

名古屋大学VBL 平成30年度 VBL活動成果報告書

平成31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30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31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30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31年3月



第22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

宇治原 徹

名古屋大学 VBL は、約 20 年前の設立当初から「高次機能ナノプロセス技術に関する研究」を通じ、モノづくりを主体とした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成果を挙げて参りました。

モノづくりにおける新産業創出には、言うまでもなく科学技術の基盤が不可欠です。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、本年度より、文部科学省・日本学術振興会「卓越大学院プログラム」に採択された本学の「未来エレクトロニクス創成加速 DII 協働大学院プログラム」に協力し、より一層のイノベーションに関わる人材の育成を目指します。また、従来からの文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム事業」への貢献により、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も継続し、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、その連携や融合に推進しております。これらを通じ、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30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	25
2.2	VBLセミナー	27
2.3	講義	36
2.4	講習会	40
2.5	刊行物	42
3	VBLの研究活動	
3.1	研究成果の概要	59
3.2	非常勤研究員の活動	73
4	VBLで過ごした日々	85
5	事業委員会及び専門委員会の活動	
5.1	事業委員会	93
5.2	研究推進専門委員会	95
5.3	研究企画専門委員会	96
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	97
6.2	名古屋大学における支援	97
6.3	VBLにおける支援	97
6.4	支援実績	97
6.5	利用者リスト	98
6.6	利用報告	101
7	他機関との交流	165
8	発表論文リスト	
8.1	原著論文	173
8.2	総説	186
8.3	著書	188
9	研究助成金リスト	189
10	特許	197
11	VBL関連講座の博士・修士論文リスト	
11.1	博士論文	201
11.2	修士論文	202
12	その他	
12.1	受賞リスト	207
12.2	新聞等報道リスト	216

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。

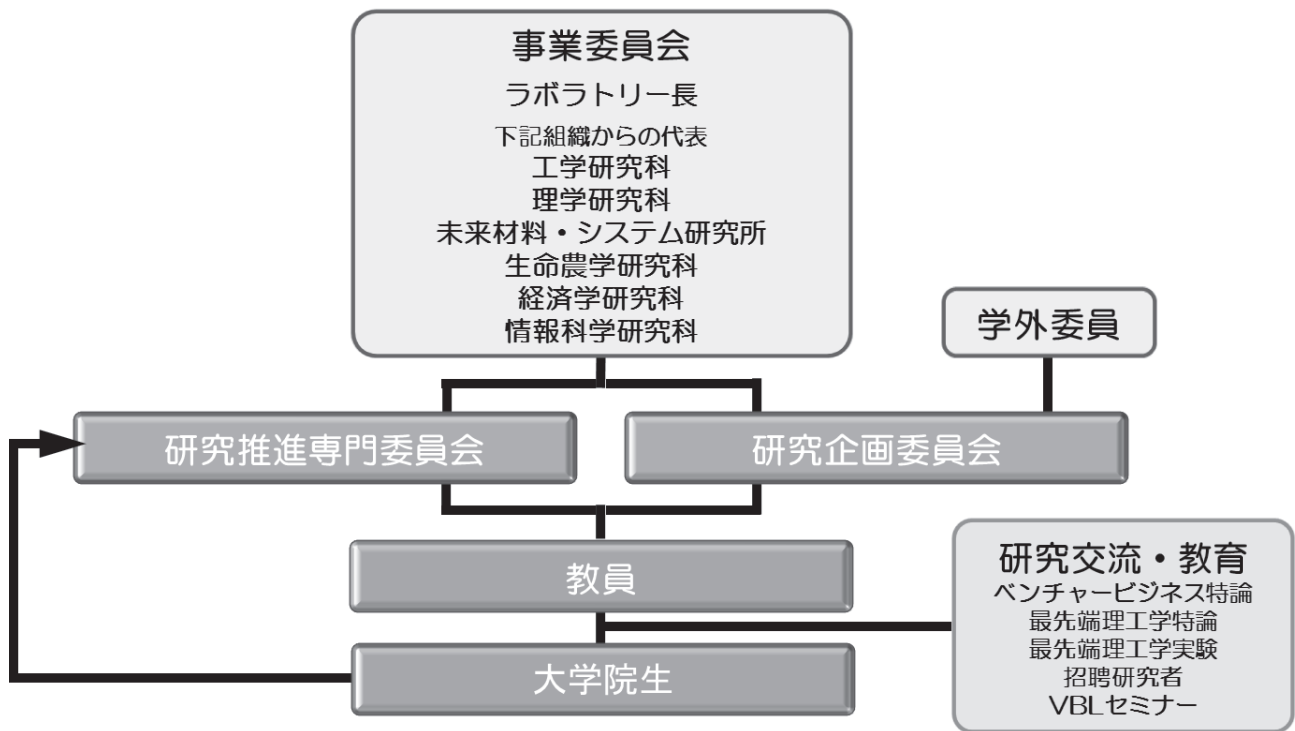
このためにも、国内外の研究者を招へいし、また、名古屋大学からは若手の研究者を海外に派遣し、研究交流と共同研究を積極的に行っている。

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	未来材料・システム研究所教 授
宇治原 徹	VBL専任 准教授
永野修作	VBL専任 助 教
岸本 茂	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
横倉 聖也	VBL専任 非常勤研究員
中山 勝利	VBL専任 非常勤研究員
土肥 侑也	VBL専任 非常勤研究員
鳴海 大翔	VBL専任 非常勤研究員
市橋 史朗	VBL専任 非常勤研究員
Dennis Christy Peter Raj	VBL専任 非常勤研究員
Nico Alexander Gaida	VBL専任 非常勤研究員

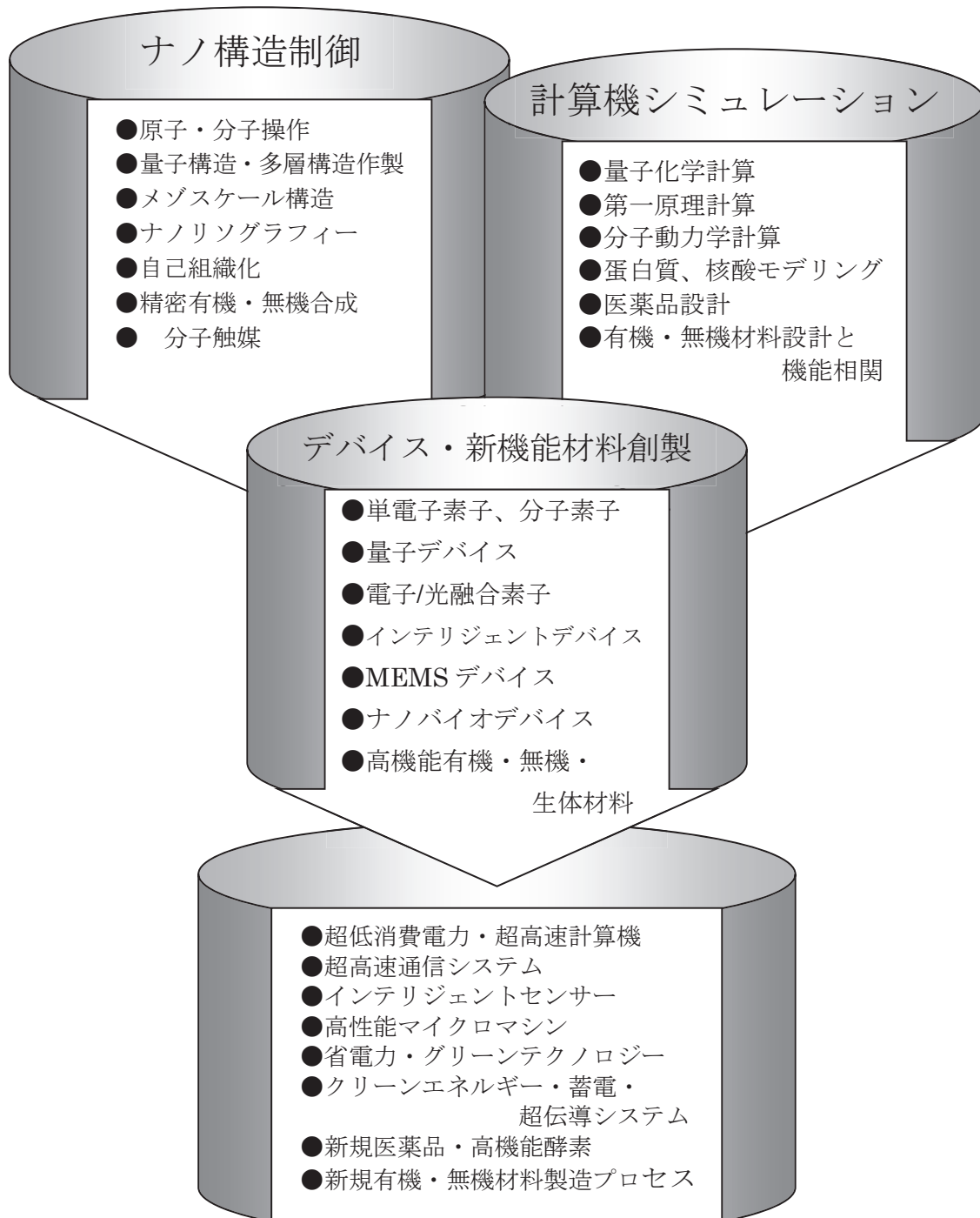
関連教員

大野雄高	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
鳥本 司	工学研究科	教授
岸田英夫	工学研究科	教授
竹延大志	工学研究科	教授
天野 浩	未来材料・システム研究所	教授
馬場嘉信	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
田淵雅夫	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

宇治原 徹	未来材料・システム研究所	教授
大野 雄高	未来材料・システム研究所	教授
岸田 英夫	工学研究科	教授
竹延 大志	工学研究科	教授
天野 浩	未来材料・システム研究所	教授
堀 勝	工学研究科	教授
田淵 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タ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

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るよう、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を目的としている)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 AlGaN 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、AlGaN や InGaN 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

渡邊 信久	シンクロトロン光研究センター	教授
鳥本 司	工学研究科	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
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、ポラ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_{++} 対称性の間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マイ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。

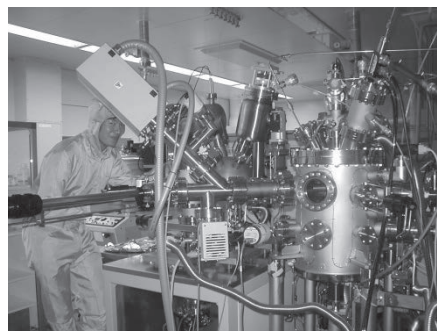
(d) 液晶性高分子薄膜の自由界面からの配向制御

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。

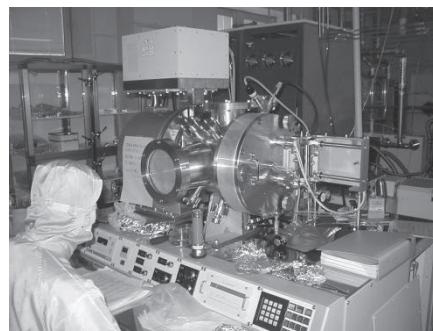
1.4 VBLの主要設備 (Research Facilities and Equipments)

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



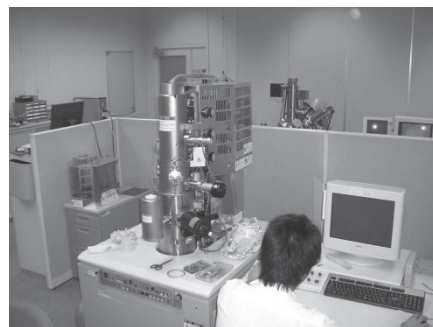
顕微ラマン分光測定装置



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

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。

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22回VBLシンポジウム (VBL Symposium)

2018年11月21日、22日にVBLベンチャーホールにて第22回VBLシンポジウム（主催：工学研究科・ベンチャービジネスラボラトリー、共催：公益財団法人日比科学技術振興財団）を、開催いたしました。今回は「光とナノ：ナノ材料と光の相互作用の理解と利用」をテーマに、関連する様々な分野の専門家に講演していただきました。

初日は、宇治原徹VBL長の開会あいさつに引き続き、名古屋大学大学院理学研究科教授（VBL研究推進専門委員会委員）阿波賀邦夫氏に「分極電流を利用した有機光電変換」、奈良先端科学技術大学教授 河合壯氏に「フォト・エレクトロクロミック分子の超連鎖反応が開く新機能」、名古屋大学大学院教授 西澤典彦氏に「CNTを用いた超短パルスファイバーレーザーの開発とバイオイメージングへの展開」、京都大学化学研究所教授 寺西利治氏に「ナノ結晶の特異構造がもたらす高効率光エネルギー変換特性」、名古屋大学大学院教授 浅沼浩之氏に「DNA二重鎖のナノフォトニクスへの応用」についてご講演いただきました。

二日目は、名古屋大学大学院准教授 小山剛史氏に「発光で観るグラフェンにおける光キャリアの振る舞い」、物質・材料研究機構グループリーダー 宮崎英樹氏に「光をあやつる人工ナノ構造ーフォトニック結晶からメタマテリアルまでー」、横浜国立大学大学院工学研究院教授 武田淳氏に「テラヘルツ近接場によるサブサイクル電子マニピュレーション」についてご講演いただきました。

化学、物理、エレクトロニクス、材料などの多方面から「光とナノ」について、ハイレベルかつ最先端の研究内容をわかりやすくご紹介いただき、充実した議論が行うことができました。また、本シンポジウムは大学院講義「最先端理工学特論」の一環として位置づけられており、学生を含め80名の参加がありました。



第22回VBL シンポジウムの講師と講演風景

第 22 回 VBL シンポジウムプログラム

主題：「第 22 回 VBL シンポジウム “光とナノ：ナノ材料と光の相互作用の理解と利用”」

趣旨：配線や電極などを用いず、非接触操作にてエネルギー授受や変換を行うことができる光プロセスは、ナノ材料との融合により様々な産業への展開が期待され、化学、物理、生物、医療、エネルギーまでにおよぶ幅広い分野にて重要な研究領域となっています。本シンポジウムでは、“光”と“ナノ”をキーワードに著名な講師から、新光材料・デバイス、生体応用、光エネルギー変換、光エネルギー貯蔵などの最先端の研究内容のご紹介をいただきます。学生および専門外の研究者のにも理解できるよう、講師の先生には光化学・物理の基礎からその応用までのかみ砕いたご講演をお願いしております。本シンポジウムにて様々な研究分野の交流および融合を目指し、ナノ材料の光の相互作用の産業への応用とビジネス展開を含め、学び、考え、議論する機会を提供できれば幸いです。

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 30 年 11 月 21 日(水) 13:00～17:50

- | | |
|-------------|---|
| 13:00-13:05 | 開会挨拶 宇治原 徹 (VBL 長) |
| 13:05-13:50 | 阿波賀邦夫 (名大) 「分極電流を利用した有機光電変換」 |
| 13:50-14:50 | 河合 壯 (奈良先端科大) 「フォト・エレクトロクロミック分子の超連鎖反応が開く新機能」 |
| 15:05-15:50 | 西澤典彦 (名大) 「CNT を用いた超短パルスファイバーレーザーコムの開発とバイオイメージングへの展開」 |
| 15:50-16:50 | 寺西利治 (京大) 「ナノ結晶の特異構造がもたらす高効率光エネルギー変換特性」 |
| 17:05-17:50 | 浅沼浩之 (名大) 「DNA 二重鎖のナノフォトニクスへの応用」 |

平成 29 年 11 月 22 日(木) 9:00～12:05

- | | |
|-------------|---|
| 9:00-9:45 | 小山剛史 (名大) 「発光で観るグラフェンにおける光キャリアの振る舞い」 |
| 9:45-10:45 | 宮崎英樹 (物材機構) 「光をあやつる人工ナノ構造ーフォトニック結晶からメタマテリアルまでー」 |
| 11:00-12:00 | 武田 淳 (横国大) 「テラヘルツ近接場によるサブサイクル電子マニピュレーション」 |
| 12:00-12:05 | 閉会挨拶 岸田英夫 (名大) |

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 30 年度第 1 回 VBL セミナー

日時：平成 30 年 7 月 18 日 (水) 13 時 30 分～15 時 00 分

場所：工学研究科 1 号館 4 階 144 講義室

講師：Pierre Mobian 特任准教授 (University of Strasbourg, フランス)
(VBL 客員准教授)

題目：Colored Titanium Oxo-Clusters

要旨：

Titanium dioxide (TiO_2) is a cheap non-toxic semiconductor, which elicits a major interest for applications in photocatalytic water splitting,¹ photocatalytic degradation of pollutants² or solar energy conversion.³ However, TiO_2 mainly absorbs the UV light due to its high band gap (3.2 eV). Therefore, to develop more practical TiO_2 -based photo-active materials, the researches are focused on materials that can absorb light in the visible domain. Titanium oxo-clusters⁴ are fascinating models of the bulk TiO_2 , and the intensive researches are devoted to the synthesis of polyoxotitanium complexes absorbing light in the visible region. In that context, we will describe our approach leading to an unprecedented family of colored oxoclusters formed by a $\text{Ti}_{10}\text{O}_{12}$ inorganic core that is decorated by eight catecholato ligands and eight labile substituted pyridine ligands.⁵ The compound formulated as $\text{Ti}_{10}\text{O}_{12}(\text{cat})_8(\text{py})_8$ (py: pyridine; cat: catecholato) is an efficient nano-building block to generate colored hybrid materials in the presence of poly(4-vinylpyridine). The homogeneity of the resulting material and the functionalization of surfaces with oxocluster-based thin films will also be presented.

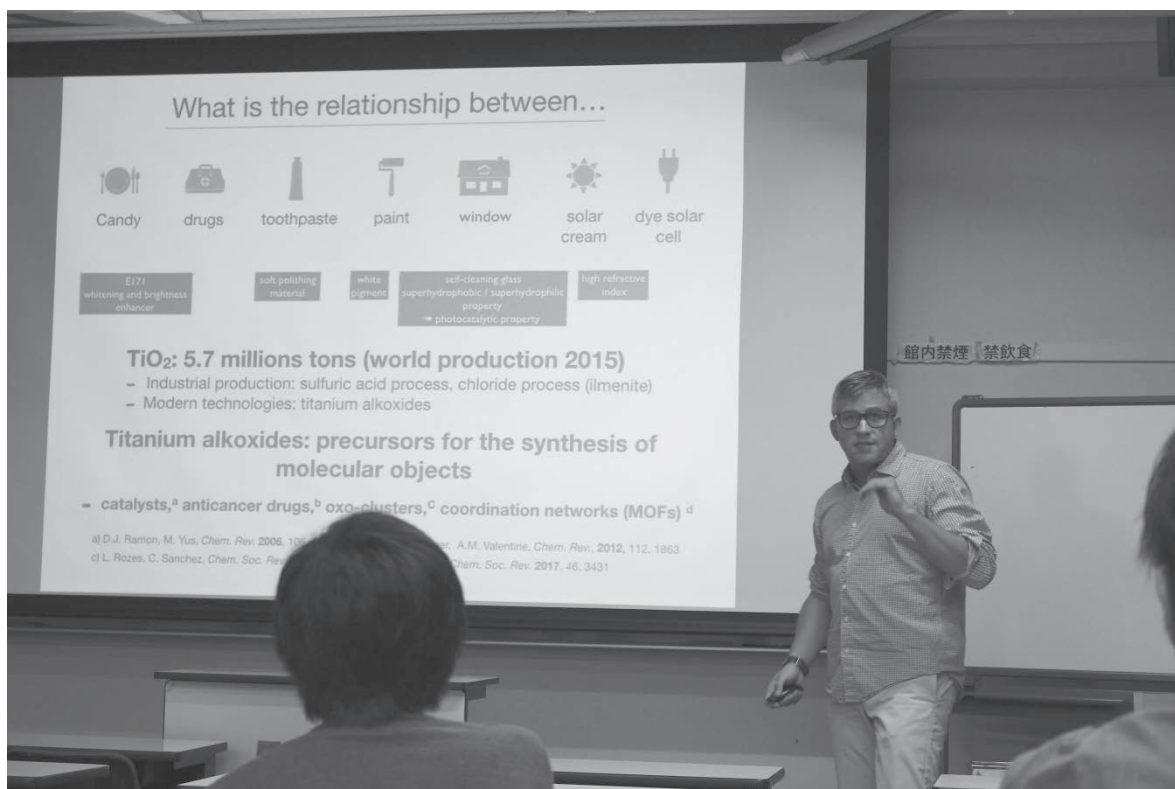
References

(1) A. Fujishima, K. Honda, *Nature* **1972**, 238, 37. (2) (a) A. L. Linsebigler, G. Lu, J. T. Yates, *Chem. Rev.* **2009**, 109, 735. (b) S. Josset, N. Keller, M.-C. Lett, V. Keller, *Chem. Soc. Rev.* **2008**, 37, 744. (3) M. Gratzel, *Inorg. Chem.* **2005**, 44, 6841. (4) L. Rozes, C. Sanchez, *Chem. Soc. Rev.* **2011**, 40, 1006. (5) (a) C. Chaumont, P. Mobian, M. Henry, *Dalton Trans.* **2014**, 43, 3416. (b) C. Chaumont, A. Chaumont, N. Kyritsakas, P. Mobian, M. Henry, *Dalton Trans.* **2016**, 45, 8760.

開催報告：

VBL外国人招へい研究者（VBL客員准教授）としてお招きした、Pierre Mobian准教授（University of Strasbourg, フランス）による標記セミナーが7月18日（水）午後1時半から3時まで工学研究科1号館144講義室にて開催されました。講演題目は「Colored Titanium Oxo-Clusters」であり、二酸化チタン（TiO₂）光触媒の話から、Jean-Pierre Sauvage教授（2016年ノーベル化学賞受賞者）のもとで培った超分子化学の知識と技術を最大限に活用して、Mobian准教授が独自に研究されてきた、チタン（Ti(IV))を用いた様々の超分子・ヘリケート・オキソクラスターの合成や機能など、最新の研究成果について分かりやすく講演していただきました。当日は、多くの聴衆にお集りいただき、教員のみならず、学生からの質問も多数あり、活発な議論が交わされる有意義なセミナーとなりました。

八島 栄次（工学研究科 有機・高分子化学専攻）



写真： Pierre Mobian 博士による講演風景

平成 30 年度第 2 回 VBL セミナー

日時：平成30年7月31日（火）16時00分～17時30分

場所：ITbM 1階レクチャールーム

講師：Jerome Lacour 特任教授 (University of Geneva, スイス)
(VBL 客員教授)

題目：From Cationic Helical Derivatives to Metal-Free and Metal-Bound Ylide Chemistry

要旨：

Carbenes are electrically neutral low-valent forms of carbon that are highly reactive when substituted with strong electron-withdrawing groups. These electrophilic species react well with Lewis bases to generate ylide intermediates. We demonstrated the chemical structure and reactivity of oxonium, ammonium, and carbonyl ylides.¹⁻⁴ A large array of original transformations and structures are generated in a single step. Triaryl-substituted carbenium ions (carbocations) are important building blocks, readily prepared from simple precursors and presenting a large panel of tunable geometrical, chemical and physical properties. We developed short and highly modular syntheses and the use of functionalized triangulenes, [4]helicenes, and [6]helicenes.⁵⁻¹⁰ In particular, the helicene derivatives present helical geometries with very high barriers of racemization between enantiomers. The chemical, (chir)optical, and photophysical properties are characterized and applied to questions in chemistry, biology, and physics.

References

(1) *Angew. Chem., Int. Ed.* **2016**, *55*, 13775. (2) *Synthesis* **2016**, *48*, 3254. (3) *ACS Catal.* **2016**, *6*, 4877. (4) *Org. Lett.* **2016**, *18*, 240. (5) *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 18394. (6) *Org. Biomol. Chem.* **2016**, *14*, 4590. (7) *Chem. Sci.* **2016**, *7*, 4685. (8) *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 1752. (9) *Adv. Mater.* **2016**, *28*, 1957. (10) *Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 19243.

開催報告：

VBL 外国人招へい研究者 (VBL 客員教授) としてお招きした、Jérôme Lacour 教授 (University of Geneva, スイス) による標記セミナーが 7 月 31 日 (火) 午後 4 時から 5 時半まで ITbM 1 階 レクチャールームにて開催されました。講演題目は「From Cationic Helical Derivatives to Metal-Free and Metal-Bound Ylide Chemistry」であり、有機合成化学を基軸として、Lacour 教授が独自に研究されてきた、様々の機能性分

子、特に、イリド化学に基づく特異なヘテロサイクル・マクロサイクルやカチオン性ヘリセン誘導体の合成から光学特性などの機能にいたるまで、最新の研究成果について分かりやすく講演していただきました。当日は、50名を超える聴衆にお集りいただき、教員のみならず、学生からの質問も多数あり、活発な議論が交わされる有意義なセミナーとなりました。

八島 栄次（工学研究科 有機・高分子化学専攻）



写真：Jerome Lacour 博士による講演風景

平成 30 年度第 3 回 VBL セミナー

日時：平成30年11月12日（月）13時00分～14時30分

場所：工学部1号館4階141講義室

講師：Cyrille Boyer 特任教授（University of New South Wales（豪州））
（VBL 客員教授）

題目：Precision Polymer Synthesis Using Visible Light

要旨：

In the last 10 years, visible-light-regulated polymerization has generated lot of interests, as it confers a range of new opportunities for the synthesis of functional polymers and materials. These polymerizations are usually controlled using a photoredox catalyst (molecule which can absorb light and performs redox reactions). Under light, these catalysts can transfer an electron or energy and then catalyze chemical reactions. Such catalysts have been successfully employed in organic synthesis as well as polymer synthesis. The first example in polymer synthesis was reported by Fors and Hawker for an atom transfer radical polymerization. Inspired by this work, we have implemented these catalysts in reversible addition-fragmentation chain-transfer polymerization, named photoinduced electron/energy transfer – reversible addition fragmentation chain transfer (PET-RAFT) polymerization. In the last five years, we have developed a range of photocatalysts able to activate PET-RAFT polymerization under various conditions. The recent development has solved important challenges in polymer chemistry, such as the development of oxygen-tolerant polymerization, polymerization mediated by near-infrared, metal-free polymerization, and spatial-, temporal- and sequence- controlled polymerization as well as allowed the synthesis of complex materials.

開催報告：

VBL 外国人研究員(名古屋大学特任教授)として招へいた University of New South Wales (豪州) の Cyrille Boyer 教授により、「Precision Polymer Synthesis Using Visible Light」と題した標記セミナーが、平成 30 年 11 月 12 日、13 時 00 分から 14 時 30 分まで工学部 1 号館 141 講義室にて開催されました。

Boyer 教授らは、近年、紫外から近赤外領域に渡る幅広い波長の光に対して、さまざまな光レドックス触媒を用いることで、ラジカル重合における重合反応制御とそれを用いた精密高分子合成、さらにバイオ材料への応用で顕著な成果をあげておられます。

本講演では、光化学、光ドックス触媒、リビングラジカル重合のわかりやすい導入から始まり、ラジカル重合反応制御に関して、波長による反応制御に加え、立体構造制御、シーケンス制御への展開、さらには、酸素存在下での重合制御、フローや微量システムの開発など、多岐に渡る最新の研究成果を講演頂きました。27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、LEDを用いた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：Cyrille Boyer 博士による講演風景

平成 30 年度第 4 回 VBL セミナー

日時：平成30年11月26（月） 16時00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

16:00～17:00

講師：S. Suturin 特任教授（ヨッフエ物理工学研究所 シニア研究員（ロシア））

（VBL客員教授）

題目： Peculiarities of composition and magnetization depth profiles in epitaxial yttrium iron garnet films studied by x-ray and neutron reflectometry

平成 30 年度第 5 回 VBL セミナー

日時：平成30年11月27日（火）15時00分～16時30分

場所：工学部1号館144講義室

講師：Rodolfo Morales Ibarra特任准教授（Universidad Autónoma de Nuevo León（メキシコ））
（VBL客員准教授）

題目：Graphene Exfoliation from Graphite by Supercritical Water and other Supercritical Fluids

要旨：

Graphene is an unconventional material with a two-dimensional hexagonal crystalline array of elemental carbon atoms and outstanding properties; accordingly, a desirable objective in the line of research of graphene is the development of novel and more productive methods of synthesis, validating its properties and applications. In our exploratory research we have effectively exfoliated graphene from graphite using supercritical fluids (water, ethanol and carbon dioxide). The exfoliated graphene was properly characterized; via scanning electron microscopy the morphology of graphene was observed; transmission electron microscopy analysis exhibited the crystalline structure of graphene attesting also the expected transparency of exfoliated layers; the Raman spectra confirmed the exfoliation of graphene depicting the characteristic shift towards smaller Raman number in the 2D band (2676 cm^{-1}) compared to that of graphite. Graphene exfoliation from graphite by supercritical fluids promises to be a simple and large-scale method for graphene production.

Keywords: Graphene; Exfoliation; Supercritical Water; Supercritical Fluids

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30年11月27日（火）15時00分から16時30分まで工学部1号館144講義室で開催された。IBARRA Rodolfo Morales 准教授はVBL 招聘外国人研究員（客員准教授）として9月3日

から11月30日までの約3カ月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、「Graphene Exfoliation from Graphite by Supercritical Water and other Supercritical Fluids」というタイトルで、超臨界水およびその他の超臨界流体によるグラファイトからグラフェンナノシートの剥離に関する講演が行われた。

グラフェンについての基礎的事項とグラフェン調製法ならびに解析法についての説明の後に、主に名古屋大学において行った超臨界流体を用いたグラフェン調製の研究について詳しく紹介された。特に、超臨界流体を利用した材料プロセッシングは本報告者と IBARRA 准教授が数年来共同研究を行ってきたもので、それを応用したグラフェンの調製の研究は今後の展開が期待される手法である。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。メキシコの Universidad Autónoma de Nuevo León と名古屋大学は昨年から交流協定を結んでおり、本セミナーにより学生を含めた交流が一層活発になることに期待したい。

後藤 元信（工学研究科 物質プロセス工学専攻）



写真：Rodolfo Morales Ibarra 博士による講演風景

2.3 VBL講義（VBL Lectures and Experiments）

ベンチャービジネス特論 I

「日本ではスタートアップが育たない」とよく言われますが、この原因の一部は、欧米の研究者や大学生との意識の差に起因すると考えられます。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、スタートアップを励ます講義を長年行っております。講義の中で、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し、「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持つように意識し、大学の研究をベースにしたスタートアップを考える場を提供しております。

2018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、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。本年度は、東芝研究開発センターの柴田先生から、大企業が考える IoT とイノベーションのお話、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、青山学院大の渕先生、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、株式会社 WHILL の福岡先生の講義終了後）



写真： WHILL 福岡先生(右)の講義終了後

平成 30 年度 ベンチャービジネス特論 I

4/12(木)	イントロダクション	VBL 准教授	永野修作
4/26(木)	「ベンチャービジネスを始めるために」	学術研究・産学官連携 推進本部 教授	河野 廉
5/10(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
5/17(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
5/31(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
6/28(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	福岡 宗明
7/5(木)	「研究成果を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
7/12(木)	「IoT 時代を支える半導体デバイス・システム」	東芝研究開発センタ ー	柴田 英毅

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(ダッソー・システムズ社 BAIQVIA 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11名、ライフサイエンス分野3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、アッシング装置を使った誘導自己集合材料のナノパターンニングや高分子薄膜の構造解析を課題とし、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11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)、ナノプロセス分野の実験(右)

以下、成果発表のプログラム示します。

日時：平成30年12月11日（火）10:00～

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

10:05 「 α -アミラーゼ・ α -グルコシダーゼ阻害ペプチドの評価」

生命分子工学専攻 本多研究室 山下 春来

10:15 「結晶化に向けたタンパク質表面のアミノ酸置換による可溶性の変化」

生命分子工学専攻 構造生物工学研究室 伊藤 康平

10:25 「加圧によるトランスサイレチンの構造変化の追跡と構造安定性」

応用物質化学専攻 堤 慎太郎

10:35 「液晶・非液晶 高分子ポリマーブレンドの凝集状態評価」

有機・高分子化学専攻 関研究室 滝島 啓介

10:45 「1,5-水素移動を伴う配列制御ラジカル重合に向けた定序配列モノマーの反応性の評価」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 後藤 美咲

<休憩 10分>

11:05 「シリカ界面のポリマー鎖吸着の評価」

有機・高分子化学専攻 関研究室 三輪 英二

11:15 「桂皮酸誘導体と種々のビニルモノマーの付加方向の評価」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 杉原 静

11:25 「 MoP_2 のラマンスペクトルの計算と実測との比較」

物質化学専攻 長谷川研究室 松尾 拓

11:35 「Calculations and comments of cohesive energy density of the azobenzene polymer blend series」

有機・高分子化学専攻 関研究室 王 氷潔

11:45 「フルフラールから誘導されるバイオベースポリマーの立体配置の評価」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 横田 知瞭

<休憩 10分>

12:05 「連結順序の異なるトリブロックポリマーブレンドの凝集状態の評価」

有機・高分子化学専攻 関研究室 飯島 雄太

12:15 「Poly(BzF)の立体特異性評価」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 渡辺 大智

12:25 「温度応答性高分子と水分子の親和性評価」

有機・高分子化学専攻 関研究室 馬場 悠輔

12:35 「開環-モノマー付加-閉環を伴う植物由来サビネンの1:2ラジカル共重合」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 有津 拓

12:45 「液晶メソゲンを有するランダム共重合体を用いたリソグラフィの構築」

有機・高分子化学専攻 関研究室 東 瞭太

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7日(木)13時から開催,参加者数は、17研究室66名、教職員7名、学生59名であった。講師の本機関の岸本助教から支援装置の体制や使用法について説明があり、引き続き全学技術センター齋藤氏からクリーンルームへの入退出の仕方、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。VBLが定めているルールを厳守して、クリーンルーム環境の維持への協力をお願いした。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9日・10日の2日間に分けて行った(受講者12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の使用に関しては、後日、全学支援センターの齋藤氏が説明会を行った。



レーザーリソグラフィ利用者講習会

5月16、17日、6月6日の3回にわけて全学支援センターの齋藤氏の担当で行われ、7名の参加があった。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際に行い窒素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 45、46 号の発行を行った。

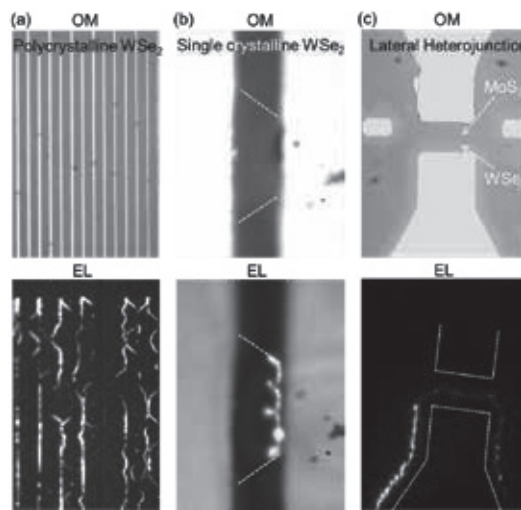
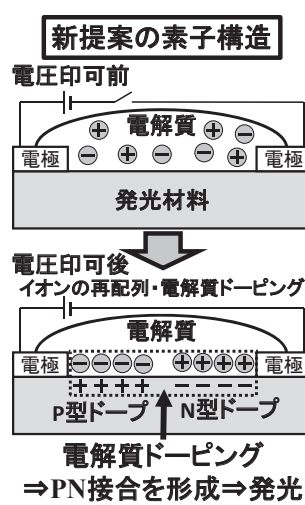


図1 (左) 新たに提案した発光素子の構造
図2 (右) 様々な原子層物質を用いた発光素子 (OM: 光学写真, EL: 発光時の写真)
(a) Polycrystalline WSe₂, (b) Single crystalline WSe₂,
(c) MoS₂/WSe₂ lateral heterojunction

CONTENTS

研究紹介(1) 次世代ナノピクセルディスプレイ用InGaNマルチカラーナノロッドLED	2
研究紹介(2) 原子層材料を用いた円偏光発光素子	3
研究成果報告(1) 人工核酸を利用したヘリシティ制御	4
研究成果報告(2) 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 摩擦帯電型発電シートの開発	5
研究成果報告(3) 接着タンパク質AtaAの接着メカニズム解明に向けて	6
名大祭参加報告	7
クリーンルーム利用者講習会報告	7
高解像度走査型電子顕微鏡(SEM)利用者講習会	7
レーザーリソグラフィ利用者講習会報告	7
エッチング装置利用者講習会	7
新研究員紹介	8

研究紹介(1)

次世代ナノピクセルディスプレイ用 InGaN マルチカラーナノロッド LED

未来材料・システム研究所 天野 浩

ブラウン管、液晶、有機 EL に次ぐ次世代のディスプレイとして、フル LED アレイディスプレイに期待が集まっている。カラーフィルタや偏光子を用いない真の自発光型のため、従来のディスプレイと比較して桁違いの効率向上による低消費電力動作が可能である。例えばスマホでは1週間以上充電する必要がなくなり、太陽電池だけでも駆動が可能になる。また航続距離の短い電気自動車も、バッテリーの心配なくカーナビを利用できるようになる。マイクロ LED をアレイにしたディスプレイは、既にソニー、および最近では Samsung がアナウンスを行っている。各ピクセルは三原色 LED で構成され、赤色は InGaP 系、緑色と青色は InGaN 系 LED が用いられている。この方式では、少数キャリア拡散長と LED チップ側面での非輻射再結合の影響で InGaP 系では $100 \mu\text{m}$ 角、InGaN 系では $10 \mu\text{m}$ 角以下になると発光効率が低下してしまい、ピクセルサイズの細かさには制限がある。また、何百万個ものマイクロ LED チップを配列するための低コスト化技術構築が課題である。

我々は InGaN 系ナノロッド成長技術を応用した InGaN マルチカラーナノロッド LED ディスプレイを提案している。図1に示すようにコアシェル型ナノロッドを用いるため、側面は p 型 GaN で覆われ、サブミクロンサイズでも高い効率が期待できる。また形状が (0001) 面、 $\{10\cdot11\}$ 面、 $\{10\cdot10\}$ 面で構成され、それぞれ In の取り込まれが異なるために、マルチカラー発光が可能となる。図2には発光スペクトルの電流依存性、及びそれぞれの発光ピーク強度の電流依存性を示す。今後、各発光色の独立制御プロセス技術の構築を目指す。これらの研究成果は、Nature のオンライン版 Scientific Reports にアップされた。

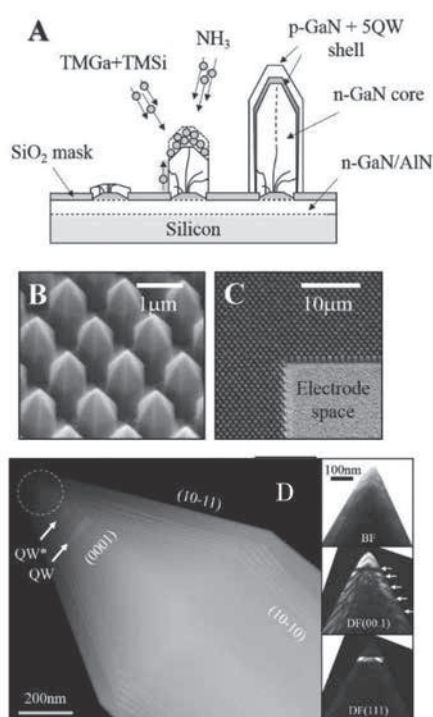


図1. A.MOVPE を用いたナノロッド成長概略
B. 及び
C. ナノロッドアレイ SEM 像
D. ナノロッド内透過電子顕微鏡写真

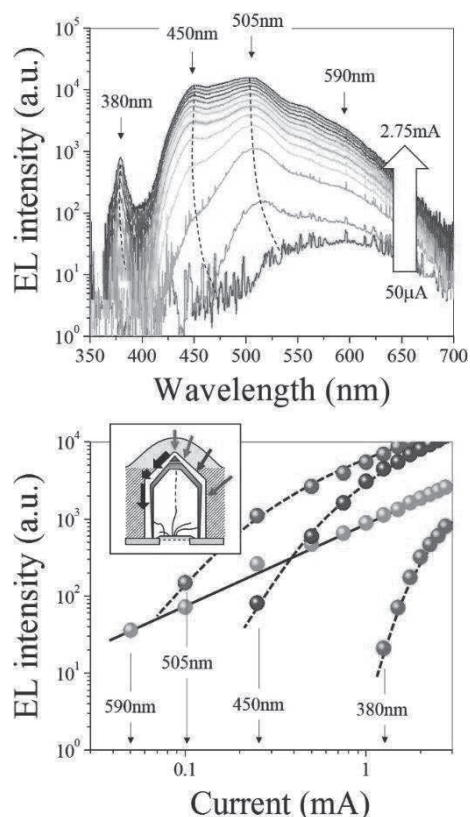


図2. 上: 発光スペクトルの電流依存性
下: 各発光ピーク強度の電流依存性

研究紹介(2)

原子層材料を用いた円偏光発光素子

工学研究科 応用物理学専攻 竹延 大志

2010年のノーベル物理学賞が Andre Geim と Konstantin Novoselov に贈られたことは記憶に新しい。彼らによるグラフェンの発見以来、層状物質の単層化は新しい物質群探索の強力な手法となり、近年では単層化させた層状物質を Atomically thin materials (原子層物質) と総称する。特に、原子層物質の中でも MoS_2 や WSe_2 に代表される遷移金属ダイカルコゲナイド単層膜が活発に研究されている。これらの物質は間接遷移型半導体であるが、単層化により層間相互作用が変化し、直接遷移型半導体となる。加えて、単層化により空間反転対象が破れ、トポロジカルな性質を有する。具体的には、空間反転対象の破れと遷移金属由来の強いスピン軌道相互作用の共存により Berry 位相が有限となる。その結果、構造的な chirality を持たないにも関わらず円偏光励起によるスピンの選択励起や円偏光発光を実現し、Valleytronics の舞台としても注目されている。

我々のグループでは、発光材料として極めて魅力的な遷移金属ダイカルコゲナイド単層膜を用いた円偏光発光素子作製に取り組んでいる。言うまでもなく、発光素子には pn 接合が不可欠であるが、これら単層膜における原子置換等を用いたキャリアドーピング方法は未だ確立されていない。そこで我々は、電解質が固体との界面に形成する電気二重層の有する巨大な静電容量に着目し、電界効果 (電解質ドーピング) による pn 接合の形成と発光実現を新たに提案した (図 1)。具体的には、電解質として有機高分子を用いてイオン液体をゲル化させたイオンゲルを用い、様々な材料への塗布と電圧印可を試みた。本手法は各種原子層物質に適用可能であり、図 2 に示すように明確な発光観測に成功した (図 2)。また、近年では円偏光発光の観測にも成功しており、今後は円偏光を用いた高度な発光素子実現が期待される。これらの研究成果は、*Adv. Mater.* **29**, 1606918 (2017)・*Adv. Funct. Mater.* **28**, 1706860 (2018)・*Adv. Mater.* **30**, 1707627 (2018) などに掲載された。

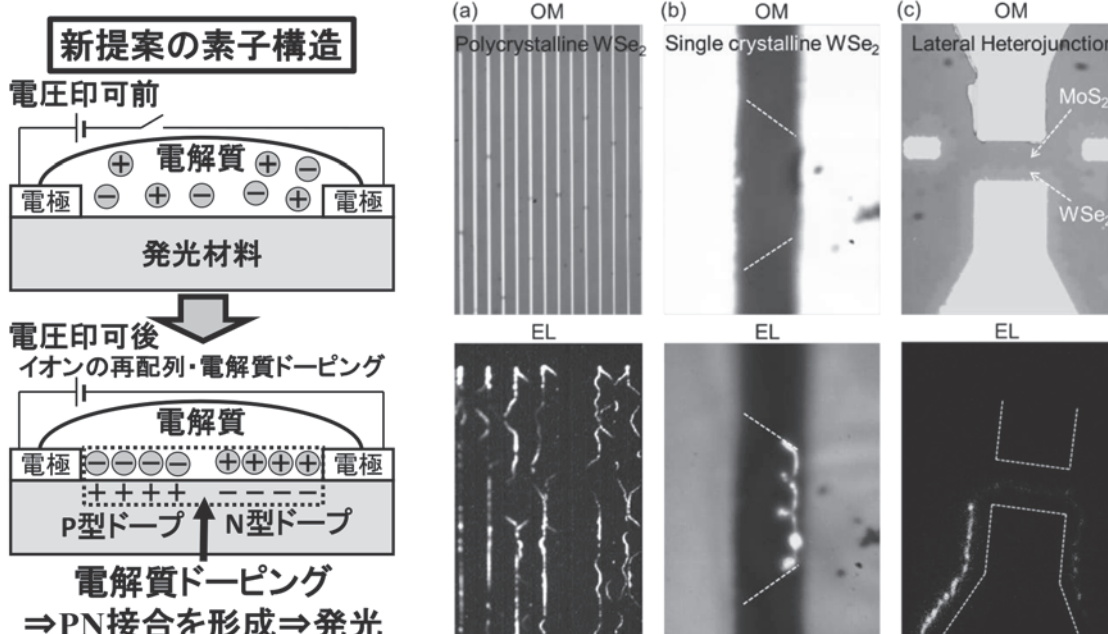


図 1 (左) 新たに提案した発光素子の構造

図 2 (右) 様々な原子層物質を用いた発光素子 (OM: 光学写真、EL: 発光時の写真)

(a) Polycrystalline WSe_2 , (b) Single crystalline WSe_2 , (c) $\text{MoS}_2/\text{WSe}_2$ lateral heterojunction

研究成果報告(1)

人工核酸を利用したヘリシティ制御

VBL非常勤研究員 有吉 純平

DNA や RNA などの天然型核酸は右巻きのねじれ (ヘリシティ) を有している。その為、天然型核酸で形成される二重鎖は全て右巻きの螺旋構造をとる。一方で、当研究室で開発された非環状型人工核酸 D-aTNA, L-aTNA はそれぞれ左巻き、右巻きのヘリシティを有している [1]。さらに、Serinol を原料とした非環状型人工核酸 SNA は骨格の自由度が高いため、相補鎖を形成する相手に合わせて自身のヘリシティを変化させるユニークな性質を有している [2]。そこで本研究では、非環状型核酸のヘリシティを自在に変化させることで、右巻きのヘリシティを有する天然型核酸に対する結合親和性を変化させる新規核酸分子の開発を目指した。

設計した核酸の配列を Table.1 に示す。SNA で構成される配列 a に対して、D-aTNA で構成される dT 配列を加えると、a/dT 二重鎖部分は左巻きの螺旋構造を形成する。そこに天然型 RNA である tr8 を添加した際の結合親和性を融解温度曲線から算出した T_m 値で評価した (Fig.1)。その結果、dT を添加しない場合と比較して T_m 値が 5.4 °C 低下した。これは、配列 a が dT によって左巻きのヘリシティを持った結果、右巻きのヘリシティを持つ tr8 との結合が構造的に不利になった為だと思われる。一方で、右巻きのヘリシティを有する L-aTNA で構成される IT 配列を配列 a に添加した場合、tr8 を加えると T_m 値が 7.3 °C 上昇した。これは、IT の右巻きのヘリシティが配列 a に伝播し、tr8 と配列 a の結合が構造的に有利になった為だと考えられる。次に、a/IT 二重鎖に対して 1.0 等量の tr8 を添加し、温度変化に伴う円偏光二色性 (CD) スペクトル測定を行った結果 (Fig.2-A)、いずれの温度においても 260 nm 付近に右巻きの螺旋構造に由来する正のコットン効果のみが観測された。一方で、a/dT 二重鎖に tr8 を添加した場合には (Fig.2-B)、80-30°C の範囲では 260 nm 付近に dT の左巻きの螺旋構造に由来する負のコットン効果が観測された後、20-0°C の範囲では右巻きの a/tr8 二重鎖に由来する正のコットン効果が現れた。これは 80-0°C に温度変化する過程で a/dT 二重鎖の左巻き螺旋構造が先に形成され、その後に a/tr8 の右巻きの螺旋構造が形成されていることを示唆している。以上の結果から、dT や IT のヘリシティの差異によって配列 a に対する tr8 の結合親和性を変化させることに成功した。今後は、ヘリシティの制御によって機能の on-off を制御する核酸分子 (etc. AMO) などへの応用を目指す。

[1] Murayama K., Kashida H., Asanuma H., Chem Commun, 2015, 51, 6500-6503.

[2] Kashida H., Murayama K., Toda T., Asanuma H., Angew Chem Int Ed Engl., 2011, 6, 1285-1288.

Table 1. Sequence of probes

a	(R)- D ATC GAA TAA CTA CAA C P-(S)
dT	1'- tga tgt tgP -3'
IT	3'- tga tgt tgP -1'
tr8	5'- Fua gcu uau-3'

ATGC: SNA, auge: RNA, atgc: D-aTNA, atgc: L-aTNA, D: DABCYL, F: FAM

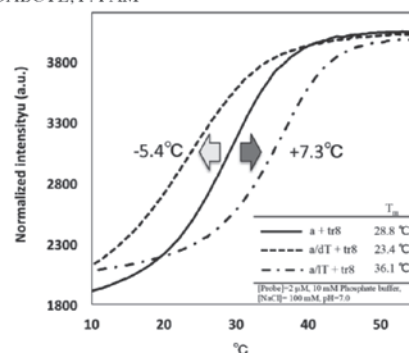


Fig.1 [Probe]=2 μ M, 10 mM Phosphate buffer, [NaCl]=100 mM, pH=7.0, Ex.=495 nm, Em.=520 nm.

