. 岸田英夫：周期構造を有する有機材料における新規テラヘルツ光学応答の探索
科研費 挑戦的萌芽研究
23. 岸田英夫：分子集合体における特異な電子状態を利用した非線形動作の探索とその制御
科研費 新学術領域研究(研究領域提案型)
24. 岸田英夫：軌道縮重系多環芳香族炭化水素分子を利用した高次機能性分子集合体の創成
科研費 基盤研究(B) (分担)
25. 上垣外正己：精密制御ラジカル重合に基づく配列制御ビニルポリマーの構築
科学研究費補助金 基盤研究(A)
26. 上垣外正己：最先端機能分子・材料合成技術ユニット
研究大学強化促進費補助金 (最先端国際研究ユニット)
27. 上垣外正己、佐藤浩太郎：RAFT法を用いた構造制御ポリマーの合成
民間との共同研究
28. 佐藤浩太郎：可逆活性種変換を伴う新規ビニルモノマー共重合系の開発
科学研究費補助金 基盤研究(A)
29. 佐藤浩太郎：異種反応を介した高分子共重合体の自在設計技術の構築
科学技術推進機構 戦略的創造研究推進事業 さきがけ
30. 内山峰人：可逆的連鎖移動機構に基づくカチオン重合を用いた多重構造制御
科学研究費補助金 研究活動スタート支援
31. 八島 栄次：ラセン構造からなるナノ空間の精密制御を基盤とする革新的キラル材料の創製
科学研究費補助金 基盤研究(S)
32. 逢坂 直樹：動的面不斉を有する超分子型不斉触媒の創製
科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型)

33. 逢坂 直樹：協奏的な不斉情報伝達と階層的な不斉増幅を利用したキラル超分子の創製と応用
科学研究費補助金 若手研究(B)
34. 田浦 大輔：二重らせん構造を基盤とする超分子不斉触媒の創製と応用
学術研究助成基金助成金 若手研究(B)
35. 馬場嘉信：進化を超える極微量物質の超迅速他項目センシングシステム
内閣府・革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)
36. 馬場嘉信：iPS 細胞分化・がん化の量子スイッチング in vivo Theranostics
JST「再生医療実現拠点ネットワークプログラム」『技術開発個別課題』
37. 馬場嘉信：がん超早期診断・予防のためのがん特異的エクソソーム超高精度解析デバイス
文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(A)
38. 馬場嘉信：体液中マイクロ RNA 検出のための基礎技術開発
経済産業省・NEDO 最先端の次世代がん診断システム
39. 馬場嘉信：がん病態環境の分子夾雑マッピングデバイス
新学術領域研究（研究領域提案型）
40. 馬場嘉信：人がつながる “移動” イノベーション拠点
プログラム文部科学省「革新的イノベーション創出プログラム (COI STREAM)」
41. 馬場嘉信：
知の拠点あいちプロジェクト M「モノづくりを支える先進材料・加工技術開発プロジェクト・シンクロトロン光活用技術分野
シンクロトロン次世代ナノ・マイクロ加工技術の開発
42. 馬場嘉信：
分子・合成プラットフォーム
文部科学省 ナノテクノロジープラットフォーム
43. 鳥本 司：半導体ナノフォトダイオード粒子による高効率光エネルギー変換

文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(B)

44. 鳥本 司：量子ドットの非線形光応答を用いる新規電気化学反応系の開拓
文部科学省科学研究費補助金 新学術領域（研究領域提案型）
45. 鳥本 司：光圧で拓く：多粒子相互作用の選択的制御による構造と現象の創造
文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究（分担）
46. 渡邊信久：X線構造解析法によるタンパク質構造解析（RT と NACME 誘導体とのX線
共結晶構造解析）
AMED 感染症実用化研究事業エイズ対策実用化事業（分担）
47. 渡邊信久：生殖をモデルとした植物ホルモン機能拡張
科学研究費補助金 新学術領域（分担）
48. 阿波賀邦夫：強相関分子系の新しい有機エレクトロニクス
J S P S 研究拠点形成事業 A.先端拠点形成型
49. 阿波賀邦夫：微粒子がつくる固液界面を利用した蓄電機能と光電子機能
旭硝子財団ステップアップ助成
50. 阿波賀邦夫：K4 分子結晶化学の構築
科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究
51. 阿波賀邦夫：固体電気化学プロセスから発現する新しいエネルギー及び情報変換
科学研究費補助金 基盤研究 S
52. 松下未知雄：有機ラジカルのスピンの基づく単一分子スピントロニクス
科学研究費補助金 新学術領域研究
53. 伊藤正行 多軌道電子系における遍歴と局在の狭間に現れる新奇量子相の探究
科学研究費補助金 基盤研究 B
54. 伊藤正行 励起子絶縁体の検証と探索
科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究