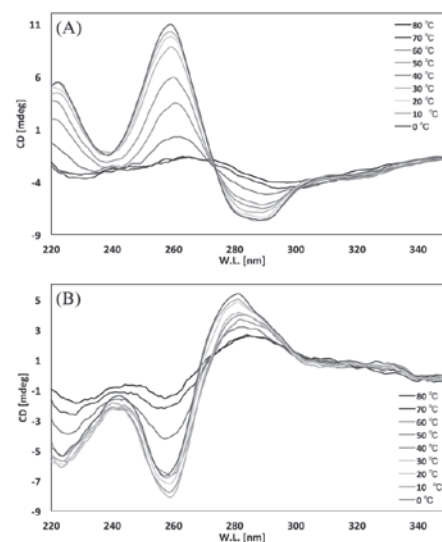


Fig.2 (A) a/IT + tr8 (B) a/dT + tr8. Conditions: [Probe]=2 μ M, 10 mM Phosphate buffer, [NaCl]=100 mM, pH=7.0, Ex.=495 nm, Em.=520 nm.

研究成果報告(2)

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型発電シートの開発

VBL非常勤研究員 松永 正広

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を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、微小なエネルギー（振動や熱など）から電力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が、近年、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、透明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。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。

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)。発電シートの大きさはおよそ $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ である。この発電シートの波長 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 CF_4 プラズマ処理を行い、表面電荷の増加を図った [2]。

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 3 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 $\sim 850\text{ V}$ ($1\text{ G} \Omega$)、 $\sim 48\text{ mA/m}^2$ ($10\text{ k} \Omega$) 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 の定電圧化も可能であることを確認した。

今後は実際に人の動作（肘や膝等の関節の動き）から発電が可能かどうか検証していく予定である。

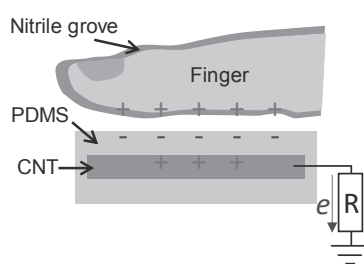


図 1.
摩擦帯電型発電シートの模式図.



図 2.
作製した摩擦帯電型発電シート.

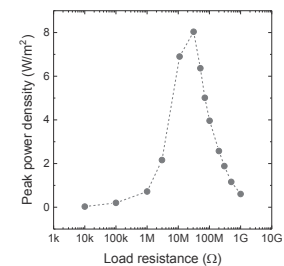


図 3. パワー密度.

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).

研究成果報告(3)

接着タンパク質 AtaA の接着メカニズム解明に向けて

VBL非常勤研究員 吉本 将悟

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でき、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。このような生物の水中接着機構は生物種によって様々であることから興味深く、また、バイオインスパイアード材料開発の観点からも注目されている¹。微生物の中で特に接着性の高いものとしてアシネトバクター属細菌 Tol 5 が知られている。Tol 5 は細胞表層に提示されたナノファイバータンパク質 AtaA を介して、疎水性のプラスチックから親水性のガラス、さらには金属まで様々な材料表面に対し接着できる²。AtaA の材料非特異的かつ迅速で高い接着性は水中接着材料として有望であるが、その接着機構はわかっていない。そこで本研究ではまず、AtaA を分離精製しその接着特性の解析を試みた。

AtaA の接着性を評価するため、以前確立した手法³で AtaA の接着性を担うパッセンジャードメイン (PSD) を精製した。この手法ではアミノ酸配列特異的にタンパク質を分解する酵素を用いることで、バクテリア細胞表層から AtaA の PSD のみを分離精製することができる (Fig. 1)。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. 2A)。塩濃度の上昇に伴って材料表面への接着量が増加していることから、AtaA の接着において静電的な引力はあまり重要でないと考えられる。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、塩を加えるとわずか数秒以内に接着が始まり 10 分後には多量の AtaA がセンサー表面に接着した (Fig. 2B)。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 の接着性を素早く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さえ接着してしまう AtaA の接着性を制御できることは、AtaA を接着材料として応用する上でも重要な知見となる。今後、溶媒条件を変えて接着性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。



Fig. 1 精製した AtaA PSD の透過型電子顕微鏡観察像. スケールバーは 50 nm. 文献 3 から転載.

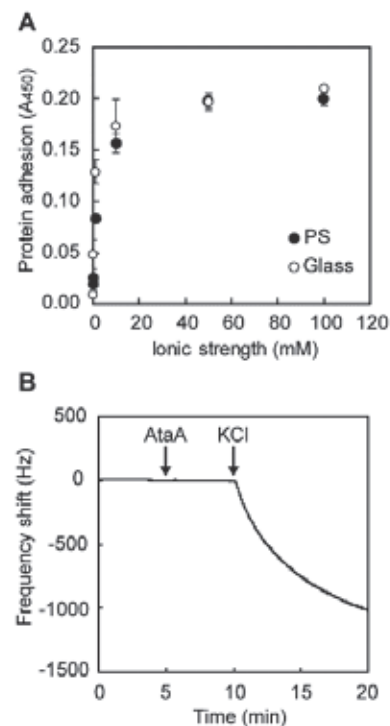


Fig. 2 (A) 各塩濃度条件におけるポリスチレン(PS)とガラスに対する AtaA の接着. (B) QCM センサーに対する AtaA の接着量変化. 文献 4 から転載.

参考文献

- [1] Zhao, Y. H. et al. Nat Commun 8 (2017)
- [2] Ishikawa, M. et al., PLoS One 7, e48830 (2012)
- [3] Yoshimoto S. et al., Sci Rep 6, 28020 (2016)
- [4] Yoshimoto S. et al., Microb Cell Fact 16, 123 (2017)

名大祭参加報告

本年度も名大祭のラボレクチャー企画に参加し、期間中の6月9日(土)および10日(日)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、VBLの研究テーマである高次ナノプロセスに関する研究紹介を行った後、クリーンルームに入室していただき、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、二日間にて32人の参加者があった。電子顕微鏡や蒸着装置の前では、青色LEDの様々な用途、GaN、有機半導体やリソグラフィーも含めた最近の研究の紹介を行った。クリーンルームでは、結晶成長や化合物半導体に関する説明を行った。エアシャワーや黄色い照明などを実際に体験していただき、電子機器や半導体に興味をもって頂ける催しであれば幸いである。



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7日(木)13時からベンチャー・ホールで開催した。参加者は17研究室66名で職員7名、学生59名であった。岸本助教から支援装置の体制や使用法について説明があり、引き続き技術支援センターの齋藤氏からクリーンルームへの入退出、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定めているルールを厳守し、クリーンルーム環境の維持に協力するよう説明があった。終了後、クリーンルーム前室で空気呼吸器の装着訓練を行った。



高解像度走査型電子顕微鏡 (SEM) 利用者講習会

S5200(日立ハイテック)利用講習会が5月9日と10日に分けて実施し、12名が受講した。本装置は利用度が高く、当講習会受講者のみ利用可能としている。付属のEDXの利用を希望する者には後日取扱説明を行うことにした。



レーザーリソグラフィ利用者講習会

5月16日・17日、6月6日の3回、13時30分から技術支援センターの齋藤氏が担当し7名が受講した。本装置も当講習会を受講しなければ直接利用できない。CADデータの変換と転送、ステージへの基板固定、描画ジョブの作成と実行、現像・エッチングなどの内容説明があった。

エッチング装置利用者講習会

RIEは5月23日、5名が受講。また、ICPは5月30日、2名の受講者で行われた。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。塩素ガスの危険性や取扱いについては、終了後は窒素置換を十分行うなど説明があった。

研究員紹介



今年度より VBL 非常勤研究員に着任しました土肥侑也と申します。現在、工学研究科有機・高分子化学専攻の松下裕秀教授の下で、アニオン重合により精密合成したブロック共重合体高分子のマイクロ相分離構造に関する研究に従事しております。特に、分子鎖の硬さに特徴を有する試料を用いて、従来報告されていないような特徴的な相分離構造の発現を目指しております。VBL 研究員として、自身の研究活動だけでなく、VBL の研究・教育活動にも貢献できるように努力して参ります。1 年間、どうぞ宜しくお願い申し上げます。

土肥 侑也



私は理学研究科、物質理学専攻の阿波賀邦夫教授のもと、強誘電体やイオン液体等の誘電体を用いた有機光電変換セルに関する研究を行っています。一般的な有機光電変換素子の動作機構は、素子内を一方方向に電流が流れるなど有機物の適した動作機構ではありません。我々は、素子内に絶縁体を挿入することで、変調光を交流電流に変換する光電セルを開発しました。現在、この光電セルの応答速度及び変換効率の向上を目指し、誘電材料や半導体材料を開発しつつ素子を改善しています。将来的に光情報通信に応用可能な高速応答光電変換セルの開発を目指しています。VBL 研究員として、研究、教育に幅広く貢献したいと考えております。どうぞよろしく願いいたします。

横倉 聖也



私は、マテリアル理工学専攻シンクロトン光応用工学研究グループの伊藤孝寛准教授のもとで超低エネルギー電子の角度分解光電子分光法 (ARPES) の開発を行っています。ARPES では観察できる波数空間を広げることが課題となっており、その方法の一つとして低エネルギー電子の測定があげられます。低エネルギー電子は装置内部の意図せぬ磁場や電場による影響を受けやすく、その運動量を正確に測定することが困難です。私は、平板メッシュを用いた装置内部の電場の制御に加え、運動量変化を制御した電子の加速による超低エネルギー電子の ARPES 測定の実現を目指しています。VBL 研究員として、研究活動、教育活動ともに精一杯努力いたします。よろしく願いいたします。

市橋 史朗



私は、未来材料・システム研究所宇治原徹教授の下、SiC 単結晶の溶液成長法の研究を行っています。SiC は省エネルギーパワーデバイスの基盤材料であり、サステナブル社会に必須の半導体材料です。高品質の SiC 単結晶を育成するには、空間的・時間的に分布をもつ高温溶液中の輸送現象を制御することが必要です。これまで培ってきた高温物理化学に機械学習・計算科学を融合して、世界最高品質の SiC 単結晶の溶液成長手法の確立を目指しています。未熟者ではございますが、VBL の研究員として次世代材料の研究だけでなく教育活動にも貢献していきたいと思っております。よろしく願いいたします。

鳴海 大翔



今年度 4 月より VBL 研究員として着任いたしました中山勝利です。私は、応用物質化学専攻鳥本司教授の下、イオン液体と金属スパッタリング法を組み合わせた機能性金属/金属酸化物ナノ粒子の作製に関する研究を行っています。蒸気圧の極めて低いイオン液体に対し金属スパッタリングを行うと、イオン液体中にターゲット金属由来のナノ粒子を簡便に作製できます。私は、この手法を用い未だ作製条件が十分に確立されていないナノ粒子の物理化学的機能の探索を行うとともに、様々な多孔質酸化皮膜を形成した金属基板にナノ粒子を固定化し、新規機能性電極を作製することを目指しております。未熟者ではありますが、VBL 研究員として研究・教育などに広く貢献していきたいと思っております。どうぞよろしく願いいたします。

中山 勝利

nVBLnews

名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー ニュース

平成31年2月1日発行

第23巻第2号

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 TEL (052)789-5447 FAX (052)789-5448 <http://www.vbl.nagoya-u.ac.jp>

ISSN 1342-8640

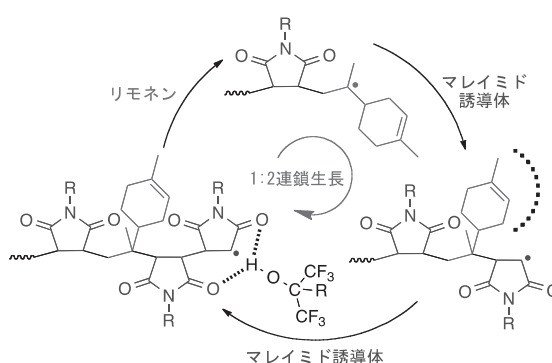
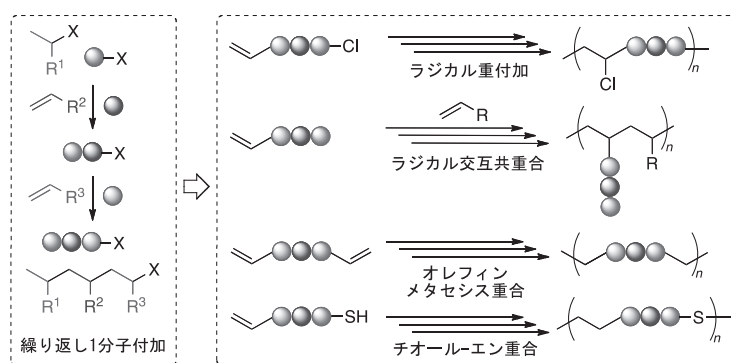


図1 (左) ビニルモノマーの繰り返し1分子付加と制御重合を組み合わせた配列制御

図2 (右) 選択的連鎖生長反応によるモノマー配列制御

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	2
研究紹介(1) ビニルモノマーの配列制御を可能とする精密重合法の開発	3
研究紹介(2) 新規プラズマ支援原子層エッチングプロセスの開発	4
研究紹介(3) 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	5
第22回VBLシンポジウム	6
平成30年度第1回VBLセミナー報告	7
平成30年度第2回VBLセミナー報告	7
平成30年度第3回VBLセミナー報告	8
平成30年度第5回VBLセミナー報告	8

ベンチャービジネス特論Ⅰ 実施報告

VBLでは、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の講義として「ベンチャービジネス特論Ⅰ」を行っています。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なであることを学び、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、起業家マインドの育成を目的とします。近年では、我が国の大学発ベンチャーの課題や自動運転、機械学習、IoTといった最新的话题を著名な先生をお迎えして講義内容となっています。

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、最近の文科省プロジェクトEDGEによる本学の「東海地区大学広域ファンド」や「Tongaliプロジェクト」の紹介から、学生にスタートアップのすすめをお話していただき、起業家マインドを育てます。京都大学の山口栄一先生は、青色LEDやIPS細胞などの「イノベーション」はどのようにして起こったのか?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す。また、株式会社WHILLの福岡宗明先生には、格好良い車イスからパーソナルモビリティロボへの展開、VCとのつきあい方など、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。本年度は、さらに、東芝の柴田英毅先生からIoTに向けた諸問題とその解決策など、企業の新規事業への試みをお話頂きました。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様々な最新の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と考えております。(写真は、株式会社WHILL 福岡先生の講義後の風景)

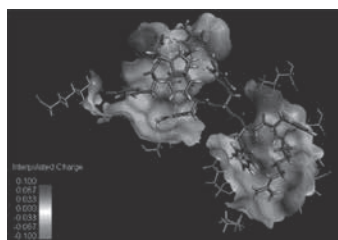


最先端理工学実験実施報告

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。本実験のCAD分野では、VBLが提供するソフトウェア(ダッソー・システムズ社BioVia Materials StudioおよびDiscovery Studio)を使用して、実際に研究を行っているテーマに計算シミュレーションを応用する実験を行います。現在、研究開発に欠かせなくなってきている計算シミュレーションを、無機半導体、有機材料、高分子材料、有機合成、タンパク質や製薬分野など幅広い分野の学生が研究成果を出せるように頑張ります。ナノプロセス分野では、先端の半導体プロセスや構造解析手法などを駆使し、新たな研究を行います。本年度のCAD分野は、14名(マテリアルサイエンス系11名、ライフサイエンス系3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いました。高圧化の無機材料やタンパク質の構造、高分子の集合状態へのアプローチ、医薬に繋がるタンパク質相互作用などチャレンジングなテーマがたくさん見られました。ナノプロセス分野では、1名の受講者があり、次世代リソグラフィーを目指した実験を行いました。成果発表会は、12月11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



シミュレーション結果の一例とナノプロセス実験



研究紹介(1)

ビニルモノマーの配列制御を可能とする精密重合法の開発

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

ビニルポリマーは、いろいろなビニルモノマーを原料として付加重合により合成され、プラスチック、ゴム、繊維などさまざまな製品に幅広く利用されている。ビニルポリマーの物性は、原料となるモノマーの構造に大きく依存するが、ポリマーの分子量や立体構造などポリマー分子の構造によっても変化するため、ポリマー構造を制御する精密重合法の開発は、新しい機能性材料を開発する上で重要である。

近年、リビング重合や立体規則性重合における急速な発展により、ビニルポリマーの分子量や立体構造の制御が可能となってきたが、ビニルモノマーの配列制御を可能とする重合法の開発は、高分子合成における究極の課題である。異なる種類のビニルモノマーを共重合することでポリマーの物性を制御し、さまざまな製品が作り出されているが、さらにモノマー配列を制御することで、より機能に優れたポリマーの合成が可能になると期待される。

我々は、ビニルポリマーの配列制御を可能とする重合系の開発に、種々の手法により取り組んでいる。

図1に示す方法では、原子移動ラジカル付加反応により、ビニルモノマーを1分子ずつ順番に付加させ、配列が制御されたオリゴマーをまず合成する。その後、配列制御オリゴマーの末端に重合性の反応基を導入し、適切な制御重合により高分子化し、ポリマーの主鎖や側鎖にビニルモノマー配列が組み込まれたポリマーの合成を行っている。ビニルモノマーとして、さまざまな置換基を有するアクリル酸エステル、アクリルアミド、スチレン誘導体などを用いることが可能であり、配列は加えるモノマーの順番により制御される。とくに、原子移動ラジカル付加反応で得られるオリゴマー末端は、安定な炭素-ハロゲン結合を有しているため、単離・精製が可能であり、モノマー配列が完全に制御されたオリゴマーを得ることができる。制御重合によるポリマー化の例として、末端にマレイミド基を導入した配列制御オリゴマーは、スチレンとのラジカル交互共重合により、分子量が10万を超え、側鎖と主鎖のビニルモノマー配列が制御されたポリマーの合成が可能である。モノマー組成は全く同じいわゆるポリマーの異性体でも、側鎖のモノマー配列により、ポリマーの溶解性や熱物性が変わることを明らかにしている。最近では、制御重合法として、オレフィンメタセシス重合や、チオール-エン重合も用いている。

一方、図2に示すように、ビニルモノマー構造は特殊ではあるが、植物から大量に採取されるビニル化合物であるリモネン(A)とマレイミド誘導体(B)のラジカル共重合において、フルオロアルコールを溶媒とすることで、連鎖重合では非常に稀な1:2の生長反応が選択的に進行し、マレイミド-リモネン-マレイミドのBAB配列から成るビニルポリマーが得られることを見出した。これは、天然物由来の特殊なモノマー構造に加え、フルオロアルコールとマレイミド誘導体の置換基との水素結合による相互作用によるものである。この二種類のモノマーに、さらに、メタクリル酸メチル(C)を加えた三元共重合では、BABの配列がメタクリル酸メチルのポリマーにランダムに組み込まれたBAB-ran-Cの配列を有するポリマーが得られることも報告している。また、リモネンの代わりに、三員環と五員環が縮環し、反応性の高いエキソメチレン基を有するサビネンを用いると、アクリル酸エステルと1:2のラジカル共重合が進行し、非常に耐熱性の高いポリマーが得られることも見出している。

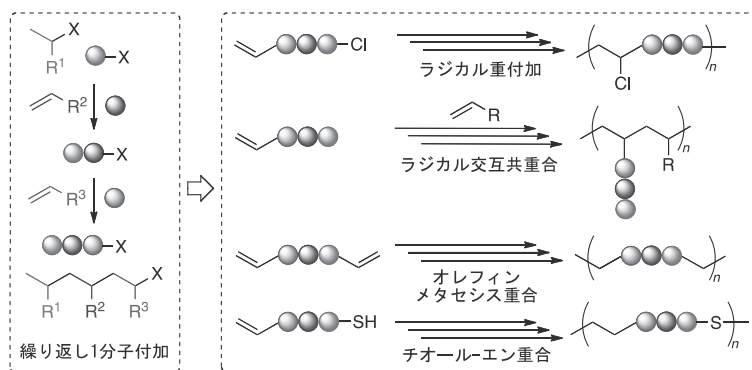


図1 ビニルモノマーの繰り返し1分子付加と制御重合を組み合わせた配列制御

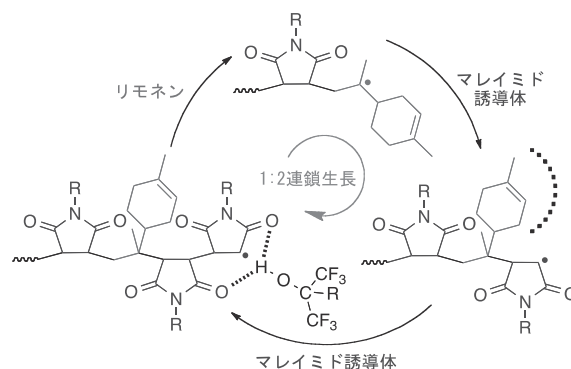


図2 選択的連鎖生長反応によるモノマー配列制御

研究紹介(2)

新規プラズマ支援原子層エッチングプロセスの開発

未来社会創造機構 堀 勝、堤 隆嘉

超スマート社会に向け 3D NAND 型フラッシュメモリー、ナノワイヤー、量子ドットデバイスといった最先端半導体に関する研究が盛んに行われている。これらの半導体デバイスにおいては、原子を一層毎堆積したり、削ったりする極限微細加工技術が必要になっており、その製造の 1 つとして、プラズマを用いた原子層堆積 (ALD: Atomic layer Deposition) と原子層エッチング (ALE: Atomic layer etching) が注目を集めている。これらのプロセス技術は、現状の微細加工技術と比べ、原子層レベルの加工精度はもちろんであるが、被加工材料への低ダメージ性に加えて、高いプロセス制御性を持つといった特徴を潜在的に有している。

我々のグループでは、企業と連携して、プラズマ支援 ALD および ALE プロセスの研究に精力的に取り組んでいる。ALE は、主に吸着プロセス (堆積) と脱離プロセス (エッチング) を繰り返すことで実現される (図 1)。例えば、 SiO_2 の ALE は、CF 系のガス (フルオロカーボンガス) のプラズマにより SiO_2 表面上にフルオロカーボン膜を原子スケールで堆積させ後、Ar プラズマ中の Ar^+ イオンの高速照射によって、フルオロカーボン膜中の F 原子と SiO_2 の Si 原子との反応を促進させ、揮発性の高い SiF_x が生成することでエッチングされる。一方で、フルオロカーボン膜中の C 原子は SiO_2 内の O 原子と反応し CO_x が生成されるが、余剰な C 原子は SiO_2 上に残留し、サイクル毎に、このカーボンを含んだ膜が増加していくために、高精度の ALE プロセスを実現することは困難であった。

我々は、フルオロカーボン膜の堆積とイオンエネルギーを制御した酸素プラズマ照射を繰り返すという新規 ALE プロセスを開発した。 SiO_2 の ALE に、酸素プラズマを用いるという発想は誰も思いつかず、単純ではあるが、常識を超えた取り組みであった。フルオロカーボン層の堆積と酸素プラズマとの相互反応場を精密にデザインした結果、1 サイクル当たり 5.6 Å という原子スケールでの SiO_2 の ALE に成功するとともに、量産プロセスレベルの高い再現性を実現することができた (図 2)。酸素プラズマ照射は、 SiO_2 とフルオロカーボン膜との反応で余剰に残った炭素原子の除去だけでなく、エッチング装置の壁に堆積したフルオロカーボン膜を除去するという役割を果たしており、装置内壁を絶えずクリーンな状態に維持する作用があり、これにより高い再現性を有するプロセスを実現することができた。さらに、最初の堆積プロセスにおいて、フルオロカーボン膜厚の制御は必要ではなく、酸素プラズマ中のイオンエネルギーのみの制御で、1 サイクル当たりのエッチング量が決定され、所望のエッチング量以上はエッチングが進行しないという「自己停止原子層反応現象」を見出した。本技術は、今後、量産デバイスプロセスに導入されることが期待されている。

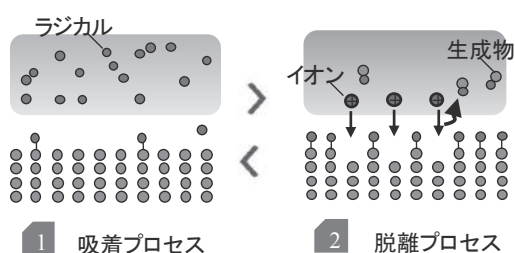


図 1. 原子層エッチングプロセスの概略図

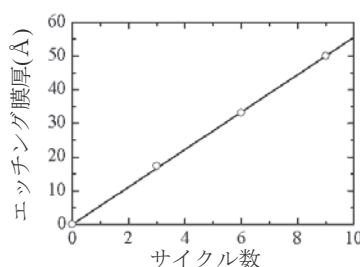


図 2. 新規 ALE のエッチング速度およびエッチング形状

研究紹介 (3)

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

工学研究科 生命分子工学専攻 馬場 嘉信

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 およびさがり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超高感度検出・高精度識別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、新規マイクロ流体ブリッジ回路を開発した (図 1 左) [1, 2]。また、低アスペクト比ナノポアを開発し、人工知能を活用することで細菌の超高精度識別に成功した [3, 4]。これらの新規ナノデバイスにより、PM2.5 などの微粒子、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に成功した (図 1 右) [5]。また、ナノワイヤ構造により、細菌を高精度の識別できる新規デバイスの開発に成功した [4]。

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。また、ナノワイヤ構造に基づく、エクソソームの高効率分離技術に基づいて、名古屋大学発ベンチャー企業を起業しており、がんの超早期診断に関する実用化を進めている。

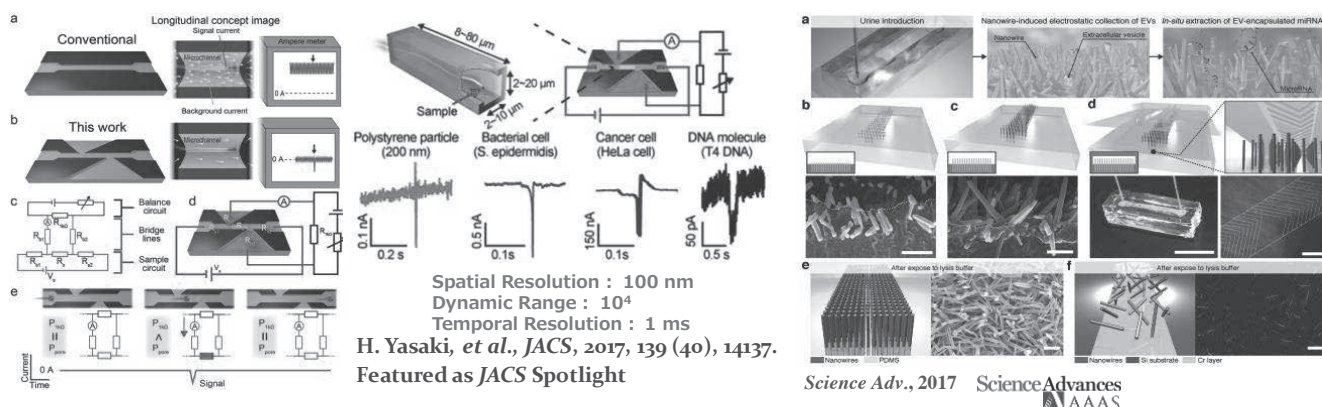


図 1 左：マイクロ流体ブリッジ回路 [1]、右：ナノワイヤによるエクソソーム捕捉 [5]

1. Hirotoshi Yasaki, Takao Yasui, Takeshi Yanagida, Noritada Kaji, Masaki Kanai, Kazuki Nagashima, Tomoji Kawai, Yoshinobu Baba, J. Am. Chem. Soc., 139, 14137-14142 (2017). Featured as JACS Spotlight.
2. Hirotoshi Yasaki, Taisuke Shimada, Takao Yasui, Takeshi Yanagida, Noritada Kaji, Masaki Kanai, Kazuki Nagashima, Tomoji Kawai, and Yoshinobu Baba, ACS Sensors, 3, 574-579 (2018).
3. Makusu Tsutsui, Takeshi Yoshida, Kazumichi Yokota, Hirotoshi Yasaki, Takao Yasui, Akihide Arima, Wataru Tomomura, Kazuki Nagashima, Takeshi Yanagida, Noritada Kaji, Masateru Taniguchi, Takashi Washio, Yoshinobu Baba, Tomoji Kawai, Scientific Reports, 7, 17371 (2017).
4. Taisuke Shimada, Takao Yasui, Asami Yokoyama, Tatsuro Goda, Mitsuo Hara, Takeshi Yanagida, Noritada Kaji, Masaki Kanai, Kazuki Nagashima, Yuji Miyahara, Tomoji Kawai, and Yoshinobu Baba, Lab on a Chip, in press (2018).
5. 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).

第22回VBLシンポジウム報告

2018年11月21日、22日にVBLベンチャーホールにて第22回VBLシンポジウム（主催：工学研究科・ベンチャービジネスラボラトリー、共催：公益財団法人日比科学技術振興財団）を、開催いたしました。今回は「光とナノ：ナノ材料と光の相互作用の理解と利用」をテーマに、関連する様々な分野の専門家に講演していただきました。

初日は、宇治原徹 VBL 長の開会あいさつに引き続き、名古屋大学大学院理学研究科教授（VBL 研究推進専門委員会委員）阿波賀邦夫氏に「分極電流を利用した有機光電変換」、奈良先端科学技術大学教授 河合壯氏に「フォト・エレクトロクロミック分子の超連鎖反応が開く新機能」名古屋大学大学院教授 西澤典彦氏に「CNT を用いた超短パルスファイバーレーザーコムの開発とバイオイメージングへの展開」、京都大学化学研究所教授 寺西利治氏に「ナノ結晶の特異構造がもたらす高効率光エネルギー変換特性」、名古屋大学大学院教授 浅沼浩之氏に「DNA 二重鎖のナノフォトニクスへの応用」についてご講演いただきました。

二日目は、名古屋大学大学院准教授 小山剛史氏に「発光で観るグラフェンにおける光キャリアの振る舞い」、物質・材料研究機構グループリーダー 宮崎英樹氏に「光をあやつる人工ナノ構造－フォトニック結晶からメタマテリアルまで－」、横浜国立大学大学院工学研究院教授 武田淳氏に「テラヘルツ近接場によるサブサイクル電子マニピュレーション」についてご講演いただきました。

化学、物理、エレクトロニクス、材料などの多方面から「光とナノ」について、ハイレベルかつ最先端の研究内容をわかりやすくご紹介いただき、充実した議論が行うことができました。また、本シンポジウムは大学院講義「最先端理工学特論」の一環として位置づけられており、学生を含め 80 名の参加がありました。



平成 30 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 八島 栄次

VBL 外国人招へい研究者 (VBL 客員准教授) としてお招きした、Pierre Mobian 准教授 (University of Strasbourg, フランス) による標記セミナーが 7 月 18 日 (水) 午後 1 時半から 3 時まで工学研究科 1 号館 144 講義室にて開催されました。講演題目は「Colored Titanium Oxo-Clusters」であり、酸化チタン (TiO_2) 光触媒の話から、Jean-Pierre Sauvage 教授 (2016 年ノーベル化学賞受賞者) のもとで培った超分子化学の知識と技術を最大限に活用して、Mobian 准教授が独自に研究されてきた、チタン (Ti(IV)) を用いた様々の超分子・ヘリケート・オキソクラスタの合成や機能など、最新の研究成果について分かりやすく講演していただきました。当日は、多くの聴衆にお集りいただき、教員のみならず、学生からの質問も多数あり、活発な議論が交わされる有意義なセミナーとなりました。



平成 30 年度 第 2 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 八島 栄次

VBL 外国人招へい研究者 (VBL 客員教授) としてお招きした、Jérôme Lacour 教授 (University of Geneva, スイス) による標記セミナーが 7 月 31 日 (火) 午後 4 時から 5 時半まで ITbM 1 階 レクチャールームにて開催されました。講演題目は「From Cationic Helical Derivatives to Metal-Free and Metal-Bound Ylide Chemistry」であり、有機合成化学を基軸として、Lacour 教授が独自に研究されてきた、様々の機能性分子、特に、イリド化学に基づく特異なヘテロサイクル・マクロサイクルやカチオン性ヘリセン誘導体の合成から光学特性などの機能にいたるまで、最新の研究成果について分かりやすく講演していただきました。当日は、50 名を超える聴衆にお集りいただき、教員のみならず、学生からの質問も多数あり、活発な議論が交わされる有意義なセミナーとなりました。



平成 30 年度第 3 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（中核的機関研究員、名古屋大学特任教授）として招へいた University of New South Wales（豪州）の Cyrille Boyer 教授により、「Precision Polymer Synthesis Using Visible Light」と題した標記セミナーが、平成 30 年 11 月 12 日、13 時 00 分から 14 時 30 分まで工学部 1 号館 141 講義室にて開催されました。

Boyer 教授らは、近年、紫外から近赤外領域に渡る幅広い波長の光に対して、さまざまな光レドックス触媒を用いることで、ラジカル重合における重合反応制御とそれを用いた精密高分子合成、さらにバイオ材料への応用で顕著な成果をあげておられます。

本講演では、光化学、光ドックス触媒、リビングラジカル重合のわかりやすい導入から始まり、ラジカル重合反応制御に関して、波長による反応制御に加え、立体構造制御、シークエンス制御への展開、さらには、酸素存在下での重合制御、フローや微量システムの開発など、多岐に渡る最新の研究成果を講演頂きました。27 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、LED を用いた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 30 年度第 5 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 30 年 11 月 27 日（火）15 時 00 分から 16 時 30 分まで工学部 1 号館 144 講義室で開催された。IBARRA Rodolfo Morales 准教授は VBL 招聘外国人研究員（客員准教授）として 9 月 3 日から 11 月 30 日までの約 3 カ月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、「Graphene Exfoliation from Graphite by Supercritical Water and other Supercritical Fluids」というタイトルで、超臨界水およびその他の超臨界流体によるグラファイトからグラフェンナノシートの剥離に関する講演が行われた。

グラフェンについての基礎的事項とグラフェン調製法ならびに解析法についての説明の後に、主に名古屋大学において行った超臨界流体を用いたグラフェン調製の研究について詳しく紹介された。特に、超臨界流体を利用した材料プロセッシングは本報告者と IBARRA 准教授が数年来共同研究を行ってきたもので、それを応用したグラフェンの調製の研究は今後の展開が期待される手法である。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。メキシコの Universidad Autónoma de Nuevo León と名古屋大学は昨年から交流協定を結んでおり、本セミナーにより学生を含めた交流が一層活発になることに期待したい。



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 30 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	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	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	応用物理学
6	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	応用物質化学
7	液晶性ブロック共重合体薄膜の光配向と応用	永野修作	有機・高分子化学
8	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
9	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	有機・高分子化学
10	DNA 二重鎖のコンフォメーション解析	浅沼浩之	生命分子工学
11	精密重合反応による機能性高分子の設計	上垣外正己	有機・高分子化学
12	パナジウム系水素透過合金の電子状態の解析	湯川 宏	材料デザイン
13	第一原理計算による白金族元素、Mo のフェロシアン化物への吸着機構解析	渡邊 真太	エネルギー理工学
14	触媒上の反応中間体の推定	山田 博史	化学システム工学
15	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
16	アミノ酸物性値を用いた機械学習によるペプチド医薬探索手法の開発	本多裕之	生命分子工学
17	超高圧下で合成された新規無機物質の構造最適化と安全性の検討	丹羽 健	物質科学

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(研究員), 松永正広(研究員), 金冨男(研究員), Adha Sukma Aji (研究員) Tan Fu-Wen (D1), 内山春貴(D1), 鹿嶋大雅(M2), 西村圭太 (M2), 西涼平(M2), 安藤優月 (M1), 大崎朗(M1), 嶋崎悠斗(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的 CNT TFT に対してセルフアラインプロセスによる寄生容量の低減とアナログ集積回路を実現する基盤技術の構築を進めた。さらに伸縮する基板上で特性が安定した CNT-TFT の作製と評価を進めた。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、CNT の欠陥密度とセンサ特性の関係を体系的に明らかにした。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流体発電や摩擦発電などの手法で検討を行った。

アナログ集積回路についてはシミュレーションによる設計基盤を構築させつつ精度の高い CNT TFT の素子モデル化を行った。さらにセルフアラインプロセスによる寄生容量を低減させた CNT TFT や集積回路の作製・評価を行った。これ以外にも CNT への p 型、n 型ドーピングを行い特性を評価した。

伸縮するCNTデバイスにおいて歪に対する特性の安定性の向上や駆動電圧の低減が課題であったため、局所ひずみ緩和層を導入し、低電圧駆動可能なカーボンナノチューブ集積回路を実現した。本研究のCNT TFT は半導体CNTの薄膜をチャンネルとし、CNT 薄膜による透明電極とAl₂O₃ (50 nm)によるゲート絶縁層によって構成し、PDMS 上に作製した。チャンネル領域の上に比較的ヤング率の高いポリマーを設けることで、チャンネルの歪みを局所的に抑制した。作製したインバータはE/D 型の回路構成とし、チャンネル幅を調整することにより閾値を制御している。電源電圧 1.5 V 以下でヒステリシスのない反転動作が得られ、1 V においても動作を確認し、ゲインは 40 dB であった。インバータの消費電力についてもピーク消費電力は $\sim 10^{-7}$ W、最低消費電力は $10^{-10} \sim 10^{-11}$ W であった。伸縮可能なデバイスにもかかわらず、低電圧・低消費電力を実証している。

CNT TFT のバイオセンサ応用において、CNT の欠陥密度と電気化学計測の電気的特性の相関を理解することが重要である。本年度は、CNT に電気化学的手法により欠陥を導入し、欠陥密度を CNT の結晶性を示す G/D 比とバイオセンサのデバイス特性評価を体系的に調査した。その結果 CNT に欠陥を導入することで電子交換速度が向上することを確認した。

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。流体発電については昨年引き続きCNTだけでなく、グラフェンやMoS₂などの低次元材料も含めて発電機構の理解と高出力化を進めた。

摩擦帯電を利用した発電技術に関しては、CNT 薄膜を導電膜に用いることにより、透明で伸縮性のある摩擦発電シートを実現し、日常生活の様々な状況に対応した環境での発電を実証した。出力に関しても表面処理により大幅な出力向上を実現した。さらにウェアラブルデバイスの実用化にむけて懸念事項の一つである接地に関して、接地不要のデバイス構造を新規に提案した。

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(D3)、大橋亮介(M2)、丹後駿介(M2)、犬飼大樹(M1)

様々な有機電子材料、ナノカーボン物質における光学応答の研究を行っている。本報告では、そのうちのいくつかの内容について紹介する。

(1) 多環芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon: PAH) の光学応答

PAHは様々な分子骨格を取ることが可能であり、有望な π 電子材料群である。PAHの光学応用を検討する際に、その励起準位構造の理解は極めて重要である。これまでにコロネン、ベンゾ[ghi]ペリレン、*t*-ブチル基で修飾したヘキサベンゾコロネンについて電場変調吸収スペクトルの測定を行った。PAH分子を高分子マトリックス中に孤立分散させた膜状試料に電場を印加し、吸収スペクトルの変化を観測した。この変化分のスペクトルを、モデル計算により求めたスペクトルと比較することにより、励起準位構造を明らかにした。共役系高分子などの一次元系では励起準位構造について理論・実験ともに多くの研究がなされているが、平面的な分子については、十分には検討がなされていない。本研究により、PAHにおける骨格構造と励起準位構造の関係の一端を明らかにすることができた。

(2) ナノカーボンの光学応答

単層グラフェンの電子状態と光学応答の関係を明らかにすることを目的に研究を行っている[1]。単層グラフェンの電子状態や光学応答は界面から大きな影響を受ける。そこで、イオン液体によって単層グラフェンをドーピングし電子状態を制御し、その光学応答を研究した。電子系は格子系と結合しており、格子系の応答を通じて電子状態の変化を敏感にとらえることが可能である。ラマン散乱分光法を用い、電子系との結合など微視的な情報を明らかにした。このイオン液体を用いたドーピングは簡便かつ低電圧でのドーピングが可能であるなどの利点があり、電子状態制御の方法としては魅力的であるが、イオン液体がどのように影響するのかについてはこれまで必ずしも明らかではなかった。酸化物薄膜を絶縁体層として用いた電界効果トランジスタにおけるドーピングと比較し、イオン液体を用いたドーピングの特徴を明らかにした。

(3) 電荷移動錯体の電子状態制御と光学応答

低分子材料は他の物質、イオンなどと電荷移動錯体を形成することがある。このような電荷移動錯体は多彩な電子状態を示すために、さまざまな観点から研究が行われている。我々は、主に光学的な側面から研究を行っている[2]。上述のPAHも他の分子との電荷移動錯体を形成する。PAHの構造の多様性、制御性を考えると、この錯体形成は電子状態制御という観点から興味深い。我々はその電子状態と物性の関係に興味を持ち研究を進めている[3]。錯体あるいは他の物質との複合系においては、価数の変化が生じることを光学測定により明らかにした。

- [1] Hirotaka Imaeda, Takeshi Koyama, Hideo Kishida, Kenji Kawahara, Hiroki Ago, Ryotaro Sakakibara, Wataru Norimatsu, Tomo-o Terasawa, Jianfeng Bao, Michiko Kusunoki, "Acceleration of Photocarrier Relaxation in Graphene Achieved by Epitaxial Growth: Ultrafast Photoluminescence Decay of Monolayer Graphene on SiC", *J. Phys. Chem. C*, **122**, 19273-19279 (2018).
- [2] Kazushi Mizukoshi, Yuto Nakamura, Yukihiro Yoshida, Gunzi Saito, Hideo Kishida, "Optical Evaluation of Electronic Anisotropy in a Triangular Lattice System κ -(BEDT-TTF)₂B(CN)₄", *J. Phys. Soc. Jpn.*, **87**, 104708/1-5 (2018).
- [3] Yukihiro Yoshida, Shunsuke Tango, Kazuhide Isomura, Yuto Nakamura, Hideo Kishida, Takashi Koretsune, Masafumi Sakata, Yoshiaki Nakano, Hideki Yamochi, Gunzi Saito, "Charge-transfer complexes based on C_{2v}-symmetric benzo[ghi]perylene: comparison of their dynamic and electronic properties with those of D_{6h}-symmetric coronene", *Mater. Chem. Front.*, **2**, 1165-1174 (2018).

バンド端発光を示す低毒性I-III-VI₂量子ドットの作製と発光波長制御

Wavelength-tunable Band-edge Photoluminescence of I-III-VI₂ Quantum Dots with Low Toxicity

工学研究科 応用物質化学専攻 岸 まり乃(M2), 宮前千恵(研究員), 亀山達矢(助教), 鳥本 司(教授)

【はじめに】 CdSeやCdTeからなるII-VI族量子ドットは、光励起によって強く発光し、発光波長は粒径によって制御できる。これら量子ドットの発光ピーク幅は20 nm程度にまで狭くできて非常に単色性が高く、さらに発光色も広い可視光領域で自在に制御できることから、新規ディスプレイや生体イメージングのための高輝度で色鮮やかな発光材料として注目されている。しかし、Cdなどの毒性の高い元素を含むために、広範囲な実用品への応用は全く期待できない。一方、I-III-VI₂族量子ドットは、高い吸光係数を持ち、比較的毒性な元素から構成されることから、II-VI族量子ドットの代替材料として期待されているものの、発光ピークが非常にブロードという欠点から発光材料への応用はほとんど進展していない。そこで本研究では、AgInS₂量子ドットを異なるAg/In比で作製し、鋭いバンド端発光ピークを示すAgInS₂量子ドットを合成した。さらにGa³⁺ドーピングによってその発光波長の制御を行った。

【実験】 AgInS₂量子ドットは、様々なAg/In仕込み比で対応する金属酢酸塩とチオ尿素を、ドデカンチオールとオレイルアミンの混合溶媒に添加し、250°Cで加熱することで得た。Ga³⁺ドーピングするときは、さらにGa(acac)₃を添加した。量子ドットを精製後、Ga(acac)₃とチオ尿素とともに同組成の混合溶媒中で300°Cで加熱し、粒子表面にGaS_xシェルを形成させた。

【結果】図1は、Ag/(Ag+In)=0.5 および0.4 で合成したAgInS₂量子ドット、さらに、Ag/(Ag+In)=0.4 のAgInS₂粒子表面をGaS_xで被覆したAgInS₂@GaS_xコアシェル構造量子ドットの発光スペクトルである。仕込み前駆体比を化学量論組成比(Ag/(Ag+In)=0.5)で合成したAgInS₂量子ドットには、ブロードな欠陥発光とごく小さなバンド端発光ピークが現れた。これに対し、Ag/(Ag+In)=0.4 の非化学量論組成比で合成した量子ドットでは、バンド端発光が欠陥発光のブロードなピークよりも大きくなった。これは組成最適化によって、欠陥発光を示す粒子内部準位が効果的に除去されたためである。さらに、E_gの大きな半導体であるGaS_xで被覆したAgInS₂@GaS_x量子ドットでは、AgInS₂粒子表面に残存する欠陥準位がGaS_xシェル被覆により除去されて欠陥発光がほとんどなくなり、バンド端発光のみを示した。TEM観察より、AgInS₂量子ドットの粒径は約4.5 nmであり、AgInS₂@GaS_x量子ドットの粒径は約6.5 nmであったことから、コア粒子は1 nm程度のアモルファスGaS_xシェルで被覆されたことがわかる。またAgInS₂コアにGa³⁺をドープすると、Ga³⁺ドープ量の増加とともに量子ドットのE_gが増大し、バンド端発光ピーク波長は短波長シフトした。発光量子収率は、波長530 nmの緑色のバンド端発光(半値幅41 nm)を示すAg(In,Ga)S₂@GaS_x量子ドットで約28%となり、十分に高いといえる。

以上のように、コアとなる量子ドットの組成制御と粒子表面のGaS_xシェル被覆によって、鋭いバンド端発光を示す低毒性Ag(In,Ga)S₂量子ドットを世界で初めて作製することに成功した。この粒子は、将来のオプトエレクトロニクス素子の開発に大いに役立つ。

【参考文献】 (1) T. Kameyama, M. Kishi, C. Miyamae, D. K. Sharma, S. Hirata, T. Yamamoto, T. Uematsu, M. Vacha, S. Kuwabata, and T. Torimoto, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2018**, *10*, 42844-42855.