55. 永野修作：自由界面のトリガー効果に基づく高分子膜の増幅的変換プロセスの創出
文部科学省科学研究費補助金 基盤研究 (S) (分担)

56. 永野修作：高分子ナノ組織体に形成される 2 次元ナノ空間場を用いた超イオン伝導材料の創製
文部科学省科学研究費補助金 基盤研究 (B) (分担)

57. 永野修作：液晶性ブロックコポリマーを利用した分子配向材料の研究
民間との共同研究

58. 永野修作：液晶配向膜に関する研究
民間との共同研究

10. 特許
(Patents)

1. 発明者：原田俊太, 宇治原徹, 畑佐豪記, 村山健太
発明の名称：炭化ケイ素単結晶の製造方法
出願番号：2017-140932
2. 発明者：宇治原徹, 竹内幸久, 鈴木一徳
発明の名称：AIN の製造方法
出願番号：PCT/JP2018/003731
3. 発明者：宇治原徹, 原田俊太, 村山健太, 黒岩丈晴, 田中貴規, 古庄智明
発明の名称：炭化珪素基板, 炭化珪素基板の製造方法, および炭化珪素半導体装置の製造方法
出願番号：PCT/JP2018/005948
4. 発明者：宇治原徹, 原田俊太, 朱燦, 長岡美津也
発明の名称：結晶製造装置
特許番号：特願 6122265
5. 発明者：宇治原徹, 桑原真人, 原田俊太, 志村大樹, 市橋史朗
発明の名称：太陽光で励起された電子のエネルギーの測定方法と測定装置
特許番号：特願 9671356
6. 発明者：宇治原徹, 柴田顕次
発明の名称：化合物半導体結晶の製造方法
特許番号：特願 6207014
7. 発明者：桑原真人, 田中信夫, 宇治原徹, 齋藤晃
発明の名称：スピン偏極電子線のコヒーレンス測定装置と, その利用方法
特許番号：特願 6245715
8. 発明者：宇治原徹, 原田俊太, 古池大輝, 梅崎智典
発明の名称：炭化ケイ素の結晶の製造方法及び結晶製造装置
特許番号：特願 6259740
9. 発明者：桑原真人, 田中信夫, 宇治原徹, 齋藤晃
発明の名称：スピン偏極電子線のコヒーレンス測定装置と, その利用方法
特許番号：特願 9881767

10. 発明者：橋本 剛，橋本 悟，齋藤弥八，入田 賢
発明の名称：電界放出装置
出願番号：特願 2017-037698 （平成 29 年 2 月 28 日）

11. 発明者：筒井真楠，横田一道，谷口正輝，川合知二，大河内美奈，田中祐圭，馬場嘉信，
加地範匡，安井隆雄，宮原裕二，堀口諭吉
発明の名称：生体物質検出用デバイス，生体物質検出用検出装置，イオン電流の測定方
法，及び，生体物質の識別方法
出願番号：PCT/JP2017/016041 （2017 年 04 月 21 日）

12. 発明者：矢崎啓寿，安井隆雄，加地範匡，馬場嘉信，川合知二，川野聡恭，土井謙太郎，
柳田剛，福山真央
発明等の名称：サンプルの分析方法，及びサンプル分析用デバイス
出願番号：PCT/JP2017/036124 （2017 年 10 月 4 日）

13. 発明者：馬場嘉信
発明の名称：細胞外微粒子捕捉用フィルター部材，細胞外微粒子捕捉用キット，および
細胞外微粒子捕捉方法
出願番号：特願 2018-016739 （2018 年 02 月 01 日）

14. 発明者：阿波賀邦夫，張中岳，WU，Yang，上村光浩，小川光輝
発明の名称：正極活物質，正極，及び二次電池
国際出願番号：「特許 PCT/JP2017/039932」

その他

1 件 岸田研究室

2 件 上垣外研究室

11. VBL 関連講座の博士・修士論文リスト
(List of Doctor and Master-Degree Theses)

11.1 博士論文

1. 王 辰星 (工学研究科 量子工学専攻)
「アルゴン雰囲気中 SiC(0001)熱分解法によるエピタキシャルグラフェン成長とその酸素エッチングに関する研究」
2. 臼杵 直也 (工学研究科、化学・生物工学専攻)
「Synthesis of Special Shaped Poly(methyl Methacrylate) via Halogenation of Growing Terminal in Stereospecific Living Anionic Polymerization (立体特異性リビングアニオン重合の生長末端ハロゲン化を用いたメタクリル酸メチルの特殊構造ポリマーの合成)」
3. 矢崎 啓寿 (大学院工学研究科 化学・生物工学専攻)
「Nanofluidic Device for Analysis of Single DNA Molecules and Single Cells」
4. 水野 麻人 (理学研究科 物質理学専攻 (化学系))
「3D Crystal Structures and Solid-State Properties of Polyhedral π -Conjugated Organic Radicals (立体 π 共役有機ラジカルの三次元結晶構造と固体物性)」
5. 李 尚 (理学研究科 物質理学専攻 (物理系))
「励起子絶縁体 Ta₂NiSe₅ および擬ギャップ系 Ru_{1-x}Rh_xP における電子物性の研究」
6. 豊田 真幸 (理学研究科 物質理学専攻 (物理系))
「核磁気共鳴法を用いた鉄系超伝導体の電子ネマティックゆらぎとその秩序についての研究」

11.2 修士論文

1. 市橋 史朗（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「負の電子親和性表面を用いた伝導キャリアの角度分解光電子分光手法の開発」
2. 井上 明人（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「可視光励起光電子分光による GaN の伝導帯バンド分散の評価」
3. 小久保 信彦（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「ラマン分光法と機械学習による GaN 単結晶中の貫通転位のひずみ場解析」
4. 齋藤 廣志（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「気相法により合成した AlN ウィスカー成長過程の観察」
5. 鷺見 隼人（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「DNA 修飾ナノ粒子を用いた 3 次元超格子の構造安定性の解明」
6. 畑佐 豪記（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「SiC 溶液成長における機械学習を用いた溶液温度・流速分布の可視化」
7. 藤榮 文博（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「X 線トポグラフィー高温その場観察による SiC 積層欠陥ダイナミクスの解明」
8. 劉 欣博（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「4H-SiC 溶液法 C 面成長における貫通転位変換へのステップ構造の影響」
9. 内山 晴貴（工学研究科 電子情報システム専攻）
「ダイヤモンド中の窒素-空孔中心の光検出磁気共鳴測定を用いた電子デバイスの動作解析に関する研究」
10. 岡村 卓弥（工学研究科 電子情報システム専攻）
「フィールドプレート構造の導入によるダイヤモンド電界効果型トランジスタの高耐圧化に関する研究」
11. 曾田 充俊（工学研究科 電子情報システム専攻）
「カーボンナノチューブ透明電極の AlGaIn 深紫外 LED への応用に関する研究」

12. 長谷川 加奈 (工学研究科 電子情報システム専攻)
「カーボンナノチューブ薄膜トランジスタのバイオセンサ応用に関する研究」
13. 松浦 智紀 (工学研究科 電子情報システム専攻)
「フレキシブル基板上カーボンナノチューブアナログ集積回路の設計と作製に関する研究」
14. Tan Fu-Wen (Graduate School of Engineering, Department of Electrical Engineering, Automotive Engineering Graduate Program)
「High Yield Fabrication of N-type Carbon Nanotube Thin-film Transistors on Flexible Plastic Substrate」
15. 川居 宥斗 (工学研究科 量子工学専攻)
「カーボンナノチューブに内包された CsI の透過電子顕微鏡による構造評価」
16. 神村 直輝 (工学研究科 量子工学専攻)
「高電流密度電界放出型カーボンナノチューブ面電子源の作製と評価」
17. 西川 耕史 (工学研究科 量子工学専攻)
「TEM その場観察法による通電中におけるカーボンナノチューブの構造変化と発光に関する研究」
18. 星野 徹 (工学研究科 量子工学専攻)
「電界放出および電界イオン顕微鏡法を用いたグラフェンエッジの研究」
19. 堀部 真史 (工学研究科 量子工学専攻)
「in-situ SEM/STM を用いた SiC 熱分解グラフェンナノリボンの作製と電気伝導特性の評価」
20. 山崎 慎太郎 (工学研究科 量子工学専攻)
「カーボンナノチューブの卓上型電界放出走査電子顕微鏡及び X 線顕微鏡への応用」
21. 渡邊 雄大 (工学研究科 量子工学専攻)
「多層グラフェンエッジからの電子放出に及ぼす雰囲気ガスの効果」

22. 今枝 寛雄 (工学研究科 マテリアル理工学専攻)
「時間分解発光分光法による SiC 基板上単層グラフェンの光キャリア緩和に関する研究」
23. 豊島 靖一郎 (工学研究科 マテリアル理工学専攻)
「二量体三角格子物質 κ -(BEDT-TTF) $2B(CN)_4$ の振動分光学的研究」
24. 茂木 健太郎 (工学研究科 マテリアル理工学専攻)
「共役系高分子 PBTBT の注入電荷に関する光学的研究」
25. 横山 嵩弘 (工学研究科 マテリアル理工学専攻)
「単層カーボンナノチューブにおける第三高調波発生過程の研究」
26. 大角 昌弘 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「ジチオールとジビニルエーテルの逐次カチオン/ラジカル重合系の開発」
27. 起貞吾 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「グリセロールから誘導される exo-メチレン環状カーボネートの合成と制御ラジカル重合および共重合」
28. 長井 智成 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「植物由来サビネンの制御カチオン重合およびラジカル共重合」
29. 西田 竹徳 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「テルペン類より誘導される種々の exo-メチレン型脂環式共役ジエンのリビングカチオン重合」
30. 藤木 佑真 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「種々のビニルエステルとビニルエーテルのラジカル/カチオン相互変換重合」
31. 宮島 雅斗 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「ビニルモノマーの 1 分子ラジカル付加とメタセシス反応を組み合わせた配列制御高分子の合成」
32. 岩田 拓也 (工学研究科 物質制御工学専攻)
「新規なロジウム二核錯体を用いた光学活性超分子ポリマーの合成と構造」