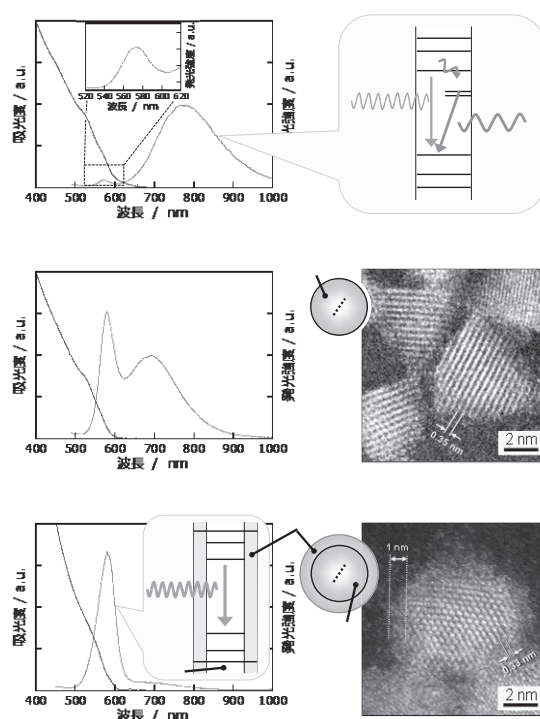


図1 AgInS₂量子ドットの発光スペクトルとそのメカニズム。量子ドットのHAADF-STEM像を右側に示す。サンプル:Ag/(Ag+In)=0.5 (a)および0.4 (b)で合成したAgInS₂量子ドット、およびサンプルbの粒子表面をGaS_xで被覆したAgInS₂@GaS_x量子ドット(c)。

液晶アゾベンゼン側鎖とオリゴメチルメタクリレート側鎖をもつ ブラシ型ランダム共重合体の合成と液晶ラメラ構造の配向制御

Photoalignment Control of Lamellar Structure Formed by Random Copolymers with Smectic Liquid Crystal and Amorphous Graft Side Chains

VBL、工学研究科 有機・高分子化学専攻
永野 修作 (准教授)、東 瞭太 (M2)、関 隆広 (教授)

当研究グループでは、液晶基と非液晶基の互いに非相溶な側鎖を持つランダム共重合体が、側鎖の相分離により、液晶相と非液晶相からなるヘテロな液晶ラメラ構造(ヘテロスメクチックラメラ構造)を形成することを報告している¹⁻²⁾。このヘテロスメクチックラメラ構造は、異方的な分子形状の排除体積効果により形成されるサーモトロピック液晶と互いに非相溶な成分の相分離による構造形成であるリオトロピック液晶の性質を合わせた階層的な液晶構造と位置づけることができる。本研究では、このヘテロスメクチックラメラ構造の液晶基と非液晶基の体積分率を任意に設計できる構造として、ブラシ型ポリマーである(P(Az-co-(-g-Oligo(MMA)))) (Figure 1) を提案する。スメクチック相を示すアゾベンゼン側鎖とアモルファス性のオリゴ MMA 側鎖を可逆的付加開裂連鎖移動 (RAFT) 重合および原子移動ラジカル重合 (ATRP) の 2 段階のリビング重合により、P(Az-co-(-g-Oligo(MMA)))を合成し、形成される液晶ラメラ構造および薄膜の配向を評価した結果を報告する。また、表面張力の低いアモルファスブロックと液晶性ブロックを持つブロック共重合体を少量添加する表面偏析と配向膜を利用した液晶相の光配向制御も行った。

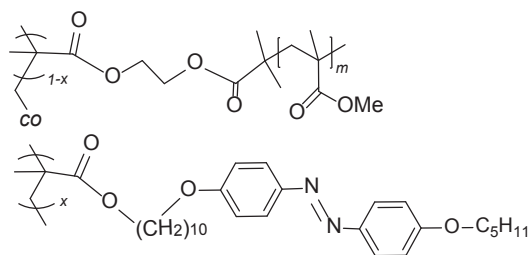


Figure 1. Chemical structure of P(Az-co-(-g-Oligo(MMA)))

アゾベンゼンモノマーと ATRP 開始基を持つモノマーを RAFT 重合し、マクロイニシエーターを合成し、続いて MMA モノマーを ARGET ATRP 法によってグラフトし、ブラシ型ポリマーである(P(Az-co-(-g-Oligo(MMA)))を合成した。示差走査熱量測定(DSC)、偏光顕微鏡(POM)観察および X 線散乱測定 (XRS) を行い、液晶相を同定した。また、スピンキャスト膜を作製し、斜入射小角 X 線散乱 (GI-SAXS)測定にて液晶配向を解析した。

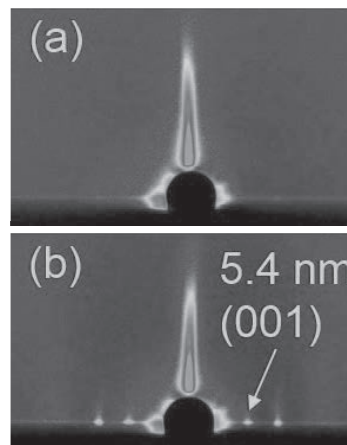


Figure 2. GI-SAXS 2D images of the P(Az-co-(-g-Oligo(MMA))) film added PDMS-*b*-PAz when the incident X-ray was set in the (a) and (b) vertically

種々の解析から P(Az-co-(-g-Oligo(MMA)))は、スメクチック B 相を示し、そのラメラ相の間隔は、5.4 nm ($2\theta = 1.7^\circ$) であった。P(Az-co-(-g-Oligo(MMA)))単独膜はホメオトロピック配向性であり、ラメラ構造は基板に対して平行に形成した。当研究グループが提案する自由界面コマンドシステム³⁾を適用すると、GI-SAXS 測定から 5.4 nm に相当するラメラ構造の散乱が面内方向に観測され(Figure 2b)、ラメラ構造が基板に対して垂直に形成されていることが確認できた。また、x 線の照射方向を 90 度変化させることで、一方から照射したときのみラメラ構造由来と思われる強い散乱が観測され(Figure 2)、ヘテロスメクチックラメラ構造の面内一軸配向を、面外と面内方向からの配向制御により誘起できることがわかった。

参考文献

- 1) 野田ら, 第 65 回高分子討論会予稿集, 2L02 (2016).
- 2) 永井ら, 第 65 回高分子討論会予稿集, 2F10 (2016)
- 3) K. Fukuhara et al., *Nat. Commun.*, **5**, 3321(1-8) (2014)

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

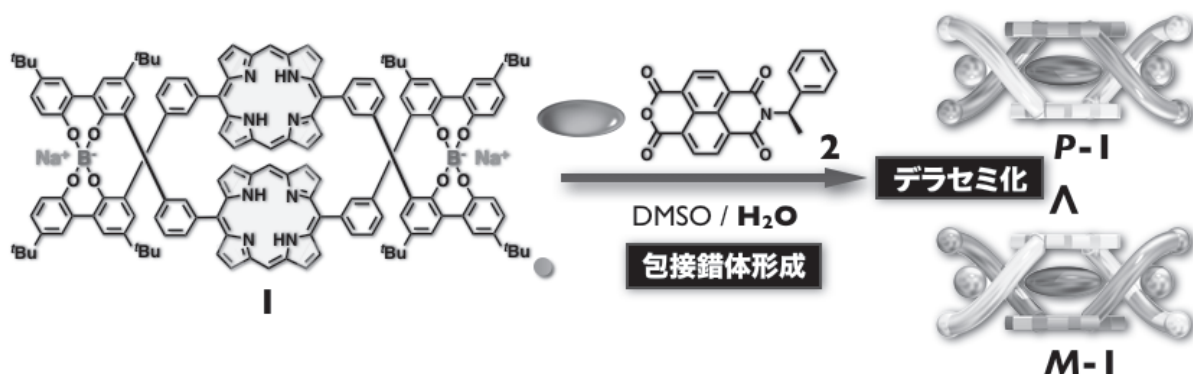
工学研究科 有機・高分子化学専攻
八島栄次 (教授)、逢坂直樹 (講師)、田浦大輔 (助教)

ラセミのビスポルフィリン含有ホウ素ヘリケートへの光学活性ゲストの包接錯体形成を利用した デラセミ化反応の開発

DNA やタンパク質に代表される生体高分子の多くは、一方向巻きのらせん構造を形成し、精緻な生命機能を発現している。生体高分子の構造と機能に学び、これまで数多くのらせん高分子や超分子が合成されてきたが、その多くは一重らせんであり、DNA のような二重らせん高分子や超分子を合成することは現時点も困難である。我々は以前、フェノール6量体と水素化ホウ素ナトリウムから、両末端がホウ素で架橋されたスピロボレート構造を有する二重らせんホウ素ヘリケートの合成に成功している。二重らせん構造を保持しながら、中央に様々な機能性部位を導入できるだけでなく、光学活性なヘリケートをジアステレオマー法によって、光学分割できる利点がこのホウ素ヘリケートにはある。例えば、ポルフィリン部位 **(1)** を中央に導入したホウ素ヘリケートは、2つのポルフィリン間に様々なゲスト分子を強固に包接し、ポルフィリン環の回転運動と主鎖のらせんのねじれ運動が連動して起こる、興味深いキラルな分子運動を示す。

本研究では、ラセミのホウ素ヘリケート **(1)** が、光学活性なゲスト分子の包接により、**1** が光学活性になるという興味深い現象 (デラセミ化) を見出したので報告する。ラセミの **1** に光学活性なゲスト分子 (例えば **2**) を包接させ、極少量の水を含む有機溶媒中で加熱すると、スピロボレート結合が不斉選択的に切断・再生され、その結果、ホウ素ヘリケートのらせんの巻き方向が一方向に片寄る、デラセミ化反応が進行し、**2** を用いた場合 72% の鏡像体過剰率 (ee) で光学活性な **1** が得られることを見出した。光学活性なゲストは容易に除去することも可能である。また、光学分割して得た光学活性な左巻きのヘリケート (*M*-**1**) を用いた実験より、ラセミのゲストの一方の鏡像体が不斉選択的に包接することも分かった。包接錯体の構造を詳細に調べた結果、(*M*-**1**) とキラルゲスト間の CH- π 相互作用が不斉選択性に重要な役割を演じていることが示唆された。

本研究成果は、光学分割可能な安定なヘリケートから、デラセミ化を利用して光学活性なヘリケートが得られることを実証した初めての例になるだけでなく、本ヘリケートが有するキラルならせん空孔が新たな不斉反応場にも利用できることを示唆しており、新たな概念にもとづく超分子不斉触媒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。

第一原理計算による白金族元素、Mo のフェロシアン化物への収着機構解析

First-principles analysis of sorption properties of ferrocyanides for platinum group metals and Mo

工学研究科 エネルギー工学専攻
渡邊真太(特任助教) 尾上順(教授)

原子力発電により発生する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(HLLW)をより効率的にガラス固化する技術の開発が望まれている。このガラス固化プロセスにおいて、白金族元素(Ru, Rh, Pd)は、ガラスメルト側壁に沈降し、モリブデン(Mo)じゃ、イエローフェーズと呼ばれる低粘性流体としてガラス内で相分離析出する。その結果、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ナノ粒子を収着剤として用いて、ガラス固化の前段階でRu, Rh, PdおよびMoを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、金属イオンは、フェロシアン化物(HCF)の骨格をなす金属イオンと置換することで、HCF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、第一原理計算により10種の金属(Ru, Rh, Pd, Mo, Mn, Co, Ni, Y, Zr, Gd)について、フェロシアン化鉄(FeHCF)への置換エネルギーを見積もり、実験による収着率との相関関係を検討した。

第一原理計算は、ウルトラソフト型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に25 at%の割合で金属イオンが収着したモデルを構築した。置換エネルギー算出に必要な化学ポテンシャルは、実際のHWLL環境を考慮して酸化極限のものを採用した。

第一原理計算により見積もった各金属イオンのFeHCFへの置換エネルギーより、Ru, Rh, Pd, Moについては、置換生成物が安定であることが分かった。一方で、Y, Zr, Mn, Gdについては、置換生成物が不安定となる結果となった。このことは、実験において、それらの金属種のFeHCFへの収着率が低い事とよく一致している。そこで、それらの置換エネルギーと実験による収着率との相関関係を図1にプロットした。Pdを除くと、置換エネルギーと収着率との間に良い相関関係($R=0.8$)がみられることが分かった。

金属は、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。この3過程のうち、Pdを除く金属種において、置換エネルギーと収着率との間に相関があることから、置換段階が反応の律速になっていると考えられる。一方で、Pdにおいて、置換エネルギーと収着率との間の線形相関関係がないことの一因として、PdのFeHCFへ対する収着速度が速く、他の金属とは別の律速段階があることが挙げられる。

今後、収着率との相関関係から得られた置換エネルギー等のエネルギー物理量を基に、金属に対してより高い収着性能を有する収着剤設計を目指す。

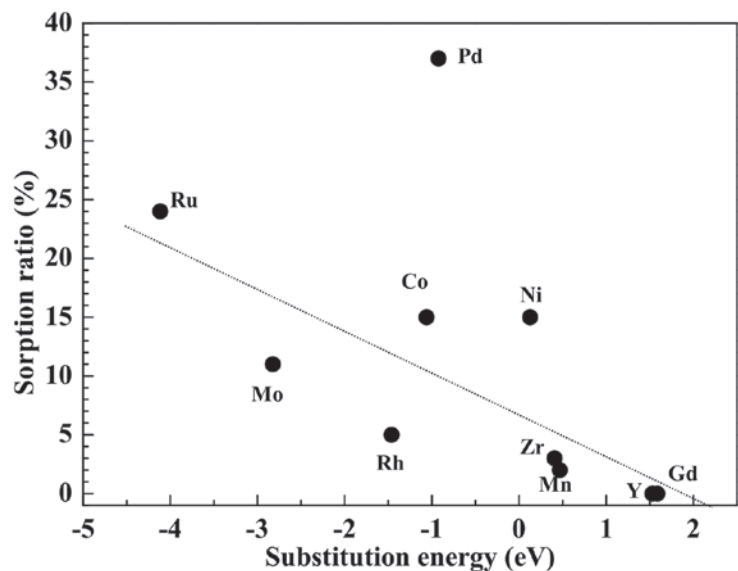


図1. 理論計算による置換エネルギー(横軸)と実験による収着率(縦軸)との相関関係

電位が印加された電極材料表面吸着種の計算手法に関する検討

Investigation of quantum calculation method of adsorbed species on electrode surface to which potential is applied

工学研究科化学システム工学専攻

山田博史(助教)、宮田康史(名古屋市工業研究所)

1. はじめに

白金などの触媒を用いた酸化反応は多くの化学品生産に利用されている。最近の研究で、この酸化反応場に電位ポテンシャルを印加することにより反応制御が可能となり、選択的な酸化反応を実現できることが明らかとなっている。例えば、酸性溶液中で白金触媒にプロピレンと酸素を供給すると部分酸化生成物としてプロピレンやアセトアルデヒド、プロパノールが得られる。白金触媒に電位を印加することで反応速度や反応選択率を制御することができる。この印加電圧が酸化反応に与える影響を量子化学計算で検討する際に電位の影響を計算に取り入れることが必要であるが、DMol³を用いる場合には2種類の手法が用意されている。そこで、それぞれの手法の適用可能性を検討した。

2. 計算手法

プロピレンの部分酸化反応については、(1)白金上への吸着、(2)反応の進行の2段階を考えている。今回は、(1)白金上への吸着過程における電位の影響を検討した。計算には量子化学計算モジュール Dmol³ を用いた。まず、3層からなる(111)面を持つ白金クラスターを用意し、構造最適化を行ったプロピレン分子を白金(111)面上に配置し、所定の電場あるいは電荷を設定し、吸着構造の構造最適化を行った。計算時間の短縮のため、白金原子は固定し、プロピレン分子のみ最適化を行った。

電位の印可手法として以下の2種類の計算を行った。

(a)electric_field オプションを用い、スラブモデルに電位勾配(電場)を設定する。

(b)クラスターモデルで電荷を設定することで、疑似的に電位印加を設定する。

プロピレンの部分酸化反応は水素標準電位で+1.0V近傍から進行するので正電場および正電荷の印可とした。

3. 結果及び考察

手法(a)では、初期状態として6Å以上の白金とプロピレンの距離を設定しても電位勾配によってプロピレンは白金表面との間に引力を発生し、吸着構造を求めることができた。二重結合はより強い引力となり、1位炭素と白金原子との距離が最も短くなった。距離を変えながら吸着エネルギーを求めることで吸着構造の最適化ができた。しかし、印可電位依存性を検討するために、電位勾配を強くすると、プロピレンが白金クラスター内にめりこんでいく。白金クラスターは導電体であり電位勾配はないはずだが、この手法では一様な電位勾配が設定されることに起因すると考えている。よって、表面反応の詳細を解析することは難しいのではないかと考えている。

手法(b)では、初期状態として6Å以上の白金とプロピレンの距離ではプロピレンの炭素、水素原子と白金原子の軌道相互作用がほとんどなく、プロピレンの吸着構造を議論することはできなかった。しかし、3Å以下の距離となるとプロピレンと白金クラスターの構造最適化計算で吸着構造を求めることができ、手法(a)と同じく、1位炭素と白金原子との距離が最も短くなった。また、一定の正電荷数まではプロピレンの電子密度分布も正確に求められているようである。ただし、現時点では電位との相関をとることができず、電気化学的な電位の議論ができないことが残念である。

以上より、白金上でのプロピレン電気化学酸化反応解析では、3Å付近までの分子間距離では手法(a)の電位勾配法を用い、それ以下の距離では手法(b)の正電荷印可法を用いることが適切と考える。

大環状金属錯体の自己組織化によって構築する かご状超分子錯体内部のナノ空間の空間解析 Void Analysis of the Supramolecular Double-Decker Cage

理学研究科 物質理学専攻(化学系)
河野 慎一郎 (講師)、田中 健太郎(教授)

配位子と金属イオンのネットワークによって形成される配位高分子は、サイズや形状が一義的に決まるナノ空間をもつため、ガス分子等の吸着、分離、精製に使われている。一方、流動性をもつ液体の中にナノ空間をもつ物質の例は極めて少なくその新奇な物性に注目が集められている。近年、我々は、ジベンゾチオフェン-サレンからなる大環状化合物を報告した¹⁾。この大環状化合物は、4つのジベンゾチオフェンを4つのサレンで交互に連結した骨格と約1 nm程の内部空孔をもつ。この分子は、平面性の高い大環状構造をもつと同時に、サレン部位に分岐した側鎖を導入しているため、環状部位を一次元に積み重ねたカラムナー液晶性を発現し、サレン部位に導入した金属イオンのサイズや配位構造に応じて、液体・固体・液晶間でマクロスコピックな相変化を生じることを明らかとした。

このサレン型配位子を組みこんだ大環状化合物は、5配位型や6配位型の高次配位構造を取り得る金属イオンを導入することで、大環状化合物のナノ空間を三次元的に立体化させることができる。そこで、サレン部位を持つ大環状化合物に5配位構造を持つ亜鉛イオンを導入することで、大環状亜鉛四核錯体をDABCO等の四つの二座型架橋配位子で架橋することにより、巨大な空間を持つかご状超分子錯体を得た。このかご状超分子錯体は、放射光実験を用いた単結晶構造解析から、巨大なナノ空間を持ち、内側に32個の水素原子を持つことが明らかとなった。興味深いことに、このかご状超分子錯体は、CH- π 相互作用を介してC₇₀を選択的に認識することができることが明らかとなった²⁾。そこで、本研究では、単結晶構造解析から得られたかご状超分子錯体の内部空孔の体積の評価と特異な内部空孔の形状の可視化を目的としてMaterials Studioによる空間解析を行った。その結果、大環状金属錯体と架橋配位子であるDABCOで囲まれた約670 Å³のナノ空間が存在することが見積もられた。

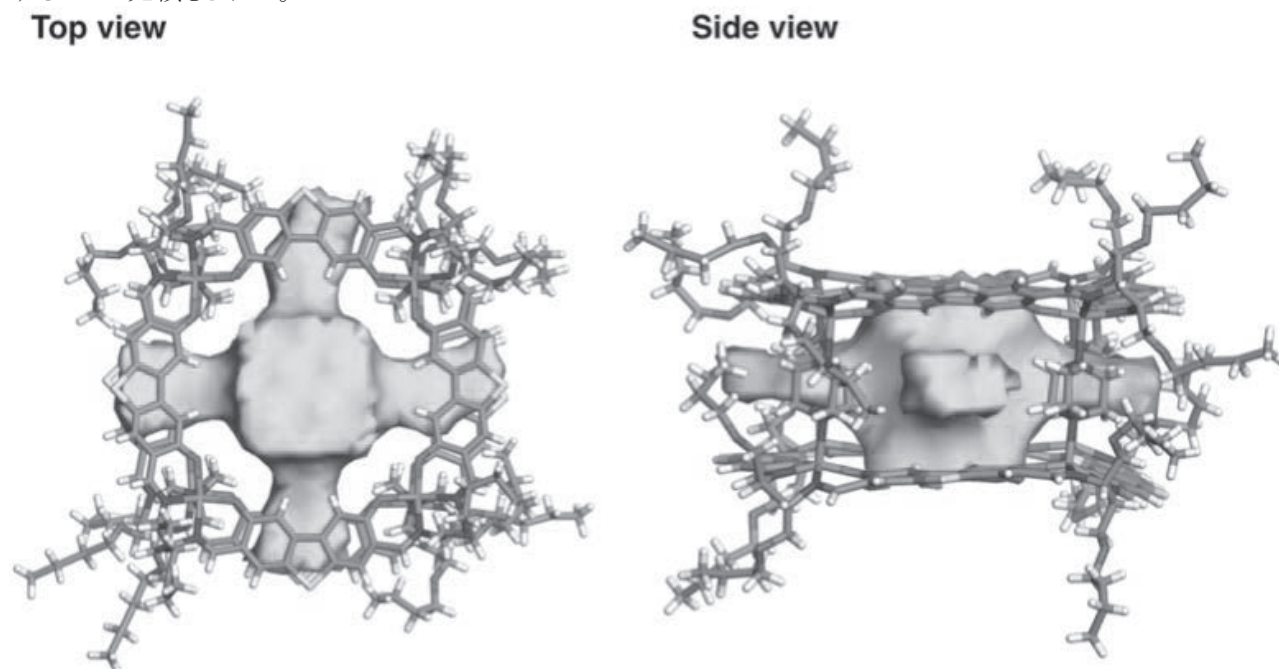


Figure 1. The void analysis of the double-decker cage composed of Zn-macrocycles and DABCOs.

参考文献

- [1] S. Kawano, T. Hamazaki, A. Suzuki, K. Kurahashi, K. Tanaka, *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 15246.
- [2] S. Kawano, T. Fukushima, K. Tanaka, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, *57*, 14827.

超高压下で合成された新規無機物質の構造最適化と安定性の検討

Structural optimization and evaluation of phase stability for new compounds synthesized under high pressures

工学研究科物質科学専攻

丹羽 健(准教授), 稲垣 智哉(博士前期課程2年), 松尾 拓(博士前期課程1年)

1 万気圧(1 GPa)領域における物質合成では、常圧下では合成不可能な物質群の創製が可能となる。例えばダイヤモンドは 3~5 万気圧の条件でグラファイトからの直接変換もしくは触媒を用いた手法により合成される。近年では、H-S 系や La-H 系の物質が 200 万気圧以上の圧力下において、室温に近い温度域で電気抵抗がゼロになる超電導状態の発現が観測され注目を集めている。このように超高压下では、非常に多種多様な新規物質群の創製が報告されており、その詳細が理解できれば極限環境の研究であっても、常圧下における物質設計の指針になり得る可能性があるため高い関心を集めている。

我々は、超高压発生技術を用いた新規無機固体結晶の創製に取り組んでいる。特に本研究課題では 14 族元素の新規窒化物の創製とその評価において、第一原理に基づく電子状態計算から新規物質の結晶構造の安定性を調べた。周期表で 14 族に属する元素のうち、Si, Ge, Sn の窒化物は硬質材料から触媒、光学材料まで幅広く利用されている。例えば Si_3N_4 はありふれた元素同士の窒化物で、その硬質性や熱特性から切削工具(硬質材料)や放熱材として利用されている。 Ge_3N_4 は触媒活性が発見され、新しい活用が見出されている。 Sn_3N_4 は半導体特性や電子状態に起因した光学特性を示すことが報告されている。このように、 A_3N_4 (A=Si, Ge, Sn)には組成に依存した多様な物性が出現するため、精力的に研究されてきた。超高压下ではさらに密度が高い結晶構造に相転移する可能性がある。高密度化は原子の再配列を伴う相転移であり、物性も大きく変化すると考えられる。

そこで本研究では、14 族の中でも Sn_3N_4 に着目した。 Sn_3N_4 は常圧下で熱的にそれほど安定ではなく、合成も難しい。したがって合成手法の確立や結晶構造が評価されたのは 1990 年代終わりになってからで、現在までに精力的に研究が進められているものの詳細を把握するには至っていない。しかも高压下における研究となれば研究例は皆無に等しい。我々は 40 万気圧までの超高压下でスズと窒素を直接反応させ、新規な窒化物の合成とその評価に取り組んだ。XRD 測定や電子顕微鏡による原子像の直接観察から晶系や Sn 位置の決定には成功したものの、軽元素である窒素に関しては詳細な情報を得ることができなかった。窒素位置まで含めた構造情報は、その後の物性測定およびその結果の解釈や、第一原理計算を用いた物性予測において必要不可欠である。そこで、結晶学的な知見に加えて、半経験的に推定した窒素位置を初期位置として、CASTEP を用いて窒素位置を含む最安定構造を探索した。その結果、下図に示す結晶構造と電子状態密度が得られた。新規な Sn_3N_4 は歪んだ多面体により構成された構造で、非常に狭いバンドギャップを有する半導体であることがわかった。既存の立方晶 Sn_3N_4 と比べて、高配位数を示すことから圧力を印加して合成した物質特有の特徴を示すことがわかった。今後、構造の詳細を調べたの窒化物との相関を調べる予定である。

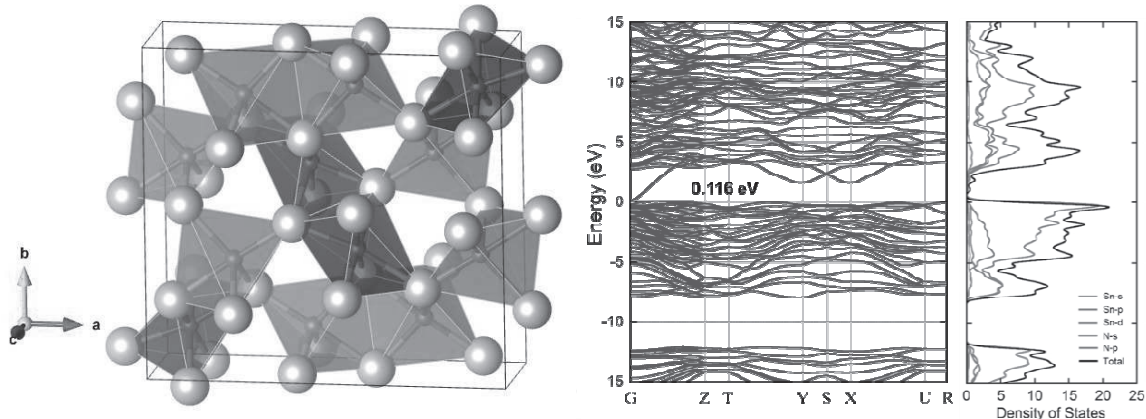


Figure 構造最適化により得られた新規 Sn_3N_4 の結晶構造と電子状態密度およびバンド分散
白丸および青丸は窒素およびスズ原子をあらわす

3.2 非常勤研究員の活動

(Activities of VBL Postdoctoral Research Associates)

機械学習を用いた結晶成長プロセスの最適化に向けた熱流体シミュレーション

Computational fluid dynamics for optimization of crystal growth using machine learning

鳴海大翔

名古屋大学大学院工学研究科ベンチャービジネ斯拉ボラトリー中核的研究機関研究員

E-mail: narumi@unno.material.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

著者の受入先である未来材料・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宇治原研究室では、溶液成長法による 4H-SiC の高品質バルク単結晶育成技術の開発を行い、転位欠陥を構造変換させる技術[1]を用いて高品質化を達成している[2]。この高品質単結晶を大口径化するためには、高周波誘導加熱により黒鉛坩堝内で 2000°C 程度に熔融保持した Si 系高温溶液内の複雑な温度分布、流れ分布、溶質 C 濃度分布を掌握する必要がある。高温溶液内の熱流動は直接測定できないため、熱流体シミュレーション[3][4]を用いて熱流動の予測を行うことで育成条件を検討するのが一般的である。しかし、熱流体シミュレーションは長時間を要し、また熱流動が多くのパラメータに影響されるため、このままでは育成条件の最適化は困難である。そこで宇治原研究室では、溶液成長プロセスの最適化に向けた第一歩として、機械学習を用いて高温溶液内の熱流体シミュレーションを高速予測するモデルを構築した[5]。著者は主に、その高速予測モデルに必要な熱流体シミュレーションの精度向上に向けて、Calphad 法を用いた Si 系高温溶液中の SiC 飽和炭素溶解度や種々の高温融体物性の予測を行った。本報告書では、著者が改善した熱流体シミュレーションを用いて構築した高速予測モデルを基に、実験に基づく知見を目的関数に定義し、最適化を行って育成条件を探索した結果について報告する。なお、本報告書の結果は宇治原研究室の学生、ポスドク(著者含む)、スタッフのチームワークによって達成されたものである。

2. 計算方法

最適化に至る一連の手順を図 1 に示す。はじめに軸対称の定常状態を仮定した 100 通りの熱流体シミュレーションを行った。この際、種結晶の回転速度、黒鉛坩堝の回転速度、黒鉛坩堝の内径、メニスカス高さ、黒鉛坩堝とコイルの相対位置の計 5 つの育成パラメータを、実験可能な範囲でランダムに与えた。次に計算結果をニューラルネットワークにより回帰し熱流動の予測モデルを構築した。回帰のための特徴量は、ランダムに与えた育成パラメータに加えて、溶液内の空間位置における温度、流速(r , θ , z 成分)、溶質 C 濃度を用いた。成長界面近傍において、C 過飽和度が一律に 0.025、対流が内向きとなる目的関数を定義し、多目的最適化により最適解を得た。

3. 結果

機械学習による予測モデルを検証した結果、0.1s 以下の時間で育成パラメータ範囲内の任意の条件の熱流体シミュレーション結果を予測できることが確認された。多目的最適化によって得られた最適解を図 2 に示す。ここで、図 2(a)の各軸は目的関数の値を表し、本研究では値が小さいほど設定した目的に近いことを意味する。また、最適解は k-means 法を用いて、育成パラメータ

を基に5つにクラスタリングされている。図2(b)および(c)から、最適解には2つの目的関数が反映されており、コンピュータ上での最適化が達成されたことが分かった。以上より、機械学習を用いて高速予測モデルを構築して即座に最適解を得る本研究の手法は、研究開発期間の大幅な短縮になると期待される。実際に本手法を溶液成長プロセスに適用したところ、4回目の実験で平滑な界面を維持した溶液成長が達成された。これは、通常の溶液成長法の研究開発と比較すると驚異的に少ない実験回数である。ただし、本研究の数値最適化から得た育成条件では目的を完全に満たすような実験結果は得られなかった。これは、的確な育成環境となるようには目的関数が正しく定義されていなかったことを示唆している。真に溶液成長プロセスの最適化を目指すには、目的関数の前提となる SiC 溶液成長法の基礎物理を実験・解析的に解明すること、その知見を正確に目的関数化する手法を確立することが重要であることが本研究より明らかとなった。

4. 最後に

本報告書は、著者が第164回日本金属学会春季講演大会 S2 ワイドギャップ結晶の材料学と高温プロセッシングで口頭発表した内容[6]を基にしている。また、著者は本報告書で示したフレームワークで他の結晶成長プロセスの最適化を目指す研究の熱流体シミュレーションをサポートした[7-12]。

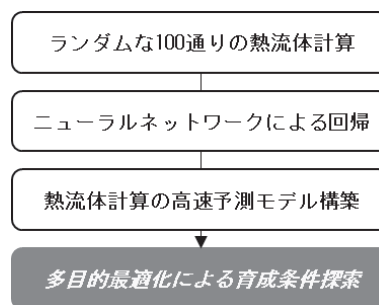


図1 機械学習による溶液成長条件の最適化のフローチャート。

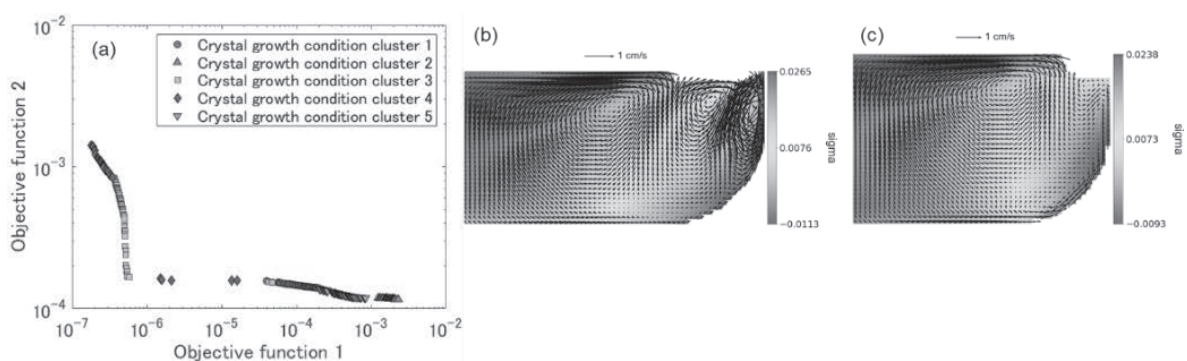


図2 (a) 2つの目的関数と最適解の関係, (b) cluster 3 の最適解例, (c) cluster 4 の最適解例(矢印: Si 系高温溶液の流れの方向と大きさ, 色: Si 系高温溶液中の C 過飽和度分布).

参考文献

- [1] S. Xiao, S. Harada, K. Murayama, M. Tagawa, T. Ujihara, Conversion Behavior of Threading Screw Dislocations on C Face with Different Surface Morphology During 4H-SiC Solution Growth, Cryst.

- Growth Des. 16 (2016) 6436–6439. doi:10.1021/acs.cgd.6b01107.
- [2] K. Murayama, T. Hori, S. Harada, S. Xiao, M. Tagawa, T. Ujihara, Two-step SiC solution growth for dislocation reduction, *J. Cryst. Growth*. 468 (2017) 874–878. doi:10.1016/j.jcrysgro.2016.11.100.
- [3] F. Mercier, J.M. Dedulle, D. Chaussende, M. Pons, Coupled heat transfer and fluid dynamics modeling of high-temperature SiC solution growth, *J. Cryst. Growth*. 312 (2010) 155–163. doi:10.1016/j.jcrysgro.2009.10.007.
- [4] T. Umezaki, D. Koike, S. Harada, T. Ujihara, Analysis of the carbon transport near the growth interface with respect to the rotational speed of the seed crystal during top-seeded solution growth of SiC, *Jpn. J. Appl. Phys.* 55 (2016). doi:10.7567/JJAP.55.125601.
- [5] Y. Tsunooka, N. Kokubo, G. Hatasa, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, High-speed prediction of computational fluid dynamics simulation in crystal growth, *CrystEngComm*. (2018) 6546–6550. doi:2018/CE/C8CE00977E.
- [6] T. Narumi, L. Hungyi, Y. Tsunooka, K. Ando, C. Zhu, K. Kutsukake, S. Harada, T. Ujihara, Fundamental investigation of high-speed prediction and optimization of SiC solution growth condition using machine-learning, in: Abstract B. 164th JIM Spring Meet., 2019: p. S2.10.
- [7] T. Ujihara, Y. Tsunooka, C. Zhu, K. Kutsukake, T. Narumi, M. Tagawa, S. Harada, Regression model of crystal growth simulation constructed by machine learning, in: Abstr. B. 66th JSAP Spring Meet., 2019: p. 9p–W321–6.
- [8] Y. Higuchi, Y. Tsunooka, K. Kutsukake, T. Narumi, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, Estimation of thermal conductivity using prediction model of temperature distribution by machine learning, in: Abstr. B. 66th JSAP Spring Meet., 2019: p. 9p–W321–8.
- [9] T. Ujihara, Y. Tsunooka, T. Endo, C. Zhu, K. Kutsukake, T. Narumi, T. Mitani, T. Kato, M. Tagawa, S. Harada, Optimization of growth condition of SiC solution growth by the prediction model constructed by machine learning for larger diameter, in: Abstr. B. 66th JSAP Spring Meet., 2019: p. 11p–70A–4.
- [10] J. Tiquin, Y. Tsunooka, G. Hatasa, T. Narumi, K. Kutsukake, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, High-speed prediction of crystallization conditions of SiC PVT method using machine learning, in: Abstr. B. 66th JSAP Spring Meet., 2019: p. 11p–70A–5.
- [11] S. Harada, C. Zhu, T. Endo, H. Koizumi, T. Narumi, M. Tagawa, T. Ujihara, High-quality crystal growth using dislocation convergence phenomena during SiC solution growth process, in: Abstract B. 164th JIM Spring Meet., 2019: p. S2.7.
- [12] K. Ando, L. Hungyi, Y. Tsunooka, T. Narumi, C. Zhu, K. Kutsukake, S. Harada, K. Matsui, I. Takeuchi, Y. Koyama, T. Ujihara, Application for estimation of high-temperature melt properties during SiC solution growth by comparing machine-learning model and experimental result, in: Abstract B. 164th JIM Spring Meet., 2019: p. S2.12.

接地電極不要な摩擦帯電型発電シート

中核的研究機関研究員 松永正広

研究背景・目的

人の動きや自動車の振動等の微小なエネルギーから電力を取り出すエネルギーハーベスティングは、各種センサを動作させるための電源としての利用が期待されている。振動発電の一種である摩擦帯電型の発電機構は、簡易構造・軽量・低コスト等の利点を持ち、応用への期待が高まっている[1]。本研究では、カーボンナノチューブ薄膜(CNT)を伸縮性のある透明電極として用いることで、ウェアラブル応用に向けた伸縮性発電シートの開発を目的としている。昨年度は、一電極系である摩擦帯電型発電シート(Triboelectric generator: TEG)を作製し、CF₄表面処理を施すことにより高い発電能力(~8 W/m²)を報告した。しかし、一電極系では、外部の接地電極に接続する必要があるため、設置自由度に制限が生じる。そこで、本報告書では、異なる表面処理により、外部接地電極の不要な二電極系をもつ摩擦帯電型発電シート構造を提案し、その出力を調べた結果について述べる。

発電機構

摩擦帯電型の発電機構は、接触帯電と静電誘導の組み合わせにより理解できる。図1に動作機構の概略図を示す。異なる誘電体同士が接触した際、接触帯電により接触界面の一方は正に、もう一方は負に帯電する。誘電体が離れると、電気的中性を保つように静電誘導により背面の電極に外部から電荷の移動が起き、電位差が生じる。発電能力は、接触帯電により生じる帯電量に大きく関連する。正に帯電しやすい材料と負に帯電しやすい材料の組み合わせ程、発電能力の向上が期待できる。

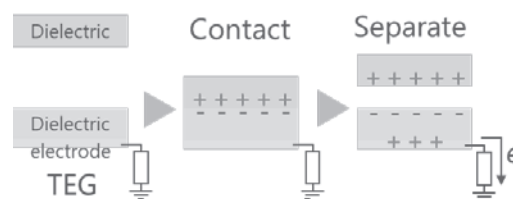


図1 摩擦帯電型の動作機構

研究成果

本研究で提案する発電シートの構造を図2に示す。透明なエラストマーであるポリジメチルシロキサン(PDMS)内に2つの電極(カーボンナノチューブ薄膜)を埋め込んだ。この状態では、接触帯電により生じる電荷量に差がほとんど生じない。そこで、一方の電極直上のPDMS表面にCF₄プラズマ処理による負帯電性の増大、もう一方にシランカップリング剤の一種である3-アミノプロピルトリエトキシシラン(APTES)処理による負帯電性の低減を行った。これらの処理により2つの電極直上のPDMS表面に生じる電荷量に差が生じ、発電能力の向上が期待される。

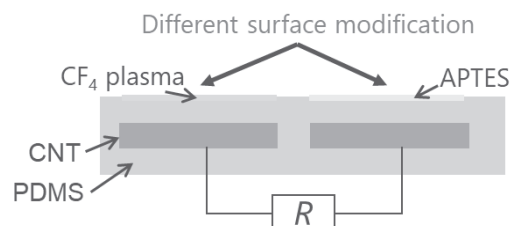


図2 発電シートの断面図

発電実験は、作製した発電シート表面にニトリル手袋をはめた手を接触させることにより振動(~2 Hz)を与え、その際に負荷抵抗(10 k-1 GΩ)両端の電圧を測定することで行った。

実際の出力波形を図3に示す。接触・非接触により、図3のような正負のパルス状の出力が得られる。本実験では、接触時に生じる正パルスの瞬時値を各負荷抵抗時の出力として扱っている。図4に各負荷抵抗接続時の出力密度をプロットしたものを示す。出力密度は瞬時値で、 $\sim 3.5 \text{ W/m}^2$ という出力を得た。この値は、先行研究($\sim 135 \text{ mW/m}^2$) [2]に比べて高い値を示す。出力密度のピーク値は、負荷抵抗の値が $30 \text{ M}\Omega$ 付近にみられる。インピーダンス整合を考慮すると、発電シートの内部抵抗が高いことを意味するが、これは、摩擦帯電型の発電機構が容量結合によるものであることに起因している。CF₄プラズマ処理による表面改質の効果は、昨年度の研究結果より確認できている。そこでAPTES処理の有効性を確認するため、APTES処理を行っていないシートを作製した。その出力密度は、 $\sim 2.7 \text{ W/m}^2$ であり、APTES処理により2割程の出力向上を確認できた。

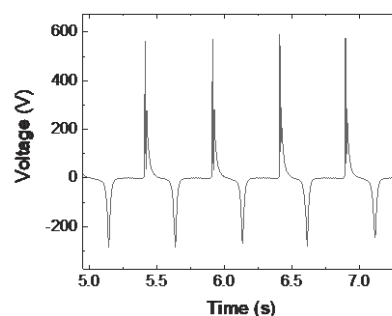


図3 実際の出力波形

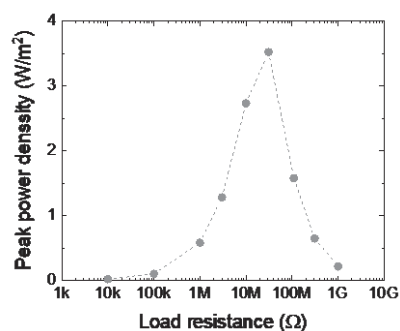


図4 各負荷抵抗接続時の出力密度

まとめ

本研究では、CF₄プラズマ処理とAPTES処理という異なる表面処理を行うことで外部接地電極不要な摩擦帯電型発電シートの構造を提案し、その発電能力を評価した。瞬時値で出力密度 3.5 W/m^2 と先行研究と比較して高い出力を得た。今後の課題としては、正帯電性表面処理の導入等による更なる性能向上と発電シートの耐久性の検討があげられる。

参考文献

- [1] Z. L. Wang, *Mater. Today* **20**, 74 (2017).
 [2] T. Liu *et al.*, *ACS Nano* **12**, 2818 (2018).

受賞

第44回応用物理学会講演奨励賞、2018年9月、応用物理学会
 若手奨励賞、2019年3月、フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会

学会発表

1. 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電極として用いた透明で伸縮性のある摩擦帯電型発電シート”、第79回応用物理学会秋季学術講演会、19p-224B-1、名古屋国際会議場、2018年9月 【講演奨励賞受賞記念講演】
2. M. Matsunaga, J. Hirotsu, S. Kishimoto, and Y. Ohno, “High-Performance, Transparent and Stretchable Triboelectric Generator with Carbon Nanotube Thin Film”, 19th International Conference on the Science and Application of Nanotubes and Low-dimensional Materials, PA069, 中国北京, 2018年7月

他5件

柔軟鎖と剛直鎖から成るブロック共重合体の調製とマイクロ相分離構造

VBL 非常勤研究員 土肥 侑也

<緒言>

異種高分子を共有結合でつないだブロック共重合体は、構成成分の組成や分子量に応じて、様々なマイクロ相分離構造を形成することが知られている。例えば、両成分とも柔軟な鎖から成る 2 成分 AB ジブロック共重合体 (図 1a) では、形成する相構造が A 鎖 (あるいは B 鎖) の体積分率 Φ_A (あるいは Φ_B)、成分 AB 間の相互作用の大きさ χ_{AB} 、高分子の重合度 N の 3 つの分子パラメータを用いて、現在までに包括的に理解されている。

成分の一方が剛直な鎖から成る AB ジブロック共重合体 (図 1b) では、柔軟な鎖のみから成る共重合体とは異なるマイクロ相分離構造を形成すると考えられる。具体的には、 Φ_A 、 χ_{AB} 、 N の他に、剛直鎖の固さを表すセグメント長 l が相分離構造を決める因子となり、また剛直鎖が凝集した際に液晶性を示すことが挙げられる。これらを考慮した理論・シミュレーション研究がいくつかある一方で、実験的な研究例はそれほど多くない。その理由の 1 つに試料合成の難しさが挙げられ、実際に分子量が制御されたモデルブロック共重合体を用いた系統的研究は、これまでほとんど行われていないのが現状である。

本研究では、柔軟鎖であるポリスチレン (PS) と典型的な半屈曲性鎖であるポリ (n -ヘキシルイソシアネート) (PHIC) のジブロック共重合体試料 P(S-*b*-HIC) (図 2) をアニオン重合により合成し、そのバルク状態におけるマイクロ相分離構造を透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察と広角 X 線散乱 (WAXS) 測定により評価した。

<実験>

P(S-*b*-HIC)試料は、高真空下でクミルカリウムを開始剤として、THF 中でモノマー S と HIC の逐次添加によるアニオン重合により合成した。HIC の重合は、Lee らの方法[1]に倣い、開始剤の約 10 倍モル量のテトラフェニルホウ酸ナトリウム存在下、-98°C で 10 分間の反応を行った。得られた試料は、サイズ排除クロマトグラフィー (SEC) 分取により、未反応 PS と PHIC ホモポリマーを取り除くことで、高純度ブロック共重合体試料とした。精製後試料の分子特性は、SEC、多角度光散乱 (MALS)、プロトン核磁気共鳴 ($^1\text{H-NMR}$) 測定により評価し、表 1 にまとめた。

構造観察用試料は、5 wt% の THF 溶液から 3~10 日かけて溶媒をキャストすることで調製した。TEM 観察は JEM-1400 (JEOL) を用いて、印加電圧 120 kV で行った。TEM 観察用試料は、エポキシ樹脂で包埋しマイクロトームで超薄切片を作成した後、四酸化ルテニウム (RuO_4) で PS 相を選択的に染色することでコントラストをつけた。WAXS 測定は R-AXIS-IV (Rigaku) を用い、カメラ長 2 m、入射波長 1.5 Å の条件で行った。

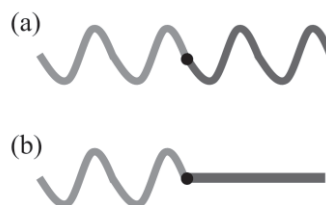


図 1. (a) 柔軟鎖のみ、ならびに、(b) 柔軟鎖と剛直鎖から成るジブロック共重合体の模式図

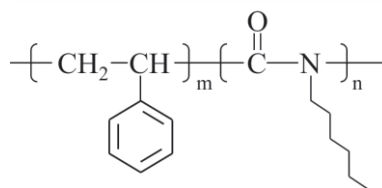


図 2. P(S-*b*-HIC)ブロック共重合体の化学構造

表 1. P(S-*b*-HIC)試料の分子特性

Sample	$M_{n,PS}^{a,b}$ kg/mol	$M_{n,PHIC}^c$ kg/mol	Φ_{PHIC}^c	M_w/M_n^b
P(S- <i>b</i> -HIC)	97.8	45.8	0.31	1.06

Estimated by (a) MALS, (b) SEC and (c) $^1\text{H-NMR}$ measurements

<結果と考察>

図 3a に P(S-*b*-HIC)試料の TEM 観察結果を示す。P(S-*b*-HIC)試料は、PS マトリクス中に柱状の PHIC ドメインが規則的に配列した構造を形成した。一般に柔軟鎖のみから成るブロック共重合体では、円形の断面を有する柱状構造を形成するのに対し、本 P(S-*b*-HIC)試料では角張った断面を有する柱を形成している。これは、剛直な PHIC 鎖が二次元的に空間を埋めるために生じた結果と考えられる。また、広範囲の TEM 像の高速フーリエ変換の結果、図 3b に示すように、柱の配列が六方充填の周期性を示すこともわかる。

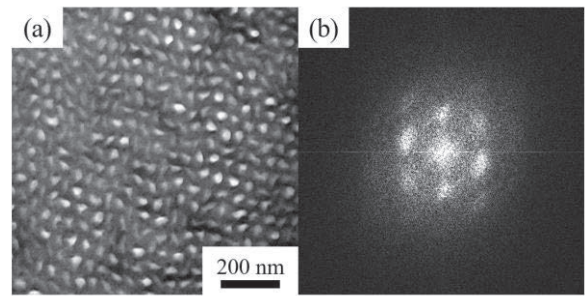


図 3. P(S-*b*-HIC)の(a) TEM 像、(b) 広範囲の TEM 像を高速フーリエ変換して得られたパワースペクトル

図 4a に P(S-*b*-HIC)試料の WAXS 観察結果を示す。P(S-*b*-HIC)試料は、 $q^* = 3.9 \text{ nm}^{-1}$ に明確なピークを示した。PHIC ホモポリマーでは、 $q^* = 4.8 \text{ nm}^{-1}$ にピークを示し、相関距離 $d = 2\pi/q^* = 1.3 \text{ nm}$ のネマティック型の液晶構造を形成することが知られている[2]。それに対して本研究の P(S-*b*-HIC)試料で見られた散乱ピークは、見かけ上、より大きな相関距離を持つことを意味している。PHIC 鎖部の密度は、ホモポリマーとブロックポリマーでほとんど変化がなく、

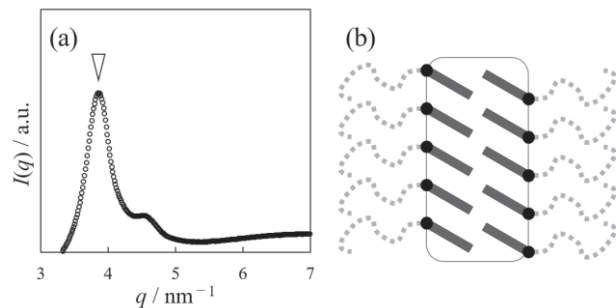


図 4. P(S-*b*-HIC)の(a) WAXS プロファイル、(b) PHIC 鎖部の柱状ドメイン内の充填様式

すなわち PHIC 鎖間の距離も本来ほとんど変わらないと考えられる。図 4b に模式的に示すように、もし角張った柱状ドメイン内で、剛直な PHIC 鎖が界面に沿って斜めに傾きながら配列、凝集し、スメクティック C 型の液晶構造を形成していると考えれば、WAXS 測定の結果を矛盾なく説明できる。

<まとめ>

本研究では、アニオン重合と SEC 分取精製により分子量ならびに組成が制御された P(S-*b*-HIC)試料を調製し、その凝集構造を評価した。今回調製した $\Phi_{\text{PHIC}} = 0.31$ の試料では、PS がマトリクス、PHIC がドメインとなる角張った断面を有する六配位柱状構造を取ることを確認した。さらに、柱状ドメイン中で PHIC 鎖が界面に対して斜めに傾いて配列したスメクティック C 型の液晶構造を取ることも確認した。今回は 1 種類の試料の調製、評価に留まったが、今後さらに異なる組成の P(S-*b*-HIC)試料についても同様に調製し、構造評価することで、ブロック共重合体の成分鎖の剛直性と形成するマイクロ相分離構造の関係性を系統的に理解することを目指す。

<参考文献>

- [1] Lee, J. S. et al. *Macromolecules* **2001**, *34*, 2408-2410.
- [2] Aharoni, S. M. et al. *Macromolecules* **1979**, *12*, 94-103.