33. 上田 真之 (工学研究科 物質制御工学専攻)
「金属および有機分子触媒部位を導入した光学活性二重らせんヘリケートの合成と不斉反応への応用」
34. 川端 賢 (工学研究科 物質制御工学専攻)
「金属配位能を有するらせん高分子の構造変換とその超分子重合」
35. 堀本 尚路 (工学研究科 物質制御工学専攻)
「2,6-置換アントラセンリンカーを導入したカルボン酸二量体の合成と不斉選択的光二量化反応」
36. 横田 千聖 (工学研究科 物質制御工学専攻)
「側鎖にポリエチレングリコール鎖を有するポリ (ビフェニルイルアセチレン) 誘導体の合成とらせん構造制御」
37. 石川 広弥 (大学院工学研究科 化学・生物工学専攻)
「細胞セイラート中の肺癌ドライバー遺伝子変異タンパク質検出デバイス」
38. 久保山 大貴 (大学院工学研究科 化学・生物工学専攻)
「膜分離デバイスによる血中循環がん細胞の単一細胞捕捉・解析法の構築」
39. 小林 香央里 (大学院工学研究科 化学・生物工学専攻)
「蛍光ナノダイヤモンドによる幹細胞量子センシング」
40. 中村 宥太 (大学院工学研究科 化学・生物工学専攻)
「酸化ナノワイヤによる細胞外小胞体の選択的分離と機能解析」
41. 中村公亮 (大学院工学研究科 化学・生物工学専攻)
「がん幹細胞ピックアップ解析に向けたマイクロポアフィルム細胞アレデバイスの開発」
42. 熊澤 栄作 (工学研究科 結晶材料工学専攻)
「Ag系固溶体量子ドットを増感剤とする太陽電池の作製と高効率化」
43. 小林 裕 (工学研究科 結晶材料工学専攻)

「固溶体ナノ粒子を前駆体とする ZnTe-AgInTe₂ 薄膜の作製と光電気化学特性」

44. 小山 晟矢 (工学研究科 結晶材料工学専攻)
「ダンベル型構造を持つ ZnS-AgInS₂ 固溶体ナノ粒子の作製と光触媒活性」
45. 佐藤 健太郎 (工学研究科 結晶材料工学専攻)
「八面体構造を持つ金コア-白金シェルナノ粒子の作製と電極触媒特性に及ぼすプラズモン励起効果」
46. 高瀬 駿 (工学研究科 結晶材料工学専攻)
「イオン液体/金属スパッタリングにより作製した白金-希土類金属ナノ粒子の電極触媒活性」
47. 濱田 隆志 (工学研究科 結晶材料工学専攻)
「イオン液体/金属逐次スパッタによる AuRh 複合ナノ粒子膜の作製と酸素還元活性評価」
48. 都築 伸弥 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「HIV-1 アクセサリータンパク質 Vif の構造学的意義の探索に関する研究」
49. 堀場 絵梨子 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「タンパク質の溶液構造モデリングおよび放射光施設での小角散乱の測定解析の行えるプログラムの開発」
50. 戸塚 知秀 (理学研究科 物質理学専攻 (化学系))
「ナフトロシアニンの配向制御並びに同構造を活用した光電変換デバイス」
51. 殿内 大輝 (理学研究科 物質理学専攻 (化学系))
「電流による有機結晶の相転移制御」
52. 平井 裕多 (理学研究科 物質理学専攻 (化学系))
「知アジアぞーる化合物の還元によるアニオンラジカル塩の作成と物性評価」
53. 山本 祥平 (理学研究科 物質理学専攻 (化学系))
「MOF のナノ空間に誘起されるホスト-ゲスト間の電荷移動現象」