MISIM型光電変換セルの光誘起分極電流

VBL中核的研究機関研究員 横倉聖也

【研究背景】

安価で環境負荷が少ない有機光電変換が注目を集めているが、その機構は無機デバイスのもので変わらず、安定性に劣る有機素子内を直流電流が一方向に流れるなど、有機系の特性を捉えたものではない。当研究室では、[金属 1(M)/絶縁分極層(I)/電荷分離層(S)/金属 2(M)]なる構造の光電セル(MISM セル)を用いた研究が進められてきた[1]。このセルでは図 1 に示すように、電極界面での電荷分離と薄膜内部の絶縁分極が組み合わせられ、光照射により、界面電荷分離→バルク電荷蓄積→バルク分極→界面電荷分離という正のスパイラルが光電流を巨大化するのが特徴である。この機構によりこのセルではパルス光を交流電流に変換可能であるため、情報通信への応用が期待される。特に低誘電率の固体誘電体を用いた MISM セルは高速応答を示すためこのような応用に適している。

本研究では応答速度の更なる高速化に向け、MISM セルにさらに I 層を追加した MISIM セルを作製した。このセルでは S 層の両側が I 層で覆われ絶縁されているため電流が流れないように見えるが、変調光を照射したところ交流電流出力が確認された。よってこのセルでは分極電流によってのみ光応答が得られていると考えられる。デバイス構造や電極材料の異なる素子を作製しその光応答を比較することで、MISIM セルにおける光誘起分極電流の機構について調べた。

【研究成果】

本研究では、ITO ガラス基板上に I 層、S 層、I 層、電極 M を積層させた MISIM セルを作製した。各 I 層に Parylene C、S 層に Zinc-Phthalocyanine (ZnPc) と Fullerene (C₆₀) の多層膜、電極 M に Ag, Cu, Au を用いたセルを作製した。光過渡電流の極性を決める要因を調べるため、S 層の積層順が異なる ITO/I/ZnPc/C₆₀/I/M (DA-type) と ITO/I/C₆₀/ZnPc/I/M (AD-type) をそれぞれ作製した。光過渡電流測定の際には 639 nm のレーザー光を用いた。光照射の変調はファンクションジェネレーターで行い、アンプで増幅したシグナルをオシロスコープで計測した。光過渡電流はすべてバイアス無しで測定した。

電極 M に Ag を用いたセルに 10 kHz の変調光照射時の光過渡電流の測定結果を示す。DA-type セルでは光照射時 (on-state) に正の電流、光遮断時 (off-state) に負の電流が観測され、一方で、AD-type セルでは on-state 及び off-state で極性の反転が確認された。

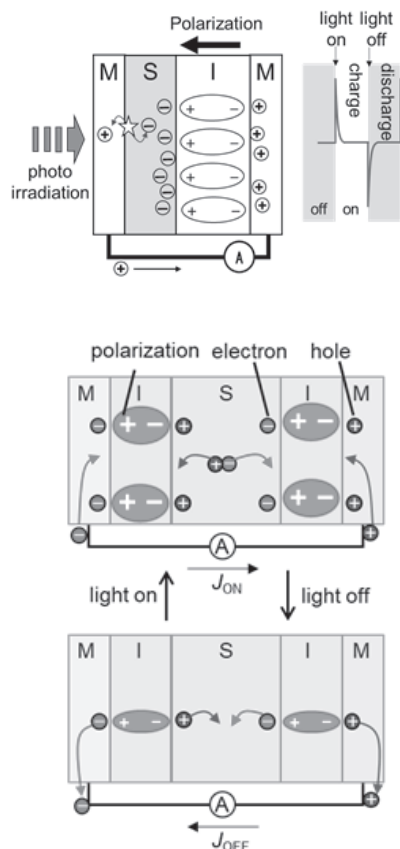


図 1 MISM 及び MISIM 型フォトセルの概念図

また、一般的な太陽電池の動作原理と同様に考えると、仕事関数がS層のHOMOやLUMOに整合することが重要となるが、MISIMセルの場合、Ag, Cu, Auを用いたセルの電流強度の差は小さかった。以上のことから、MISIMの特性は電極の仕事関数にあまり依存せず、I層の内側すなわちS層の極性によってほぼ決まることが示唆された。また、電流の緩和過程から光照射時(分極時)の電流の方が、光遮断時(脱分極時)の電流に比べて緩和時間が早いことがわかった。

次に、on-state及びoff-stateの光過渡電流の周波数依存性を検討した(図2(a))。On-stateでは、周波数が高くなるにつれ電流密度が減少するのに対し、off-stateでは電流密度の周波数依存はほとんど見られなかった。得られた電流の時間変化から光照射によって誘起された分極の時間変化をプロットしたところ、図2(b)に示すように、光照射時の分極変化は周波数に大きく依存するのに対し、光遮断時の分極変化すなわち脱分極過程のプロットが周波数に依存せず、同じ曲線上にのることがわかった。上記の通り分極過程に比べて脱分極過程の進行が遅いことを考慮すると、低周波数では分極と脱分極が十分に進行する一方で、高周波数ではoff-stateにおける分極緩和が不十分となり、不完全な脱分極の後、再び分極を開始する。その結果on-stateでの分極変化量が小さくなり高周波数で電流強度が減少したと考えている。この結果から、MISIM型フォトセルの特性を改善するためには、分極過程のみならず脱分極過程の応答速度を向上させることが重要であることが示唆された。

【参考文献】

[1] L. Hu, et al., *J. Mater. Chem. C*, **2015**, 3, 5122-5135

【学会発表】

1. 横倉聖也, 富松明宏, 松下未知雄, 阿波賀邦夫 “MISIM型光電変換セルの光誘起分極電流”, 第12回分子科学討論会, 福岡国際会議場, 2018年9月
2. 横倉聖也, 松下未知雄, 阿波賀邦夫 “光誘起分極電流による交流出力光電変換セル”, 日本化学会第99回春季年会, 甲南大学, 2019年3月
3. S. Yokokura, A. Tomimatsu, M. M. Matsushita and K. Awaga, “AC photoelectric conversion cells driven by polarization of insulator layers” 8th International Workshop “Organic Electronics of Highly-Correlated Molecular Systems”, Suzdal, Russia, Sept. 23–25, 2018

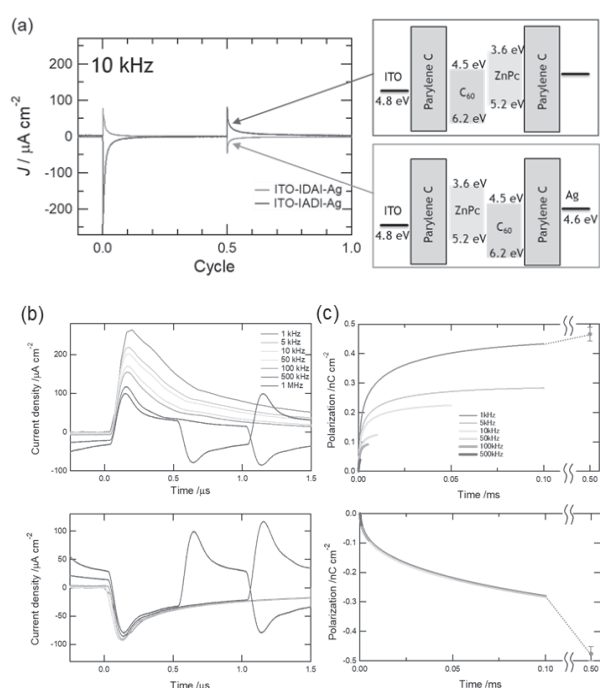


図2 (a) DA及びAD型MISIMセルの光過渡電流とエネルギー図. DA及びAD型MISIMセルのOn-state及びOff-stateにおける (b) 光電流と、(c) 分極の周波数依存性.

4. VBLで過ごした日々 (Days Spent at VBL)

My stay at VBL

Dr. P. MOBIAN

Laboratoire de Chimie Moléculaire de l'Etat Solide, UMR 7140
Faculty of Chemistry, University of Strasbourg, France
mobian@unistra.fr

Thanks to the VBL program, I had the opportunity to stay at the Nagoya University from the 1/07/2018 to the 10/08/2018 hosted by Professor E. Yashima. In terms of molecular design, research projects that I develop in Strasbourg and that of Yashima's laboratory have a lot in common. Thus, Prof. Eiji Yashima kindly invited me to apply for the VBL program for the development of a common project aiming to generate helicate assemblies based on boron centers. More precisely, we wanted to use the ligands that I employ for Titanium(IV) coordination chemistry with the very successful boron chemistry proposed by the Yashima's team. During my stay in Nagoya, I prepared and isolated in a joint collaboration with Manabu Itakura (a student of the team), two new helicates (a dinuclear and a trinuclear species). Contrary to many boron-based architectures, these unprecedented helical compounds appeared to be really stable in solution. Now, back in France, we continue to collaborate to consolidate the very promising scientific achievements obtained in Nagoya.

One lecture was delivered entitled « Colored Titanium oxo-clusters ». This lecture has detailed the chemistry of Ti(IV)-based oxo-clusters as models of TiO_2 (see the picture below taken after my talk).

Overall, the Venture Business program was very benefic to initiate our collaboration but also for discussions. In particular, I really appreciated the scientific exchanges with all the members of the Yashima's laboratory. Also, I would like to mention that the meeting with Dr. Atsushi Takano from the Department of Molecular and Macromolecular Chemistry was particularly fruitful and we expect to start a new collaboration together.

Again, I really thank the Venture Business program for allowing me to stay for more than one month in such a highly exciting scientific environment and for permitting to strongly initiate the collaboration with the Yashima's team.



Nagoya University - University of New South
Wales

VBL Visiting Professor Fellow Report

Period 08th November 2018 – 04th December 2018



Cyrille Boyer

05/02/2019

Introduction:

Nagoya University has a very strong research program in polymer science and catalysis as demonstrated by the presence of several world-leaders in this field. These distinguished researchers include Prof. Masami Kamigaito (Polymer Chemistry), Prof. Kazuaki Ishihara (Green Synthesis and Catalysis), Prof. Makoto Yamashita (Organo-Metallic Chemistry), Prof. Takashi Ooi (Organic reactions), Prof. Yoshinobu Baba (Nanomedicine), Prof. Eiji Yashima (Tacticity Control, Supramolecular), Prof. Yushu Matsushita (Self-Assembled Nanophase Structures), Prof. Hiroshi Shinokubo (Metal Catalysis, Novel Functional Organo-Complexes) and Prof. Tokahiro Seki (Molecular Architectures and Photoinduced Dynamics). It was my great honor to have the opportunity to stay in the Prof. Kamigaito's group as a Venture Business Laboratory (VBL) Visiting Professor Fellow from November 08th to December 04th. This visit, which was my second visit to Japan, has allowed me to identify potential research collaborations with several professors at Nagoya University and have a better understanding about their diverse research areas.

Part 1: Exchange of Knowledge:

These 4 weeks have allowed me to have formal meetings and informal discussions with masters and PhD students in Prof. Kamigaito's laboratory. Indeed, in the first week, I have discussed with all students under Prof. Kamigaito's supervision. I have been extremely impressed by the broad knowledge in polymer chemistry of each student and their professionalism. Each student explained to me their respective projects and associated difficulties. Face-to-face meetings such as these, gave me the opportunity to communicate with them and provide some direct feedback (in some cases). Additionally, I was also able to have more informal discussions in the laboratory, which I found to be a great experience and I hope it was the same for the students.

During the third and fourth weeks, I was able to have several meetings with other professors in the Department of Molecular and Macromolecular Chemistry – Graduate School of Engineering. During these meetings, I learned of new concepts,

which I identified as areas of potential collaboration; these areas include stereochemistry, catalysis as well as nanomedicine. All these discussions have allowed me to gain first-hand knowledge in the excellent research performed at Nagoya University.

In addition to these meetings, I gave two lectures at Nagoya University: one VBL seminar on 12th November 2018 where I presented our technique of polymerization developed in my group, named photoinduced electron/energy transfer – reversible addition fragmentation chain transfer polymerization (PET-RAFT) and its application for sequence defined polymers, and an invited talk on 03rd December 2018 (**Figure 1**), where I presented the use of high throughput polymerizations and polymerization-induced self-assembly (PISA) for the production of polymeric nanoparticles.



Figure 1. VBL Seminar on December 03, 2018.

Part 2: Research Experience

Under the guidance of Prof. Masami Kamigaito, Associate Prof. Kotaro Satoh,

Assistant Prof. Mineto Uchiyama, Zhihong Sun (Master Student) and Nagisa Ito (PhD student), we performed some research experiments in combining photo-induced electron/energy transfer – reversible addition fragmentation chain transfer polymerization (PET-RAFT) with living cationic polymerization; the latter being one of the main research areas in Kamigaito’s group. The main objective of this project was to identify the compatibility of these two types of polymerization to produce functional well-defined polymers with greater efficiency. Indeed, the development of new tools for precision control over the microstructure of polymer is one of the ultimate goals for polymer chemists. The controlled radical polymerization (CRP) techniques, including reversible addition-fragmentation chain transfer polymerization (RAFT), atom transfer radical polymerization (ATRP), and nitroxide mediated polymerization (NMP), are powerful and robust platforms for the synthesis of well-defined molecular weight and architectures. However, these techniques suffer from several limitations, including poor control of tacticity, monomer sequence, and control over the microstructure. Furthermore, CRP techniques can only polymerize a set of monomer families (which include (meth)acrylates and (meth)acrylamides), usually requiring high temperatures and inability to be easily controlled via external stimuli, such as light. In 2014, we discovered a technique of polymerization, named PET-RAFT polymerization, which can be easily controlled via visible light at room temperature. This technique used a photocatalyst to activate/deactivate a RAFT polymerization. In contrast to traditional RAFT polymerization, PET-RAFT can be achieved in the absence of initiators as RAFT agent acts as initiator and at room temperature, with the capability of easily switching off the polymerization by turning off the light, providing an extra-layer of control over the polymerization. In the last 5 years, my group has perfected this technique by the discovery of various photocatalysts activatable by wavelengths ranging from blue to near-infra-red light. Interestingly, by doing a literature survey, we have identified an important knowledge gap as CRP and controlled cationic polymerization have rarely been combined, except in few seminal examples reported by Prof Masami Kamigaito’s team. The aim of this

project was to combine PET-RAFT with living cationic polymerization, to afford the synthesis of complex macromolecules containing incompatible monomers, such as vinyl ether and methacrylate monomers. In this work, we tested a PET-RAFT system, which used 5,10,15,20-tetraphenyl-21H,23H-porphine zinc (ZnTPP) as photoredox catalyst for the polymerization of acrylates (methyl acrylate), with the cationic polymerization of isobutyl vinyl ether. We have identified that ZnTPP was tolerant to the presence of Lewis Acid ($B(C_6F_5)_3$) used for the cationic polymerization allowing photo-switchable interconvertible radical/cationic copolymerization of these two monomers. Interestingly, the rate of polymerization can be manipulated by switching on the visible light, where radical and cationic polymerizations can occur, whereas in the absence of visible light, no radical polymerization (PET-RAFT) was observed and only cationic polymerization proceeds. Our preliminary data showed that radical polymerization system could be controlled via visible light and that this system allows the synthesis of complex macromolecules, containing rich domains in vinyl ether when no illumination is applied. However, we also identified some challenges as the polymerization rate was much slower when the two catalysts were present, which indicates some antagonistic reactions between the two catalysts. This is a significant challenge as the polymerization required weeks to achieve high monomer conversion. We are currently testing different solvents to evaluate its effect on the polymerization rate.

Conclusions:

The VBL program has allowed the following professional achievements: i) exchange of knowledge between my research group (UNSW) and Nagoya University and ii) initiation of collaborations between Kamigaito's group and mine on the combination of PET-RAFT and living cationic polymerization. In addition, it was immensely enjoyable to personally experience Japanese culture. Indeed, all of Kamigaito's group members welcomed me and interacted with me in an enthusiastic manner. The

students also organized a welcome party on Friday 09th November 2018 (**Figure 2**) as well as invited me at different events, including bowling competition (10th November) and baseball matches (17th November) organized by the department. In conclusion, I felt part of the research group. **My only regret was that my visit was too short.**



Figure 2. Social event at 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

宇治原徹 (委員長、未来材料・システム研究所、教授、ラボラトリー長)
樋野 励 (経済学研究科、教授)
森郁 恵 (理学研究科、教授)
瓜谷 章 (工学研究科、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)
青井啓悟 (生命農学研究科、教授)
畔上秀幸 (情報学研究科、教授)
大野雄高 (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 30 年 6 月 25 日(月)

審議事項：

平成 30 年度事業計画(案)について
平成 29 年度決算(案)について
平成 30 年度予算(案)について
平成 30 年非常勤研究員の募集について
平成 30 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 30 年海外派遣者の追加募集について

報告事項：

平成 30 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 29 年度事業報告について

- ・ 第 2 回事業委員会 平成 30 年 8 月 7 日(火) 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 (非常勤職員) の採用について

- ・ 第 3 回事業委員会 平成 30 年 11 月 28 日(水) 書面審議のみ

審議事項：

平成 31 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 31 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 31 年度海外派遣者の募集について

・第4回事業委員会 平成31年2月15日(金)

審議事項：

平成31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30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30年度事業報告について
その他

5.2 研究推進専門委員会

委員会委員

宇治原徹	(未来材料・システム研究所、教授、VBL長)
大野雄高	(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)
鳥本 司	(工学研究科、教授)
岸田英夫	(工学研究科、教授)
竹延大志	(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)
天野 浩	(未来材料・システム研究所、教授、教授)
渡邊信久	(シンクロトロン光研究センター、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)
内山晴貴	(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

宇治原徹	(未来材料・システム研究所、教授、ラボラトリー長、委員長)
瓜谷 章	(工学研究科、教授、外部委員)
青井啓悟	(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)
大野雄高	(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 31 年 3 月 8 日(金) 13:00-15:00

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) 高分子ナノ組織化プロセスグループ 永野修作 准教授
題目：液晶性高分子のヘテロスメクチックラメラ構造を用いたシングルナノ微細構造形成
 - (2) 半導体ナノプロセスグループ 大野雄高 教授
題目：ウェアラブルエレクトロニクスのためのカーボンナノチューブデバイス技術
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。

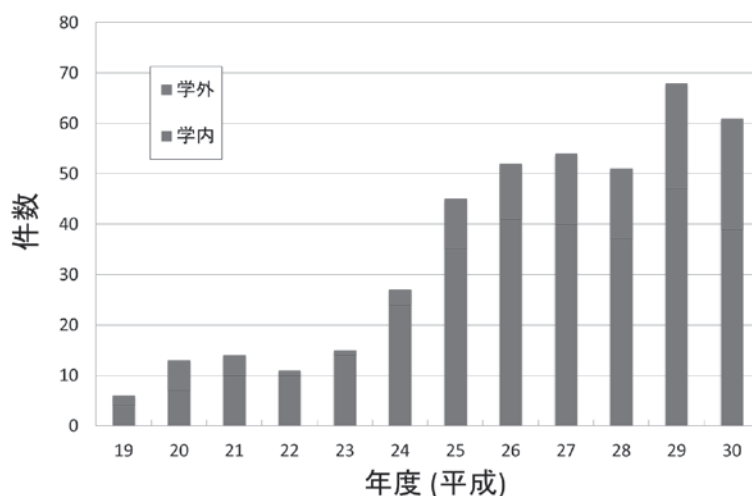


図. ナノテクプラットフォーム支援件数の推移(～22年度までナノ支援)

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	Characterization of nitride semiconductor materials	Dinh, Duc Van	名古屋大学
2	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
3	光学素子の作成	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)
4	光・テラヘルツ波制御のための高機能メタマテリアルの提案	高野 恵介	信州大学
5	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
6	Study on a sub-micron structure of GaN related semiconductor	出来真斗	名古屋大学
7	トンネル接合の作製およびカーボンナノ物質成長制御	柏谷 聡	名古屋大学
8	ハーフメタルを用いたスピndeバイスの研究	植田研二	名古屋大学
9	光学的観察のための金属フィルタの作製	溝尻瑞枝	長岡技術科学 大学
10	Vapor-Liquid-Solid 成長モードによる機能性酸化ナノワイヤー成長に関する研究	一野祐亮	名古屋大学
11	フォトカソードのための半導体技術開発	小泉 淳	Photo electron Soul
12	量子ナノ構造デバイスの研究	廣谷 潤	名古屋大学
13	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
14	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
15	細胞培養マイクロデバイスの開発	清水一憲	名古屋大学
16	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
17	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
18	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
19	プラズマ照射試料の表面観察	梶田 信	名古屋大学
20	トップダウン・ボトムアップ統合オンチップ細胞計測システム	益田泰輔	名古屋大学

21	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
22	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
23	オンチップ時空間制御による光合成細胞の環境応答昨日の解明	魚住信之	東北大学
24	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
25	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
26	超高速オープンフローサイトメータの開発	松阪 諭	筑波大学
27	パワーデバイス用 GaN 基板の評価	大森雅登	名古屋大学
28	がん転移悪性度の簡易的評価を目的とした微小流路によるがん細胞力学的特性評価	中村匡徳	名古屋工業大学
29	FLASH 焼結による新規セラミックスの創成	徳永智春	名古屋大学
30	SiC 上グラフェンの構造評価	乗松 航	名古屋大学
31	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
32	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
33	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
34	高分子材料及び二次元ナノ材への光共振器導入による発光デバイスの作製	竹延大志	名古屋大学
35	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
36	高効率磁化反転技術の開発	大島大輝	名古屋大学
37	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
38	液中プラズマを用いたナノグラフェン合成に及ぼす超音波の影響	安田啓司	名古屋大学
39	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
40	酸化チタンを用いた二次元ナノ構造体作製に向けた絶縁膜上酸化チタン結晶の作製	原田俊太	名古屋大学
41	現像液添加剤による現像性の影響	春日井博之	竹本油脂株式会社
42	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
43	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	竹延大志	名古屋大学

44	FeSiB アモルファス薄膜を用いたひずみセンサの試作	藤原裕司	三重大学
45	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
46	高度分離を目的とした機能性ナノファイバー膜の創製	向井康人	名古屋大学
47	UV 硬化型材料の性能評価	大和真樹	ELE Consulting
48	超臨界流体急速膨張法によるカロテノイドナノ粒子の調整	後藤元信	名古屋大学
49	微細加工を用いたバイオマイクロの研究	福田敏男	名城大学
50	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
51	反応性イオンエッチングを用いた焦点制御型回折レンズの作製	元垣内敦司	三重大学
52	記憶力を有するラセン高分子の創成と究極機能の開拓	八島栄次	名古屋大学
53	有機太陽電池の応用に向けた有機薄膜の構造評価	尾上 順	名古屋大学
54	複合高分子/不揮発性液体からなるゲル電解質を用いた色素増感太陽電池の作成	野呂篤史	名古屋大学
55	樹脂基板スパッタリングにおける、ボンバード処理の有用性	前田史恵	東海興業株式会社
56	光応答性ブロック共重合体薄膜の配向制御と応用	関 隆広	名古屋大学
57	CVD 成長した WS ₂ 原子層を用いた高移動度デバイス作製法の開発	北浦 良	名古屋大学
58	酸化合金触媒のメタン水蒸気改質反応への適応	山田博史	名古屋大学
59	多結晶 CVD-SiC の粒界分析	伊藤公一	東海エンジニアリングサービス
60	GaN Integration with amorphous substrates via silicon seed layers fabricated by aluminum-induced crystallization	Mel Hainey, Jr.	名古屋大学
61	方向感度を持つ暗黒物質探索用検出器としての超高分解能原子核乾板における低速イオン検出性能の評価	中 竜大	名古屋大学

他 成果非公開自主事業等 2 件

6.6 ナノテクプラットフォーム利用報告

課題番号	: F-18-NU-0002
利用形態	: 機械利用
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
ProgramTitle(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.-H. 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 Univ.
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。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。今プロトタイプ装置の製作をすすめています。

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、Deep Si Etcher

【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と Deep Si Etcher 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、最後のプラ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)

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に成功しました (Fig.1)。微細貫通穴を形成した培養型プラナーパッチクランプチップを製作装備して、プロトタイプ機に設置する

マイクロ流路素子を試作しました (Fig.2 はその素子の 3D 図)。基板のシリーズ抵抗などを測定しました。今後シール抵抗の増大と播種培養技術の開発を進め、本技術の実用化をめざす予定です。

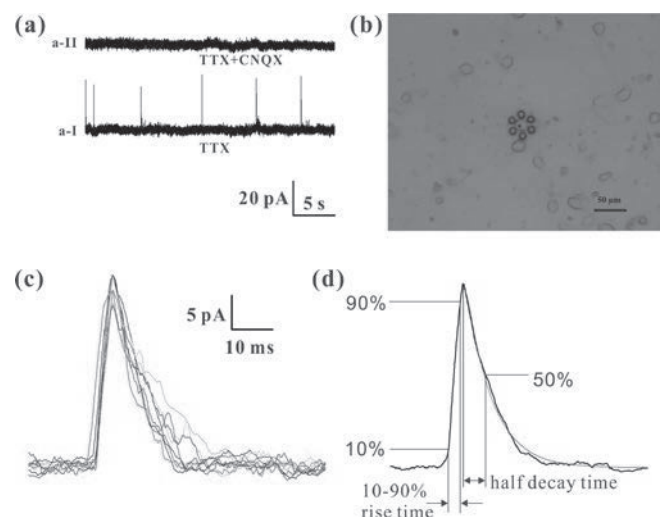


Fig.1 (a) Observed spontaneous channel current recordings. (a-I) TTX ($1 \mu\text{M}$) is added to the bath solution, and the membrane potential (V_m) is 12.6 mV. (a-II) TTX ($1 \mu\text{M}$) + CNQX ($25 \mu\text{M}$) is added to the bath solution, and the V_m is 16.0 mV. (b) Bright field image of neuron after 24 days culture observed before channel current measurement (a). Scale bar is $50 \mu\text{m}$. (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.

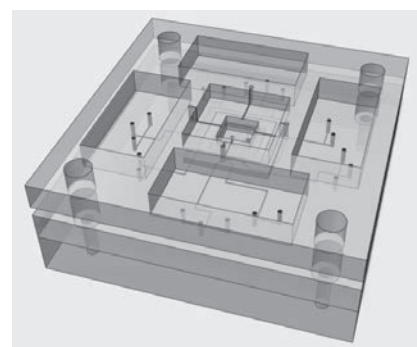


Fig.2 4ch microfluidic planar patch clamp device.

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 石垣診祐特任准教授。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
- ・利用した他のプラットフォーム支援機関:分子科学研究所(S-18-MS- 3001)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 王志宏,宇野秀隆,栗田裕子,高田紀子,宇理須恒雄, “神経細胞播種密度と自発的シナプス電流の関係”, 第79回応用物理学会秋季学術講演会, 2018年9月18日~2018年9月21日, 名古屋, 日本
- (2) 宇理須恒雄、王志宏、宇野秀隆、栗田裕子、“培養型プレーナーパッチクランプを用いた神経細胞ネットワーク診断プラットフォームの開発”バイオマテリアル、36, 208-213 (2018).

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0004
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 微細構造光学素子の作成について
Program Title (English) : Fabrication of micro structured optics
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 : 成膜・膜堆積、膜加工・エッチング、微細光学素子

1. 概要(Summary)

表面に微細構造を設けて、これによって生じる光波の回折や散乱、偏光を利用する技術は、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。本実験では、名古屋大学の微細加工プラットフォーム設備を利用して、平面基板上に金属微細パターンを設けた光学フィルターを作成した。

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

【実験方法】

3 元マグネトロンスパッタ装置を使用し、ガラス基材上に Cr を成膜した。この基材上に、フォトリソグラフィ及びウェットエッチングを用いて、Cr 微細パターンを作成した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

今回の光学フィルター作成にあたっては、Cr 部は遮光性を持つ必要があり、可視光透過率 0.1%以下を目標とした。まず、膜厚と透過率の関係を調べた。ガラス上に成膜した Cr 膜厚とそれぞれの可視光透過率スペクトルを Fig.1 に示す。

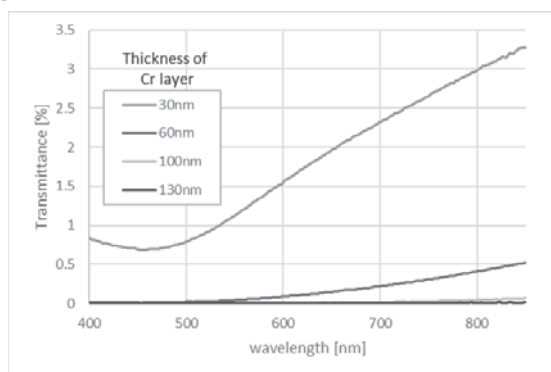


Fig.1 Visible transmittance spectra of Cr layer on glass.

Cr 膜厚が 100nm 以上で透過率 0.1%以下となり、十分な遮光性を持つことがわかった。

Cr を成膜した基材を使用して、フォトリソグラフィ及びウェットエッチングにより作成したパターンを Fig.2 に示す。

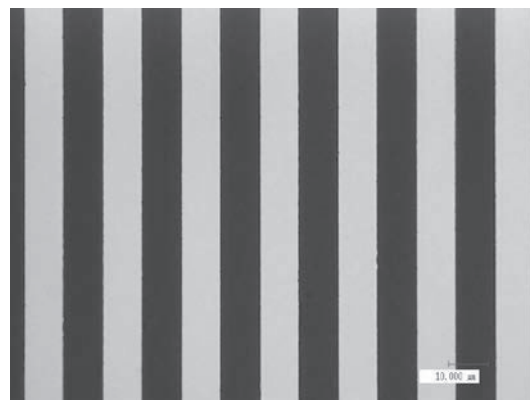


Fig.2 Picture of Cr pattern.

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-18-NU-0005
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 光・テラヘルツ波制御のための高機能メタマテリアルの提案
 Program Title (English) : Multi-functional metamaterials for light-THz wave control
 利用者名(日本語) : 高野恵介¹⁾, 谷口智洋²⁾, 山本敏禎²⁾
 Username (English) : K. Takano¹⁾, T. Taniguchi²⁾, T. Yamamoto²⁾
 所属名(日本語) : 1) 信州大学 環境・エネルギー材料科学研究所, 2) 信州大学 総合理工学研究科
 Affiliation (English) : 1) Center for Energy and Environmental Science, Shinshu University,
 2) Graduate School of Science and Technology, Shinshu University
 キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積, スパッタ, 膜加工・エッチング, メタマテリアル

1. 概要(Summary)

波長以下の微細構造で電磁波伝搬特性を制御するメタマテリアルにより、任意の光波長に合わせた特性設計が可能になる。本研究は、光およびテラヘルツ波に対して、複合的な機能を有するメタマテリアルを提案する。波長の異なる電磁波を相互作用させるためには、メタマテリアルの非線形な応答の制御が必要である。非線形光応答は構造の対称性に依存して現れる。Fig. 1(a)のような y 方向に鏡像対称性のない三角形ナノ開口配列を作製して、非線形光応答を観測する。さらにナノ構造に加えて、テラヘルツ波に応答する構造を作製し複合的な機能設計を行う。

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, 電子線露光装置, リアクティブイオンエッチング装置, 原子間力顕微鏡

【実験方法】

合成石英基板上に、金ナノ三角形開口配列を以下の工程で作製した。

- (1) マグネトロンスパッタリング装置により Cr/Au 薄膜を合成石英基板上に形成した。
- (2) ポジ型電子ビームレジストをスピコートしプリベークを行なった。
- (3) 電子線描画およびパターン現像を行なった。
- (4) プラズマエッチングで開口形成を行なった。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig 1(b)に作製した金ナノ三角形開口配列の原子間力顕微鏡像を示す。厚さ 100 nm の金薄膜に、半径 $r =$

150 nm の円に内接する三角形開口を、周期 $p = 400$ nm の三角格子状に穿った。

この構造に近赤外超短パルスレーザーを照射し、非線形光学効果によって生じる高調波や、光整流効果の観測を行う。さらにこの構造上作製する、より大きなスケールの 2 次的な構造によって付与される光特性の評価を行う。

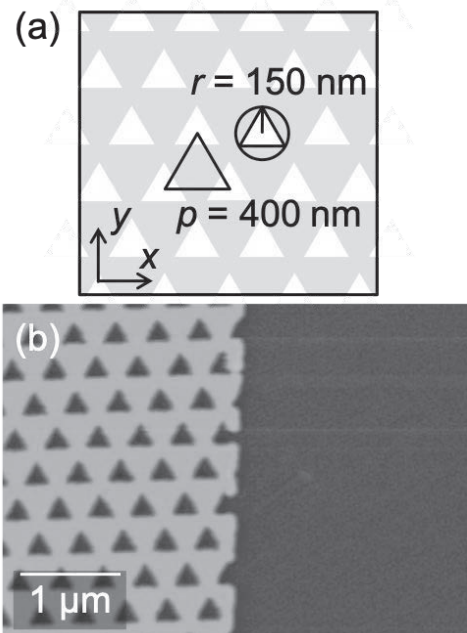


Fig.1 (a) Schematic of Au triangle hole pattern. (b) Atomic force microscope image of the structure fabricated on a silica substrate.

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-18-J002
 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) : 土井 拓馬、柴山 茂久
 Username (English) : Takuma Doi, Shigehisa Shibayama
 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 : 分析、X線光電子分光、4H-SiC、Al₂O₃、酸素ラジカル

1. 概要(Summary)

4H-SiCはパワーMOSFETのチャネル材料として実用化が進められているが、界面準位がチャネルキャリア移動度の劣化を引き起こすことが問題となっている。界面準位はSiC_xO_y構造遷移層、CクラスターやSiO₂中欠陥などが要因と考えられ、我々はAl₂O₃/4H-SiC MOS構造に対し、室温での酸素ラジカル処理を行うことによって、界面準位密度の低減が可能であることを報告している[1]。本研究課題では、特にSiC_xO_y構造遷移層に注目し、酸素ラジカル処理によるSiC_xO_y層の反応機構を明らかにすることを目的とした。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

X線光電子分光(XPS)装置

【実験方法】

基板としてSi(001)およびエピタキシャル層(10 μm)付きNドープn型4H-SiC(0001)を用いた。室温でのRFスパッタリング法を用いてSiC_xO_y(3 nm)/Si構造、Al₂O₃(15 nm)/SiO₂(1 nm)/4H-SiC構造、Al₂O₃(15 nm)/SiC_xO_y(1 nm)/4H-SiC構造を作製した。これらの試料に対して酸素分圧4.5×10⁻² Pa、RF電力400W、照射時間20分の条件で酸素ラジカル処理を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1は酸素ラジカル処理を行ったSiC_xO_y/SiのXPS

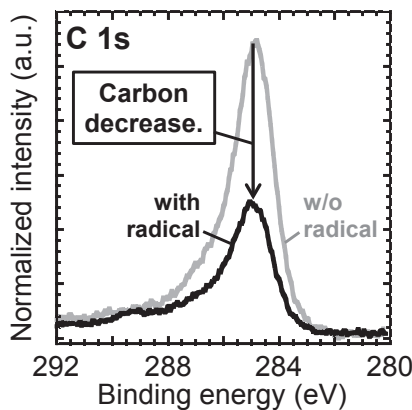


Fig. 1 C 1s core-level spectra for SiC_xO_y/Si structures with and without the oxygen radical treatment for 20 min.

測定から得られたC1sコアスペクトルを示す。酸素ラジカル処理を行うことによってピーク強度が減少しており、SiC_xO_y層からの脱炭素化反応が起きていることが分かる。そして、界面層中Cの影響について調べるためにAl₂O₃/SiO₂/4H-SiCやAl₂O₃/SiC_xO_y/4H-SiCに酸素ラジカル処理を行い、希HFを用いた薄膜化(Al₂O₃は2 nm)後にSi2pコアスペクトルを測定した(Fig. 2)。界面層がSiC_xO_yの場合、Si酸化物由来のピークは酸素ラジカル処理によって低エネルギー側へのシフトがみられ、一方、SiO₂ではシフトが起きていない。これらのことから、界面層にCが含まれる場合は、脱炭素化反応と同時に界面ではAlシリケート化反応が起きていることが分かった。

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

[1] T. Doi et al. Ext. Abstr. Int. Conf. Solid State Devices and Materials, 2018, p. 981.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1)土井ら、第24回電子デバイス界面テクノロジー研究会(2019)。

6. 関連特許(Patent)

なし。

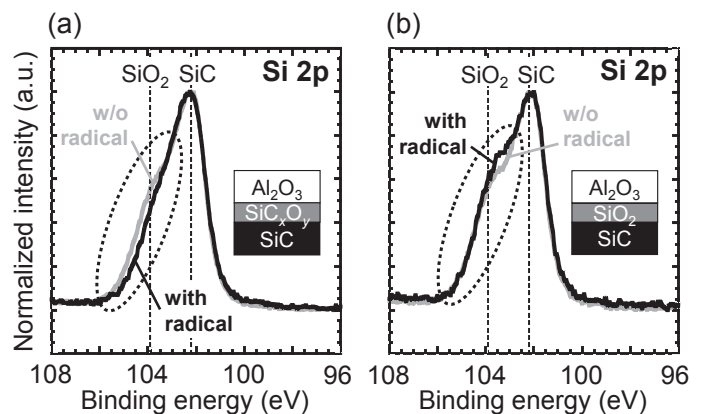


Fig. 2 Si 2p core-level spectra measured by XPS for (a) Al₂O₃/SiC_xO_y/4H-SiC and (b) Al₂O₃/SiO₂/4H-SiC structures with and without the oxygen radical treatment for 20 min.

課題番号 : F-18-J003
 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¹⁾
 Username (English) : M. Deki¹⁾
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院 未来材料システム研究所
 Affiliation (English) : 1) IMaSS, 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、絶縁膜中へ不純物を導入することで、Al₂O₃/GaN 界面の電気特性の改善を試みた。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 Diktak150 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5μm成長させた。C-V特性からエピ膜の実効ドナー濃度は2×10¹⁶cm⁻³であった。熱ALD法を用いてAl₂O₃膜を60nm堆積させた。不純物として、今回はホウ素をAl₂O₃膜中へ導入した。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、試料の電気特性を評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

図1に、ホウ素導入を行った試料のSIMS測定結果を示す。図1において、ホウ素濃度が3×10²⁰~3×10²¹cm⁻³程度まで制御可能であることが分かった。図2にホウ素導入を試みたAl₂O₃/GaN-MOS構造の蓄積側I-V特性を示す。Al₂O₃におけるリーク電流の伝導機構は、空間電荷制限電界放出(SCC-FE)モデルで説明できることが知られている。ホウ素導入を行っていない本研究におけるAl₂O₃においても、SCC-FEに起因するリーク電流が確認された。

ホウ素導入を行った試料の I-V 特性において、ホウ素濃度の上昇に伴って SCC-FE に起因するリーク電流が、高電界(7MV/cm 以上)側において顕著に減少することが分かった。この現象は、Al₂O₃ 膜中におけるホウ素へ電子トラップが発生し、局所的なポテンシャルバリアが高くなることによってリーク電流が減少したと考えられる。

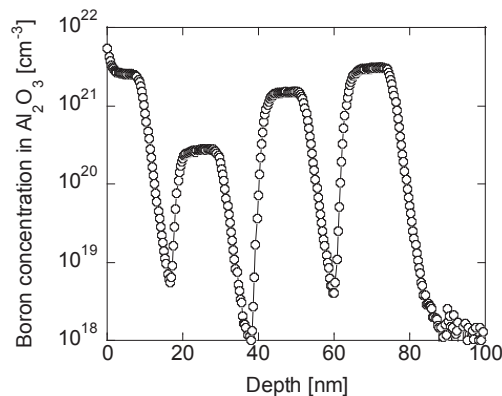


図1: Al₂O₃膜中におけるホウ素濃度測定結果

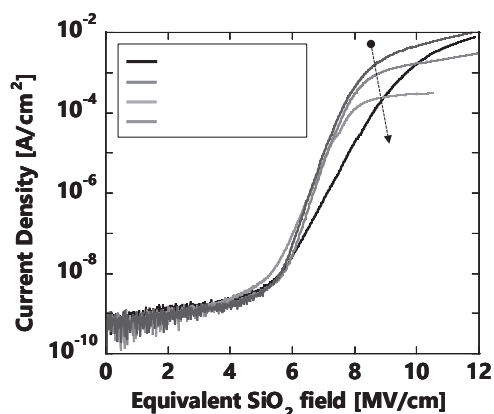


図2: 試料の蓄積側リーク電流測定結果

4. その他・特記事項(Others)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0007
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : トンネル接合の作製およびカーボンナノ物質成長制御
 Program Title(English) : Fabrication of tunnel junctions and synthesis control of nanocarbon materials
 利用者名(日本語) : 山内健太郎
 Username(English) : K. Yamauchi
 所属名(日本語) : 名古屋大学工学研究科
 Affiliation(English) : Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : マテリアルサイエンス、成膜・膜堆積、カーボンナノチューブ、構造変化

1. 概要(Summary)

多層カーボンナノチューブ(MWNT)は大規模集積回路等の微細配線材料としての応用が期待されている。これには通電時におけるMWNTの耐久性に関する知見が不可欠であるが、通電による破壊過程には未解明な部分が残されている。本研究ではこの通電破壊過程を解明するため、透過電子顕微鏡(TEM)中で使用可能なAuコートタングステンコンタクトプローブを作製した。そして同プローブでMWNTの電気伝導特性を測定しつつ、通電に伴うMWNTの構造変化をTEMでその場観察した。

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】

タングステンワイヤーを水酸化ナトリウム水溶液に浸して電解研磨し、先端を針状に加工した。そして針表面の酸化防止のため、電子ビーム蒸着装置を用いて表面にAuを成膜した。完成したAuコートタングステンコンタクトプローブをTEM内に設置し、 piezo駆動XYZステージを用いて単一のMWNT先端に架橋接続した。その様子はFig. 1のTEM像の通りで、作製したコンタクトプローブを用いて単一MWNTの電気伝導特性を測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

試料に印加するバイアス電圧 V_{exp} を時間とともに増加させながらMWNTに流れる電流 I_{exp} を測定し、同時にTEM像をモニタした。 V_{exp} と I_{exp} の関係をFig. 2(a)に示す。 I_{exp} には複数のステップ構造が見られる。同時にモニタしたTEM像と比較すると、Fig. 2(b)のようにMWNT最外層の破断時に I_{exp} のステップが現れることがわかった。またモデル計算と比較すると破断には通電に伴うMWNTの加熱が関連し、破断時の温度はMWNTの層

数には依らずほぼ一定であることがわかった。今後は通電とそれに伴う破壊過程を応用したMWNT同士や異種金属との接合技術の開発を進める予定である。

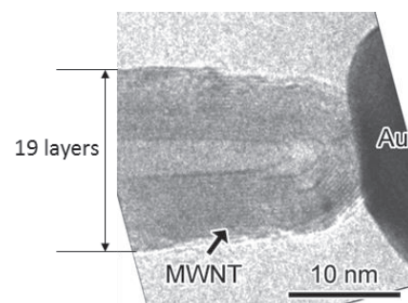


Fig. 1 TEM image of a single MWNT contacting with a Au-coated tungsten probe.

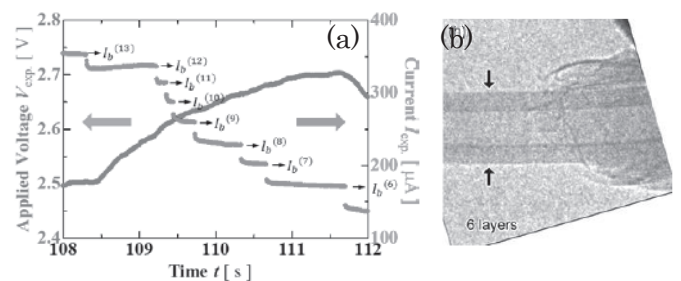


Fig. 2 (a) Applied voltage V_{exp} and measured current I_{exp} flowing through an MWNT as a function of time. (b) TEM image of a partially fractured MWNT.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

山内健太郎、名古屋大学工学研究科平成30年度修士学位論文。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-J-0005
 利用形態 : 装置利用
 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) : 植田研二, 浅野秀文
 Username (English) : K. Ueda, H. Asano
 所属名(日本語) : 名古屋大学工学研究科(物質科学専攻)
 Affiliation (English) : 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, カーボン界面

1. 概要(Summary)

ダイヤモンドとグラフェンはその優れた物理特性から、従来の半導体材料を凌駕する高性能デバイスの作製が可能な材料として期待されており、現在盛んに研究が行われている。両者は単体でも応用上極めて重要な材料であるが、近年両者の接合界面、即ち、炭素 sp^3 - sp^2 界面で様々の新規物理現象が発現する事が理論予測されており、炭素 sp^3 - sp^2 界面に注目が集まっている。しかし、このような興味深い理論予測の存在にも関わらず、ダイヤモンド/グラフェン接合の物理特性に関する実験報告はあまり無い。

この様な状況の中、我々は、垂直配向グラフェン(カーボンナノウォール:CNW)/ダイヤモンド接合の伝導特性について調査した所、光照射+バイアスによる大きな抵抗変化($\sim 10^6\%$)と抵抗状態の不揮発性保持が為される事を初めて見出したので報告を行う。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

RIE エッチング装置、フォトリソグラフィ、ラマン分光装置、SEM、

【実験方法】

マイクロ波プラズマ CVD 装置によりダイヤモンド/グラフェン積層構造の結晶成長を行い、フォトリソグラフィ及び RIE により素子加工を行い、ダイヤモンド/グラフェン接合を作製した。その後、ダイヤモンド/グラフェン接合の電気特性について詳細に調査した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

マイクロ波プラズマ CVD 法によりダイヤモンド半導体上に CNW の作製を試みたが、ダイヤモンドの成長条件より高基板温度かつ低マイクロ波パワーで CNW がダイヤ上

に in-situ 成長する事が分かった。最適条件(850-900°C、500W)で作製したダイヤモンド上 CNW の SEM 像で幅が数十 nm 程度の壁状の構造物が観察されると共に、ラマン分光測定で、グラフェンに起因する 2 つのピーク(G 及び 2D ピーク)と CNW に特有の D'ピークが観測された。これらラマン及び SEM 測定の結果からマイクロ波プラズマ CVD 法により、ダイヤモンド半導体上に CNW が成長していることが分かった。

CNW/ダイヤモンド接合の青色光照射下電流-電圧(I-V)測定で、履歴のある I-V 特性が現れ、素子の抵抗状態は光照射と正バイアス印加により高抵抗状態(HRS)から低抵抗状態(LRS)へ、光+負バイアスで LRS→HRS へ変化した(Fig. 1)。これらは CNW/ダイヤモンド接合が光(+バイアス)により、抵抗状態のスイッチングと不揮発性記憶機能を併せ持つ新規光デバイス(光メモrista(記憶機能のある抵抗))として機能する事を示している。

我々はこの光誘起伝導度変調機構が CNW/ダイヤモンド界面の酸化-還元反応、即ち光+バイアスによる CNW 中のグラフェン層の酸化(絶縁化:酸化グラフェン)-還元

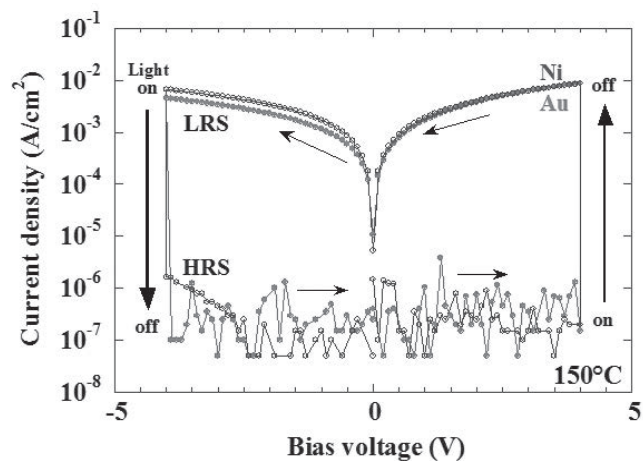


Fig. 1: I-V characteristics of Ni (or Au)/CNW/diamond junctions measured at 150 °C upon brief irradiation. Blue light irradiation was performed at ± 10 V for 30 s.