54. 今井 祐太 (理学研究科 物質理学専攻 (物理系))
「軌道自由度を持つ遷移金属化合物における多量体形成構造の解明」
55. 稲富 健太 (理学研究科 物質理学専攻 (物理系))
「チタンオキシニクタイト $\text{BaTi}_2\text{Pn}_2\text{O}$ (Pn = As, Sb, Bi)における超伝導相に隣接した低温秩序相の電子状態」
56. 佐野 裕明 (理学研究科 物質理学専攻 (物理系))
「NMR でみた $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ におけるスピンプーラロンの物性」
57. 長井 優弥 (理学研究科 物質理学専攻 (物理系))
「Kitaev スピン液体候補物質 $\alpha\text{-RuCl}_3$ における磁場誘起相転移」
58. 大塚 祐実 (工学研究科 物質制御工学専攻)
「ランダムプレーナー配向性を示す光応答性液晶高分子の設計と有機-無機ハイブリッドミクロ相分離構造の光配向への展開」
59. 北村 一晟 (工学研究科 物質制御工学専攻)
「微細インクジェット法にて構築した異種高分子界面での光誘起クレーターパターン形成」
60. 加藤 圭祐 (工学研究科 化学・生物工学専攻)
「光誘起物質移動における薄膜表面の影響」
61. 永井 美帆 (工学研究科 物質制御工学専攻)
「有機無機ハイブリッド型ヘテロスメクチックラメラ構造の液晶性と光配向制御」

12. その他

(Misc.)

12.1 受賞リスト

1. 受賞者名：畑佐 豪記（工学研究科 マテリアル理工学専攻 宇治原研）
賞名：第40回結晶成長討論会 優秀ポスター賞
授賞団体名：日本結晶成長学会
受賞日：2017年9月1日
2. 受賞者名：石川 晃平（工学研究科 マテリアル理工学専攻 宇治原研）
賞名：日本金属学会第29回 優秀ポスター賞
授賞団体名：日本金属学会
受賞日：2017年9月17日
3. 受賞者名：藤榮 文博（工学研究科 マテリアル理工学専攻 宇治原研）
賞名：ICSCRM2017 Student Poster Award
授賞団体名：ICSCRM2017
受賞日：2017年9月22日
4. 受賞者名：畑佐 豪記（工学研究科 マテリアル理工学専攻 宇治原研）
賞名：博士課程教育リーディングプログラム フォーラム 2017 "Students Award"
授賞団体名：博士課程教育リーディングプログラム フォーラム
受賞日：2017年10月20日
5. 受賞者名：小久保 信彦（工学研究科 マテリアル理工学専攻 宇治原研）
賞名：先進パワー半導体分科会 第4回講演会「研究奨励賞」
授賞団体名：先進パワー半導体分科会
受賞日：2017年11月2日
6. 受賞者名：畑佐 豪記（工学研究科 マテリアル理工学専攻 宇治原研）
賞名：日本結晶成長学会 「講演奨励賞」
授賞団体名：日本結晶成長学会
受賞日：2017年12月25日

7. 受賞者名：Yuto Nakamura, Hideo Kishida（工学研究科 応用物理学専攻）
賞名：BCSJ Award Article
題目：Design and Preparation of a Quantum Spin Liquid Candidate κ -(ET)₂Ag₂(CN)₃ Having a Nearby Superconductivity (*Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **90** (9), 2017, 1073-1082.)
授賞団体名：The Chemical Society of Japan
受賞日：2017年9月15日

8. 受賞者名：西田竹徳（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：ICBP 2017 Silver Medal Award for Best Poster
題目：Cationic Polymerization of Alicyclic Conjugated Dienes with a Reactive exo-Methylene Group Derived from Natural α,β -Unsaturated Carbonyl Compounds
授賞団体名：The 6th International Conference on Bio-based Polymers (ICBP 2017)
受賞日：2017年5月17日

9. 受賞者名：竹嶋久晶（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：ICBP 2017 Bronze Medal Award for Best Poster
題目：Synthesis of Catechol-Containing Vinyl Polymers via Living Radical Polymerization of Vinylcatechol Derivatives from Natural Resources
授賞団体名：The 6th International Conference on Bio-based Polymers (ICBP 2017)
受賞日：2017年5月17日

10. 受賞者名：内山峰人（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
賞名：GSC ポスター賞
題目：可逆的連鎖移動機構によるメタルフリーのリビングカチオン重合系の開発
授賞団体名：第6回 JACI/GSC シンポジウム
受賞日：2017年7月4日

11. 受賞者名：竹嶋久晶（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：Best Poster Award
題目：Living Radical Polymerization of Renewable Styrene Derivatives from Natural Resources
授賞団体名：Kick-off Symposium "Japan-South-East Asia Collaboration Hub of Bioplastics Study"
受賞日：2017年8月1日

12. 受賞者名：起貞吾（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：東賞海高分子研究会学生研究奨励賞
題目：グリセロールから誘導される *exo*-メチレン環状カーボネートの RAFT 重合および共重合
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会 東海支部
受賞日：2017年9月2日

13. 受賞者名：宮島雅斗（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：東海高分子研究会学生研究奨励賞
題目：ビニルモノマーのラジカル一分子付加とメタセシス反応を組み合わせた配列制御高分子の合成
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会 東海支部
受賞日：2017年9月2日

14. 受賞者名：伊藤 渚（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：高分子学会優秀ポスター賞
題目：光制御カチオン/ラジカル相互変換重合による制御架橋ポリマーの合成
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2017年9月22日