(伝導化:グラフェン)に起因していると考えているが、上部電極(Ni)/CNW 界面の酸化-還元により生じる可能性も否定できない。実際 NiO はメモリスタの挙動を示すことが報告されており、光+バイアスによるNiOの酸化-還元が寄与している可能性がある。そこで我々は上部電極を酸化の起こりにくい Au 電極へと変更し特性調査を行う事で上部電極の寄与について調査した。その結果、Au/CNW/ダイヤモンド接合の場合でも、Ni/CNW/ダイヤモンド接合の場合とほぼ同一の履歴のある I-V 曲線が観測される事が分かった (Fig. 1)。また、CNW/ダイヤモンド界面の TEM 観察から、界面近傍の CNW の結晶性には改善の余地があるが、CNW がダイヤモンド直上から成長していることが分かった。これらの結果はCNW/ダイヤモンド接合で見られる光誘起伝導度変調が上部電極に依存せず、CNW/ダイヤモンド界面に起因していることを強く示唆している。

4. その他・特記事項 (Others)

本研究は、科研費基盤研究 B (No. 16H04348) 等のサポートを受け実施された。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

(論文)

(1) Photomemristors using carbon nanowall/diamond heterojunctions

K. Ueda, H. Itou and H. Asano

J. Mater. Res., in press. (DOI: 10.1557/jmr.2018.498)

(学会発表)

(1) Graphene/diamond heterojunctions as novel photo-switching memory devices.

K. Ueda

CCMST 2018, Beijing, China, 24-28 Sep. 2018 (26 Sep.), 招待講演.

(2). グラフェン/ダイヤモンド (炭素 sp^2/sp^3) 接合を用いた光メモリスタの作製とデバイス応用

植田 研二

第3回「表面界面の機能創成とデバイス応用」セミナー、2018年8月7日、岡山大学、招待講演

(3) カーボンナノウォール/ダイヤモンド光メモリスタの動作機構

伊藤 秀治、植田 研二、浅野 秀文

第79回日本応用物理学会秋季学術講演会、2018年9月18日 (名古屋国際会議場)

(4) カーボンナノウォール/ダイヤモンド光メモリスタの電気伝導特性

今井 祐太、伊藤 秀治、水野 雄貴、植田 研二、浅野 秀文

第6回応用物理学会名古屋大学スチューデントチャプター東海地区学術講演会、2018年11月25日 (名古屋大学)

6. 関連特許 (Patent)

なし

課題番号 : F-18-NU-0009
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 光学的観察のための金属フィルタの作製
 Program Title (English) : Fabrication of optical filters for observation
 利用者名(日本語) : 溝尻瑞枝¹⁾, 長谷川拓己²⁾
 Username (English) : M. Mizoshiri¹⁾, T. Hasegawa²⁾
 所属名(日本語) : 1) 長岡技術科学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 Mechanical Engineering, Nagaoka University, 2) Graduate School of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 成膜・膜体積, 形状・形態観察, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

本申請研究では、磁区を光学的に観察するための光学フィルタを作製した。光学フィルタは Au ナノ粒子が形成する数 10 nm のギャップからなり、これらの作製は、Au 薄膜の自己組織化を利用した方法を用いて行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

スパッタリング装置一式, 原子間力顕微鏡, 高精度電子線描画装置一式

【実験方法】

数 10 nm の Au ギャップを有する Au フィルタの作製は、Au 薄膜の熱処理による自己組織化を用いて行った。Fig. 1 に Au フィルタの作製方法を示す。初めに、スパッタリング装置(利用装置)を用いて、Au 薄膜を石英基板上に約 5~10 nm 成膜した。次に、350° C に加熱したホットプレート上で 1 時間熱処理し、自己組織化による Au ギャップの形成を行った。

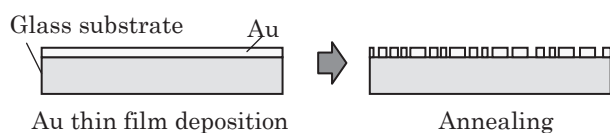


Fig. 1 Fabrication process of Au nanogaps.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 2 に原子間力顕微鏡(利用装置)を用いて観察した Au ギャップフィルタを示す。Au ナノ粒子が石英ガラス基板上に形成され、10 nm 程度のギャップが形成されたことが明らかになった。Au ナノ粒子の直径は約 20 nm 程度となった。

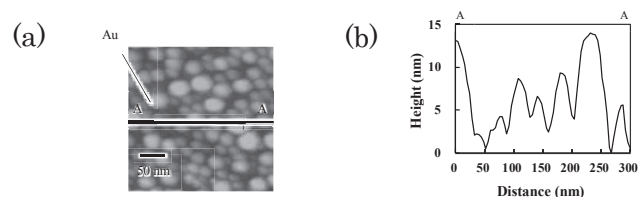


Fig. 2 AFM images of the Au optical filter. (a) Top and cross-sectional views.

4. その他・特記事項(Others)

【研究プロジェクト】

「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」(共通基盤技術の開発)。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 長谷川拓己, 溝尻瑞枝, 高木健太, 尾崎公洋, "プラズモンフィルタを用いた磁気光学 Kerr 効果による高感度磁区観察", 第 35 回「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 30 年 10 月 31 日.
- (2) Takumi Hasegawa, Mizue Mizoshiri, Kenta Takagi, Kimihiro Ozaki, "Fabrication of plasmon filters for highly sensitive observation of magnetic domains by magneto-optical Kerr effect", 29th 2018 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 平成 30 年 12 月 12 日.
- (3) Takumi Hasegawa, Mizue Mizoshiri, Kenta Takaghi, Kimihiro Ozaki, "High-contrast imaging of magnetic domains by magneto-optical Kerr effect using plasmon filters", Photonics West 2019, 平成 31 年 2 月 6 日.

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号	: F-18-NU-0012
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: Vapor-Liquid-Solid 成長モードによる機能性酸化物ナノワイヤー成長に関する研究
Program Title (English)	: Study on nanowire growth of functional materials via Vapor-Liquid-Solid growth mode
利用者名(日本語)	: 一野祐亮、伊東佑馬
Username (English)	: Y. Ichino, Y. 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	: 機能性酸化物、ナノワイヤー、VLS 成長、形状・形態観察、分析

1. 概要(Summary)

本研究では、導電性酸化物や酸化物超伝導体をナノサイズで複合化することによって大幅に機能性を向上させることを目的としている。その基礎検討として、Vapor-Liquid-Solid 成長モードを用いて、酸化スズ(SnO_2)や $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導体のナノワイヤーを成長させる検討を行った。成長温度やフラックス量などの成長条件がナノワイヤーの形態に与える影響を明らかにするために、高分解能電子顕微鏡による微細構造観察を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡(日立ハイテクフィールドディング社製 S5200)

【実験方法】

今年度は主に SnO_2 ナノワイヤーの作製を行った。 SnO_2 ナノワイヤーはパルスレーザー蒸着(PLD)法を用い $\text{LaAlO}_3(100)$ 単結晶基板に、以下の手順で作製した。

真空チャンバー内にAuと SnO_2 のターゲットと基板を設置し、ロータリーポンプとターボ分子ポンプを用いて、 1.0×10^{-3} Paまで真空引きを行った。まず、基板に液相となるAuを室温にて膜厚 1~10 nm蒸着した。つぎにAr分圧を 5~100 Pa程度に制御した。Auを液相にするために、基板温度を 700°Cに加熱し、 SnO_2 を 7.5~25 min蒸着した。蒸着後、基板温度が 50°C程度まで下がった後、チャンバーを大気開放し、基板とターゲットを取り出した。 SnO_2 蒸着時のレーザーエネルギー E_L は 30~80 mJ、レーザースポットサイズ S は 1.0~5.0 mm²、レーザー繰り返し周波数は 2 Hzとし、 E_L と S がナノワイヤーの直径、数密度に与える影響について検討した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1(a)に、Au膜厚 5 nm、Ar分圧 10 Pa、 SnO_2 蒸

着時間 25 minの条件で作製した試料の表面SEM像を示す。 SnO_2 ナノワイヤーが成長していることがわかる。つぎに、様々な E_L や S で蒸着したナノワイヤーの数密度をFig. 1(b)に示す。ナノワイヤーの直径は 5~55 nm程度であった。数密度は低 E_L かつ低 S の条件で 20 / μm^2 以上が得られた。以上から、レーザー条件によって SnO_2 ナノワイヤーの直径や数密度が制御出来ることがわかった。

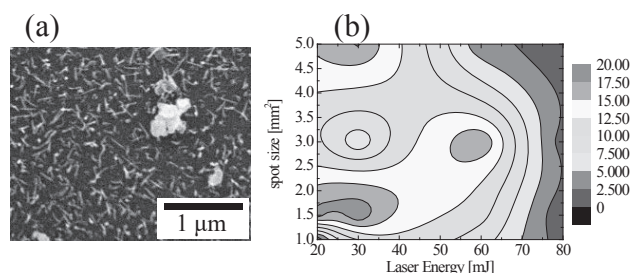


Fig. 1 (a) SEM image of SnO_2 nanowires. (b) Contour plot of number density of SnO_2 nanowire depending on laser energy and the spot area.

4. その他・特記事項(Others)

- ・Vapor-Liquid-Solid 成長: 結晶成長の核となる固相上に液相を設け、気相から固相原料を供給することで固-液界面で結晶成長が進行する結晶成長モード。
- ・パルスレーザー蒸着(PLD)法: 薄膜原料の固体(ターゲット)にパルスレーザーを照射することで蒸発させ、ターゲットに対向して置かれた基板に薄膜を形成する物理気相エピタキシャル薄膜法の一つ。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 伊東佑馬、一野祐亮、土屋雄司、吉田隆, 平成 30 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会 H1-8、名城大学、愛知、2018 年 9 月 3 日-4 日 (オーラル)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0013
利用形態 : 技術相談
利用課題名(日本語) : フォトカソードのための半導体技術開発
Program Title (English) : Development of Semiconductors for Photocathodes
利用者名(日本語) : 小泉淳
Username (English) : A. Koizumi
所属名(日本語) : 株式会社 Photo electron Soul
Affiliation (English) : Photo electron Soul Inc.
キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積、構造解析、半導体フォトカソード、電子源

1. 概要(Summary)

半導体フォトカソードの性能は、半導体材料を高品質で適切な構造を作製することが重要である。そのため、フォトカソード研究における半導体材料の課題について、名古屋大学支援機関に技術相談を行った。その結果、III-V 族化合物半導体結晶成長用装置による結晶成長プロセスに関して V/III 比等の成膜条件、ならびに、構造評価方法に関して簡便な光学的評価についてアドバイスを受け、プロセスフローと評価方法を見直すことにした。

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)

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-18-J006
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. Hirovani
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、描画装置、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、差動増幅器の設計と試作を行った。また裏面露光によるセルフアラインデバイスを試作し、寄生容量の大幅な低下を確認した。さらにCNT-TFTによるCMOS集積回路作製を行い、インバーターなどの回路動作を実証した。

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。p型のドーパントとして、AgTFSTI, n型のドーパントとしてクラウンエーテルを用い、CMOS集積回路を作製した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

セルフアライン技術を用いることで、寄生容量がおおよそ 1/5 に低減できた。この特性を修正 MOS モデルによりモデルし、回路シミュレーションを用いて差動増幅器などの回路動作検証を行った。

さらに作製した p 型 CNT-TFT のトランジスタ動作と回路動作を確認した。また p 型ドーパントとして用いた AgTFSTI と n 型ドーパントとして用いたクラウンエーテルのドーピング濃度最適値を見いだした。これを用いて CMOS 回路を作製し、トランジスタレベルでおおよそ 95% の歩留まりと低電圧動作を確認した。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Fu-Wen Tan, Jun Hirovani, Shigeru Kishimoto, Yutaka Ohno, Low-voltage operable complementary carbon nanotube thin-film transistors with threshold tuning by controlled doping on plastic substrate, The 56th FNTG General Symposium, 2019.03.04, Tokyo, Japan [Oral].
- (2) 鹿嶋大雅、廣谷潤、岸本茂、大野雄高、カーボンナノチューブアナログ集積回路の設計と試作, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋 2018.09.18, [口頭発表]

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-18-J007
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)	: Verification of spin scattering effect by using domain structure
利用者名(日本語)	: 濱中幸祐 ¹⁾ , 富樫将孝 ¹⁾ , 桑原真人 ^{1),2)}
Username (English)	: K. Hamanaka ¹⁾ , N. Togashi ²⁾ , 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
キーワード/Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、成膜・堆積層、磁性薄膜

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透過型電子顕微鏡(TEM)における後方散乱電子像および小角散乱回折図形において抽出するため、測定に適した磁性試料が必要となる。そのため、スキルミオンと呼ばれる磁気粒子を生成しうる多層膜試料をナノパターンニングによる所望の形状を有した構造にすることを目指した。この作製のため、電子線露光による数 μm ～数百 nm のマスクパターン作製を行い多層膜構造の磁性薄膜を作製し、走査型電子顕微鏡および段差計をもちいて試料作製精度の向上を目指した。これにより解明されるスピン依存散乱効果は、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、段差計

【実験方法】

TEM をもちいた磁気構造観察を可能とするため、パターンニングを行う基板として SiN メンブレン TEM グリッドをもちいた。これにスピンコーターをもちいて PMMA レジスト膜を作製し、EB 露光装置により種々の円形パターンを作製した。EB レジスト現像後に、多層膜蒸着を施しリフトオフを実行することで、所定のパターンの磁性多層膜作製を実施した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

電子線露光装置をもちいて直径 $0.5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $1.5\mu\text{m}$ 、 $2\mu\text{m}$ 、 $2.5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 、 $3.5\mu\text{m}$ 、 $4\mu\text{m}$ 、 $4.5\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ の 10 通りの円形パターンマスクを作製した。次にパルスレーザー蒸着装置をもちいてパターンが形成された基板上に Pt、Co、Ta の順番で多層膜を積層した。段差計により積層した薄膜の膜厚を測定し正確な膜厚の多層膜試料の作製

を行った。また走査型電子顕微鏡で観察し、エネルギー分散型 X 線分光器を取得し Pt、Co、Ta が蒸着されていることを確認した。また、TEM をもちいてディフォーカス像を取得し、磁気構造の観察を行った。今後はスピン偏極パルス透過電子顕微鏡(SP-TEM)をもちいた磁性およびスピン状態の観察を行う予定である。

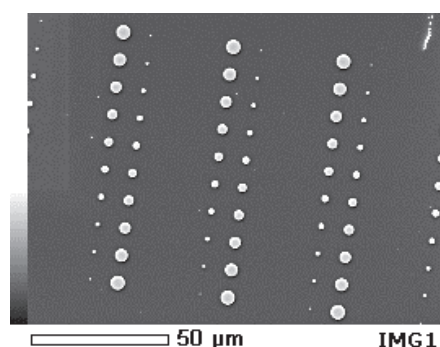


Fig.1 SEM image of Pt/Co/Ta multilayer film fabricated in 10 shapes.

4. その他・特記事項(Others)

なし

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 濱中幸祐 他, 日本顕微鏡学会第 74 回学術講演会, 平成 30 年 5 月 30 日
- (2) K. Hamanaka *et al.*, IMC19, 2018 年 9 月 10 日

6. 関連特許(Patent)

課題番号 : F-18-NU-0016
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¹⁾, 打田敦子¹⁾, 徳田優²⁾, 岸田英夫¹⁾
Username (English) : R. Ohashi¹⁾, A. Uchida¹⁾, S. Tokuda²⁾, H. Kishida¹⁾
所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院工学研究科, 2) 名古屋大学工学部
Affiliation (English) : 1) Graduate School of Engineering, Nagoya University, 2) School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : 形状・形態観察、分析、膜厚・段差・粗さ測定、有機薄膜

1. 概要(Summary)

有機電子材料の光学応答について研究を行っている。有機分子は、真空蒸着法、スピコート法、ドロップキャスト法などにより膜状試料の形成が可能である。測定対象の分子のみの薄膜や、透明な高分子(ホスト高分子)中に有機分子を孤立させた状態で取り込んだ膜状試料について、有機電子材料の光学特性を定量的に評価している。定量評価の際には、膜厚の値が必要となる。そこで、段差計を用いて膜状試料の膜厚を決定した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 段差計 Dektak150

【実験方法】

研究室所有の真空蒸着装置、あるいはスピコーターによって石英基板、ITO/石英基板あるいはフッ化カルシウム基板上に有機薄膜を作製した。ドロップキャスト法の場合は、サンプル溶液を基板に直接滴下し、膜を作製した。その後、膜を一部機械的に剥離し、その段差形状の測定を行うことにより膜厚を決定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

段差計によって、剥離した箇所を含む段差部分の形状を観察する場合、剥離が完全にされており対象とする有機材料が残っていないこと、また剥離していない膜部分が損傷を受けていないことが必要である。精度のよい膜厚決定を行うために、数か所を剥離させ、必要に応じ数回の測定を行うことにより慎重に膜厚を決定するのが望ましい。真空蒸着法により薄膜を作製した場合、蒸着装置内に設置した水晶振動子式の膜厚計によっても厚さを測定している。しかし、測定される膜厚は水晶振動子の設置位

置に依存するため、試料上の膜厚が正確に測れない可能性がある。また、物質により基板への分子の蒸着の状況が異なるため、実際に光学測定を行う試料の膜厚を直接測定することが重要である。そこで、本課題では段差計による測定から決定した膜厚と光学測定の結果を用いて、光学定数の定量評価を行った。

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、北川宏

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 大橋亮介, 中村優斗, 吉田幸大, 北川宏, 岸田英夫,
第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 2018 年 9 月
21 日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0017
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, 葛西晴郎
Username (English) : K. Shimizu, N. Yamaoka, T. Furutani, H. Kassai
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)

本研究では、細胞周囲の微小環境を制御し、より生体内に近い環境で細胞を培養するための基板を開発することを目指した。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、様々なマイクロスケール幅のライン状の凹凸をもつ細胞培養表面を作製した。その基板上でヒト株化筋芽細胞を増殖・分化誘導することで、筋管細胞の配向をそろえるのに適したライン幅を検討した。

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 (Suss MA-6)

【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) をスピンコートした。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。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 PDMS を鋳型から剥離し、デバイスを完成させた。作製したデバイスを紫外線滅菌した後に細胞接着性タンパク質でコーティングした。その基板に、筋芽細胞を播種し、増殖培養、分化培養を行い、細胞の配向性を評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

幅が 5、10、15、20 μm のライン状凹凸パターンをもつ基板を作製した。ヒト株化筋芽細胞を増殖、分化培養した。その結果、Fig. 1 に示すようにライン状パターンに沿って、

筋管細胞が形成された。今後は、分化度と配向の関係を調べ、最適な幅を見出す。また、長期に筋管細胞を維持培養可能な表面処理条件を検討する予定である。

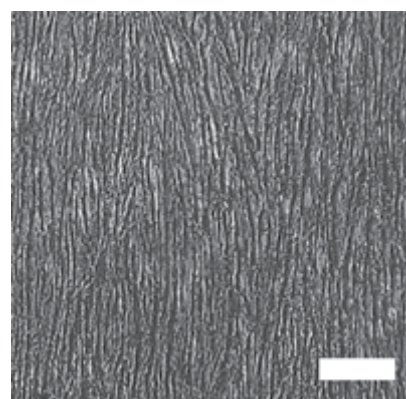


Fig. 1 Myotubes cultured on the line patterned surface fabricated in this study. Scale bar: 500 μm .

4. その他・特記事項(Others)

科研費 基盤研究(B) モザイク状培養筋組織モデルの開発

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0019
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、齋藤太志、金山健也
Username (English) : T. Suzuki, M. Hanaok, F. Saito, T. Kanayama
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、切削、半導体

1. 概要(Summary)

天文観測のために、Ge を用いた遠赤外線検出器の開発を進めている。高い光感度を獲得するためには、Ge 層を $2\ \mu\text{m}$ 以下に超薄層化する必要がある。Si で確立されているスマートカット技術を Ge へ応用し、Ge 層の超薄層化に挑戦する。用意した試料は、Ge に Ga を添加した (Ge:Ga) ウエハと高純度 Ge ウエハとを常温で接合したウエハ ($\Phi 2$ インチ) である。試料を熱アニーリング処理した結果、高純度 Ge 層のスマートカットに成功した。薄層化された高純度 Ge 層の厚さを測定するため、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた。結果、接合面から期待通りの厚さ ($1.6\ \mu\text{m}$) で、高純度 Ge 層の超薄層化を確認した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】原子間力顕微鏡、ダイシングソー装置、走査型電子顕微鏡

【実験方法】

スマートカットを用いて高純度 Ge 層を超薄層化するため、水素イオン注入 (エネルギー: $180\ \text{keV}$ 、フラックス: $6 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-2}$) した高純度 Ge ウエハと、Ge:Ga ウエハとを常温で接合させたウエハを製作した。その後、ダイシングソーで接合ウエハを適切な大きさに切り出した後、窒素ガス雰囲気中で熱アニーリング処理 (昇温率 $1^\circ\text{C}/\text{min}$) を実施した。SEM は接合ウエハの断面、原子間力顕微鏡 (AFM) は表面粗さの観察に用いた。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

試料の温度が約 380°C に達した時、接合ウエハの破断が起きた。SEM と AFM による観察から、接合面から $1.6 \pm 0.1\ \mu\text{m}$ の厚さ、カット面の粗さ $\sim 0.1\ \mu\text{m}$ (PV) と期待通りに高純度 Ge の超薄層化に成功した (Fig. 1)。得られた厚さは、注入した水素原子の濃度プロファイルのピーク位置での厚さと一致している。このことは、厚さの高い制御性が保証されていることを意味し、スマートカットによる超薄層化の実現により、遠赤外線検出器の高感度化に

加え、ピクセル間の感度の高い一様性を確保できる。

スマートカット後の高純度 Ge 層は、結晶性が損なわれる。高純度 Ge 層の電気特性を確保するには、熱処理による結晶性の回復が必要不可欠である。今後は、熱アニーリング処理によって結晶性を回復させ、遠赤外線検出素子を製作し、高い光感度を有することを実証する。

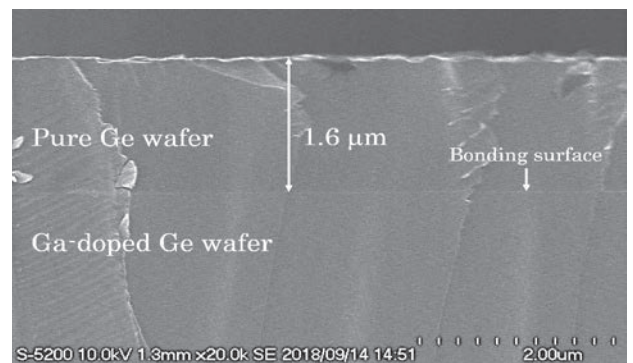


Fig. 1: SEM image for the cross-sectional view of the Ge/Ge:Ga interface after the smart-cut process.

4. その他・特記事項 (Others)

・共同研究者の宇宙科学研究所 和田武彦助教、石丸貴博様に感謝致します。常温ウエハ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致します。スマートカット技術をご教示頂きました東京大学の竹中充准教授に感謝致します。熱処理装置を利用させて頂きました、名古屋大学 工学研究科 物質科学専攻 財満・中塚研究室に感謝致します。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

・金山健也「イオンカット法を用いた超薄層化による高純度 Blocked-Impurity-Band 型遠赤外線 Ge 検出器の開発」2018 年度 学士論文

6. 関連特許 (Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0020
 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) : 伊藤高啓¹⁾, 藤井壮一郎²⁾
 Username (English) : T. Ito¹⁾, S. Fujii²⁾
 所属名(日本語) : 1)名古屋大学大学院工学研究科, 2)名古屋大学工学部
 Affiliation (English) : 1)Graduate School of Engineering, Nagoya University, 2) 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、フォトリソグラフィ装置、RIE エッチング装置

【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ウエハーに転写の後、20~1000 μm 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を用い、300nmの溝深さを目標として6分のCF₄エッチングで作成した。また凸部と凹部で粗さ等をそろえるため、レジスト除去後に20sの全体の均一エッチングを行った。

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。Fig. 1に凹部の間隔を200 μm とした

場合の接触角の時間変動の例を示す。溝のエッジに界面が固着した際に接触角が増大し、閾値(~45度)に到達すると固着が外れると同時に接触角は急速に低下することがわかる。溝の間隔および界面上昇の平均速度を変えた実験により、溝の間隔が狭いほど、また界面上昇の平均速度が速いほど、時間平均された接触角の値が増加することが見いだされた。

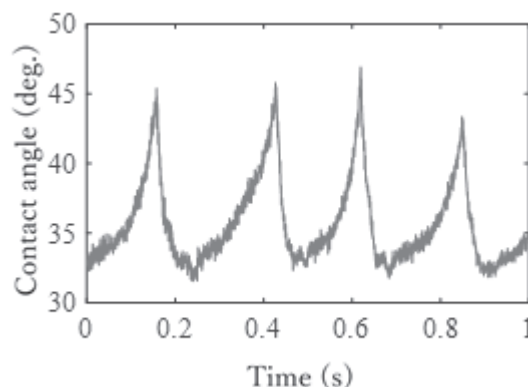


Fig. 1 Typical time evolution of the contact angle.

4. その他・特記事項(Others)

本研究は大阪市立大学との共同研究である。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 伊藤 高啓, 辻 義之ら, 混相流シンポジウム 2018, 平成 30 年 8 月 9 日.
- (2) Ito, T. et al., APS-DFD 2018, 2018 年 11 月 20 日.
- (3) 藤井 壮一郎, 伊藤 高啓, 辻 義之ら, 日本原子力学会中部支部講演会, 平成 30 年 12 月 11 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-J012
 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¹⁾, 徳悠葵¹⁾
 Username(English) : Y. Ju¹⁾, Y. Toku¹⁾
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation(English) : 1) Graduate school of Eng., Nagoya University.
 キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積、ナノ材料、カーボンナノチューブ

1. 概要(Summary)

酸化インジウムスズに代わる透明導電膜材料として期待されるカーボンナノチューブ(CNT)シートの効率的な作製方法確立には、CNT 成長基板上的薄膜膜厚をナノメートル単位に制御する必要がある[1]。今回、CNT シートを効率的に作製できる CNT アレイの作製を目指し、電子ビーム(EB)蒸着装置等を利用して CNT アレイの性状変化を検証した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 EB 蒸着装置
 熱 CVD 装置

【実験方法】

始めに、EB蒸着装置を用いてSiウェハ上にSiO₂、Al₂O₃、Feを成膜した。

蒸着は圧力 6.0×10⁻⁴ Paにて行い、蒸着速度および蒸着膜厚はTable 1 に示す通りとした。次に、熱CVD装置を用いて、作製した基板上にCNTを成長させた。熱CVDは750℃に加熱されたAr、C₂H₄、H₂雰囲気にて行った。

Table 1 Deposition rate and film thickness during EB deposition

Material	Deposition rate [nm/s]	Thickness [nm]
SiO ₂	0.1	200
Al ₂ O ₃	0.1	30
Fe	0.05	0.5
		1.5
		2.5

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fe 膜厚 0.5、1.5、2.5 nm の基板を用いて成長させた CNTアレイの電子顕微鏡像を Fig. 1 に示す。膜厚 1 nm の変化により CNT アレイの性状が大きく変化することを確認した。

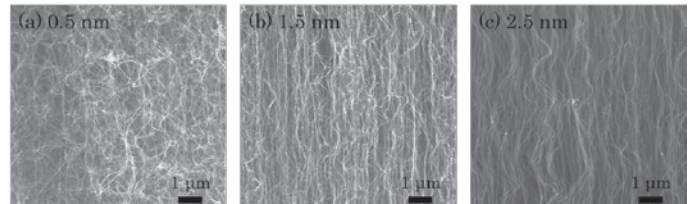


Fig. 1 FE-SEM image of CNT array fabricated by (a) 0.5 nm (b) 1.5 nm (c) 2.5 nm of Fe film thickness

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献:[1] K. Liu, Y. Sun, L.Chen, C. Feng, X. Feng, K. Jiang, Y. Zhao and S. Fan, Nano Letter, Vol. 8, No. 2 (2008)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 田口託土, 徳悠葵, 森田康之, 巨陽, 日本機械学会 2018 年度年次大会, 平成 30 年 9 月 11 日
- (2) T. Taguchi, K. Yan, Y. Toku and Y. Ju, The 5th Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP2018), 平成 30 年 12 月 7 日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-J014
 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 material surfaces exposed to plasmas
 利用者名(日本語) : 梶田信¹⁾, 野嶋智宏²⁾
 Username(English) : S. Kajita¹⁾, T. Nojima²⁾
 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)

核融合発電のための材料研究において、ヘリウムプラズマ照射がもたらす金属表面の多様な構造変化とその発現条件が調べられてきた。特に繊維状ナノ構造はヘリウムプラズマ照射特有の現象として注目されており、材料内部でのヘリウム原子の挙動や物性値の観点からその形成機構の解明のための研究が行われている。その中で、材料の硬さの指標である剛性率と繊維状ナノ構造形成の関連が指摘されており、本研究において剛性率の異なる様々な金属に対してプラズマ照射を行なった。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡 (VBL)

【実験方法】

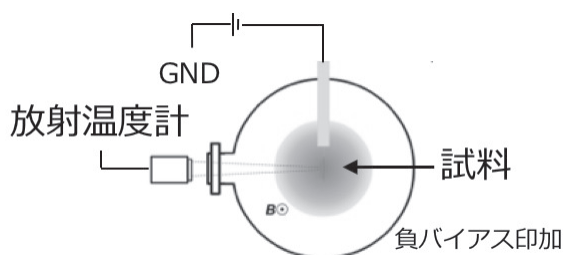


Figure 1: A schematic of the experimental setup of plasma irradiation.

ヘリウムプラズマ照射は、直線型プラズマ発生装置 NAGDIS-II の内部に試料を挿入することにより実現した (図 1)。照射後には、走査型電子顕微鏡 (SEM) で表面観察・元素分析を行なった。金属材料には銅、ルテニウム、ロジウム、パラジウム、銀、レニウム、イリジウム、金、ハフニウム、ジルコニ

ウム、コバルトなどを用いており、入射イオンエネルギーは試料バイアスにより調整した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

本実験の結果、ルテニウム、ロジウム、レニウム、イリジウムなどの剛性率の高い材料上では繊維状ナノ構造の形成を確認した。特に六方最密構造をとるレニウムとルテニウムではより直線的な繊維の形成が見られた。

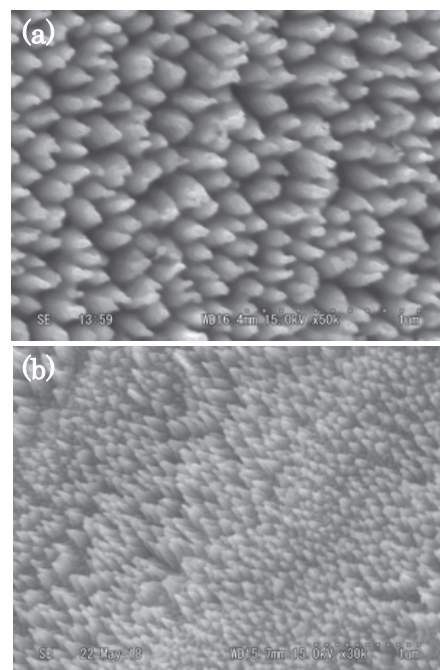


Figure 2: SEM micrographs of (a) silver and (b) cobalt exposed to the He plasmas. The incident ion energy was (a) 45 and (b) 55 eV, the surface temperature was (a) 550 and (b) 867 K, and the He fluence was (a) $1.0 \times 10^{26} \text{ m}^{-2}$ and (b) $7.0 \times 10^{25} \text{ m}^{-2}$.

またロジウム薄膜 (厚み $\sim 1 \mu\text{m}$)への高温での照射において、基板に用いたタングステンが表面

に拡散し、表面構造形成を支配するという現象も見られた。その他の材料では繊維状ナノ構造の形成は見られなかったが、剛性率の低い材料の多くでコーン状構造の形成が見られた(図2)。

過去の研究結果と、本実験で得られた表面構造変化を剛性率に着目して区分すると、剛性率100 GPa以上の材料上では繊維状ナノ構造が形成しやすく、50-100 GPaでは高いヘリウム照射量で繊維状ナノ構造が形成され、50 GPa以下では繊維状構造の形成が見られないという傾向が見られた。このことから、繊維状構造の形成において剛性率が重要な物性値であることが示唆された。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) T. Nojima, et al. Plasma and Fusion Research 13
(2018) 3406065.

(2) Y. Tomita, et al. Plasma and Fusion Research 13
(2018) 3406074.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-J009
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : トップダウン・ボトムアップ統合オンチップ細胞計測システム
 Program Title(English) : Top-down and bottom-up integrated on-chip cell measurement system
 利用者名(日本語) : 益田泰輔¹⁾, 丸山央峰¹⁾, 秋田祐甫¹⁾
 Username(English) : T. Masuda¹⁾, H. Maruyama¹⁾, Y. Akita¹⁾
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学工学研究科
 Affiliation(English) : 1) Graduate school of Eng., Nagoya Univ.
 キーワード/Keyword : フォトリソグラフィ装置, マスクアライナー, 蛍光センサ, マイクロセンサ

1. 概要(Summary)

ナノサイズの蛍光センサツールの操作と, 光局所加熱による超高速細胞内導入を用いたボトムアップ細胞計測と, マイクロ流体チップの培養基盤表面にフォトリソグラフィを用いて作製したマルチ蛍光センサアレイを用いたトップダウン細胞計測を統合し, 単一細胞内の詳細計測から, 細胞集団の相互作用までを計測可能な, トップダウン・ボトムアップ統合オンチップ細胞解析システムを構成する.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザ描画装置, マスクアライナー

【実験方法】

レーザ描画装置を用いて, 幅 500 [μm]程度のパターンを有するマスクを作製した.

さらにマスクアライナーを用いて光硬化性ハイドロゲルに UV を照射し, 基板上にマスクパターンと同様のパターンを有する, 蛍光マイクロセンサを内包する光硬化性ハイドロゲルの構造体を作製した.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製したサンプル(蛍光マイクロセンサを内包する光硬化性樹脂の構造体)を Fig. 1 に示す.

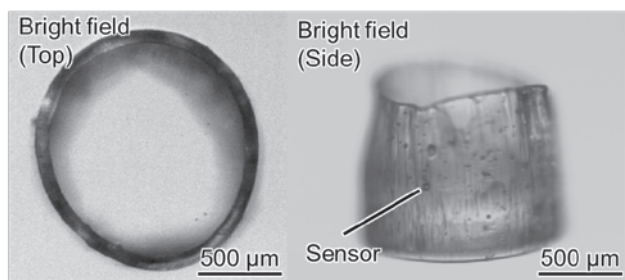


Fig. 1 Picture of Hydrogel structure fabricated by mask aligner.

さらに当研究室にて共焦点レーザ顕微鏡を用い, 蛍光観察を行った. Fig. 2 に作製したサンプル(蛍光マイクロセンサを内包する光硬化性樹脂の構造体)の蛍光画像を示す. 構造体に内包されたセンサは蛍光を有するため白く写っている.

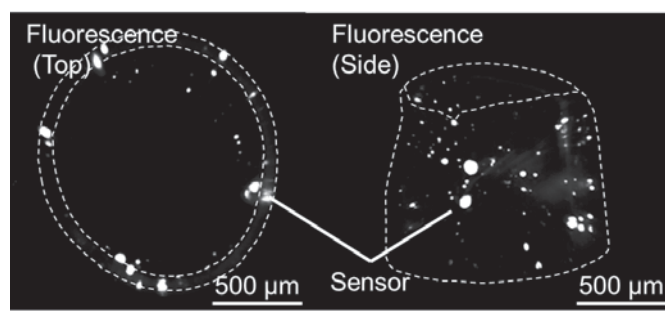


Fig. 2 Fluorescence image of Hydrogel structure fabricated by mask aligner.

4. その他・特記事項(Others)

なし

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 丸山央峰, 秋田祐甫, 益田泰輔, 小俣誠二, 新井史

人, 化学とマイクロ・ナノシステム学会第 35 回研究会, (2017)

(2) 秋田祐甫, 丸山央峰, 益田泰輔, 小俣誠二, 新井史

人, 化学とマイクロ・ナノシステム学会第 36 回研究会, (2018)

(3) 秋田祐甫, 丸山央峰, 益田泰輔, 新井史人, 第 36 回 日本ロボット学会学術講演会, (2018)

6. 関連特許 (Patent)

なし

課題番号 : F-18-J010
 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) : 佐久間臣耶¹⁾
 Username(English) : Y. GAO¹⁾
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科マイクロ・ナノシステム機械理工学専攻
 Affiliation(English) : Department of Micro-Nano Mechanical Science & Engineering in Nagoya University,
 キーワード/Keyword : 生体組織、膜組織、計測デバイス、カセンサ

1. 概要(Summary)

生体組織を計測するためには、その状態や形状、さらには個体間のバラ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カセンサ、および、膜組織固定デバイスの開発を行う。さらに、薄膜組織片の物理特性計測デバイスの開発、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】 マスクアライナー SUSS MICRO TEC AG 製

【実験方法】

液中での厚みが数 μm の生体組織の機械的特徴量計測を行うため、水晶を持つカセンサを製作する。次に微小薄膜は非常にもろく機械的に固定をすることが難しいため微小薄膜の保持を行うための吸引固定デバイスをマイクロ流体チップとして製作する。センサと吸引固定デバイスを統合することで微小薄膜の引張試験を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

水晶を持つカセンサを Fig. 1 に示す。構築した計測システムを用いて、内境界膜モデルの引張試験を行った。内境界膜モデルの固定を行った後で引張速度 $50 \mu\text{m}/\text{S}$ 、純水中で計測を行った、試験中のサンプルが変形する様子と得られた結果を Fig. 2 に示す。

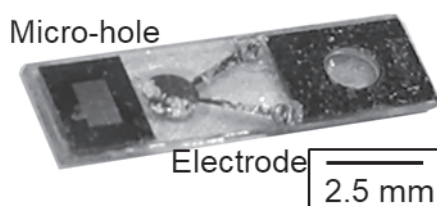


Fig. 1 Pictures of QCR force sensor.

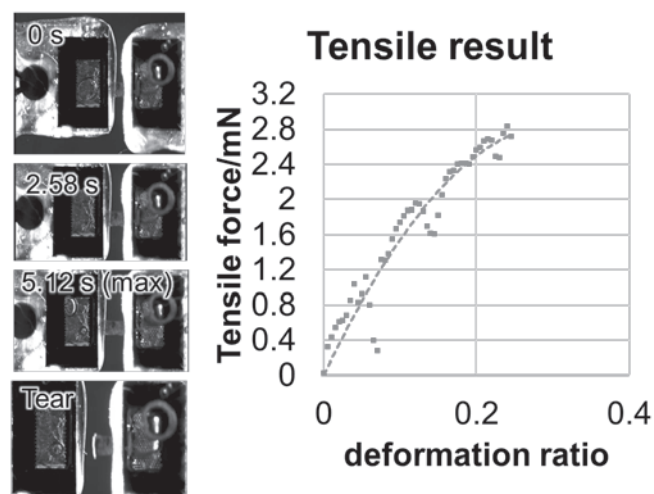


Fig. 2 Images and results of tensile experiments.

4. その他・特記事項(Others)

- ・参考文献:
- ・関連文献:
- ・共同研究者:
- ・他の機関の利用:
- ・に感謝します。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Y. Gao, S. Sakuma, N. Hasegawa, Y. Murozaki, F. Arai, ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2018, 1P1-L02.
- (2) Y. Gao, S. Sakuma, Y. Murozaki, F. Arai, 2018 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS), 18380507
- (3) Y. Gao, S. Sakuma, Y. Murozaki, F. Arai, 2018 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS), TP1-1

6. 関連特許(Patent)

課題番号 : F-18-J011
 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評価
 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¹⁾, 中原康¹⁾
 Username(English) : S. Sakuma¹⁾, K.Nakahara¹⁾
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation(English) : 1) Graduating school of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 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)

41(1) マスクアライナーMA-6, 43 レーザ描画装置 mPG101-UV, 44 スパッタリング装置 E-200S, 51 ICP エッチング装置 RIE-800, 63 ダイシングソーDAD522

【実験方法】

レーザ描画装置 mPG101-UV 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マスクアライナーMA-6 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 RIE-800 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 E-200S 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DAD522 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スフェロイドの機械的特性に基づく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, マイクロ流体チップ内の機械的特性計測のためのロボットを有する計測部までのスフェロイドの導入及び位置制御を行い, その後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スフェロイドのソーティングを行う. 本実験では合計 26 個のスフェロイドの, ゴム弾性理論に基づくヤング率の連続計測及びその後のソーティング用のポンプを駆動させることでマイクロ流体チップ内のアウトレット用流路までの搬送を行うことに成功し, そのスループットは 3.14 個/分を達成した.

4. その他・特記事項(Others)

なし.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) Kou Nakahara, Shinya Sakuma and Fumihito Arai, “Toward High-throughput Sorting of Single Spheroids based on Mechano-Index on a microfluidic Chip”, 2018 international symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS2018), Nagoya (Japan), 2018

(2) 中原康, 佐久間臣耶, 新井史人, “機械的特徴量に基づいたオンチップ細胞ソーティング”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P2-K08, 2018

(3) 中原康, 佐久間臣耶, 新井史人, “機械的指標に基づくオンチップセルソーティングシステムの提案”, 第 36 回日本ロボット学会学術講演, 2G2-02, 2018

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-18-NU-0021
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : オンチップ時空間制御による光合成細胞の環境応答機能の解明
Program Title(English) : Study of the *Synechocystis* sp. PCC 6803 cells in response to environmental stress by using on chip space-time control
利用者名(日本語) : 魚住信之¹⁾, チャン デイ²⁾
Username(English) : N. Uozumi¹⁾, D. Chang²⁾,
所属名(日本語) : 1)名古屋大学大学院工学研究科, 2)東北大学大学院工学研究科
Affiliation(English) : 1) Graduate School of Engineering, Nagoya University, 2) Graduate School of Engineering, Tohoku University
キーワード/Keyword : Cyanobacteria, MEMS, Mechanical Properties. リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング

1. 概要(Summary)

Synechocystis sp. PCC 6803 is a kind of model organism for the study of photosynthesis, biofuel and environmental stress adaptation. By dynamically and spatially controlling the environment around cell on the microfluidic chip, we hope to investigate the dynamic mechanical properties of the cell in response to environmental change. Wild type and mutant type cells will be measured. By comparing their viscoelasticity and other mechanical properties, we can understand the function of different ion-channels in the cell adaption mechanism quantitatively.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】両面露光用マスクアライナ(Suss Micro Tec AG 製 MA-6), 両面露光用マスクアライナ(Suss Micro Tec AG 製 MJB-3), マスクアライナ(ナノテック製 LA410), スプレーコーター一式(サンメイ製 DC110), レーザ描画装置一式(Heidelberg 製 mPG101-UV), スパッタリング装置一式(キャノンアネルバ製 E-200S), 3次元レーザ・リソグラフィシステム一式(Nanoscribe 製 フォトニック・プロフェッショナル), 3次元レーザ・リソグラフィシステム一式(KISCO 製 SCLEAD3CD2000), 光三次元造形装置一式(Object 製 EDEN250), ナノインプリント装置一式(SCIVAX 製 X-300 BVU-ND), パリレンコーティング装置一式(KISCO 製 DACS-LAB), ICP エッチング装置一式(サムコ製 RIE-800), ECR スパッタリング装置一式(エリオニクス製 EIS-230S), 高精度電子線描画装置一式

(日本電子(株)製 SPG-724), SEM 用断面試料作製装置(日本電子(株)製 SM-09010), ICP エッチング装置一式(エリオニクス製 EIS-700), プラズマ CVD 装置(サムコ製 PD-240), リアクティブイオンエッチング装置(サムコ製 RIE-10N)

【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)

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-18-NU-0022
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とバイオニックセンサを作製する。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】レーザー描画装置, マスクアライナ, スパッタリング装置一式, ダイシングソー装置, デジタルマイクロスコープ一式

【実験方法】

レーザー描画装置にてマスクを作製し、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、水晶基板にリフトオフ法により電極パターンの作製に活用した。また、デジタルマイクロスコープを用いて、作製した擬似生体組織の膜厚測定や作製基板の観察を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

上記方法にて作製した水晶基板を別の二枚の水晶基板ではさみ、接合した。こののちにダイシングソー装置にて所定のサイズに切り出した。これにより Fig. 1 に示すような水晶振動子式荷重センサの作製を行った。



Fig. 1 Snapshot of Fabricated QCR sensor.

また、Fig. 2 に示すように発信回路基板に上記水晶センサを接着し、配線することにより、眼底部の押し込み力センサシステムの統合に成功した。

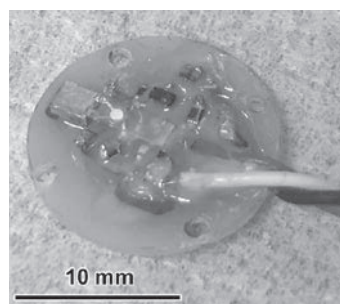


Fig. 2 Integration of retinal load sensor with the QCR sensor.

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:名古屋大学大学院工学研究科 丸山 央峰 准教授, 東京大学工学系研究科 光石 衛 教授, 杉田 直彦 教授, 原田 香奈子 准教授, 東京大学医学系研究科 相原 一 教授, 高尾 宗之 先生, 上田 高志 先生, 戸塚 清人 先生, 杉本 宏一郎 先生

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) S. Omata, Y. Someya, S. Adachi, T. Masuda, K. Harada, M. Mitsuishi, K. Totsuka, F. Araki, M. Takao, M. Aihara, F. Arai. A surgical simulator for peeling the inner limiting membrane during wet conditions, PLoS ONE, 13(5): e0196131, 2018.
- (2) S. Omata, K. Ohashi, K. Harada, M. Mitsuishi, K. Sugimoto, T. Ueta, K. Totsuka, F. Araki, M. Takao, M. Aihara, F. Arai. Eye Surgery Simulator for Evaluation of Surgical Technique. 29th 2018 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2018), On USB, December 2018, Nagoya, Japan.
- (3) 新井 史人, 益田 泰輔, 小俣 誠二, 丸山 央峰, 佐久間 臣耶, 室崎 裕一, 河野 英駿, 原田 香奈子, 光石 衛. バイオニックセンサ: バイオニックヒューマノイドのセンシング技術. ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2018 北九州. 2018 年6月.

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-18-NU-0023
利用形態 : 機器利用
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) : 飯野敬矩¹⁾, 笠井宥佑²⁾
Username (English) : T. Iino¹⁾, Y. Kasai²⁾
所属名(日本語) : 1) 東京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, The University of Tokyo, 2) Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード/Keyword : マイクロ流体チップ, セルソーティング, リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング

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た細胞分取技術に注目が集まっている. 本研究では, イメージング技術を統合した, 画像活性細胞分取装置の作製および実験を行う. 本稿では, イメージング技術と流体制御技術を統合するプラットフォームとして, 細胞フォーカシング部・細胞計測部・細胞分取部を有する大判マイクロ流体チップをMEMS加工技術を用いて作製する. 作製したマイクロ流体チップを用いて, 従来困難であった, 画像情報に基づいた高速な細胞分取実験を行う.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザー描画装置(DWL66FS), 両面露光用マスクアライナ(Suss Micro Tec AG 製 MA-6), スパッタリング装置一式(キャノンアネルバ製 E-200S), ICP エッチング装置一式(サムコ製 RIE-800), ダイシングソー装置(DISCO 製 DAD522)

【実験方法】

マイクロ流体チップの手順を下記に示す. まず, ガラス基板上に金属薄膜をスパッタリングし, エッチングマスクを作製する. その後, ガラスをフッ酸でエッチングすることで細胞フォーカシング用の流路を作製する. 続いて, ガラスとSiを陽極接合で接合し, Si面上に感光性レジストをパターンニングし, ドライエッチングによる深堀加工を行うことでマイクロ流路を作製する. 次に, Siと接合していないガラス基板に感光性レジストをパターンニングし, サンドブラストを用いてガラスの貫通加工を行うことで細胞の出入口を作製する. 最後に 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マイクロ流体チップを作製する. 作製したマイクロ流体チップを光学定盤上の治具に設置し, 細胞を導入した後, 計測・分取実験を行う.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

上記のマイクロ流体チップ作成手順を経て, ガラス-Si-ガラスの3層構造の, 細胞フォーカシング部・細胞計測部・細胞分取部を有する大判マイクロ流体チップの作製に成功した. また, マイクロ流体チップ高速イメージング技術を統合するための治具を作製し, 光学定盤上に画像活性細胞分取装置を構築した. 画像情報に基づいた細胞のソーティングを行ったところ, 流速 1 m/s の条件下において, 約 100 eps という非常に高速なイベントレートで藻類細胞および動物細胞のソーティングを達成した

4. その他・特記事項(Others)

・本研究は, 総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)により, 科学技術振興機構を通して委託されたものです.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

【論文】

1. T. Ideguchi et al., Optics Letters, 43(16), 4057-4060, 2018.
2. N. Nitta et al., Cell, 175(1), 266-276, 2018.

【学会発表】

1. Yusuke Kasai et al., 22nd International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, M104e, pp. 1237-1238 (2018/11/12).

6. 関連特許(Patent)

1. 佐久間臣耶, 早川健, 新井史人, ”細胞分取装置および細胞分取方法”, 登録番号:06450337, 登録日:平成30年12月14日.