15. 受賞者名：田中良樹（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：第7回 CSJ 化学フェスタ 2017 優秀ポスター発表賞
題目：一分子ラジカル付加とチオール-エン重付加を組み合わせた新規配列制御高分子の合成
授賞団体名：公益社団法人 日本化学会
受賞日：2017年11月13日

16. 受賞者名：長井智成（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：東海高分子優秀学生発表賞
題目：植物由来サビネンの制御カチオン重合およびラジカル共重合
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会 東海支部
受賞日：2017年12月4日

17. 受賞者名：西田竹徳（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：東海高分子優秀学生発表賞
題目：テルペン類より誘導される種々の exo-メチレン型脂環式共役ジエンのリビングカチオン重合
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会 東海支部
受賞日：2017年12月4日

18. 受賞者名：宮島雅斗（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：PPC-15 Best Poster Award
題目：Synthesis of Sequence-Regulated Polymers via Atom Transfer Radical Addition of Vinyl Monomer Combined with Metathesis Polymerizations
授賞団体名：Pacific Polymer Federation
受賞日：2017年12月13日

19. 受賞者名：西田竹徳（工学研究科 化学・生物工学専攻 上垣外研）
賞名：応化会賞
授賞団体名：名大応化会
受賞日：2018年3月26日

20. 受賞者名：八島 栄次（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
賞名：平成29年春の褒章、紫綬褒章
授賞団体名：内閣総理大臣・安倍 晋三、内閣府賞勲局長・幸田 徳之
受賞日：2017年4月29日

21. 受賞者名：石立 涼馬（工学研究科 物質制御工学専攻 八島研）
賞名：第25回ポリマー材料フォーラム、優秀発表賞
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2017年5月30日

22. 受賞者名：田浦 大輔（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
賞名：高分子研究奨励賞
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2017年5月30日

23. 受賞者名：石立 涼馬（工学研究科 物質制御工学専攻 八島研）
賞名：Poster Presentation Award
授賞団体名：The 29th International Symposium on Chirality (Chirality 2017, ISCD-29)
Toshikazu Takata (Chair) & Toru Asahi (Co-Chair)
受賞日：2017年7月12日
24. 受賞者名：川端 賢（工学研究科 物質制御工学専攻 八島研）
賞名：Poster Award
授賞団体名：The 3rd International Symposium on Center of Excellence for Innovative Material
Sciences Based on Supramolecules 金沢大学 超然プロジェクト プロジェクトリーダー
一・水野 元博
受賞日：2017年10月17日
25. 受賞者名：宇留嶋 彬央（工学研究科 物質制御工学専攻 八島研）
賞名：Poster Award
授賞団体名：The 7th TOYOTA RIKEN International Workshop on Chirality in Soft Matter,
Hideo Takezoe (Chair)
受賞日：2017年11月26日
26. 受賞者名：川端 賢（工学研究科 物質制御工学専攻 八島研）
賞名：Poster Award
授賞団体名：The 7th TOYOTA RIKEN International Workshop on Chirality in Soft Matter,
Hideo Takezoe (Chair)
受賞日：2017年11月26日
27. 受賞者名：宇留嶋 彬央（工学研究科 物質制御工学専攻 八島研）
賞名：IGER Annual meeting 2017 Poster Award
授賞団体名：名古屋大学 博士課程教育リーディングプログラムグリーン自然科学国際
教育研究プログラム
受賞日：2018年1月10日
28. 受賞者名：小野島 大介（未来社会創造機構）
賞名：Lecture Award
授賞団体名：International Symposium on Pure & Applied Chemistry (ISPAC) 2017
受賞日：2017年8月6日

29. 受賞者名：小野島 大介（未来社会創造機構）
賞名：ベストプレゼンター賞
授賞団体名：第1回 COI 若手研究者アイデアソン合宿 in 仙台
受賞日：2017年8月6日
30. 受賞者名：小野島 大介（未来社会創造機構）
賞名：COI2021 表彰特別賞
授賞団体名：第3回 COI2021 会議 プレゼンテーション
受賞日：2017年11月22日
31. 受賞者名：安井 隆雄（工学研究科 生命分子工学専攻）
賞名：永井財団 学術賞
授賞団体名：永井科学技術財団
受賞日：2018年3月6日
32. 受賞者名：小山 晟矢（工学研究科 結晶材料工学専攻 鳥本研）
賞名：Best Poster Award
題目：Synthesis and photocatalytic activity of dumbbell-shaped ZnS-AgInS₂ nanoparticles
授賞団体名：The 6th Hsinchu Summer Course and Workshop
受賞日：2017年7月5日
33. 受賞者名：山内 弘樹（工学研究科 応用物質化学専攻 鳥本研）
賞名：電気化学会九州支部・東海支部合同シンポジウムポスター発表賞
題目：粒子組成の制御による I-III-VI 族半導体ナノ粒子の発光ピークの先鋭化
授賞団体名：電気化学会九州支部・東海支部
受賞日：2017年9月15日
34. 受賞者名：亀山 達矢（工学研究科 応用物質化学専攻）
賞名：電気化学会進歩賞（佐野賞）
題目：高度な光利用を可能にする低毒性半導体量子ドットの開発に関する研究
授賞団体名：電気化学会
受賞日：2018年3月10日

35. 受賞者名：小山 晟矢（工学研究科 結晶材料工学専攻 鳥本研）
賞名：日本化学会東海支部長賞
題名：ダンベル型構造を持つ ZnS-AgInS₂ 固溶体ナノ粒子の作製と光触媒活性
受賞団体名：日本化学会東海支部
受賞日：2018 年 3 月 26 日
36. 受賞者名：殿内 大輝（理学研究科 物質理学専攻（化学系） 阿波賀研）
賞名：優秀ポスター賞
受賞団体名：第 11 回分子科学討論会
受賞日：2017 年 11 月 1 日
37. 受賞者名：水野 麻人（理学研究科 物質理学専攻（化学系） 阿波賀研）
賞名：Poster Award
受賞団体名：IGER Annual Meeting 2017
受賞日：2018 年 1 月 10 日
38. 受賞者名：殿内 大輝（理学研究科 物質理学専攻（化学系） 阿波賀研）
賞名：東海支部長賞
受賞団体名：日本化学会東海支部
受賞日：2018 年 3 月 26 日
39. 受賞者名：山本 祥平（理学研究科 物質理学専攻（化学系） 阿波賀研）
賞名：優秀学位論文賞
受賞日：2018 年 3 月 26 日
40. 受賞者名：向井 孝次（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
賞名：物質制御工学総合プロジェクト（第 21 回中間発表会）最優秀賞
受賞団体名：物質制御工学専攻
受賞日：2017 年 6 月 17 日
41. 受賞者名：北村 一晟（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
賞名：物質制御工学総合プロジェクト（第 21 回中間発表会）最優秀賞
受賞団体名：物質制御工学専攻
受賞日：2017 年 6 月 17 日

42. 受賞者名：向井 孝次（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
賞名：優秀ポスター発表賞
題目：脱濡れした液晶性ブロック共重合体が形成する高密度ポリマーブラシパターン
表面の構築
受賞団体名：第 21 回液晶化学研究会シンポジウム
受賞日：2017 年 7 月 8 日
43. 受賞者名：北村 一晟（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
賞名：ADMD 2017 Poster Award
題目：Photoinduced mass transfer triggered by the surface tension difference on
photoresponsive liquid crystalline polymer films
受賞団体名：21th International Symposium on Advanced Display Materials and Devices
(ADMD 2017)
受賞日：2017 年 7 月 25 日
44. 受賞者名：北村 一晟（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
賞名：M&BE9 Best Poster Award
題目：Photoinduced mass transfer driven by the surface tension difference on photoresponsive
liquid crystalline polymer films
授賞団体名：応用物理学会 有機エレクトロニクス・バイオエレクトロニクス分科会
受賞日：2017 年 6 月 27 日
45. 受賞者：北村 一晟（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
賞名：2017 年日本液晶学会 若葉賞
題目：光応答性高分子液晶薄膜上のヘテロ界面による表面誘起光物質移動現象
授賞団体名：一般社団法人 液晶学会
受賞日：2017 年 9 月 14 日
46. 受賞者：永井 美帆（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
賞名：2017 年日本液晶学会 若葉賞
題目：スメクチック液晶側鎖とかご型シロキサン側鎖を持つランダム共重合体の特異
なラメラ構造と光配向制御
授賞団体名：一般社団法人 液晶学会
受賞日：2017 年 9 月 14 日

47. 受賞者：今西 亮太（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
受賞名：第 66 回高分子討論会 優秀ポスター賞
題目：配向性の異なるメソゲンの共重合化による光応答性液晶高分子の配向制御
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2017 年 9 月 29 日
48. 受賞者：加藤 圭祐（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
受賞名：第 66 回高分子討論会 優秀ポスター賞
題目：表面偏析した光応答層から伝搬する光誘起物質移動
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2017 年 9 月 29 日
49. 受賞者：末次 輝太（工学研究科 物質制御工学専攻 関研）
受賞名：第 66 回高分子討論会 優秀ポスター賞
題目：再沈法を用いた P3HT ナノ粒子の調製とアクセプター分子との複合膜の形成
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2017 年 9 月 29 日
50. 受賞者名：永野 修作（ベンチャービジネスラボラトリー）
賞名：2017 年度高分子学会日立化成賞
題目：高分子液晶材料の界面および光を利用した配向制御手法の開発
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2017 年 9 月 21 日