課題番号 : F-18-NU-0024
 利用形態 : 機器利用
 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)

梢血リンパ球は種々の疾患や薬剤投与により増減する。T細胞(CD3陽性)とB細胞(CD19陽性)はおおの細胞性免疫と液性免疫を担い、免疫応答の中核として重要である。本研究では、細胞の変形度を利用した細胞分離技術とイメージング技術を使って、1 μ Lの微量血液からT/B細胞を高精度に計数することに成功した。CD3+/CD19+比に対して、本マイクロ流体デバイスと既存のフローサイトメータとの比較実験の結果、相関係数0.9876, 変動係数2.77%と高い類似結果が得られた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】両面露光用マスクアライナ(Suss Micro Tec AG製 MA-6), レーザー描画装置(DWL66FS), スパッタリング装置一式(キャノンアネルバ製 E-200S), ICPエッチング装置一式(サムコ製 RIE-800)

【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ンニングを行う。この用にしてパターン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)

マイクロ流体デバイス (Fig.1) 上には、細胞の目詰まりや堆積は観察されず、エスケープルートの効果を実証された。また、CD3⁺/CD19⁺比に対して、本マイクロ流体デバイスと既存のフローサイトメータ (BD FACSCanto™ II) との比較実験の結果、相関係数0.9876, 変動係数2.77%

と高い類似結果が得られた。今後、画像処理の高速化・高精度化と、ヒト末梢血サンプルによる臨床実験を追加し、ギャップや流速等の至適条件を実験的に検証していく。

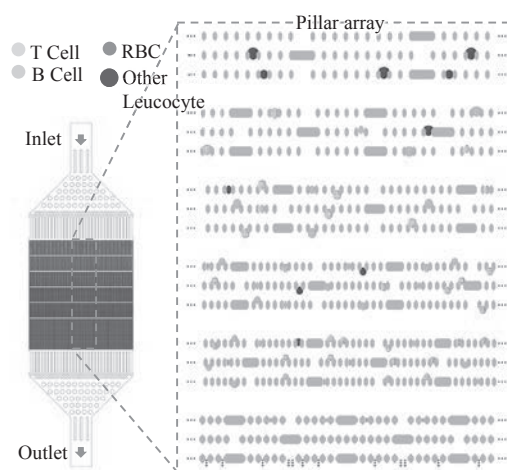


Fig. 1 Schematic diagram of proposed microfluidic device for T-cell and B-cell isolation.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) A Noor, T Masuda, et al, A microfluidic chip for capturing, imaging and counting CD3⁺ T-lymphocytes and CD19⁺ B-lymphocytes from whole blood, Sensors and Actuators: B. Chemical, 270(1), pp. 107-113, (2018)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-J020
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, GaN, パワーデバイス, ドライエッチング

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、ドライエッチングによる GaN へのダメージ、特にエッチング後の表面状態と、メサを形成した場合の側壁の状態を詳しく調べるため、試料作製および走査型電子顕微鏡による形状観察を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡 S4300

【実験方法】

試料はHVPE法で作製されたn型GaN基板上にMOVPE法によりGaNを結晶成長させたものを用いた。表面をフォトリソグラフィによりSiO₂マスクでパターンニングした後に誘導結合型反応性イオンエッチング装置にて約2μmドライエッチングした。試料はへき開し、断面を走査型電子顕微鏡(S4300)にて観察した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

試料の観察結果を図1に示す。図から、エッチングした

底面部分は比較的平坦で表面荒れが見られないのに対して、メサ側壁には縦筋状の荒れが観測されている様子が分かる。これは、マスクパターン作製時のフォトマスクやフォトレジストの開口部端面の荒れに起因すると考えられる。今後はマスクやレジストのエッジ形状を詳細に検査するなどして壁面の荒れの原因を解明し、より平坦で加工ダメージの少ないメサ壁面の形成を進める。

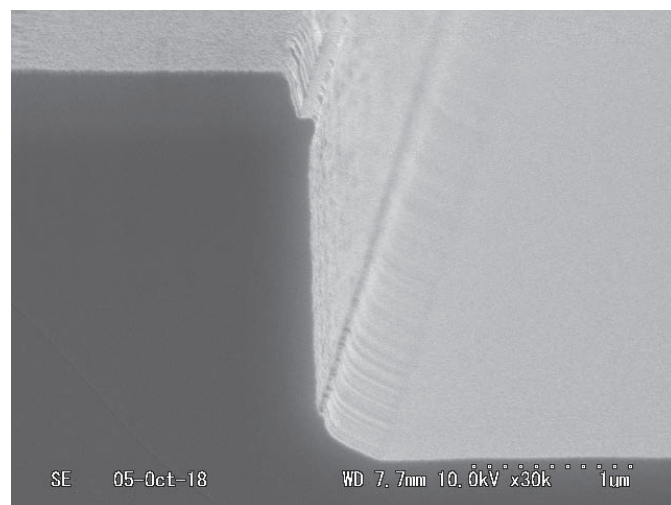


図1. ドライエッチングした GaN のメサ側壁と底面の走査型電子顕微鏡による観察結果

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-18-NU-0026
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : がん転移悪性度の簡易的評価を目的とした微小流路によるがん細胞力学的特性評価
 Program Title (English) : Assessment of cancer metastatic potential using a microfluidic device
 利用者名(日本語) : 小野大地, 佐藤元気, 和田悠, 中村匡徳
 Username (English) : D. Ono, M. Sato, H. Wada, M. Nakamura
 所属名(日本語) : 名古屋工業大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, Nagoya Institute of Technology
 キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, フォトマスク, シリコンウェハ

1. 概要(Summary)

がん細胞は、その転移悪性度が高いほど、やわらかいことが知られている。そこで、簡易的にがん細胞の転移悪性度を評価するマイクロ流体デバイスの開発を試みている。特に本年度においては、幅 $5\ \mu\text{m}$ の狭窄を有するマイクロ流路を精度良く製作する条件等について検討した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 レーザ描画装置一式, マスクアライナ

【実験方法】

レーザ描画装置を用いて、パターンをフォトマスク(クリーンサアフェイス)に描画した。作成したパターンを Fig. 1 に示す。幅 $0.82\ \text{mm}$ の流路中央には六角形が縦に 11 個設置されており、六角形からなる幅は $15\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ である。描画において、Laser Power は $6\ \text{mW} / 45\%$ とした。その後、NMD-3(東京応化工業)で 1 分間フォトマスクを処理して現像した上で、混酸(関東化学)で 1 min エッチング処理し、IPA(和光純薬)で 1 min 洗浄した。

シリコンウェハ(松崎製作所)に SU-8 3005(マイクロケム)を塗布し、 $4000\ \text{rpm}$, $30\ \text{s}$ の条件でスピコートした。 95°C で 3 分間ベークした後、マスクアライナーを用いてフォトマスクとシリコンウェハを接着させ、露光した。その際、フォトマスクとシリコンウェハ間の距離の条件を 1) マスクアライナーのコンタクトによる接着, 2) コンタクトを用いず 0 距離での接着の 2 通り試した。その後、シリコンウェハを 65°C で 1 分間, 95°C で 2 分間ベークし、PM シンナー(東京化成工業)で現像した後、アセトン及び IPA を用いて洗浄した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製したフォトマスク及び鋳型のパターン部分を Fig. 2 に示す。種々の長さを調べたところ、条件 2 の方が設計寸法と近い値を示した。これは、フォトマスクと鋳型の距離を

0 距離にしたことにより照射される紫外光の広がりが抑えられたためである。今後は条件 2 の接着条件を用いて鋳型の作製を行う。

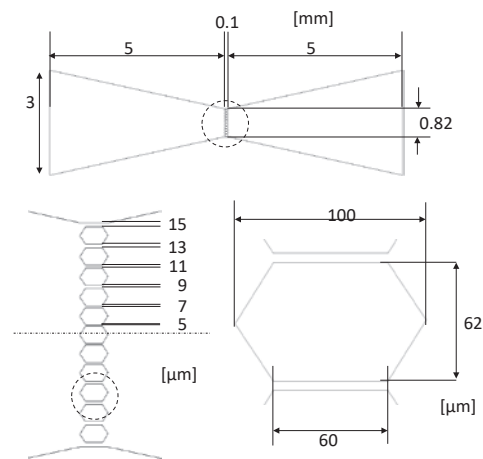


Fig. 1 Schematic drawing of the microfluidic channel.

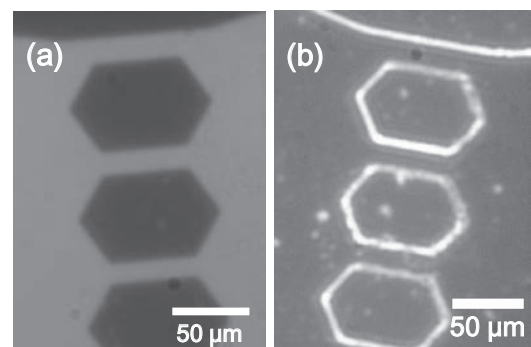


Fig. 2 (a) photomask and (b) silicon wafer.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 小野大地, 杉田修啓, 中村匡徳, 第 41 回日本バイオレオロジー学会年会, (2018)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0030
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : イットリア安定化ジルコニアセラミックのフラッシュ焼結挙動に及ぼす
 交流電場周波数依存性
 Program Title (English) : Frequency Dependence of AC Electric Field on Flash Sintering of Yttria
 Stabilized Zirconia Ceramics
 利用者名(日本語) : 山下雄大, 徳永智春, 山本剛久
 Username (English) : Y. Yamashita, T. Tokunaga, T. Yamamoto
 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 : セラミクス, 焼結, 周波数依存, 形状・形態観察, 分析

1. 概要(Summary)

セラミック圧粉体に電圧を印加しながら昇温させると、ある温度において圧粉体を流れる電流値が急激に増加する現象が現れる。この電流値の急激な増加と同時に、圧粉体の緻密化が生じ、焼結工程が速やかに完了する。この現象はフラッシュ現象と呼ばれており、この現象を用いることで無加圧下にも関わらず、極短時間で焼結を完了させることが可能となる。従来、このフラッシュ焼結法には直流電場が用いられてきた。しかしながら、直流電場の場合には、緻密化や結晶粒径などの微細組織が電場印加方向に不均一になることが指摘されている。そこで、本研究では、3mol%のイットリアを添加したジルコニアをモデル材として用い、交流電場を用いたフラッシュ焼結を行い、その周波数依存性や微細組織形成について検討を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡

【実験方法】

イットリア安定化ジルコニア粉末を一軸および静水圧成形し、3.5x3.5x15mm³の直方体形状の圧粉成形体を作製した。電極として用いる白金箔を、成形体の長手方向両端面に白金ペーストを用いて固定した。調整を行った試料を、電場を印加しながら焼結が行えるように改造を施した熱膨張計 (EVO2 TMA8310 ((株)リガク製)) に設置し、昇温速度 300°C/h の条件のもとフラッシュ焼結を行った。交流電場印加に関しては、周波数を 1~100Hz に変化させている。試料電流が制限電流値に到達後、昇温を停止し、その後、その温度において 30 秒間保持を行った後に、電場を除去し、自然冷却を行った。フラッシュ焼結後、SEM(日立社製 S-4300)及び STEM による微細

構造観察、EDS による元素分析などを行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

直流電場印加では、フラッシュ焼結後の緻密体形状に不均一性が確認された。特にフラッシュ状態を維持するとその不均一性が顕著となり、負極側において緻密体内部が黒色化することが明らかとなった (Fig.1)。これに対して、交流電場印加では、直流電場で認められたような緻密体内部の黒色化は認められず、不均一な緻密化による試料形状変化も認められなかった。この結果から、フラッシュ焼結時には交流電場を用いることが有効であると判断できる。交流電界の場合には、周波数が高くなるほど電極近傍での組織の不均一性が減少する傾向が認められた。この試料の微細組織を確認したところ、結晶粒径が均一であり、かつ、添加したイットリウム組成分布も認められなかった。更に STEM-EELS による電子状態計測を行ったところ、交流電界を印加した試料においても結晶粒界が僅かに還元されていることが見出された。

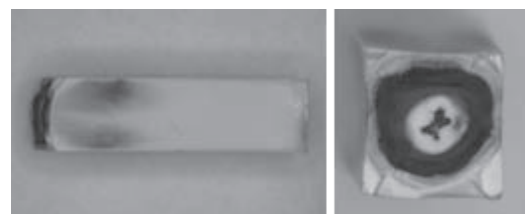


Fig.1 A whole and a cross sectional views of a flashed compact by DC electric field.

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-18-J022
 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 and H. Ikuta
 所属名(日本語) : 名古屋大学大学院工学研究科物質科学専攻
 Affiliation (English) : Department of Materials Physics, 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、(Ba,K)(Mn,Zn)₂As₂が230 Kの強磁性転移温度を有する磁性半導体であると報告され、(Ga,Mn)Asを上回ることから注目されている。本研究では、この系の高品位薄膜成長や、Asを他のニクトゲン元素で置換した周辺物質の探索に取り組んでいる。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)

薄膜の成長のために、最初に各原料について Knudsen 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、エッチング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。As を Sb で置換した系の単結晶を育成したところ、室温でも強磁性の振る舞いを確認した。しかし、抵抗率の温度依存性は金属的であった。それに対して、As を P に置換した

系では、Fig. 1 に示すように、低温で半導体的な振る舞いを観測した。なお、図中には仕込み組成を示すが、EDX による組成分析では、Mn はほぼ仕込み組成に近いものの、K は検知できなかった。しかし、格子定数や物性が変化していることから、微量な K 置換がされていると考えられる。一方、磁性は常磁性的な振る舞いを示し、強磁性発現のためにはさらにドーピングを増やすことが必要であると考えられる。

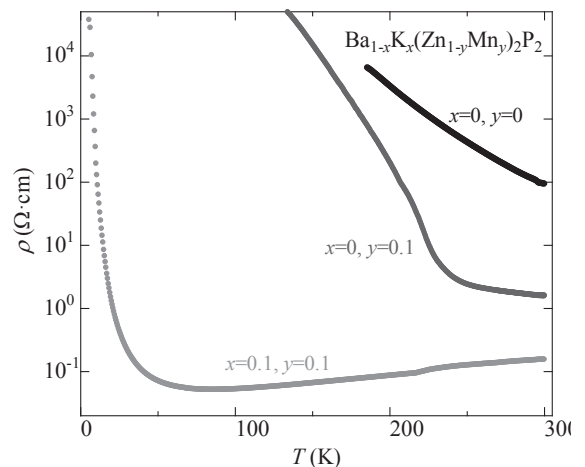


Fig. 1 Temperature dependence of resistivity of Ba_{1-x}K_x(Mn_{1-y}Zn_y)₂P₂ single crystals.

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, 応用物理学会第 79 回秋季学術講演会, 平成 30 年 9 月 21 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-J029
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 : 膜加工・エッチング、ナノデバイス、反応メカニズム

1. 概要(Summary)

近年、患者の体液などを解析するためのバイオデバイスが注目されており、その内部には微細な構造がエッチングによって形成されている。この微細構造の作製プロセス中の Cr へのパターン転写プロセスにおいて、Cr の高速かつ正確なエッチング制御を目指し、条件を変えてエッチングレートの測定を行い、その反応機構について考察を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

ICP エッチング装置

【実験方法】

実験では 1.5 mm の石英基板の上に 100 nm の Cr が製膜された試料を用いた。エッチングレートの計測はサンプルを 2 つ用意し、上部電極パワー 200 W と 300 W の 2 条件で行った。その他のエッチング時のパラメータは共通で、使用したガスとその流量は、塩素 15 sccm、酸素 5 sccm、圧力は 1 Pa、下部電極のパワーは 120 W、基板温度は 20°C、エッチング時間は 180 s だった。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 に上部電極パワーがそれぞれ 200 W、300 W の時のエッチングレートを示す。この図から上部電極のパワーを上げるとエッチングレートが上昇することが分かった。上部電極のパワーを上げると下部電極のピーク電位差が減少することが確認されたが、プラズマ中のラジカルのフラックスが上昇することが想定されるため、Cr のエッチングにおいては下部電極のピーク電位差が大きいほど増進されるイオンによる物理的なエッチングよりも、プラズマ中のラジカルとの化学反応によるエッチングが支配的であったこ

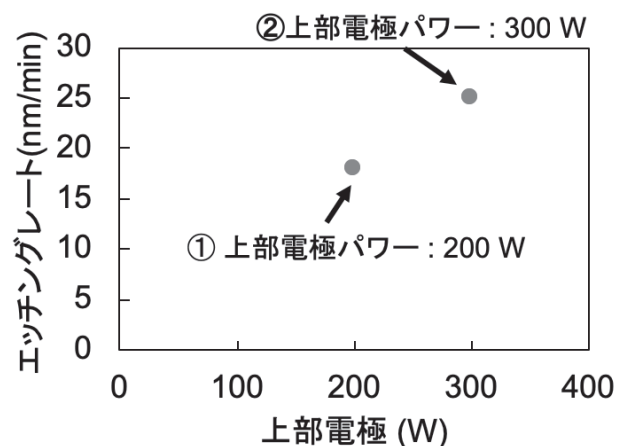


Fig. 1 Etching rate of Cr by Cl₂ plasma

とが考察される。このことから、Cr のエッチングにおいて、ラジカルのフラックス制御によりエッチングレートの制御が可能となる知見を発見した。

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-18-NU-0034
 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) : 赤石龍士郎, 北沢宏平, 黒川康良
 Username (English) : R. Akaishi, K. Kitazawa, 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術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(Si-QD)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】

RIE エッチング装置(サムコ社製 RIE-10NR)、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-QD積層膜/TiO₂:Nbバッファ層(TNO)/n⁺⁺型多結晶Si/裏面電極)を作製した。発電層のSi-QD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°C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AM1.5G下で、*J-V*特性を測定した結果をFig. 1(b)に示す。TNO層製膜前にフッ酸処理を施すことでSi-QD太陽電池の性能を向上することに成功した。これはn⁺⁺層表面に形成した酸化膜を除去することでキャリア伝導が促進したことによるものである。これにより、開放電圧198mV、短絡電流1.9mA/cm²を得ることができた。外部量子効率の結果より、吸収端は1.25eV程度になっていることがわかった。これは、量子閉

じ込めにより、モビリティギャップが増加したことを示唆している。

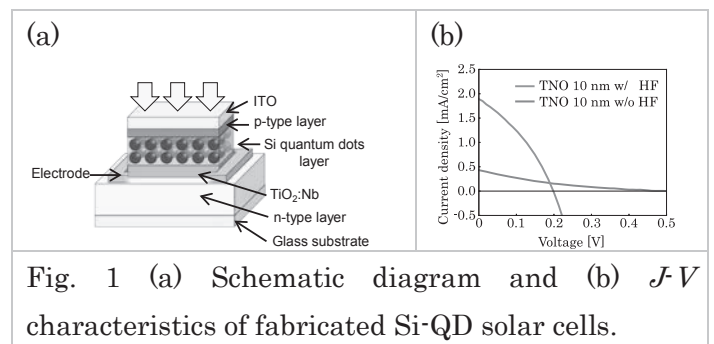


Fig. 1 (a) Schematic diagram and (b) *J-V* characteristics of fabricated Si-QD solar cells.

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, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 08RF08 (2018).
- (2) Y. Kurokawa, K. Kitazawa, R. Akaishi, S. Ono, K. Gotoh, and N. Usami, CSSC-10, Sendai, Japan, 2018年4月9日
- (3) R. Akaishi, K. Kitazawa, S. Ono, K. Gotoh, E. Ichihara, S. Kato, N. Usami and Y. Kurokawa, WCPEC-7, Hawaii, U.S.A., 2018年6月14日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0031
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 高分子材料及び二次元ナノ材料への光共振器導入による発光デバイスの作製
 Program Title (English) : Light-emitting devices of organic polymer and 2D materials
 利用者名(日本語) : 山田知之, 竹延大志
 Username (English) : T. Yamada, 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、発光素子、レーザー

1. 概要(Summary)

近年、我々のグループでは、電解質と有機材料や遷移金属ダイカルコゲナイド単層膜(Transition metal dichalcogenide monolayer, TMDC monolayer)を用いた 2 端子の発光素子(Fig.1)を実現した[1,2]。

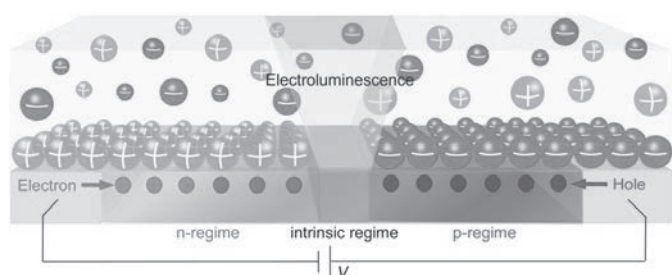


Fig.1 Schematic representation of light-emitting device.

そこで、本研究では、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) ピリオド 340 nm、凹凸部の長さ比率が 1:1
(凹部 170 nm、凸部 170 nm)
- (ii) ピリオド 340 nm、凹凸部の長さ比率が 3:1
(凹部 255 nm、凸部 85 nm)
- (iii) ピリオド 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 SEM および AFM によって観察し、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。問題なくDFB 型共振器の作製に成功しており、今後は本基板上への TMDC 単層膜の転写などを行う。

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献:

[1] T. Sakanoue, T. Takenobu *et al.*, *Adv. Mater.* **29**, 1606392 (2017).

[2] J. Pu, T. Takenobu *et al.*, *Adv. Mater.* **29**, 1606918 (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」

・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)

(1) 平井智章、張亭午、松木啓一郎、坂上知、竹延大志、レーザー学会第 528 回研究会, 平成 30 年 12 月 14 日.

(2) J. Pu, H. Matsuoka, Y. Kobayashi, Y. Miyata, T. Takenobu, the 2nd International Workshop on 2D Materials, 平成 31 年 2 月 22 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-J023
利用形態 : 装置利用
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) : 安田賢汰¹⁾, 大島大輝²⁾
Username (English) : K. Yasuda¹⁾, D. Oshima²⁾
所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院電子工学専攻, 2) 名古屋大学未来材料・システム研究所
Affiliation (English) : 1) Department of Electronics, Nagoya University, 2) IMASS, Nagoya University
キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積、リソグラフィ・露光・描画装置、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、外部磁界と応力による信号を分離できないという問題がある。我々は、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、実験を行ってきた¹⁾。これまでの実験では、変調に用いる交流磁界は外部コイルにより印加していたが、提案するセンサの実用化のためには交流磁界印加用の導線もセンサデバイスに組み込む必要がある。本課題では、微細加工技術を用いて一体型のセンサデバイスの試作を行ったので報告する。

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 0.1mm) の膜構成でサンプルを作製した。その後、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、Fig. 1 に示すような素子構造を作製した。この構造では、2端子の GMR 素子の上に、絶縁層を挟んで交流磁界印加用の Al 導線を配線している。作製したデバイス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。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 素子上に配線した Al 導体に交流電流を流すこと

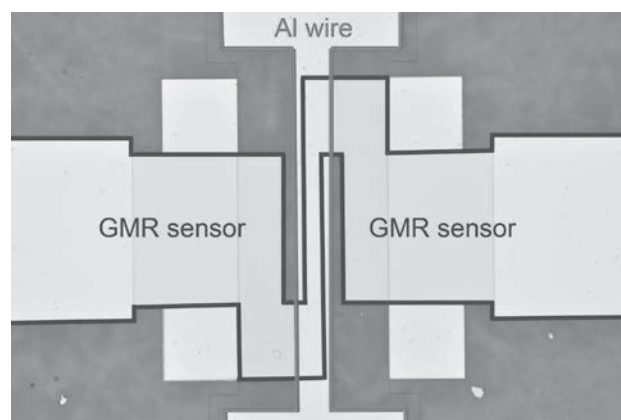


Fig. 1 GMR strain sensor device with Al wire

で、GMR 素子の出力信号が対応する周波数で変化することから、Al 導体に流れる交流電流により GMR 素子に交流磁界が印加されていることがわかる。この状態でガラス基板を歪曲させると、GMR 素子の出力信号が変化することを確認した。計算により見積もられる交流磁界の値を考慮すると、外部コイルを使用した場合と同等の結果が得られていることがわかり、一体型センサデバイスが作製できたとと言える。

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

1) Y. Hashimoto et.al., Journal of Applied Physics, vol. 123, 113903 (2018)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 安田賢汰他, 日本磁気学会第 42 回学術講演会, 平成 30 年 9 月 12 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-J024
 利用形態 : 装置利用
 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 switching technique
 利用者名(日本語) : 川上圭祐¹⁾, 大島大輝²⁾
 Username (English) : K. Kawakami¹⁾, D. Oshima²⁾
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院電子工学専攻, 2) 名古屋大学未来材料・システム研究所
 Affiliation (English) : 1) Department of Electronics, Nagoya University, 2) IMASS, 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、スピン流

1. 概要(Summary)

近年、Pt や Ta 等のスピン軌道相互作用の大きな材料に電流を流したときに生じるスピン流を使った磁化反転手法が検討されている¹⁾。しかしながら、その機構は十分に解明されているとは言えない。本課題では、組成により磁気特性を変調させやすい $Gd_x(FeCo)_{100-x}$ 合金膜を用いて、スピン流による磁化反転の挙動を調べるとともに、組成による変化も調べた。

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、8 元マグネトロンスパッタ装置

【実験方法】

マグネトロンスパッタ装置を用いて、 $SiN(5nm)/GdFeCo(5nm)/Ta(20nm)/Si$ sub. の膜構成でサンプルを作製した。 $Gd_x(FeCo)_{100-x}$ は Gd と FeCo の同時成膜により作製し、それぞれの成膜レートを変化させることで組成の異なるサンプルをいくつか作製した。それぞれのサンプルを電子線リソグラフィおよび ECR エッチングによりホールバーの形状に加工した。膜面内方向にパ

ルス電流を印加することで Ta 層にスピン流が発生し、ある電流値で GdFeCo 層の磁化が反転する。磁化変化は、異常ホール電圧を読み取ることで測定し、パルス電流と読出電流を交互に流すことで、パルス電流に対する磁化反転挙動を観測した。また、交流電流を流したときの磁化反転挙動から、GdFeCo の磁化に加わるフィールドライクトルクとダンピングトルクを測定し、その組成依存性を調べた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 はパルス電流による GdFeCo の磁化反転の様子を示しており、組成の違いで反転電流密度に変化が生じていることがわかる。外部磁界による反転電流密度の変化、フィールドライクトルク・ダンピングライクトルクの組成依存性を調べると、それらが組成により変化している様子が見られた。今後、この情報を元に考察を進めていく予定である。

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

(1) I. M. Miron, et. al., Nature, Vol. 476 (2011), p.189-193.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 川上圭祐 他, 応用物理学会第 6 回 SC 東海地区学術講演会, 平成 30 年 11 月 25 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

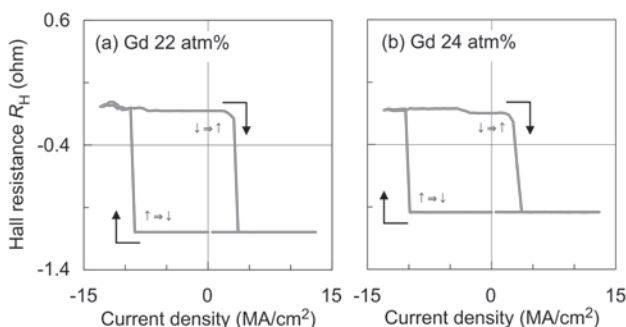


Fig. 1 Magnetization switching curves of GdFeCo films with (a) Gd 22 % and (b) Gd 24 %.

課題番号 : F-18-J027
 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⁾, 沈統¹⁾, 原田俊太^{1,2)}, 宇治原徹^{1,2)}
 Username (English) : R. Kobayashi¹⁾, Shen Tong S. Harada, T. Ujihara²⁾
 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

1. 概要(Summary)

我々は断熱状態と高熱伝導状態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。これまでにアモルファスWO₃薄膜へ水素、Liを電気化学的手法により挿入脱離することで可逆的に熱伝導率が変化することを見出してきた^{[1][2]}。本研究は、イオンのインターカレーションに伴う局所構造の変化に注目し、結晶性WO₃における構造変化と熱伝導率の変化を調べ、熱伝導率変化のメカニズムの解明を試みた。

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】

スパッタリング法により、ITOをコートしたガラス上に室温でアモルファスWO₃薄膜を成膜した。また、一部のサンプルについては大気中で400°Cのアニール処理により結晶化した。WO₃へのLi挿入は電気化学反応を用いた。参照極、対極に金属Liを電解液に1M LiClO₄ in propylene carbonateを用い、定電流で行なった。XRDにより薄膜の結晶構造の同定を行った。また、Raman散乱分光によって薄膜の結合状態の評価を行った。熱伝導率測定は光交流法で行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

アモルファスLi_xWO₃の熱伝導率はLi挿入により減少した熱伝導率がx=0.2において大きく上昇し、さらにLiを挿入すると再度減少した。Fig. 1(a)にアモルファスLi_xWO₃におけるRamanスペクトルの変化を示す。Li挿入されると即座に900 cm⁻¹付近のピークがブロードになった。Li挿入により構造が乱され、結果的に熱伝導率の減少を起こしたと考えられる。一方、急激な上昇は局所構造の変化に由来すると考えられる。結晶性Li_xWO₃の熱伝導率変化をXRDの結果と対応させたところmonoclinic→tetragonal→cubicと構造変態に従って熱伝導率が段階的に上昇することが分か

った。Fig. 1(b)に結晶性Li_xWO₃のRamanスペクトルの変化を示す。cubic相の出現に対応して、230 cm⁻¹のピークが出現することが示された。一方、Fig. 1(a)よりアモルファスにおいても、熱伝導率の上昇が生じたx=0.2より230 cm⁻¹のピークが出現することが分かった。アモルファスの局所構造がtetragonalからcubicに近いものに変化したと考えられる。アモルファスWO₃のLi挿入による熱伝導率の変化は、局所構造の乱れと不純物による熱伝導率の減少と、局所構造の構造変化による急激な変化によって、引き起こされていると考えられる。

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] 小林竜大 ほか, 第 78 回応用物理学会秋季学術講演会, 6a-C22-11

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。

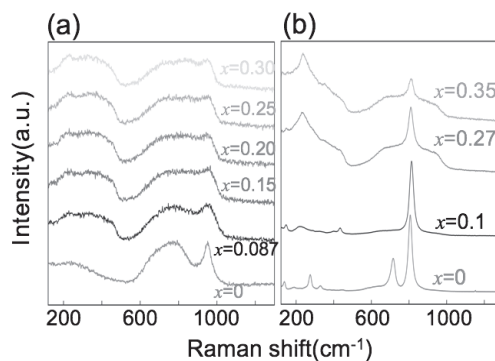


Fig. 1 Raman spectra for Li_xWO₃, (a)amorphous, (b)crystalline.

課題番号 : F-18-NU-0036
 利用形態 : 機器利用
 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
 Username (English) : Y.Takeda
 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

【実験方法】

下記(1)~(4)の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(5), それぞれのエッチングレートを求めた(6). 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, エッチングレートの取得.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Table 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.

Table 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-18-J028
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 酸化チタンを用いた二次元ナノ構造体作製に向けた絶縁膜上酸化チタン結晶の作製
Program Title (English) : Fabrication of titanium oxide on insulator for titanium oxide phononic crystal
利用者名(日本語) : 原田俊太
Username (English) : S. Harada
所属名(日本語) : 1) 名古屋大学 未来材料・システム研究所
Affiliation (English) : 1) IMaSS, Nagoya University
キーワード/Keyword : スパッタリング、酸化チタン、フォノン結晶

1. 概要(Summary)

酸化チタンを基材としてフォノン結晶を作製し、室温において熱輸送制御が可能であることを実証する。既存のSiを用いたフォノン結晶では絶縁膜上のシリコン (Silicon on insulator: SOI) 薄膜を用いて、リソグラフィーによる微細加工により作製されており、同様のプロセスで酸化チタン自然超格子を用いたフォノン結晶の作製を行う。スパッタリング法により酸化チタン単結晶上にSiO₂を堆積させ、熱処理による融着によって二つの結晶を貼り合わせる。その後、背面の研削・研磨または、イオン注入を用いたへき開により、上面の酸化チタンの薄膜化を行う。次に、誘導結合プラズマ (ICP) エッチングにより絶縁膜上の酸化チタン薄膜にパターンを形成し、フッ化水素酸を用いたエッチングによりパターン描画箇所下部のSiO₂を除去することで、フォノン結晶を得る。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

スパッタリング装置一式

【実験方法】

酸化チタン単結晶上に、スパッタリング法によりSiO₂薄膜を蒸着した。酸化チタン結晶へのICPエッチングによる微細加工をエリオニクスにおいて行い、エッチングによるパターン形成を確認した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

本年度は、酸化チタン単結晶上へのSiO₂薄膜の蒸着と、ICPエッチングによるフォノン結晶のナノスケール周期

構造形成を確認した。

今後は、高周波のフォノンの熱伝導率が抑制されると考えられる自然超格子結晶を用いて、フォノン結晶を作製することにより、熱輸送の制御の実証を目指す。

4. その他・特記事項(Others)

本研究は、JST さきがけ「熱輸送のスペクトル学的理解と機能的制御」(課題名:「自然超格子フォノン結晶による室温熱輸送制御」)の支援を受けて行われた。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

該当なし

6. 関連特許(Patent)

該当なし

課題番号 : F-18-NU-0033
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 現像液添加剤による現像性の影響
Program Title (English) : Influence of developer additives on developing performance
利用者名(日本語) : 春日井博之, 榊原秀悟
Username (English) : H. Kasugai, S. Sakakibara
所属名(日本語) : 竹本油脂株式会社
Affiliation (English) : Takemoto Oil & Fat Co. Ltd.
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、現像液、添加剤、ネガレジスト

1. 概要(Summary)

ネガレジストを現像する現像液には種々の添加剤が含まれている[1]。今回、顔料を含むネガレジストを使用し、添加剤が現像性能に与える影響について、名古屋大学の評価設備を用いて確認し、新たな添加剤の探索を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

フォトリソグラフィ装置、小型微細形状測定機一式

【実験方法】

2 インチ無アルカリガラスウェハに対して、レジストをスピコート、バークし、厚さ約 $1\mu\text{m}$ のレジスト膜を形成した。続いてライン&スペースが刻まれたマスクを介してウェハに露光した。別途調製した下記の現像液を用いてレジストの現像を行った。

現像液① 添加剤不使用現像液

0.05% KOH 水溶液

現像液② 添加剤使用現像液(汎用現像液)

現像液③ 添加剤使用現像液(自社配合品)

0.05% KOH 及び

0.10% 非イオン界面活性剤水溶液

現像後、マイクログラフにて $7\mu\text{m}$ のパターンを観察し、パターン形状、レジスト表面の膜減、基板上の付着スカム等を確認し、評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

①～③の現像液での現像によって得られたパターンを Fig. 1 に示す。それぞれのパターンを比較すると、添加剤不使用の現像液①では、レジスト表面の膜減面積が大きいに対し、添加剤を使用した現像液②及び③では、あまり膜減っていないことが分かる。添加剤の分散性能により、レジストが溶解する際に、樹脂及び顔料が細かく分散されたことによる結果と考えられる。また添加剤を使用し

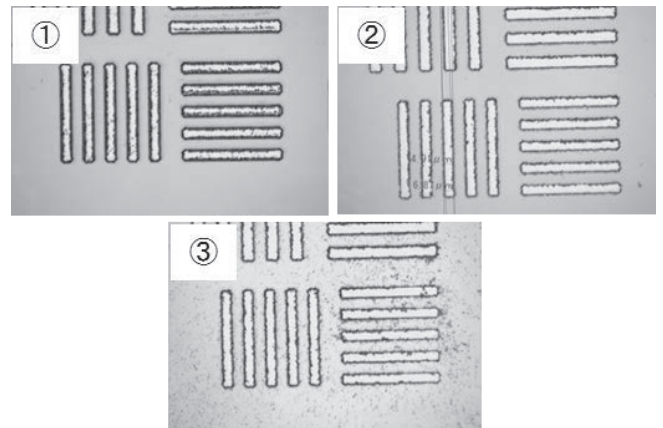


Fig.1 Pictures of $7\mu\text{m}$ patterns after development. ている現像液同士を比較すると、汎用品の②では、基板表面上のスカムがほとんど存在しないのに対し、自社配合品の③では、多くのスカムが確認できる。汎用品である②はレジストの現像により適した添加剤を使用していると考えられる。使用する添加剤の構造、添加量、あるいは複数の添加剤を使用するなどして改善できると考えられる。

今回、現像液に添加剤を用いることによる現像性への影響を確認することができた。分散性能のある添加剤を使用することでレジスト表面の膜減を抑制できることが分かった。今後は、別種の添加剤を使用し、その構造毎の現像性に与える影響について調査したい。

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献:[1]株式会社情報機構, レジストプロセスの最適化テクニック～微細化・トラブル解消のための工程別対策および材料技術～

・ご指導頂きました齋藤清範様(名古屋大学)に感謝申し上げます。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-J046
 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) : Fabrication of Si-QDs with Ge core light emitting devices
 利用者名(日本語) : 藤森俊太郎¹⁾, 前原拓也¹⁾, 池田弥央¹⁾, 牧原克典¹⁾
 Username (English) : S. Fujimori¹⁾, T. Maehara¹⁾, M. Ikeda¹⁾, K. Makihara¹⁾
 所属名(日本語) : 1) 名古屋大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : 1) Graduate school of Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 発光デバイス、量子ドット、走査型電子顕微鏡

1. 概要(Summary)

Ge-Si 系スーパーアトムを活性層に用いて、室温・低電圧(1V 程度)で駆動できる極薄の高効率・高速エレクトロルミネッセンス(EL)デバイスが実現できれば、飛躍的な進歩を遂げているシリコン ULSI 技術をベースに Si 系量子ドットランジスタやフローティングメモリデバイスを組み合わせ、将来の少数電子・少数光子を使った大規模な高度情報処理へと発展する可能性が高い。今回、Ge コア Si 量子ドットにおいて、Si シェルへの B デルタドーピングが室温発光特性に及ぼす影響を評価した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡

【実験方法】

Si(100)基板上に 1000°Cで膜厚~2.9nmのSiO₂膜を形成し、希釈HF処理を施した後、pure SiH₄、10%H₂希釈GeH₄および10%H₂希釈SiH₄ガスのLPCVDを段階的に行い、下地Siドット形成、GeコアおよびSiキャップの選択成長することで、GeコアSi量子ドットを自己組織化形成した。量子ドットへのB添加には、SiH₄CVD中にHe希釈 1%B₂H₆をパルス導入した (Bデルタドーピング)。PL測定は、検出器に冷却InGaAsフォトダイオードを用い、励起光源は半導体レーザー(波長:976nm、出力:~1.3W/cm²)を使用した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

形成した試料のAFM表面形状像から、B添加の有無に依らずGeコアSi量子ドットが面密度 2×10¹¹cm⁻² (平均Geコア高さ:~3.3nm) で形成されていることを確認した。真性およびB添加GeコアSi量子ドットの

室温PLスペクトルには、いずれも 0.62~0.86eVにGeコアの量子準位間での電子-正孔再結合に起因した発光が認められた。PL積分強度は、下地SiドットのみならずBデルタドーピングした場合、真正ドットに比べ~2.2倍に増大し、さらに下地SiドットとSiキャップ両方にB添加した場合には、~3倍に増大した(Fig. 1)。これらの結果は、Geコア/Siシェル構造のエネルギーバンド構造がType-II型であることを考慮すると、下地SiドットおよびSiキャップに添加されたBから供給された正孔がGeコアの深いポテンシャル井戸に閉じ込められることで、Geコアの正帯電とSiクラッドの負帯電が顕在化することに起因して、Siクラッド層で光生成した電子波のGeコアへの染み込みが増大する結果、電子-正孔の再結合レートが向上したとして解釈できる。

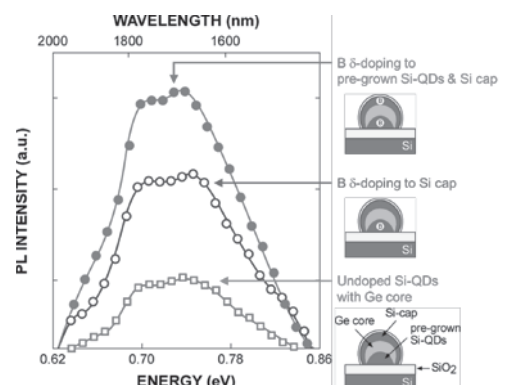


Fig. 1 Room temperature PL spectra from undoped and B-doped Si-QDs with Ge core.

4. その他・特記事項(Others)

・科研費基盤研究(S) 15H05762

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0042
 利用形態 : 共同研究
 利用課題名(日本語) : FeSiB アモルファス薄膜を用いたひずみセンサの試作
 Program Title (English) : Fabrication of strain sensor using FeSiB amorphous film
 利用者名(日本語) : 藤原裕司
 Username (English) : Y. Fujiwara
 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 : アモルファス, 磁歪, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

アモルファス(a-)FeSiB 薄膜は飽和磁歪定数(λ_s)が大きく、ひずみセンサなどへの応用が期待されている。本研究では、a-FeSiB 薄膜の磁気特性の評価および、Granular-In-Gap 構造を有するひずみセンサの試作を試みた。

a-FeSiB 薄膜の λ_s は 40ppm 程度であり、第4元素として、Hf, Zr, Nb を添加したところ 35ppm まで低下することがわかった。フォトリソグラフィにより、a-FeSiB 薄膜と Co-Al₂O₃ グラニューラー薄膜を用いたひずみセンサを試作した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

マスクアライナ, 磁気特性評価システム群

【実験方法】

a-FeSiB 薄膜, Co-Al₂O₃ グラニューラー薄膜はマグネトロンスパッタ法で成膜した。 λ_s はトルク磁力計で、磁化曲線は振動試料型磁力計で測定し、センサ形状への加工にはリフトオフ法を用いた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Table 1 に今回作成した4種類の Fe 系アモルファス薄膜の飽和磁歪定数を示す。a-FeSiB 薄膜では 40ppm 程度であったが、Nb などの元素を添加することで、35-36ppm 程度まで減少することがわかった。

	FeSiB	FeSiBNb	FeSiBZr	FeSiBHf
λ_s [ppm]	40.3	35.3	36.6	36.3

Table 1 Magnetostriction constants of Fe based amorphous films.

Fig.1 に a-FeSiB 薄膜の磁化曲線を示す。(a)は熱処理前、(b)は 200°C 1 時間の熱処理後である。成膜直後

に 30e 程度であった保磁力が、熱処理により 0.30e 程度の保磁力となり、軟磁気特性が向上した。飽和磁化は約 14.4kG であった。

リフトオフ法によりセンサ形状への加工を実施し、磁界印加により、電気抵抗が約2%変化することを確認した。今後、ひずみ印加による電気抵抗変化の確認および a-FeSiB 薄膜と Co-Al₂O₃ グラニューラー薄膜の最適化を実施する予定である。

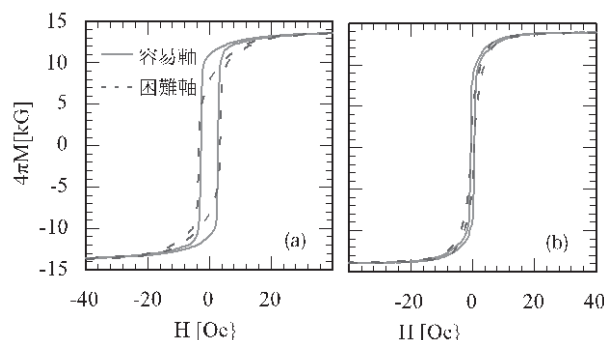


Fig.1 Hysteresis loops of a-FeSiB films.

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 岩田聡 教授, 名古屋大学大学院工学研究科 加藤剛志准教授, 大同大学 神保睦子 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-18-NU-0044
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
Username (English) : T. Yamada
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, 形状・形態観察

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ている。昨年度の研究でリフトオフプロセスの最適化が終了したため、今年度は白金電極の成膜の最適化に取り組んだ。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

小型微細形状測定機一式(小坂研究所社製 ET200)

【実験方法】

SrTiO₃単結晶基板の上に、下部電極としてSrRuO₃膜をパルスレーザー堆積法で成膜し、その上に強誘電体層としてPb(Zr, Ti)O₃膜をRF sputtering法で成膜した。作製したPb(Zr, Ti)O₃膜表面上に、白金電極をRF sputteringを用いて成膜した。作製した電極の成形状態を顕微鏡および小型微細形状測定機で観察した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

一例として、Ar分圧 8 Pa, RF パワー 50 W で 30 分間成膜した白金電極の表面形状プロファイルを小型微細形状測定機で測定した結果を Fig.1 に示す。

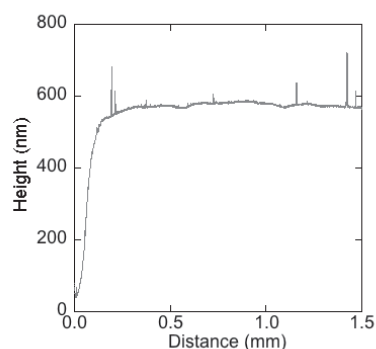


Fig.1 Surface profile of Pt electrode deposited on Pb(Zr, Ti)O₃ film.

Fig.1 からわかるように、平滑で均一な厚みを有する白金電極が作製できたことがわかる。本研究により、強誘電体薄膜キャパシタ構造に適した白金上部電極の作製条件が明らかになった。

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-18-NU-0046
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 高度分離を目的とした機能性ナノファイバー膜の創製
 Program Title (English) : Fabrication of functional nanofiber membrane for advanced separation
 利用者名(日本語) : 向井康人, 坂勇太
 Username (English) : Y. Mukai, Y. Ban
 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、電界紡糸法、ナノファイバー、機能性膜

1. 概要(Summary)

ナノファイバー膜は超比表面積や高空隙率などの性質をもち、濾過や吸着などの分離媒体として有望である。より高度な濾過や吸着を行うには、繊維径をできる限り小さくすることが有効である。紡糸溶液の高分子濃度を減少させることで繊維径を減少できることが知られているが、電界紡糸法で繊維径 100 nm 以下の超微細繊維を安定的に製造する技術は未だ確立されていない。そこで本研究では、異なる分子量のナイロン 6、ナイロン 6,6 を電界紡糸の原料に用い、電界紡糸条件や原料溶液条件がナノファイバーの繊維径に及ぼす影響について検討し、繊維径のさらなる微細化を目指す。

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】

分子量の異なる 3 種類のナイロン 6 (N-6) と 3 種類のナイロン 6,6 (N-6,6) をそれぞれギ酸・酢酸混合液に溶解し、電界紡糸の原料に用いた。ナイロンの分子量や濃度など、種々の条件で原料溶液を調製し、ナイロンナノファイバー膜を作製した。各条件で作製された膜の表面を走査型電子顕微鏡 (SEM) で撮影して繊維層の構造を観察した。N-6 ナノファイバー膜の SEM 画像の一例を Fig. 1 に示す。また、画像解析ソフトを用いて繊維径を 300~400 本測定し、平均繊維径と繊維径分布を算出した。

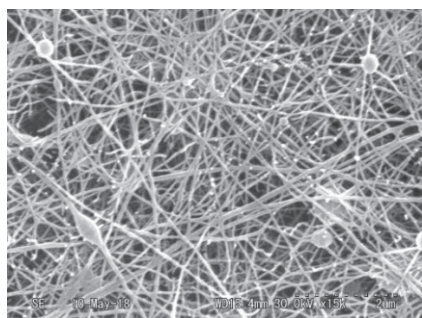


Fig. 1 SEM image of N-6 nanofiber membrane.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

N-6、N-6,6 について、分子量の異なる 3 種類のサンプル (大きい順に HMW, MMW, LMW) を用い、それぞれ原料溶液の濃度を変化させて紡糸を行った。作製したすべての膜について、原料溶液の粘度と平均繊維径の関係を Fig. 2 に示した。図に示されるように、平均繊維径 100 nm 以上の膜はもちろん、100 nm 以下の膜も安定的に作製できることが確認された。また、平均繊維径と溶液粘度との関係は、ナイロンの種類や分子量に関係なく 1 本の直線で表されることが確認された。このことから、原料溶液の粘度が繊維径を決定する主要な因子であると結論づけられる。

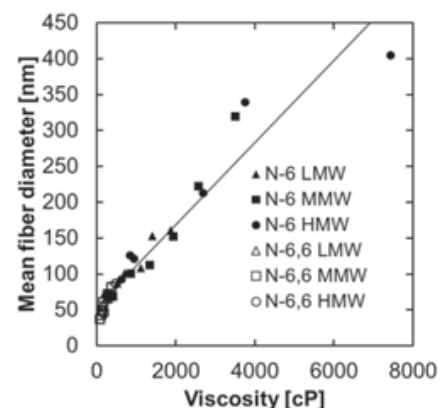


Fig. 2 Dependence of mean fiber diameter on viscosity

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。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Y. Mukai et al., The 46th Textile Research Symposium, 平成 30 年 9 月 4 日
- (2) 向井康人 他, 化学工学会第 50 回秋季大会, 平成 30 年 9 月 18 日
- (3) 向井康人 他, 第 53 回日本水環境学会年会, 平成 31 年 3 月 9 日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0049
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : UV 硬化型材料の性能評価
Program Title(English) : Evaluation of UV Curable Materials
利用者名(日本語) : 大和真樹
Username(English) : M. Ohwa
所属名(日本語) : イーエルイー コンサルティング
Affiliation(English) : ELE Consulting
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置、マテリアルサイエンス、分析

1. 概要(Summary)

フォトレジストを用いて液晶 Display や半導体デバイスの製造が工業的に行われている。高精細化や高集積化が進む中、細線化に対応し、また更に高感度なレジストの開発が望まれている。その為には信頼性があり、効率の良いレジストの評価プロセスが必要である。。今回その評価システムの確立を目的として、名古屋大学、VBL の設備を使い検討した。またその評価プロセスを用いて開発中の感光材料の性能評価を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 フォトリソグラフィ装置、段差計

【実験方法】

アルカリ可溶性のポリマー、多官能性モノマーからなるレジストに市販並びに開発中の感光材料を添加して試験比較用のレジストを作成。マスク(1951 USAF テストターゲット、Fig.1 Left)を用いてパターンをガラス製のダミーウェハーに露光により形成し、アルカリ現像液で処理後、顕微鏡によりパターン形成を確認する。残膜厚を段差計で測定しレジストの性能を比較する。またステップダブレット(Fig.1 Right)を用いて感度の比較も行った。

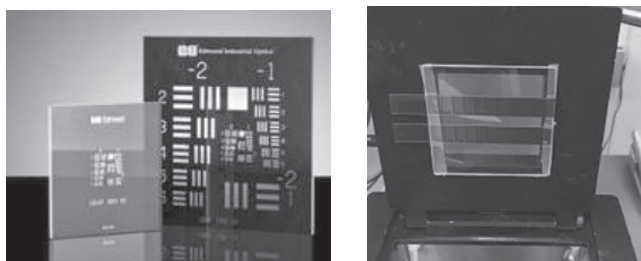


Fig.1 1951USAF Test Target and 10 Step Tablet

3. 結果と考察(Results and Discussion)

ダミーウェハー上に形成したパターンは、どの細線パターンが残っているか、また残膜厚で感度を比較した。。

またステップタブレットを用いた方法では残った膜のステップ数で比較した。開発中の感光材料は市販のものとは比べて感度が高いことがわかった (Fig.2)。

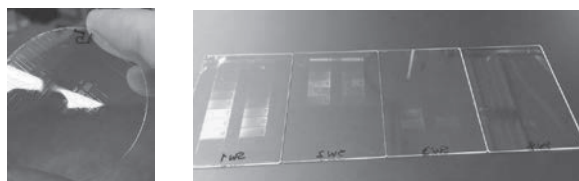


Fig. 2 Patterns on a glass wafer after development and the image by Step Wedge for sensitivity test

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献:[1] Chun Yoon et al., *Bull. Korean Chem. Soc.* 2009, Vol. 30, No. 8 1821

・名古屋大学 VBL 岸本茂様に感謝致します。

・有意義な助言をいただきました関隆広教授、永野修作准教授、北村一晟様(名古屋大学 工学研究科)に感謝致します。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0048
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 超臨界流体急速膨張法によるカロテノイドナノ粒子の調製
 Program Title (English) : Preparation of carotenoid nanoparticles by rapid expansion of supercritical solution
 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 Engineering, Nagoya University
 キーワード/Keyword : 形状・形態観察、分析、超臨界二酸化炭素、カロテノイド、ナノ粒子

1. 概要(Summary)

カロテノイドは自然界に最も普遍的に存在している黄～紫色の脂溶性天然着色料で、750種類以上存在する。特に近年では、カロテノイドがもつ抗酸化作用や生活習慣病の予防に効果があるとされ、着色料としての利用だけでなくサプリメントなどへの利用が注目を集めている。そのため体内吸収性などの生物学的利用能を高めるための手段として微粒子化が盛んに行われている。また、シス体カロテノイドにはトランス体に比べて高い生物学的利用能と高い抗酸化作用が期待されていることから、微粒子化することで吸収性の向上の相乗効果が期待できる。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡

【実験方法】

超臨界流体急速膨張法(RESS)法では良溶媒であるSC-CO₂にシス体を含むリコピンを溶解してノズルで噴霧させる。このとき、SC-CO₂が急速膨張することでリコピンが過飽和をして微粒子として析出する。最初に液体CO₂を一定流量で送液した。背圧弁は圧力の調整に用いて、CO₂を設定圧力まで昇圧させた。恒温槽内でCO₂を加熱した後、設定温度まで昇温してSC-CO₂に相変化させる。次に、原料のシス体含有リコピンを溶解させて混合物を背圧弁に送液した後、大気圧に解放され、急速にCO₂の体積が膨張することで気体になる。リコピンのCO₂への溶解度が急激に減少するので過飽和状態になり、微粒子を生成させ、メンブレンフィルターに集めた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

微粒子をメンブレンフィルターで回収し、粒径やシス体含有率と結晶性の有無を確認した結果、Fig.1のように98% シス体リコピンの場合、SEDS法より小さい平均粒

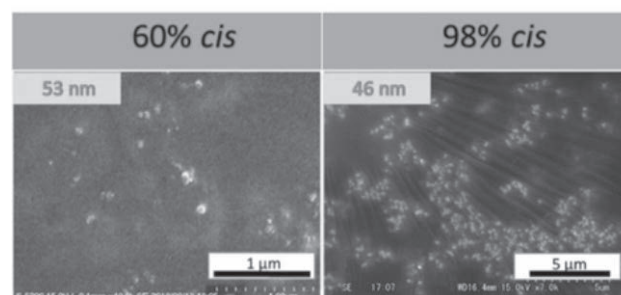


Fig.1 Lycopene nanoparticles obtained by RESS method

径 46 nm のナノ粒子を形成できた。得られたナノ粒子はシス体リコピンで構成されたアモルファス体であり、RESS法を用いた微粒子化法がより有効であることが確認された。

4. その他・特記事項(Others)

・謝辞

本研究の遂行に対してご支援を賜りました公益財団法人東洋食品研究所に深く感謝いたします。また、カロテノイドのシス体異性体の液体クロマトグラフィーを用いた分析および精製についてご教授を賜りました、名城大学理工学部の本田真己助教に心より感謝致します。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) T. Kodama, M. Honda, S. Machmudah, Wahyudiono, H. Kanda, M. Goto, Engineering Journal, Vol. 22, No. 3 (2018) pp. 25-38.
- (2) 児玉 智彦ら, 第7回 JACI/GSC シンポジウム, 平成30年6月15日(発表日).
- (3) 児玉 智彦ら, 化学工学会第84年会, 平成31年3月13日(発表日).

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0052
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 微細加工を用いたバイオマイクロの研究
Program Title (English) : Bio-micro engineering with MEMS fabrication
利用者名(日本語) : 福田敏男
Username (English) : T. Fukuda
所属名(日本語) : 名城大学理工学部メカトロニクス工学科
Affiliation (English) : Dept. of Mechatronics engineering, 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, MEMS, Lithography, Micro-fluidic device

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 (mPG101-UV), 両面露光用マスクアライナ (MJB-3)

【実験方法】

実験においては, レーザ描画装置一式 (mPG101-UV), 両面露光用マスクアライナ (MJB-3), 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 MJB-3 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.

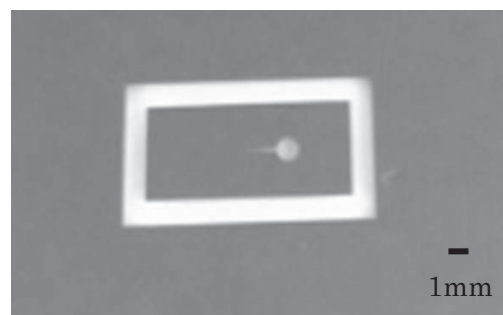


Fig.1 Cr mask

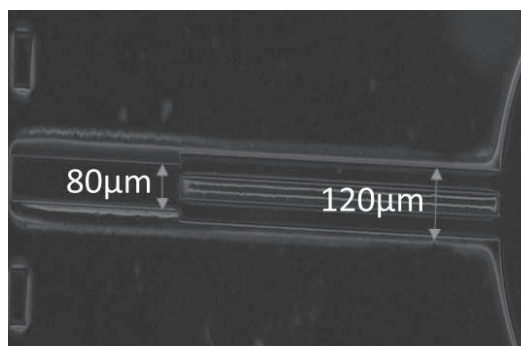


Fig.2 Su-8 mold

4. その他・特記事項(Others)

なし.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Satoshi Tomita, Masaru Takeuchi, Akihiko Ichikawa, Akiyuki Hasegawa and Toshio Fukuda, "Micro Channel Design for Cancer Screening using C.elegnas", MHS2018, pp. 48-49, 2018

6. 関連特許(Patent)

なし.

課題番号 : F-18-NU-0051
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : GaN 系半導体・光電子デバイスの開発
Program Title(English) : Development of 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、GaN、ハイドライド気相成長

1. 概要(Summary)

GaNは異種基板上に成長される多く、高品質のGaN基板は得られがたいのが現状である。GaNの高品質化にはSiO₂などを用いた選択横方向成長による高品質化が有効であることが分かっている[1,2]。我々は、GaN基板のような高品質で厚膜成長におけるELO成長を行い、数100 μmのストライプ形状のパターン周期が最適であることを見出してきた[3]。しかしながら、そのパターンの最適形状は未解明であった。今回、フォトマスクの設計について可能なマスクパターンと描画装置での必要な時間について相談いただいた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置

【実験方法】

GaNの結晶品質改善のための選択成長に必要なマスクパターンを設計し、そのパターン作製がレーザー描画装置にて可能かどうか技術指導を行っていただいた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1はELO成長のためのパターンニング形状を示したものである。従来のラインパターンをヘキサゴナルパターンへ変更を考えてのものである。レーザー描画装置にて描画可能であることを確認いただいた。また、実際に描画した際にかかる時間と予想される技術代講の金額について相談いただいた。今回は予算の都合上見送らせていただいたが、今後の実験方針と研究の方向性を確認することができた。

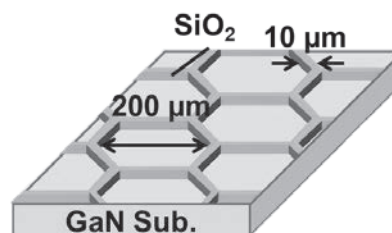


Fig.1 Design of hexagonal SiO₂ mask by laser lithography system

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

- [1] V. Wagner, O. Parillaud, H. J. Buhlmann, and M. Illegems, J. Appl. Phys. 92 1307 (2002).
- [2] A. Sakai, H. Sunakawa, A. Kimura, and A. Usui, Appl. Phys. 76, 442 (2000).
- [3] S. Goubara, T. Matsubara, K. Yukizane, N. Arita, S. Fujimoto, T. Ezaki, R. Inomoto, K. Yamane, N. Okada, and K. Tadatomo, J. Cryst. Growth 478, 123 (2017).

・謝辞

本研究の技術指導を行っていただいた名古屋大学、加藤准教授に感謝申し上げます。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0068
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 反応性イオンエッチングを用いた焦点制御型回折レンズの作製
 Program Title (English) : Fabrication of a binary diffractive lens for controlling the focal length and depth of focus by using reactive ion etching
 利用者名(日本語) : 元垣内敦司 , 松尾和樹
 Username (English) : A. Motogaito, K. Matsuo
 所属名(日本語) : 三重大学大学院工学研究科
 Affiliation (English) : School of Engineering, Mie University
 キーワード/Keyword : 膜加工・エッチング、回折レンズ、バイナリ構造、電子線描画

1. 概要(Summary)

我々は今までガラス基板の上に電子線レジストを塗布して、電子線描画によって回折レンズの作製を行ってきた[1]。しかし、従来の方法ではレーザーの出力に耐えられずに薄膜レジストが剥がれてしまう問題があり、レーザー加工用などのレンズには不向きである。そこで名古屋大学の反応性イオンエッチング装置を利用して、ガラスをエッチングすることによりレンズを作り、レーザーの出力に耐えられるレンズの作製を行い、エッチング時間を調整することで所望のレンズを作製できる見通しを得ることができた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

RIE エッチング装置、原子間力顕微鏡

【実験方法】

レンズは、同心円状の構造で中心部の輪帯間隔は $\Delta R_1=30\mu\text{m}$ 、末端部の輪帯間隔は $\Delta R_{\text{max}}=8\mu\text{m}$ として設計した。ガラス基板にクロムをスパッタで堆積後、電子線レジストを塗布して電子線描画を行い、現像してレンズパターンを作製する。レンズパターンの現像後、クロムが剥き出しになっている部分をエッチング液で除去する。次にレジストが残っている部分をマスクにして、反応性イオンエッチング装置で CF_4 を 20sccm, 5Pa, 150W の条件で 10 分のエッチングを行った。エッチング後、残ったレジストを確実に除去するために酸素でアッシングを行った後に、Cr のエッチング液で Cr を除去して、ガラスレンズを作製した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 にエッチングで得られたガラスレンズの原子間力顕微鏡像(AFM 像)を示す。レンズ中心部の輪帯間隔は $29.7\mu\text{m}$ でほぼ設計通りの値となった。また、深

さは 650nm と設計値の 500nm より深くなった。このことから、エッチング時間を 10 分より更に短くすることで設計値の 500nm に近づける必要がある。また、末端部について輪帯間隔はほぼ設計値通りであったが、深さについては、中央部とほぼ同じ深さで、設計値の 500nm より深くなった。今後、エッチング時間を調整することで所望のレンズを作製できる見通しを得ることができるものと考えられる。

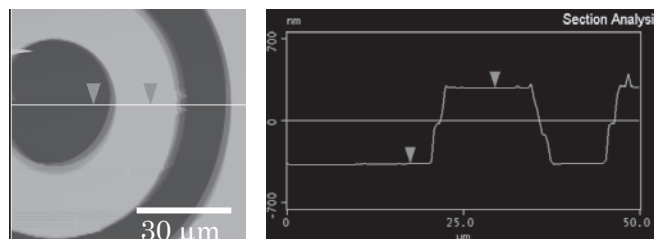


Fig.1 AFM image of the fabricated lens in the center part

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

[1] A. Motogaito et al., Technical Digest on the 22nd Microoptics Conference (MOC 2017), pp.276-277 (2017).

・謝辞

本研究を実施するにあたりご協力いただきました名古屋大学 加藤剛志准教授、大島大輝助教に感謝いたします。また、本研究は(公財)天田財団平成 29 年度 一般研究開発助成によるものである。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 松尾和樹, 元垣内敦司, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 平成 31 年 3 月 11 日.

6. 関連特許(Patent)

(1) 平松和政、元垣内敦司他, “凹型レンズおよび光学部材、ならびにこれらを使用した照明装置”, 特許第 6057272 号, 平成 28 年 12 月 16 日.

課題番号	: F-18-NU-0075
利用形態	: 技術相談
利用課題名(日本語)	: 複合高分子／不揮発性液体からなるゲル電解質を用いた色素増感太陽電池の作製
Program Title (English)	: Preparation of dye sensitized solar cells using gel electrolytes composed of multicomponent polymer/nonvolatile liquid
利用者名(日本語)	: 鈴木智大、野呂篤史、松下裕秀
Username (English)	: T. Suzuki, A. Noro, Y. Matsushita
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	: 膜加工・エッチング、色素増感太陽電池、電子ビーム蒸着装置

1. 概要(Summary)

フレキシブルな導電性基板を用いた色素増感太陽電池の作製について、名古屋大学支援機関より技術相談を受けた。

具体的には、TiO₂薄膜の作製法について、電子ビーム蒸着によりTiO₂を電子ビームで飛ばして蒸着してはどうか、とのアドバイスを受けた。また、当初はポリエチレンテレフタレート板に酸化インジウムスズが蒸着されたフレキシブル基板(PET-ITO)にTiO₂を蒸着することで色素増感太陽電池用の基板を作製する予定であったが、蒸着に用いる装置の内部が高温となるため、そのままではポリマーでできた基板では歪んでしまう恐れがある、とのアドバイスも受けた。対応策としては、口の字(Fig. 1a)または井の字型(Fig. 1b)の金属板を用いて、フレキシブル基板を固定してはどうかとの提案を受けた。

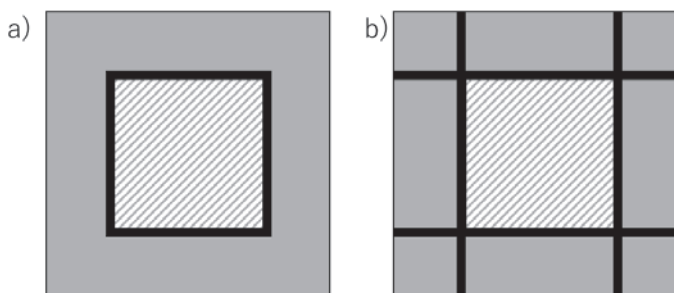


Fig. 1. Schematic illustrations of metal sheet used for fixing a PET-ITO substrate: a) shape of square (□); b) shape of number sign (#). Shaded area is adjusted for a PET-ITO substrate.

また、電子ビーム蒸着で用いるTiO₂としては、市販のTiO₂ペーストを電気炉で焼成したものを用いる予定であったが、焼成後のTiO₂ペーストは粉末状で、そのままでは蒸着に適さないことが分かった。そこで、焼成後のTiO₂

ペースト粉末をプレス機で圧縮し、ペレット状にすれば蒸着に使用できるとの助言も受け、TiO₂ペレットの作製に取り組むことにした。

2. 実験(Experiments)

<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)

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-18-NU-0076
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : 樹脂基板上への Al 膜スパッタリングにおける逆スパッタ処理の有用性検討
 Program Title (English) : Study on the effect of reverse sputtering process when forming an Al film on a resin substrate.
 利用者名(日本語) : 前田史恵
 Username (English) : F. Maeda
 所属名(日本語) : 東海興業株式会社
 Affiliation (English) : TOKAI KOGYO CO., LTD.
 キーワード/Keyword : 成膜・膜体積、スパッタリング、樹脂、密着性

1. 概要(Summary)

ポリカーボネート基板(以下 PC 基板)上にスパッタリングを用いて金属膜を成膜すると、密着性が悪くテープで簡単に剥離してしまう。今回、名古屋大学の先端技術共同研究施設を利用し、金属膜を成膜する前に逆スパッタ処理をすることで密着性が改善するかどうかを検討した。

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

【実験方法】

自社の射出成形機で作製した PC 基板を使用し、3 元マグネトロンスパッタ装置を用いて逆スパッタリング処理を行った後、Al 成膜処理を行った。RF 電力は 300W、Ar 雰囲気下(15sccm)で行った。サンプル作製条件を Table1 に示す。

No.	Reverse sputtering		Sputtering of Al film		
	Pressure (Pa)	Time (s)	Pressure (Pa)	Time (s)	Film thickness (nm)
1	/	/	0.5	27	40
2	2	180	0.5	27	40

Table1. Recipes of Sputtering.

密着性はニチバンのセロテープ CT-18 を使用し、成膜したサンプルにテープを貼り付けて手で剥がし、膜の剥離有無を調べた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

各サンプルのテープ剥離結果を Fig1.に示す。逆スパッタ処理なしの No.1 は剥離したが、逆スパッタ処理ありの No.2 は剥離しなかった。

以上の結果より、PC 基板の表面を削ると、基板表面に含まれている汚れや水分が除去され、PC と Al の密着性が改善することが分かった。

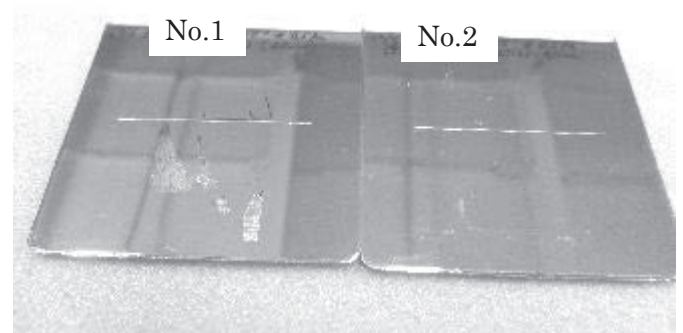


Fig1. Result of adhesion test.

4. その他・特記事項(Others)

名古屋大学未来材料・システム研究所の加藤准教授様、熊沢技術補佐員様に感謝致します。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0078
 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) : 東瞭太¹⁾, 永野修作²⁾, 関隆広¹⁾
 Username (English) : R. Higashi¹⁾, 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) Nagoya University Venture Business Laboratory
 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、アゾベンゼン側鎖を持つ光応答性ブロック共重合体のマイクロ相分離構造の光配向制御[1]に基づくナノオーダーの微細加工技術の開発を行っている。本研究では、光応答性液晶高分子(PAz)とポリメチルメタクリレートからなるグラフトブロック共重合体P(Az-MMA)を新たに合成し、酸素の反応性イオン・エッチング(O₂ RIE)による薄膜のエッチングを検討した。四酸化ルテニウム(RuO₄)による染色処理がエッチングレートにおよぼす影響も合わせて調べた。その結果、出力 50 w、O₂ 流速 10 sccm、圧力 2Paの条件にて、未染色の膜は、約 1.8 nm/sにてエッチングされた。一方、染色膜は、ほぼエッチングが行われないことがわかった。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 RIE エッチング装置 サムコ社製 RIE-10NR

【実験方法】P(Az-MMA)を合成し、膜厚約 80 nmの薄膜を調製した。薄膜の一部をひっかくことにより削り取り、基板と膜表面の段差を白色干渉顕微鏡にて測定する事によって膜厚を計測した。その後、O₂ RIEにてこの薄膜を処理し、処理時間と膜厚をプロットし、エッチングレートを算出した。染色処理は、室温にて薄膜をRuO₄蒸気に3分ほどさらしたものをを用いた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

種々の条件を検討し、出力 50 w、O₂ 流速 10 sccm、圧力 2Paの条件にて、O₂ RIE処理時間とP(Az-MMA)薄膜の膜厚のプロットをFig. 1 に示す。未染色の膜では、処理時間とともに膜厚が線形的に減少し、エッチングが行われていることがわかる(赤)。この条件のエッチングレートは、1.8 nm/sと算出できた。一方、RuO₄にて染色した薄膜では、O₂ RIE処理による膜厚の減少は観察されなかった(黒)。フェニル基を持つ高分子材料は、RuO₄に強く染色され、O₂ RIE処理によるエッチング耐性が付与される[2]。一方、PMMAは、RuO₄による染色は行われないことが知られている[2]。本結果は、染色によりP(Az-MMA)中のPAz部が選択的に染色され、O₂ RIE

エッチング耐性が付与されたものと考察できる。膜中のPMMA部は選択的に酸化、アッシングされ、膜内部にはナノオーダーの微細構造が形成されているものと考えられる。

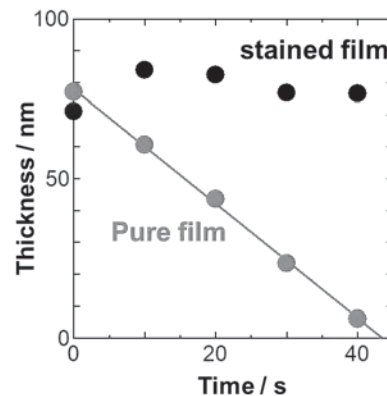


Fig 1. Time course of film thickness by O₂ RIE treatment for a pure film and stained film with RuO₄.

4. その他・特記事項(Others)

・関連文献:

[1] S. Nagano, *Langmuir*, DOI: 10.1021/acs.langmuir.8b01824.

[2] J. S. Trent ら, *Macromolecules*, 16, 589 (1983).

・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-18-NU-0079
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: CVD成長したWS ₂ 原子層を用いた高移動度デバイス作製法の開発
Program Title (English)	: Development of high-quality device of CVD-grown monolayer WS ₂
利用者名(日本語)	: 堀田貴都, 北浦良
Username (English)	: T. Hotta, R. Kitaura
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	: 膜加工・エッチング, 原子層物質, WS ₂ 原子層, hBN保護

1. 概要(Summary)

遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)の原子層は3原子厚の極薄半導体であり、バルク物質とは異なる電磁応答を示す。CVD法によって合成したTMD原子層は、剥離法には無いメリットを持つ一方で、欠陥が多く低品質であるため高移動度デバイスには不向きとされてきた。本研究ではCVD合成したWS₂原子層を対象に、独自の転写法を基盤とする新規手法による高移動度デバイスの作製の実現を目指し、今回そのデバイス作製プロセスの一つとして名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリーのリアクティブイオンエッチング(RIE)を利用した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 RIE エッチング装置

【実験方法】

酸化膜 270 nm厚のシリコン基板上に剥離した六方晶窒化ホウ素 (hBN) に対し、当研究室のEBリソグラフィー装置で~ 500 nm程度の4つのホールを描画し、RIE装置でエッチングを行った。条件は以下の通りである。RF出力: 60 W, 圧力: 2.0 Pa, ガス流量 CF₄: 30 sccm, O₂: 4 sccm。このhBNを用いて乾式転写法によりWS₂原子層を保護した構造を作製し、リソグラフィーおよび抵抗加熱式金属蒸着器によりFETデバイスを作製した。作製したデバイスは伝達測定によりその特性を評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

シリコン基板上に作製したhBNおよびRIE後の光学顕微鏡像をFig. 1(a)および(b)に示す。RIEの結果、リソグラフィーで描画したパターン状にホールが開いていることがわかる。さらに乾式転写法によりWS₂原子層を穴あきhBNで保護した構造を作製し、金属蒸着によりFETデバイスを作製した。このデバイスにおいて、二端子を用いた

伝達特性評価を行った。この結果から、本デバイスにおける有効電子移動度を算出すると、室温で約 60 cm²/Vsとなり、既報の論文より高い移動度を持つことが分かった。これは用いたCVD成長したWS₂原子層の品質が高く、剥離法で得られた試料と遜色ないことを示している。今後は、多端子測定を行い、接触抵抗を取り除いた移動度で評価することにより、CVD成長したWS₂原子層の可能性を探求する。

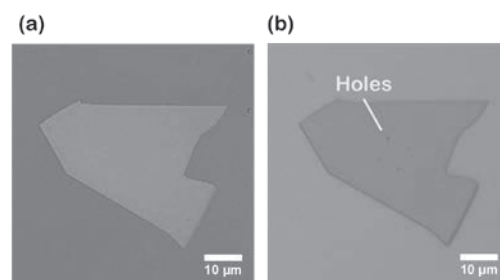


Fig. 1 Optical microscope images of (a) a hexagonal Brone Nitride (hBN) flake and (b) the hBN after RIE.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Takato Hotta, Ryo Kitaura, et al., APS March Meeting 2018, 2018年3月5日.
- (2) 上田哲大, 堀田貴都, 北浦良, 他, 応用物理学会第79回秋季学術講演会, 平成30年9月18日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0081
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 酸化合金触媒のメタン水蒸気改質反応への適応
Program Title (English) : Catalytic Activity of Oxidized Alloy for Methane Steam Reforming
利用者名(日本語) : 重松優来, 山田博史
Username (English) : Y. Shigematsu, H. Yamada
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 : 形状・形態観察, 炭化水素改質, 合金酸化

1. 概要(Summary)

Niを含む合金に酸化処理を施し、炭化水素改質に活性を示す触媒を作製した。この触媒を用いてメタンの水蒸気改質反応を行った。また、SEMによる触媒表面の観察を行い反応結果とあわせて考察した。

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】

石英管の中に合金管を設置した二重管型反応器を用い、その間に酸素を通して酸化処理を施し、メタンと水を供給して水蒸気改質反応を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig.1,2,3に酸化処理前の合金表面、酸化処理2時間後の合金表面、酸化処理10時間後の合金表面を示す。酸化前処理の前後で比較すると酸化前処理をした後の合金表面は酸化前処理する前と比較して粗いことが分かり、酸化処理をすることによって合金表面が変化していることが分かる。また各種比較すると酸化処理時間が短いもの(Fig.2)は端正かつ大きな粒子が生成している一方、酸化前処理時間が長いもの(Fig.3)は合金表面に粗く小さな粒子が生成していることが分かる。合金への酸化処理に関して、長く酸化処理を行うとより活性が向上し、水素が発生することが反応実験によって判明している。このSEM画像を考慮すると酸化処理をより長く行うことによって触媒表面に小さな粒子が発生し、触媒の表面積が向上したことによって触媒活性向上の結論が得られたものであると考えられる。SEMによる表面観察によって表面観察と触媒活性の両点からより長い酸化前処理によって触媒活性が向上することが確認できた。

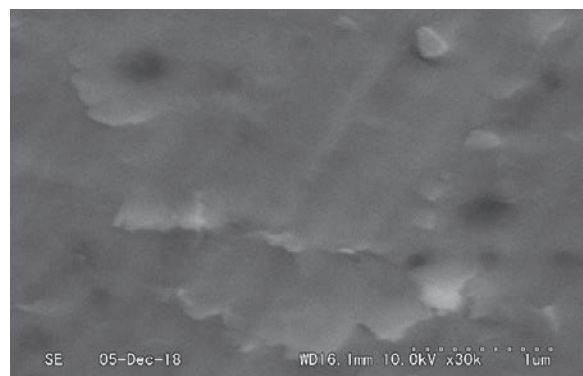


Fig.1 Before oxidation

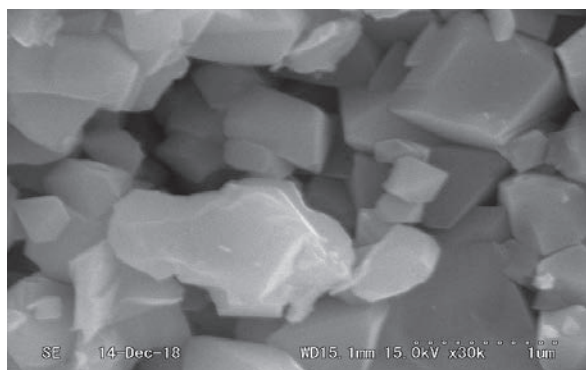


Fig.2 2 hours oxidation

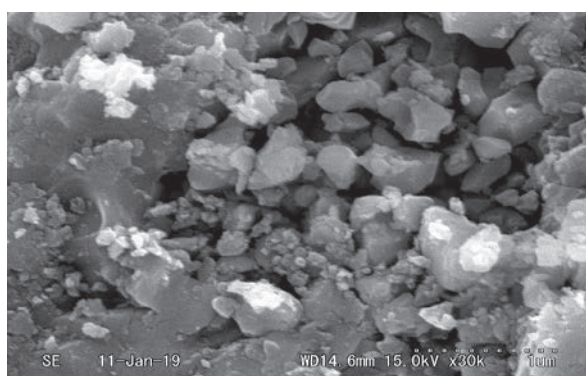


Fig.3 10 hours oxidation

4. その他・特記事項(Others)

この研究は「知の拠点あいち重点研究プロジェクト」の補助を受けて行われた。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号 : F-18-NU-0080
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 多結晶 CVD-SiC の粒界分析
Program Title (English) : Grain boundary analysis of polycrystalline CVD-SiC
利用者名(日本語) : 伊藤公一
Username (English) : K. Ito
所属名(日本語) : (株)東海エンジニアリングサービス
Affiliation (English) : Tokai Engineering Service Co. Ltd
キーワード/Keyword : 形状・形態観察、分析、CVD、SiC

1. 概要(Summary)

ガラスレンズ金型の材料として、高温安定性、耐酸化性や熱伝導率に優れ、鏡面の実現が可能な CVD-SiC(多結晶)を研究している。今までに、レーザー顕微鏡や X 線回折分析を用いて、用途に適した粒径や面方位を明らかにした。しかし、マクロな観察のみで、粒界の状態が分かっていない。そこで、粒界の形状や組成分析を行い、さらなる技術開発を行う。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 走査型電子顕微鏡

【実験方法】

常圧焼結 SiC 上に多結晶 CVD-SiC を堆積した。その後、CVD-SiC 部のみを切り出し、走査型電子顕微鏡(Hitachi High-Tech Fielding S5200)を用いて、観察を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製した CVD-SiC の表面の SEM 像を Fig.1 に示す。粒径 $\sim 10\mu\text{m}$ の結晶が緻密に成長していることがわかる。

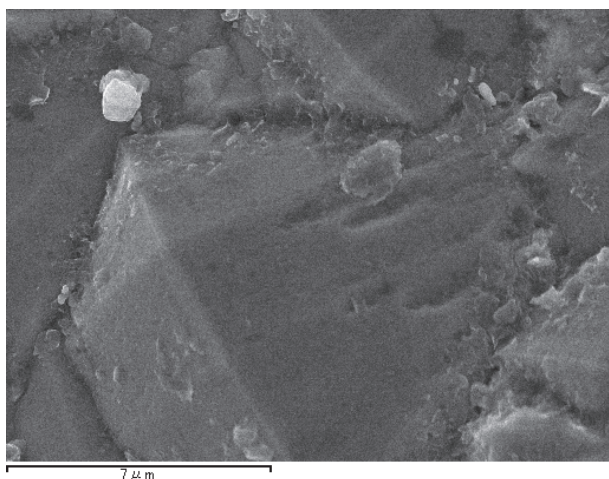


Fig.1 A SEM image of CVD-SiC surface.

次に、Si および C の EDX 元素マッピング像を示す(Fig.2)。粒界に Si や C が偏析することなく、均一に分布していることが分かった。

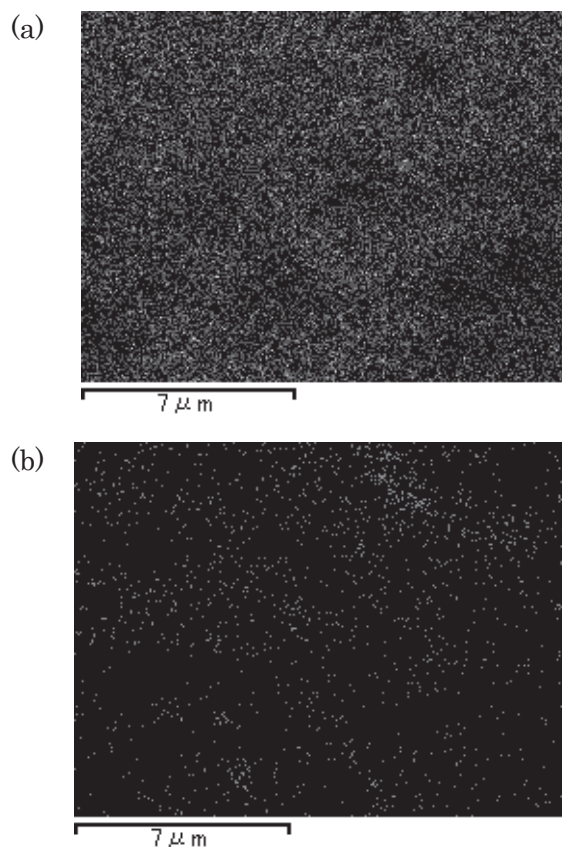


Fig.2 EDX mapping images of (a) Si and (b) C for the sample.

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-18-NU-0083
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) :
 Program Title (English) : GaN integration with amorphous substrates via silicon seed layers fabricated by aluminum-induced crystallization
 利用者名(日本語) :
 Username (English) : M. Hainey, Jr., N. Usami
 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, アルミニウム誘起結晶化法, ヘテロエピタキシャル成長用シード層

1. 概要(Summary)

In this project, the fabrication of silicon thin films fabricated by electron beam evaporation is compared to those fabricated by RF Sputtering (in Usami Lab). The different energetics involved in the two processes will influence the final film morphologies, even if process parameters such as vacuum level or deposition rate remain roughly the same.

These silicon films are to be used as seed layers for heteroepitaxy. However, rough surfaces will interfere with uniform epitaxial growth, and must be mitigated. Previously, films in the Usami laboratory have been made by sputtering. However, sputtering is an energetic process that is known to damage underlying substrates or films. Therefore, replacing sputtering with a less energetic electron-beam evaporation process is desirable.

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】

Glass substrate cleaning is performed in the Usami laboratory prior to deposition. Samples are transported to cleanroom in deionized water. Al is deposited at 1.5-2.0 Å/s followed by a 3 min air exposure. Amorphous silicon is subsequently deposited at similar deposition rates after pumpdown. Base pressures for both processes are $\sim 1 \times 10^{-4}$ Pa. Film thicknesses are roughly 30 nm.

For the aluminum-induced crystallization process, the Al/oxide/Si stacks were annealed at 425-500°C for 2hrs in an argon ambient. The Al layer was etched using a 10:1 DI Water: HF solution before samples were imaged via scanning electron microscope.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

From Fig. 1 and 2, the difference in surface roughness of the Si films can be clearly seen. These results suggest that electron-beam evaporation, a less energetic thin film deposition process, can produce Si films with a smoother surface morphology, making them suitable for subsequent heteroepitaxial seed layer applications.

Further optimization of the electron beam evaporation process is necessary to produce more coalesced Si films with a uniform Si(111) orientation. However, initial results suggest that electron beam evaporation may be a more

promising approach than sputtering for AIC-Si thin film fabrication.

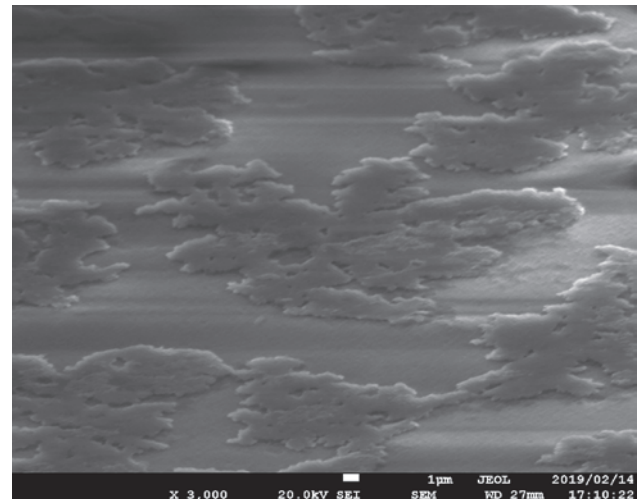


Fig. 1 Smooth surface of Si islands formed by AIC from films fabricated with e-beam evaporation.

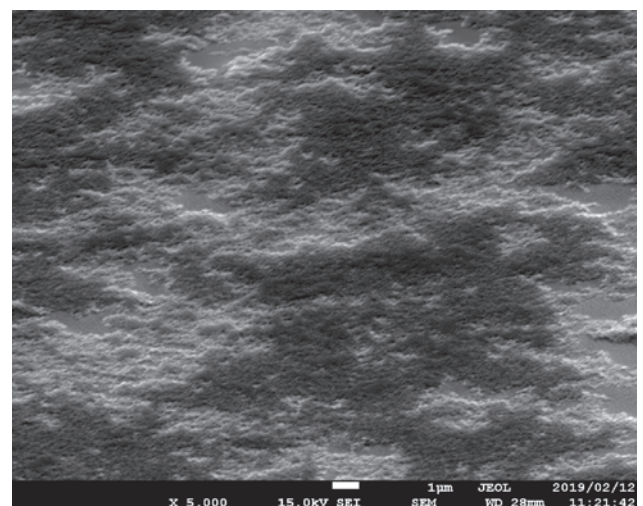


Fig. 2 Rougher surface of Si islands formed by AIC from films fabricated by DC sputtering.

4. その他・特記事項(Others)

Funding provided by JSPS Postdoctoral Fellowship (F17366)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

None

6. 関連特許(Patent)

None

課題番号	: F-18-NU-0014
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 方向感度を持つ暗黒物質探索用検出器としての超高分解能原子核乾板における低速イオン検出性能の評価
Program Title(English)	: Evaluation of detection performance to low-velocity ions for super-high resolution nuclear emulsion as direction sensitive dark matter detector
利用者名(日本語)	: <u>中竜大¹⁾</u> , <u>梅本篤宏²⁾</u>
Username(English)	: <u>T. Naka¹⁾</u> , <u>A. Umemoto²⁾</u>
所属名(日本語)	: 1) 名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構・現象解析研究センター, 2) 名古屋大学大学院理学研究科
Affiliation(English)	: 1) Kobayashi-Maskawa Institute・Center for Experimental Studies, Nagoya University 2) Graduate School of Science, Nagoya University
キーワード/Keyword	: ドーピング、イオン注入装置、原子核乾板、暗黒物質

1. 概要(Summary)

本研究は、独自に開発した超高分解能の荷電粒子飛跡検出デバイスである超微粒子原子核乾板 (Nano Imaging Tracker : NIT) を検出デバイスとする方向感度を持たせた宇宙の暗黒物質検出を目的としたものである。イオン注入装置は、暗黒物質信号の疑似信号として用いることができ、数 10-100keV の炭素イオンを NIT に入射することで NIT デバイスの性能評価を行うことができる。今年度においては、NIT を構成するセンサーとしての役割を担うハロゲン化銀結晶のサイズを従来の 40nm のほかに、70nm に調整したデバイスを開発し、その検出性能評価を行った。さらに、40nm のデバイスにおいては、低速炭素イオンを信号とした機械学習研究を行い、背景事象との識別研究を進めた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 イオン注入装置

【実験方法】

独自製造した NIT デバイスをプラスチック基板に塗布し、亜硫酸ナトリウムを用いた処理液で増感処理を行ったフィルム状デバイスをイオン注入装置用サンプルマウントにセットし、30-100keV の炭素イオンを照射し、その後、現像処理することで、解析可能な状態にした。この際、NIT は、結晶サイズを約 40nm および 70nm に調整し、それぞれについて同様の手順で実験を行った。

現像したデバイスは、独自開発した光学顕微鏡ベースの自動解析システム(PTS)を用いて、信号解析を行った。

40nm 結晶を持つデバイスについては、PTS からアウトプ

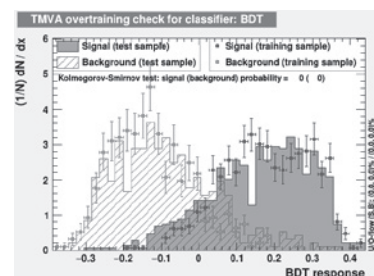
ットされるパラメータ、さらにその光学波長依存性をとり、それらを多変解析法の一つである Boosted Decision Tree (BDT)にかけることで機械学習を行い、さらに同様の処理をノイズ成分についても行うことで、通常データは識別できない信号同士の識別可能性を検討した。

70nm 結晶については、その光学応答および検出効率を評価することで、実際の暗黒物質探索における探索感度の検討を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

40nm 結晶における機械学習性能について Fig.1 示した。この結果から、シグナル(低速イオン) 50%の検出効率で、背景ノイズ除去能 95%の性能が確認され、初めて本研究における機械学習の有効性が示された。

70nm 結晶においては、検出効率が例えば 100keV の炭素イオンにおいて、楕円パラメータ 1.5 で 15 %(w/ 方向情報)であることが確認され、結晶サイズを従来の 40nm から 70nm と大きくしたことによる光学輝度の増大も確認することができ、検出におけるエネルギー閾値は低下するものの、事象識別の精度が向上することが明らかになり、暗黒物質探索デバイスとしての有効性を確認



することができた。

Fig. 1 Result of BDT analysis for NIT with 40 nm AgBr crystal. Red; background events, Blue: signal

(low velocity ion) events.

4. その他・特記事項 (Others)

・科研費 基盤研究 (A)「超微粒子原子核乾板と超解像
飛跡解析法による方向感度を持った暗黒物質探索実験」
18H03699

5. 論文・学会発表

(Publication/Presentation)(1) Tatsuhiro Naka

“Directional Search for Dark Matter Using
Nuclear Emulsion”, ICHEP2018,
Seoul, South Korea, July 4-11, 2018

(2) Tatsuhiro Naka “Directional Search for Dark
Matter Using Nuclear Emulsion – NEWSdm”,
Blois 2018: 30th Rencontres de Blois on “Particle
Physics and Cosmology”, Blois, France, June 3-8,
2018

(3) 福澤佑哉, 中竜大, 梅本篤宏, 小林龍太, 白石卓也,
多田智美, 轟祈, 他 NEWSdm コラボレーション「エマル
ジョン暗黒物質探索実験 NEWSdm(2)～飛跡の光学スペ
クトル情報を用いたノイズ分別手法の開発～」2018 年 9
月 16 日 信州大学松本キャンパス
他

6. 関連特許 (Patent)

なし。

7. 他機関との交流
(Reports of Collaborations)

1. 「機械学習の結晶成長プロセス応用に関する研究」
(共同研究)
未来材料・システム研究所 宇治原徹
名古屋工業大学 竹内一郎
・ SiC 溶液成長における機械学習によるプロセス最適化において、手法の理論的背景の証明に関して共同研究を実施している。

2. 「結晶成長シミュレーションと逆問題解析に関する研究」
(共同研究)
未来材料・システム研究所 宇治原徹
大阪大学 岡野泰則、ビクトリア大学 Sadik Dost、
・ SiC 溶液成長の流体シミュレーションを活用して、最適プロセス導出の逆問題解析手法を開発している。共著の論文も投稿している。

3. 「GaN 基板及びエピ結晶のラマン散乱を用いた欠陥挙動解析」
(共同研究)
未来材料・システム研究所 宇治原徹
産業技術総合研究所 山田永
・ ラマン散乱分光を用いた新たな GaN 欠陥評価手法を開発し、それを用いて結晶成長過程における欠陥の挙動に関する共同研究を実施している。共著の論文も投稿している。

4. 「AlN 基板における欠陥挙動解析」
(共同研究)
未来材料・システム研究所 宇治原徹
三重大学 三宅秀人
・ AlN 結晶基板中の欠陥挙動を、電子顕微鏡により詳細を観察している。共著論文も投稿している。

5. 「キラル結晶の成長過程におけるキラリティ発現機構の解明」
(共同研究)
未来材料・システム研究所 宇治原徹
東北大学 新家寛正
・ 過塩素酸ナトリウムのキラル結晶において、光との相互作用によりキラリティの制御を行う研究を行っている。共著論文も投稿している。

6. 「窒化物半導体の極性反転技術開発と極性反転ヘテロ界面の構造評価」
(共同利用)
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 准教授 本田善央
大阪大学 工学研究科 教授 片山竜二
・大阪大学片山教授および片山研究室学生が研究室を訪問し、片山研究室にて作製された試料を様々な評価装置を利用して評価した。
7. 「深紫外発光ダイオード構造における発光特性の評価」
(共同利用)
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 准教授 本田善央
東北大学 多元物質科学研究所 准教授 小島一信
・東北大学小島准教授を訪問し、AlGa_N系結晶のフォトルミネッセンス測定を行った。
8. 「HVPE 法による GaN バルク結晶及び GaN 薄膜作製」
(共同利用)
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 特任准教授 新田州吾
山口大学 大学院・創生科学研究科 助教 岡田成仁
・山口大学岡田助教が当研究室を訪問し、山口大学で作製された GaN の多光子フォトルミネッセンス測定等を行った。
9. 「多光子励起フォトルミネッセンスによる GaN 縦型ダイオードの欠陥観察」
(共同利用)
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 助教 出来真斗
東北大学 金属材料研究所 講師 谷川智之
・東北大学谷川講師を訪問し、当研究室で作製した GaN ホモエピタキシャル層の多光子フォトルミネッセンスを行った。
10. 「窒化物半導体を用いた MOS デバイスにおける半導体/絶縁膜界面の評価」
(共同利用)
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 助教 出来真斗
北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター 准教授 佐藤威友

・佐藤准教授が当研究室を訪問し、ALD法でGaNエピタキシャル層上にAl₂O₃を形成したMOS構造について、CV測定等の評価技術の指導をして頂いた。

11. 「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
12. 「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
13. 「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
14. 「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
15. 「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
16. 「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
17. 「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

18. 「有機電荷移動錯体、多環芳香族炭化水素化合物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)、Andhika Kiswandhi(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)、北川宏(京都大学)、齋藤軍治(豊田理化学研究所)

19. 「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)、松野丈夫(大阪大学)

20. 「有機電荷移動錯体の電場応答、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)

21. 「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)

22. 「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)

23. 「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、中村優斗
志賀拓磨(東京大学)、中西勇介(首都大学東京)

24. 「分子性結晶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
岡本博 (東京大学)、宮本辰也 (東京大学)
25. 「“バイオ分子エレクトロニクスと有機ナノ技術がもたらす環境保全に関する日印セミナー”の開催」
(二国間交流事業)
工学研究科 応用物理学専攻 岸田英夫
Gajjala Sumana (インド・CSIR-National Physical Laboratory)
26. 「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。
27. 「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 Admiral, 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。
28. 「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。
29. 「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 ストックホルム大学 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。

30. 「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。

31. 「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。

32. 「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。

33. 「配位化合物を用いた固体電気化学反応下のオペランド磁気測定」

(共同研究およびワークショップの開催)

理学研究科 物質理学専攻 阿波賀邦夫

北京大学 Song Gao

34. 「三角格子反強磁性体 NaYbS₂ の磁気相図」

(共同研究)

理学研究科物質理学専攻(物理系) 伊藤正行

Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids Hiroshi Yasuoka, Michael Baenitz

・磁気フラストレーション系は、新奇な基底状態と励起状態も持つことから興味を持たれている。NaYbS₂ は、強いスピン軌道相互作用と結晶場によって Yb³⁺ の有効スピン $J_{\text{eff}}=1/2$ の三角格子反強磁性と見なせる系であり、基底状態はスピン液体と予想されている。NMR 測定を行い、三角格子面に平行に磁場を印加すると磁気秩序相が誘起されることを見出すとともに、磁場温度相図を決定した。

35. 「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。

36. 「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。

37. 「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。

38. 「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。

39. 「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。
40. 「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。
41. 「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。
42. 「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。
43. 「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. K. Seki, K. Kusunoki, Y. Kishida, H. Kaido, K. Moriguchi, M. Kado, H. Daikoku, T. Shirai, M. Akita, A. Seki, H. Saito, S. Harada, T. Ujihara, “Dislocation Behavior in Bulk Crystals Grown by TSSG Method,” *Mater. Sci. Forum*, **924**, 39-42 (2018).
2. K. Murayama, S. Harada, F. Fujie, X. Liu, R. Murai, C. Zhu, K. Hanada, M. Tagawa, T. Ujihara, “Suppression of Polytype Transformation with Extremely Low-Dislocation-Density 4H-SiC Crystal in Two-Step Solution Method,” *Mater. Sci. Forum*, **924**, 60-63 (2018).
3. N. Kokubo, Y. Tsunooka, F. Fujie, J. Ohara, K. Hara, S. Onda, H. Yamada, M. Shimizu, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, “Detection of edge component of threading dislocations in GaN by Raman spectroscopy,” *Appl. Phys. Express*, **11**, 061002 (2018).
4. F. Fujie, S. Harada, H. Koizumi, K. Murayama, K. Hanada, M. Tagawa, T. Ujihara, “Direct observation of stacking fault shrinkage in 4H-SiC at high temperatures by in-situ X-ray topography using monochromatic synchrotron radiation,” *Appl. Phys. Lett*, **113**, 012101 (2018).
5. H. Koizumi, S. Uda, K. Tsukamoto, K. Kojima, M. Tachibana, T. Ujihara, “Importance of Hydration State around Proteins Required to Grow High-Quality Protein Crystals,” *Cryst. Growth Des.*, **18**, 4749-4755 (2018).
6. Y. Tsunooka, N. Kokubo, G. Hatasa, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, “High-speed prediction of computational fluid dynamics simulation in crystal growth,” *Cryst. Eng. Comm*, **20**, 6546-6550, (2018).
7. S. Xiao, R. Suzuki, H. Miyake, S. Harada, T. Ujihara, “Improvement mechanism of sputtered AlN films by high-temperature annealing,” *J. Cryst. Growth*, **502**, 41-44, (2018).
8. N. Kokubo, Y. Tsunooka, F. Fujie, J. Ohara, S. Onda, H. Yamada, M. Shimizu, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, “Determination of edge-component Burgers vector of threading dislocations in GaN crystal by using Raman mapping,” *Appl. Phys. Express*, **11**, 111001, (2018).
9. F. Ichihashi, X. Dong, A. Inoue, T. Kawaguchi, M. Kuwahara, T. Ito, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, “Development of angle-resolved spectroscopy system of electrons emitted from a surface with negative electron affinity state,” *Rev. Sci. Inst*, **89**, 073103, (2018).