12.2 報道リスト

1. 宇治原 徹 (未来材料システム研究所)
掲載新聞名：読売新聞
掲載日時：2017年7月14日(金)
記事タイトル：産学連携金融機関が橋渡し
2. 宇治原 徹 (未来材料システム研究所)
掲載新聞名：日本経済新聞
掲載日時：2017年10月13日(金)
記事タイトル：半導体合成 AIで解析 名大、新素材の開発速める
3. 宇治原 徹 (未来材料システム研究所)
掲載新聞名：朝日新聞
掲載日時：2017年12月1日(金)
記事タイトル：プロジェクションマッピング先端研究に次々
4. 宇治原 徹 (未来材料システム研究所)
掲載新聞名：日刊工業新聞
掲載日時：2017年4月10日(火)
記事タイトル：加熱性高く加工容易
5. 大野 雄高 (未来材料システム研究所)
掲載新聞名：朝日新聞
掲載日：2017年8月6日朝刊6面
記事タイトル：先端人 | 電子部品薄く柔らかく
6. 馬場 嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)
掲載誌名：Biomedical Advances
掲載日：2017年7月27日
記事タイトル：Transduction Function of a Magnetic Nanoparticle TMADM for Stem-Cell Imaging with Quantum Dots

7. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：日経経済新聞
掲載日：2017年9月30日
記事タイトル：名大・九大・阪大など、様々なサイズの物質を1つの計測部で検出する検出システムを開発
8. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
放送：BS ジャパン 科学ミチル。世界は未知で満ちている
掲載日：2017年10月12日
記事タイトル：#028「分離する力が未来を変える！」
9. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：日刊工業新聞
掲載日：2017年10月20日
記事タイトル：名大、最高感度を実現、電気計測システム開発
10. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：科学新聞
掲載日：2017年10月13日
記事タイトル：世界最高感度 電気計測システム開発
11. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：朝日新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿でがん早期発見に道 名大・国立がんセンターなど装置開発
12. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：日本経済新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿で名大と九大など、尿中マイクロRNAから「癌」を特定する技術を発見・名大、がん診断に使う微小物質 1ミリリットルの尿から1000種類検出
13. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載誌名：CBC ニュース（YAHOO ニュース）
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿からがんを診断 名大が発表

14. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載誌名：日経デジタルヘルス
掲載日：2017年12月16日、
記事タイトル：尿1滴でがん診断”、マイクロRNAでの実現に道
15. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載誌名：共同通信
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種類のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
16. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：毎日新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：名古屋大 尿検査で5種類のがん発見 早期治療に期待
17. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：中日新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種類のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
18. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：佐賀新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種類のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
19. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：産経ニュース
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
20. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：東京新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大

21. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：京都新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
22. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：静岡新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
23. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：徳島新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
24. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：岐阜新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
25. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：沖縄タイムス
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
26. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：愛媛新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
27. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：神戸新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大

28. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：福島民友
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
29. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：南日本新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
30. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：高知新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
31. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：山陰中央新報
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
32. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：北海道新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
33. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：西日本新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
34. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：秋田魁新報
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大

35. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：河北新報
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
36. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：上毛新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
37. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：デイリースポーツ
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種類のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
38. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：デイリー東北
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種類のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
39. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：北日本新聞
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：尿検査で5種類のがん発見 早期治療に期待、名古屋大
40. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：産経 WEST
掲載日：2017年12月16日
記事タイトル：健診の尿検査でがん発見 早期治療へ名大が10年後実用化
41. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：京都新聞
掲載日：2017年12月12日
記事タイトル：研究題目：近赤外-II 蛍光イメージングによるエクソソーム生体内挙動解析技術の築

42. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載誌名：日経バイオテク
掲載日：2017年12月19日
記事タイトル：国立大学法人名古屋大学、尿中マイクロRNAから「癌」を特定！
43. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載誌名：日経バイオテク
掲載日：2017年12月19日
記事タイトル：名古屋大馬場教授、尿中の極微量マイクロRNAを1000種以上発見 ナノワイヤ活用で高効率回収、尿で癌診断の実現に前進
44. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：読売新聞
掲載日：2017年12月19日
記事タイトル：尿検査で肺がんなど判定も…物質特定技術開発
45. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：日刊工業新聞
掲載日：2017年12月21日
記事タイトル：名大、尿1ミリリットルでがん特定
46. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載新聞名：日本経済新聞
掲載日：2017年12月18日
記事タイトル：尿から微小物質1000種類 名大が検出 がん早期発見に期待
47. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
掲載誌名：Resarch
掲載日：2017年12月25日
記事タイトル：Development of a Nanowire Device to Detect Cancer with a Urine Test
48. 馬場 嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
日掲載新聞名：日刊工業新聞
掲載日：2017年9月14日
記事タイトル：旭硝子/名大 がん診断用ガラスデバイス 微細な穴から細胞捕集