10. H. Niinomi, T. Sugiyama, M. Tagawa, S. Harada, T. Ujihara, S. Uda, K. Miyamoto, T. Omatsu, "In Situ Observation of Chiral Symmetry Breaking in NaClO₃ Chiral Crystallization Realized by Thermoplasmonic Micro-Stirring," *Cryst. Growth Des*, **18**, 4230-4239, (2018).
11. L. Wang, T. Horiuchi, A. Sekimoto, Y. Okano, T. Ujihara, S. Dost, "Numerical investigation of the effect of static magnetic field on the TSSG growth of SiC," *J. Cryst. Growth*, **498**, 140-147, (2018).
12. H. Niinomi, T. Sugiyama, S. Uda, M. Tagawa, T. Ujihara, K. Miyamoto, T. Omatsu, "Plasmonic Trapping-Induced Crystallization of Acetaminophen," *Cryst. Growth Des*, **19**, 529-537 (2019).
13. Y. Robin, Y. Liao, M. Pristovsek, H. Amano, "Simultaneous Growth of Various InGaN/GaN Core-Shell Microstructures for Color Tunable Device Applications," *Phys. Status Solid. A*, **215**, 1800361 (2018).
14. Y. Robin, S. Y. Bae, T. V. Shubina, M. Pristovsek, E. A. Evropeitsev, D. A. Kirilenko, V. Yu. Davydov, A. N. Smirnov, A. A. Toropov, V. N. Jmerik, M. Kushimoto, S. Nitta, S. V. Ivanov, H. Amano, "Insight into the performance of multi-color InGaN/GaN nanorod light emitting diodes," *Sci. Rep*, **8**, 7311 (2018).
15. 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. Exp*, **11**, 51002 (2018).
16. O. I. Barry, K. Lekhal, S. Y. Bae, H. J. Lee, M. Pristovsek, Y. Honda, H. Amano, "Reduction of Residual Impurities in Homoepitaxial m-Plane (10–10) GaN by Using N₂ Carrier Gas in Metalorganic Vapor Phase Epitaxy," *Phys. Status Solid. RRL*, **12**, 1800124 (2018).
17. S. Usami, Y. Ando, A. Tanaka, K. Nagamatsu, M. Deki, M. Kushimoto, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, Y. Sugawara, Y. Z. Yao, Y. Ishikawa, "Correlation between dislocations and leakage current of p-n diodes on a free-standing GaN substrate," *Appl. Phys. Lett*, **112**, 182106 (2018).
18. Z. Liu, S. Nitta, S. Usami, Y. Robin, M. Kushimoto, M. Deki, Y. Honda, M. Pristovsek, H. Amano, "Effect of gas phase temperature on InGaN grown by metalorganic vapor phase epitaxy," *J. Cryst. Growth*, **509**, 50-53 (2019).

19. K. Matsumoto, T. Ono, Y. Honda, S. Murakami, M. Kushimoto, H. Amano, "Detailed study of effects of duration of pre-AlN-growth trimethylaluminum step on morphologies of GaN layers grown on silicon substrate by metal organic chemical vapor deposition," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 91001 (2018)
20. N. HU, D. V. Dinh, M. Pristovsek, Y. Honda, H. Amano, "How to obtain metal-polar untwinned high-quality (10-13) GaN on m-plane sapphire" *J. Cryst. Growth*, **507**, 205-208, 2019
21. K. Nagamatsu, Y. Ando, Z. Ye, O. Barry, A. Tanaka, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, M. Pristovsek, H. Amano, "Comparing high-purity c-and m-plane GaN layers for Schottky barrier diodes grown homoepitaxially by metalorganic vapor phase epitaxy," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 105501 (2018)
22. Y. Ueoka, M. Deki, Y. Honda, H. Amano, "Improvement of breakdown voltage of vertical GaN p-n junction diode with Ga₂O₃ passivated by sputtering," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, AP180205RC (2018)
23. Y. Robin, M. Pristovsek, H. Amano, F. Oehler, R. A. Oliver, C. J. Humphreys, "What is red? On the chromaticity of orange-red InGaN/GaN based LEDs," *J. Appl. Phys.*, **124**, 183102 (2018)
24. Z. Liu, S. Nitta, Y. Robin, M. Kushimoto, M. Deki, Y. Honda, M. Pristovsek, H. Amano, "Morphological study of InGaN on GaN substrate by supersaturation," *J. Cryst. Growth*, **508**, 58-65 (2019)
25. H. Fukushima, S. Usami, M. Ogura, Y. Ando, A. Tanaka, M. Deki, M. Kushimoto, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, "Vertical GaN p-n diode with deeply etched mesa and the capability of avalanche breakdown," *Appl. Phys. Exp.*, **12**, 2 (2019)
26. J. T. Oh, S. Y. Lee, Y. T. Moon, J. H. Moon, S. Park, K. Y. Hong, K. Y. Song, C. Oh, J. I. Shim, H. H. Jeong, J. O. Song, H. Amano, T. Y. Seong, "Light output performance of red AlGaInP-based light emitting diodes with different chip geometries and structures," *Opt. Exp.*, **26**, 11194 (2018)
27. 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. Eckardt1, T. Egawa, P. Fay, J. J. Freedman, L. Guido, O. Häberlen, 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. März, 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. Sun, 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*, **51**, 163001 (2018)
28. 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. Exp*, **11**, 051201 (2018)
29. 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. Sta. Solid. B*, **255**, 1700387 (2018)
30. 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. Sta. Solid. A*, **215**, 1700645 (2018)
31. K. Yamada, Y. Nagasawa, S. Nagai, A. Hirano, M. Ippommatsu, K. Aosaki, Y. Honda, H. Amano, I. Akasaki, "Study on the Main-Chain Structure of Amorphous Fluorine Resins for Encapsulating AlGaIn-Based DUV-LEDs," *Phys. Sta. Solid. A*, **215**, 1700525, (2018)
32. V. Dinh, N. Hu, Y. Honda, H. Amano, M. Pristovsek, "High-temperature thermal annealing of nonpolar (1 0 1⁻ 0) AlN layers sputtered on (1 01⁻ 0) sapphire," *J. Cryst. Growth.*, **498**, 377-380 (2018).
33. G. Avit, M. Zeghouane, Y. André, D. Castelluci, E. Gil, S. Baé, H. Amano, A. Trassoudaine, "Crystal engineering by tuning the growth kinetics of GaN 3-D microstructures in SAG-HVPE," *Cryst. Eng. Comm.*, **20**, 6207-6213 (2018).
34. M. Kashima, D. Sato, A. Koizumi, T. Nishitani, Y. Honda, H. Amano, H. Iijima, T. Meguro, "Analysis of negative electron affinity InGaIn photocathode by temperature-programed desorption method," *J. Vac. Sci. Technol. B.*, **36**, 06JK02 (1-6) (2018).
35. V. Dinh, H. Amano, M. Pristovsek "MOVPE growth and high-temperature annealing of (101⁻0) AlN layers on (101⁻0) sapphire," *J. Cryst. Growth.*, **502**, 14-18 (2018).

36. J. Yuan, Y. Jiang, Z. Shi, X. Gao, Y. Wang, X. Sun, D. Li, Y. Liu, H. Amano “286nm monolithic multicomponent system,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, 010909 (1-5) (2019).
37. Y. Robin, E. A. Evropeitsev, T. V. Shubina, D. A. Kirilenko, V. Yu. Davydov, A. N. Smirnov, A. A. Toropov, I. A. Eliseyev, S. Y. Bae, M. Kushimoto, S. Nitta, S. V. Ivanov, H. Amano “Localization and transient emission properties in InGaN/GaN quantum wells of different polarities within core–shell nanorods,” *Nanoscale.*, **11**, 193-199 (2019).
38. K. Kojima, Y. Nagasawa, A. Hirano, M. Ippommatsu, Y. Honda, H. Amano, I. Akasaki, S. F. Chichibu “Carrier localization structure combined with current micropaths in AlGaN quantum wells grown on an AlN template with macrosteps,” *Appl. Phys. Lett.*, **114**, 01102 (1-5) (2019).
39. W. Cai, J. Yuan, S. Ni, Z. Shi, W. Zhou, Y. Liu, Y. Wang, H. Amano, “GaN-on-Si resonant-cavity light-emitting diode incorporating top and bottom dielectric distributed Bragg reflectors,” *Appl. Phys. Express.*, **12**, 032004 (1-5) (2019).
40. M. Hainey Jr., Y. Robin, H. Amano, N. Usami, “Pole figure analysis from electron backscatter diffraction—an effective method of evaluating fiber-textured silicon thin films as seed layers for epitaxy,” *Appl. Phys. Express.*, **12**, 025501 (1-5) (2019).
41. M. Zeghouane, G. Avit, Y. Andre, C. Bougerol, Y. Robin, P. Ferret, D. Castelluci, E. Gil, V. Dubrovskii, H. Amano, A. Trassoudaine, “Compositional control of homogeneous InGaN nanowires with the In content up to 90%,” *Nanotechnology*, **30**, 044001 (2018).
42. E. A. Evropeitsev, Y. Robin, T. V. Shubina, S. Y. Bae, S. Nitta, D. A. Kirilenko, V. Y. Davydov, A. N. Smirnov, A. A. Toropov, M. Kushimoto, S. V. Ivanov, H. Amano “Narrow excitonic lines in core-shell nanorods with InGaN/GaN quantum wells intersected by basal stacking faults,” *Phys. Status. Solidi. B.*, 1800648 (1-6) (2019).
43. N. X. Viet, S. Kishimoto, Y. Ohno, “Highly Uniform, Flexible Microelectrodes Based on Clean Single-walled Carbon Nanotube Thin Film with High Electrochemical Activity,” *ACS App. Mater. Interfaces.*, **11**, 6389-6395 (2019).
44. J. Hirotsu, Y. Ohno, “Carbon nanotube thin films for high-performance flexible electronics applications,” *Top. Curr. Chem.*, **377**, 3 (2019).

45. K. Nishimura, T. Ushiyama, N. X. Viet, M. Inaba, S. Kishimoto, Y. Ohno, "Enhancement of the electron transfer rate in carbon nanotube flexible electrochemical sensors by surface functionalization," *Electrochimica. Acta.*, **295**, 157-163 (2019).
46. J. Hirotsu, S. Kishimoto, Y. Ohno, "Origins of the variability of the electrical characteristics of solution-processed carbon nanotube thin-film transistors and integrated circuits," *Nanoscale Adv.*, **1**, 636-642 (2019).
47. Y. Tadokoro, Y. Ohno, H. Tanaka, "Non-coherent detection of digitally phase-modulated signals with carbon nanotube cantilever vibration," *Electron. Lett.* **54**, 840-842 (2018).
48. H. Sugime, T. Ushiyama, K. Nishimura, Y. Ohno, S. Noda, "An interdigitated electrode with dense carbon nanotube forests on conductive supports for electrochemical biosensors," *Analyst*, **143**, 3635-3642 (2018).
49. Y. Yoshida, S. Tango, K. Isomura, Y. Nakamura, H. Kishida, T. Koretsune, M. Sakata, Y. Nakano, H. Yamochi, G. Saito, "Charge-transfer complexes based on C_{2v}-symmetric benzo[ghi]perylene: comparison of their dynamic and electronic properties with those of D_{6h}-symmetric coronene," *Mater. Chem. Front.*, **2**, 1165-1174 (2018).
50. Y. Kawakami, T. Amano, Y. Yoneyama, Y. Akamine, H. Itoh, G. Kawaguchi, H. M. Yamamoto, H. Kishida, K. Itoh, T. Sasaki, S. Ishihara, Y. Tanaka, K. Yonemitsu, S. Iwai, "Nonlinear charge oscillation driven by a single-cycle light field in an organic superconductor," *Nat. Photonics*, **12**, 474-478 (2018).
51. H. Imaeda, T. Koyama, H. Kishida, K. Kawahara, H. Ago, R. Sakakibara, W. Norimatsu, T. Terasawa, J. Bao, M. Kusunoki, "Acceleration of Photocarrier Relaxation in Graphene Achieved by Epitaxial Growth: Ultrafast Photoluminescence Decay of Monolayer Graphene on SiC," *J. Phys. Chem. C*, **122**, 19273-19279 (2018).
52. K. Mizukoshi, Y. Nakamura, Y. Yoshida, G. Saito, H. Kishida, "Optical Evaluation of Electronic Anisotropy in a Triangular Lattice System κ -(BEDT-TTF)₂B(CN)₄," *J. Phys. Soc. Jpn.*, **87** (10), 104708/1-5 (2018).
53. T. Miyamoto, D. Hata, T. Morimoto, H. Yamakawa, N. Kida, T. Terashige, K. Iwano, H. Kishida, S. Horiuchi, H. Okamoto, "Ultrafast polarization control by terahertz fields via π -electron

- wavefunction changes in hydrogen-bonded molecular ferroelectrics,” *Sci. Rep.*, **8**, 15014/1-8 (2018).
54. H. Matsuoka, K. Kanahashi, N. Tanaka, Y. Shoji, L. Li, J. Pu, H. Ito, H. Ohta, T. Fukushima and T. Takenobu, “Chemical hole doping into large-area transition metal dichalcogenide monolayers using boron-based oxidant,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 02CB15 (2018).
55. K. Matsuki, T. Sakanoue, Y. Yomogida, S. Hotta, and T. Takenobu, “Light emission from organic single crystals operated by electrolyte doping,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 03EF02 (2018).
56. M. Li, J. Pu, J. Huang, Y. Miyauchi, K. Matsuda, T. Takenobu, L. Li, “Self - Aligned and Scalable Growth of Monolayer WSe₂-MoS₂ Lateral Heterojunctions,” *Adv. Func. Mater.*, **28**, 1706860 (2018).
57. G. Nagatsu, T. Sakanoue, S. Tane, F. Yonekawa, T. Takenobu, “An ester-substituted polyfluorene derivative for light-emitting electrochemical cells: bright blue emission and its application in a host-guest system,” *Mater. Chem. Front.*, **2**, 952-958 (2018).
58. T. Hirai, T. Sakanoue, T. Takenobu, “GaN light-emitting device based on ionic liquid electrolyte,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 06HE05 (2018).
59. J. Pu, T. Takenobu, “Monolayer Transition Metal Dichalcogenides as Light Sources,” *Adv. Matter.*, **30**, 1707627 (2018).
60. H. C. Chang, C. L. Tu, K. I. Lin, J. Pu, T. Takenobu, C. N Hsiao, C. H. Chen, “Synthesis of Large-Area InSe Monolayers by Chemical Vapor Deposition,” *Small*, **14**, 1802351 (2018).
61. N. Usuki, H. Okura, K. Satoh, and 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).
62. M. Guerre, M. Uchiyama, G. Lopez, B. Améduri, K. Satoh, M. Kamigaito, and 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).

63. M. Guerre, M. Uchiyama, G. Lopez, B. Améduri, K. Satoh, M. Kamigaito, and 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).
64. Y. Jochi, T. Seki, T. Soejima, K. Satoh, M. Kamigaito, and Y. Takeoka, "Spontaneous Synthesis of a Homogeneous Thermoresponsive Polymer Network Composed of Polymers with a Narrow Molecular Weight Distribution," *NPG. Asia. Mater.*, **10**, 840–848 (2018).
65. K. Satoh, Y. Fujiki, M. Uchiyama, and M. Kamigaito, "Vinyl Ether/Vinyl Ester Copolymerization by Cationic and Radical Interconvertible Simultaneous Polymerization," *ACS Symp. Ser.*, **1284**, 323–334 (2018).
66. Z. Huang, B. B. Noble, N. Corrigan, Y. Chu, K. Satoh, D. S. Thomas, C. J. Hawker, G. Moad, M. Kamigaito, M. L. Coote, C. Boyer, and J. Xu, "Discrete and Stereospecific Oligomers Prepared by Sequential and Alternating Single Unit Monomer Insertion," *J. Am. Chem. Soc.*, **140**, 13392-13406 (2018).
67. H. Takeshima, K. Satoh, and M. Kamigaito, "Scalable Synthesis of Bio-Based Functional Styrene: Protected Vinyl Catechol from Caffeic Acid and Controlled Radical and Anionic Polymerizations Thereof," *ACS Sustainable Chem. Eng.*, **6**, 13681-13686 (2018).
68. H. Takeshima, K. Satoh, and M. Kamigaito, "Naturally-Derived Amphiphilic Polystyrenes Prepared by Aqueous Controlled/Living Cationic Polymerization and Copolymerization of Vinylguaiacol with R–OH/BF₃·OEt₂," *Polymers*, **10**, 1404-1414 (2018).
69. . M. F. J. Mabesoone, A. J. Markvoort, M. Banno, T. Yamaguchi, F. Helmich, Y. Naito, E. Yashima, A. R. A. Palmans, E. W. Meijer, "Competing Interactions in Hierarchical Porphyrin Self-Assembly Introduce Robustness in Pathway Complexity," *J. Am. Chem. Soc.*, **140**, 7810-7819 (2018).
70. U. Lewandowska, S. Corra, W. Zajaczkowski, N. A. K. Ochs, M. S. Shoshan, J. Tanabe, S. Stappert, C. Li, E. Yashima, W. Pisula, K. Müllen, H. Wennemers, "Positional Isomers of Chromophore-Peptide Conjugates Self-Assemble into Different Morphologies," *Chem. Eur. J.*, **24**, 12623-12629 (2018).
71. A. Urushima, N. Ousaka, E. Yashima, "Tug-of-War in a Dynamic Helical Peptide:

- Solvent-Induced Helix-Helix Transition of a Lactam-Bridged Peptide Composed of Point- and Axial Chiralities Remote from Each Other," *Chem. Asian J.*, **13**, 3150-3154 (2018).
72. N. Ousaka, K. Shimizu, Y. Suzuki, T. Iwata, M. Itakura, D. Taura, H. Iida, Y. Furusho, T. Mori, E. Yashima, "Spiroborate-Based Double-Stranded Helicates: Meso-to-Racemo Isomerization and Ion-Triggered Spring-Like Motion of the Racemo-Helicate," *J. Am. Chem. Soc.*, **140**, 17027-17039 (2018).
73. N. Ousaka, S. Yamamoto, H. Iida, T. Iwata, S. Ito, Y. Hijikata, S. Irle, E. Yashima, "Water-Mediated Deracemization of a Bisporphyrin Helicate Assisted by Diastereoselective Encapsulation of Chiral Guests," *Nat. Commun.*, **10**, 1457 (2019).
74. A.M. Zeid, N. Kaji, J. J. M. Nasr, F. Belal, M. I. Walash and Y. Baba, "Determination of baclofen and vigabatrin by microchip electrophoresis with fluorescence detection: application of field-enhanced sample stacking and dynamic pH junction," *New J. Chem.*, **42**(12), 9965-9974 (2018).
75. H. Yukawa, K. Suzuki, K. Aoki, T. Arimoto, T. Yasui, N. Kaji, T. Ishikawa, T. Ochiya and Y. Baba, "Imaging of angiogenesis of human umbilical vein endothelial cells by uptake of exosomes secreted from hepatocellular carcinoma cells," *Sci. Rep.*, **8**, 6765 (2018).
76. H. Yukawa and Y. Baba, "In Vivo Imaging Technology of Transplanted Stem Cells Using Quantum Dots for Regenerative Medicine," *Anal. Sci.*, **34**(5), 525-532 (2018).
77. H. Yasaki, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai and Y. Baba, "A real-time simultaneous measurement on a microfluidic device for individual bacteria discrimination," *Sens. Act. B*, **260**, 746-752 (2018).
78. H. Watanabe, T. Tsuchiya, K. Shimoyama, A. Shimizu, S. Akita, H. Yukawa, Y. Baba and T. Nagayasu, "Adipose-derived mesenchymal stem cells attenuate rejection in a rat lung transplantation model," *J. Surgical Research*, **227**, 17-27 (2018).
79. I. Tanaka, M. Sato, T. Kato, D. Goto, T. Kakumu, A. Miyazawa, N. Yogo, T. Hase, M. Morise, Y. Sekido, L. Girard, J. D. Minna, L. A. Byers, J. V. Heymach, K. R. Coombes, M. Kondo and Y. Hasegawa, "eIF2 beta, a subunit of translation-initiation factor EIF2, is a potential therapeutic target for non-small cell lung cancer," *Canc. Sci.*, **109**(6), 1843-1852 (2018).

80. T. Shimada, H. Yasaki, T. Yasui, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, T. Kawai and Y. Baba, "PM2.5 Particle Detection in a Microfluidic Device by Using Ionic Current Sensing," *Anal. Sci.*, **34**(12), 1347-1349 (2018).
81. T. Shimada, T. Yasui, A. Yokoyama, T. Goda, M. Hara, T. Yanagida, N. Kaji, M. Kanai, K. Nagashima, Y. Miyahara, T. Kawai and Y. Baba, "Biomolecular recognition on nanowire surfaces modified by the self-assembled monolayer," *Lab Chip*, **18**(21), 3225-3229 (2018).
82. M. Sano, N. Kaji, Q. Wu, T. Naito, T. Yasui, M. Taniguchi, T. Kawai and Y. Baba, "Quantitative evaluation of dielectric breakdown of silicon micro- and nanofluidic devices for electrophoretic transport of a single DNA molecule," *Micromachines*, **9**(4), 180 (2018).
83. D. Onoshima, Y. Hattori, H. Yukawa, K. Ishikawa, M. Hori and Y. Baba, "Cell Deposition Microchip with Micropipette Control over Liquid Interface Motion," *Cell Med.*, **10**, 1-5 (2018).
84. H. Okumura, E. Nanizawa, A. Nakanishi, H. Yukawa, T. Hashita, T. Iwao, Y. Baba, T. Ishikawa and T. Matsunaga, "Effective Transplantation of 2D and 3D Cultured Hepatocyte Spheroids Confirmed by Quantum Dot Imaging," *Adv. Biosys.*, **2**, 8 (2018).
85. N. Kihara, D. Kuboyama, D. Onoshima, K. Ishikawa, H. Tanaka, N. Ozawa, T. Hase, R. Koguchi, H. Yukawa, H. Odaka, Y. Hasegawa, Y. Baba and M. Hori, "Low-autofluorescence fluoropolymer membrane filters for cell filtration," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **57**, 6 (2018).
86. R. Izumi, Y. Yao, T. Tsuda, T. Torimoto, S. Kuwabata, "Oxygen Reduction Electrocatalysts Sophisticated by Using Pt Nanoparticle-dispersed Ionic Liquids with Electropolymerizable Additives," *J. Mater. Chem. A*, **6**, 11853-11862 (2018).
87. Y. Suzuki, S. Onishi, K. Matsumoto, T. Takiyama, T. Kameyama, T. Torimoto, J. Kawamata, "Two-photon Absorption Spectrum of Solid Solution Nanocrystals of ZnS-AgInS₂," *Chem. Lett.*, **47**, 1475-1477 (2018).
88. W. Minoshima, R. Ito, T. Takiyama, T. Kameyama, T. Torimoto, and K. Tawa, "Photoluminescence Characterization of ZnS-AgInS₂ (ZAIS) Nanoparticles Adsorbed on Plasmonic Chip Studied with Fluorescence Microscopy," *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.*, **367**, 347-354 (2018).

89. T. Uematsu, K. Wajima, D. K. Sharma, S. Hirata, T. Yamamoto, T. Kameyama, M. Vacha, T. Torimoto, S. Kuwabata, "Narrow Band-edge Photoluminescence from AgInS₂ Semiconductor Nanoparticles by the Formation of Amorphous III-VI Semiconductor Shells," *NPG Asia Mater.*, **10**, 713-726 (2018).
90. Y. Beldjoudi, M. A. Nascimento, Y. J. Cho, H. Yu, H. Aziz, D. Tonouchi, K. Eguchi, M. M. Matsushita, K. Awaga, I. Osorio-Roman, C. P. Constantinides, J. M. Rawson, "Multifunctional Dithiadiazolyl Radicals: Fluorescence, Electroluminescence, and Photoconducting Behavior in Pyren-1'-yl-dithiadiazolyl," *J. Am. Chem. Soc.*, **140**, 6260-6270 (2018).
91. Y. Shuku, Y. Hirai, N. A. Semenov, E. Kadilenko, N. P. Gritsan, A. V. Zibarev, O. A. Rakitin, K. Awaga, "3D molecular network and magnetic ordering, formed by multi-dentate magnetic couplers, bis(benzene)-chromium(I) and [1,2,5] thiadiazolo [3,4-c] [1,2,5] thiadiazolidyl," *Dalton Trans*, 47, 9897-9902 (2018).
92. L. Pilia, Y. Shuku, S. Dalglish, K. Awaga, N. Robertson, "Structural and Electronic Effects Due to Fluorine Atoms on Dibenzotetraaza-Annulenes Complexes," *ACS Omega*, **3**, 10074-10083 (2018).
93. K. Eguch, M.M. Matsushita, K. Awaga, "In Situ Real-Time Measurements for Ambipolar Channel Formation Processes in Organic Double-Layer Field-Effect Transistors of CuPc and F16CuPc," *J. Phys. Chem. C*, **122**, 26054-26060 (2018).
94. L. Reissig, S. Dalglish, K. Awaga, "Towards high-bandwidth organic photodetection based on pure active layer polarization," *Sci. Rep.*, **8**, 15415 (2018).
95. Y. Wu, D. Yan, Z. Zhang, M.M. Matsushita, K. Awaga, "Electron Highways into Nanochannels of Covalent Organic Frameworks for High Electrical Conductivity and Energy Storage," *ACS Appl. Mat. Interfaces*, **11**, 7661-7665 (2019).
96. A. Mizuno, Y. Shuku, K. Awaga, "Recent Developments in Research of Molecular Spin Gyroids," *Bull. Chem. Soc. Japan*, in press.
97. S. Li, S. Kawai, Y. Kobayashi, and M. Itoh, "Magnetic excitation and local magnetic susceptibility of the excitonic insulator Ta₂NiSe₅ investigated by ⁷⁷Se NMR," *Phys. Rev. B*, **97**, 165127/1-9 (2018).

98. M. Toyoda, A. Ichikawa, Y. Kobayashi, M. Sato, and M. Itoh, "In-plane anisotropy of the electric field gradient in Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂ observed by ⁷⁵As NMR," *Phys. Rev. B*, **97**, 174507/1-9 (2018).
99. S. Li, M. Toyoda, Y. Kobayashi, M. Itoh, K. Ikeuchi, Y. Yoneda, A. Otani, D. Matsumura, S. Asano, J. Mizuki, and M. Sato, "Local structure study of the iron-based systems of BaFe₂As₂ and LiFeAs by X-ray PDF and XAFS analyses," *Physica C: Superconductivity and its applications*, **555**, 45-53 (2018).
100. T. Nagae, H. Yamada, N. Watanabe, "High-pressure protein crystal structure analysis of ecDHFR complexed with folate and NADP⁺," *Acta Cryst. D*, **74**, 895-905 (2018).
101. T. Matsuoka, T. Nagae, H. Ode, H. Awazu, T. Kurosawa, A. Hamano, K. Matsuoka, M. Imahashi, A. Hachiya, Y. Yokomaku, N. Watanabe, Y. Iwatani, "Structural basis of chimpanzee APOBEC3H dimerization stabilized by double-stranded RNA," *Nucl. Acids Res.*, **46**, 10368-10379 (2018).
102. R. Imanishi, Y. Nagashima, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, "Collective Competition between Two Mesogens showing Opposing Orientational Nature in Side Chain Liquid Crystalline Polymers," *Chem. Lett.*, **48**, 98-101 (2018).
103. M. Nakatani, M. Ohmori, S. Nagano, A. Fujii, M. Ozaki, "Selective crystal growth in bar-coating process of polymorphic pentyl-substituted phthalocyanine thin film," *Org. Electron.*, **62**, 241-247 (2018).
104. K. Takagi, S. Yamamoto, K. Tsukamoto, Y. Hirano, M. Hara, S. Nagano, Y. Ie, D. Takeuchi, "Synthesis and Field-Effect Transistor Application of π -Extended Lactam-Fused Conjugated Oligomers obtained by the Tandem Direct Arylation," *Chem. Eur. J.*, **24**, 14137-14145 (2018).
105. Y. Ono, R. Goto, M. Hara, S. Nagano, T. Abe, Y. Nagao, "High Proton Conduction of Organized Sulfonated Polyimide Thin Films with Planar and Bent Backbones," *Macromolecules*, **51**, 3351-3359 (2018).
106. K. Yoshikawa, D. Motoyama, Y. Hiruma, H. Ozawa, S. Nagano, M. Haga, "Proton-Rocking-Chair-Type Redox Capacitors Based on Indium Tin Oxide Electrodes with Multilayer Films Containing Ru Complexes," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **10**, 26990 (2018).

107. R. Imanishi, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, "Photocontrol of mesogen alignment in a side chain LC polymer film by means of random copolymerization of two mesogens of opposing orientation nature," *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **663**, 99-107 (2018).
108. R. Yamakado, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, H. Maeda, "Complexation of Anion-responsive π -Electronic System with Alkyl-substituted Azobenzene Carboxylate Providing Ion-pairing Assemblies," *Chem. Lett.*, **47**, 404-407 (2018).
109. H. Yabu, S. Nagano, Y. Nagao, "Core-shell cylinder (CSC) nanotemplates comprising mussel-inspired catechol-containing triblock copolymers for silver nanoparticle arrays and ion conductive channels," *RSC Adv.*, **8**, 10627-10632 (2018).
110. T. Sakurai, N. Orito, S. Nagano, K. Kato, M. Takata, S. Seki, "Electron-transporting foldable alternating copolymers of perylenediimide and flexible macromolecular chains," *Mater. Chem. Front.*, **2**, 718-729 (2018).
111. M. Hara, T. Orito, S. Nagano, T. Seki, "Humidity-responsive phase transition and on-demand UV-curing in a hygroscopic polysiloxane–surfactant nanohybrid film," *Chem. Commun.*, **54**, 1457-1460 (2018).

8.2 総説

1. 宇治原徹, "高熱伝導樹脂を実現するAlNウイスカーファイラーの開発と起業," *高分子*, **68**, 4, 164-165 (2019).
2. 宇治原徹, "高熱伝導樹脂を実現するAlNウイスカーファイラー," *FINE CERAMICS REPORT*, **37**, 2, 56-59 (2019).
3. 宇治原徹, 角岡洋介, 畑佐豪記, 沓掛建太朗, 石黒祥生, 村山健太, 鳴海大翔, 原田俊太, 田川美穂, "機械学習を用いた結晶成長予測モデルの構築とその応用," *表面と真空*, **64**, 3, 1-5 (2019).
4. 宇治原徹, "樹脂の熱伝導率を飛躍的に向上させる高熱伝導性AlNウイスカーファイラーの開発," *まてりあ* (2018).
5. 宇治原徹, "溶液法による高品質SiC結晶成長," *CERAMICS JAPAN*, **53**, 849-852 (2018).
6. 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).
7. 湯川博, "幹細胞標識用超低毒性量子ドット Fluclair™ 試薬の開発," *和光純薬時報*, **86**, 2, 2-4 (2018).
8. 安井隆雄, 馬場嘉信, "尿中マイクロRNAから「がん」を特定," *ライフライン21がんの先進医療*, **29**, 30-34 (2018).
9. 安井隆雄, "酸化物ナノワイヤを使って尿からがんを診断する," *名古屋大学工学研究科情報誌 PRESS e*, **43**, 8 (2018).
10. 安井隆雄, "尿1mL中のマイクロRNAから、がんの有無特定," *コンバーテック*, **543**, 46, 6-10 (2018).
11. T. Yasui, "Using zinc oxide nanowires to identify cancer from microRNA found in 1 mL of urine," *Converttech International*, **2**, 54-59 (2018).
12. 小野島大介, 馬場嘉信, "分子夾雑と診断 がん医療への展開," *現代化学*, **576**, 37-39

(2019).

13. 馬場嘉信, “ナノバイオデバイスとAIが拓く Society5.0・健康長寿社会,” *化学とマイクロ・ナノシステム*, **18**, 1-6 (2019).
14. 亀山達矢, 桑畑 進, 鳥本 司, “多元金属カルコゲニド量子ドットの液相合成と光触媒活性,” *セラミックス*, **54**(1), 31-35 (2019).
15. 本村玄一, 都築俊満, 亀山達矢, 鳥本 司, 上松太郎, 桑畑 進, “ZnS-AgInS₂固溶体 (ZAIS) を用いた低毒性量子ドットEL 素子の作製,” *セラミックス*, **53**(7), 497-499 (2018).
16. S. Nagano, “Surface and interface designs in side-chain liquid crystalline polymer systems for photoalignment (Focus Review),” *Polymer J.*, **50**, 1107–1119 (2018).
17. 篠原佑也, 永野修作, “斜入射X線散乱測定による薄膜の配向構造評価,” *液晶*, **22**, 246-255 (2018).
18. 永野修作, “マイクロ相分離構造を光で並べる、動かす (特集 動け!高分子),” *高分子*, **67**(6), 324-326, (2018).

8.3 著書

1. 上垣外正己, 佐藤浩太郎, “連鎖・逐次同時ラジカル重合による刺激応答性高分子の設計,” 刺激応答性高分子ハンドブック, (宮田隆志 監修), エヌ・ティー・エス, 69-78 (2018).
2. 内山峰人, “RAFT 機構によるリビングカチオン重合,” リビングラジカル重合—機能性高分子の合成と応用展開— (松本章一 監修), CMC, 77-86 (2018).
3. 佐藤浩太郎, “活性種の変換による新しい精密重合,” リビングラジカル重合—機能性高分子の合成と応用展開— (松本章一 監修), CMC, 67-76 (2018).
4. 上垣外正己, “リビングラジカル重合系における立体構造制御,” リビングラジカル重合—機能性高分子の合成と応用展開— (松本章一 監修), シーエムシー出版, 35-45 (2018).
5. 上垣外正己, “精密合成技術,” 構造制御による革新的ソフトマテリアル創成—ブロック共重合体の精密階層総制御・解析・機能化, 日本化学会編, 化学同人, 12-19 (2018).
6. 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 プロブの開発(普及版), (菊池和也監修), CMC, 2018, 51-58, (2018)
7. 湯川博, 馬場嘉信, “細胞外小胞顆粒を標的とした疾患診断技術の現状と開発,” 最新醫學. **73**(9). 1230-1236, 2018, 最新医学社(2018)
8. 馬場嘉信, “ナノバイオデバイスが拓く未来医療,” 医の希望, 齋藤英彦編, 岩波新書, 63-102, (2019).
9. 亀山達也, 鳥本 司, “半導体量子ドットとプラズモン材料の複合化による光機能の向上,” 日本化学会編, プラズモンと光圧が導くナノ物質科学 (CSJ : 32), 化学同人, 120-129 (2019),

9. 研究助成金リスト
(List of Research Grants)

1. 宇治原徹：結晶成長インフォマティクスの方法論の構築
文部科学省科学研究費補助金，基盤研究(A)
2. 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」
国立研究開発法人産業技術総合研究所，戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)
3. 宇治原徹：インキュベーション研究開発／高熱伝導高強度高靱性窒化アルミニウムの
開発
古河電子株式会社，戦略的省エネルギー技術革新プログラム(NEDO)
4. 宇治原徹：マテリアルインフォマティクス、放熱、蓄熱素材の展開等の新規事業展開
についてのコンサルティング
J X 金属株式会社，受託事業
5. 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，受託研究
6. 宇治原徹：省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発(中核拠点)
科学技術試験研究委託事業，受託研究
7. 宇治原徹：AlN ウィスカー(窒化アルミニウム針状結晶)を用いた次世代高機能
戦略的基盤技術高度化支援事業
8. 宇治原徹：大口径 SiC 接合基板生産技術の開発
株式会社サイコックス，戦略的省エネルギー技術革新プログラム(NEDO)
9. 宇治原徹：溶液成長法による SiC バルク基板技術の開発
民間との共同研究
10. 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
公益財団法人科学技術交流財団，あいち重点プロジェクト
11. 宇治原徹：スポット溶接電極用銅基傾斜機能材料の研究

民間との共同研究

12. 宇治原徹：窒化アルミニウムに関する研究
民間との共同研究
13. 宇治原徹：材料情報分野における機械学習と人工知能に関する研究
国立研究開発法人理化学研究所
14. 宇治原徹：研究開発型ベンチャー支援事業／シード期の研究開発型ベンチャーに対する事業化支援
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
15. 宇治原徹：SiC 溶液法基板・エピ特性の相関に関する研究
民間との共同研究
16. 宇治原徹：デバイスシミュレーションへの機械学習適用技術の研究
民間との共同研究
17. 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②
民間との共同研究
18. 宇治原徹：AI の熱設計シミュレーション適用に関する技術確立
民間との共同研究
19. 新田州吾：アンモニア分解率向上による高 In 組成 InGa_N 結晶の高品質化のための反応炉設計
文部科学省科学研究費助成金, 基盤研究(C)
20. 出来真斗：光容量法を用いた III-V 族系半導体結晶における深い欠陥準位の解明
文部科学省科学研究費助成金, 若手研究(B)
21. 田中敦之：GaN パワーデバイスの実用化に向けた、転位がデバイス特性に与える影響調査
文部科学省科学研究費助成金, 若手研究(B)
22. 久志本真希：半極性面 InGa_N を用いた長波長発光素子の作製

文部科学省科学研究費助成金, 若手研究(B)

23. Yang, Xu : 次世代超高効率デバイス用ホウ素系窒化物半導体の MOVPE 成長
文部科学省科学研究費助成金, 特別研究員奨励費
24. 天野浩 (Avit, Geoffrey) : InGaN ナノロッド創・省エネルギーデバイス
文部科学省科学研究費助成金, 特別研究員奨励費
25. 天野浩 : 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 受託研究
26. 天野浩 : 省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発 (中核拠点)
文部科学省, 受託研究
27. 天野浩 : 高 In 組成 InGaN の高品質エピタキシャル成長と次世代ディスプレイ・照明および通信用光源と高効率太陽電池
国立研究開発法人科学技術振興機構, 受託研究
28. 天野浩 : 有害物質分解システムに向けた高性能紫外線レーザーダイオードの研究
国立研究開発法人科学技術振興機構, 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)
29. 田中敦之 : 5G の普及・展開のための基盤技術に関する研究開発
総務省, 受託研究
30. 天野浩 : 脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム 個別テーマ① トレンチ型 GaN 高速スイッチングデバイスの開発
国立研究開発法人科学技術振興機構, 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
31. 天野浩 : 脱炭素社会実現のためのエネルギーシステム 個別テーマ③ 高周波 GaN デバイスプロセス技術の開発
国立研究開発法人科学技術振興機構, 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
32. 本田善央 : 中性子半導体検出器に向けた B GaN 半導体デバイスの開発
文部科学省科学研究費助成金, 基盤研究(B) (分担)

33. 本田善央：多次元・マルチスケール特異構造の作製と作製機構の解明
文部科学省科学研究費助成金, 新学術領域研究 (研究領域提案型) (分担)
34. 出来真斗：量子センサーの電氣的制御
文部科学省科学研究費助成金, 基盤研究(B) (分担)
35. 天野浩：次世代パワーエレクトロニクス/GaN に関する拠点型共通基盤技術開発/GaN
縦型パワーデバイスの基盤技術開発
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) (分担)
36. 本田善央：省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発 (レーザーデバイス・システム領域)
文部科学省, 受託研究 (分担)
37. 天野浩：高品質 GaN 基板を用いた超高効率 GaN パワー・光デバイスの技術開発とその実証
環境省, 受託研究 (分担)
38. 本田善央：省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発 (高周波デバイス・システム領域)
文部科学省, 受託研究 (分担)
39. 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
40. 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)
41. 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)
42. 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

43. 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)
44. 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)
45. 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)
46. 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
47. 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)
48. 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
49. 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
50. 八島 栄次：記憶力を有するラセン高分子の創成と究極機能の開拓
科学研究費補助金 特別推進研究
51. 逢坂 直樹：不斉ナノ空間を有する超分子型不斉反応場の創製
科学研究費補助金 新学術領域研究 (研究領域提案型)
52. 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
学術研究助成基金助成金 若手研究(B)
53. 田浦 大輔：二重らせんを基本骨格とする高効率かつ高選択的な超分子不斉触媒の開発
科学研究費補助金 基盤研究(C)
54. 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)

55. 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)
56. 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
57. 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）
58. 馬場嘉信：シンクロトロン次世代ナノ・マイクロ加工技術の開発
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
59. 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
60. 鳥本 司：ヘテロ接合量子ドットを用いる超高効率デバイス開発
文部科学省科学研究費補助金 挑戦的研究（萌芽）
61. 鳥本 司：非平衡プロセスによる新規多元金属ナノ構造体の作製と高活性電極触媒開発
文部科学省科学研究費補助金 基盤研究（A）
62. 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）
63. 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）
64. 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および情報変換
文部科学省科学研究費補助金, 基盤研究(S)
65. 阿波賀邦夫：炭素同素体トポロジーと分子自由度の結合による新規物性の開拓

新学術領域研究「次世代物質探索のための離散幾何学」

66. 阿波賀邦夫：配位化合物を用いた固体電気化学反応下のオペランド磁気測定
日本学術振興会，二国間交流事業
67. 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
日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究 B
68. 渡邊信久：生殖をモデルとした植物ホルモン機能拡張
文部科学省科学研究費補助金，新学術領域研究（分担）
69. 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）
70. 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）
71. 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
72. 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：朱燦, 遠藤友樹, 原田俊太, 宇治原徹,
発明の名称：結晶成長条件の決定方法
出願番号：特願 2018-161654, 2018/8/30, 名古屋大学
2. 発明者：宇治原徹, 増田賢太, 一坪幸輝, 鈴木将和, 野中潔, 山崎広樹,
発明の名称：炭化珪素粉粒体の製造方法
出願番号：特許 6337389, 2018/5/18, 名古屋大学、太平洋セメント
3. 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
出願番号：特許 6259740, 2017/12/15, 名古屋大学、セントラル硝子
4. 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
出願番号：特許 10-1911455, 2018/10/18, 名古屋大学、セントラル硝子
5. 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
出願番号：特許 10151046, 2018/12/11, 名古屋大学、セントラル硝子
6. 発明者：田中敦之
発明の名称：レーザ加工方法、半導体部材製造方法、及び半導体対象物”
出願番号：特願 2018-239909
7. 発明者：田中敦之
発明の名称：レーザ加工方法、半導体部材製造方法及びレーザ加工装置”
出願番号：特願 2018-239883
8. 発明者：田中敦之
発明の名称：基板製造方法”
出願番号：特願 PCT/JP2018/024353
9. 発明者：新田州吾
発明の名称：気相成長装置”
出願番号：特願 2018-243434

10. 発明者：大野雄高, 松永正広
発明の名称：発電装置
特許番号：特願 2019-025146, 2019/02/15, 名古屋大学
11. 発明者：大野雄高, 松永正広
発明の名称：入力装置
特許番号：特願 2019-003226, 2019/01/11, 名古屋大学
12. 発明者：廣谷潤, 大野雄高
発明の名称：伝熱制御装置
特許番号：特願 2018-167859, 2018/09/07, 名古屋大学
13. 発明者：大野雄高、西尾祐哉、廣谷潤
発明の名称：電子デバイス
特許番号：特願 2018-162967, 2018/08/31, 名古屋大学
14. 発明者：湯川博, 馬場嘉信, 藤原 正澄
発明の名称：容器、及び光学顕微鏡の温度調整装置
出願番号：2018-085225, 名古屋大学
15. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信
発明の名称：分析用デバイス
出願番号：2018-128714, 名古屋大学
16. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信
発明の名称：細胞外小胞体分離用デバイス、および、細胞外小胞体分離用デバイスの作動方法
出願番号：2018-169369, 名古屋大学
17. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信
発明の名称：細胞外小胞を捕捉するために用いられるデバイス
出願番号：2018-203526, 名古屋大学
18. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信
発明の名称：m i R N A の抽出方法、および、m i R N A の解析方法
出願番号：2018-203527, 名古屋大学

19. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信
発明の名称：サンプル中の元素の質量分析方法、該質量分析方法に用いる分析用デバイス、および、サンプル捕捉用キット
出願番号：2018-210123, 名古屋大学
20. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信, 竹下大貴
発明の名称：マイクロRNAを含む体液抽出物
出願番号：2018-248924, 名古屋大学
21. 発明者：湯川博, 小野島大介, 馬場 嘉信
発明の名称：細胞外微粒子捕捉用フィルタ一部材、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：PCT/JP2019/001131,, 名古屋大学
22. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信
発明の名称：分析用デバイス
出願番号：2019-017630, 名古屋大学
23. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信
発明の名称：分析用デバイスの製造方法、分析方法、および、分析用デバイス
出願番号：2019-036489, 名古屋大学
24. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信, 古賀 大尚
発明の名称：細胞外小胞を捕捉するために用いられるデバイス、細胞外小胞の保存方法および移送方法
出願番号：2019-036490, 名古屋大学
25. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信, 池田宗和
発明の名称：デバイスの製造方法、および、デバイス
出願番号：2019-048933, 名古屋大学
26. 発明者：安井隆雄, 馬場嘉信,
発明の名称：デバイスの製造方法、および、デバイス
出願番号：2019-049067, 名古屋大学

27. 発明者：阿波賀邦夫, 張中岳, Yang Wu, Dongwan Yan

発明の名称：炭素材料の製造方法、電極の製造方法、電極、及び電気化学デバイス

特許番号：出願 2019-035188

28. 発明者：阿波賀邦夫, 張中岳, Yang Wu

発明の名称：ハイブリッド材料の製造方法、ハイブリッド材料、電極の製造方法、電極、
及び電気化学デバイス

特許番号：出願 2018-166553

その他

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. 白杵直也（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）」
2. 石立 涼馬（工学研究科 物質制御工学専攻）
「動的キラルな側鎖を有するポリアセチレン誘導体のらせん誘起と記憶およびキラル分離への応用に関する研究」
3. 間宮 文彦（工学研究科 物質制御工学専攻）
「特異なキラル環状超分子の合成およびシンジオタクチックポリメタクリル酸メチルとキラルフラーレン誘導体との超分子らせん複合体形成に関する研究」
4. Shimada Taisuke（工学研究科 生命分子工学専攻）
「Functionalized Nanowires-embedded Devices for Analyzing Fine Particles and Biomolecules」
5. 向井 孝次（工学研究科 物質制御工学専攻）
「High-Density Polymer Brush Formation by Surface Segregation and Self-Assembly of Liquid Crystalline Block Copolymers（液晶性ブロック共重合体の表面偏析と自己集合作用を利用した高分子高密度ブラシ構造の形成）」

11.2 修士論文

1. 遠藤友樹(工学研究科 物質プロセス工学専攻)
「SiC 溶液成長における成長中の溶液流れ切り替えによる成長表面の安定化」
2. 小林竜大(工学研究科 物質プロセス工学専攻)
「Li挿入によるWO₃薄膜の熱伝導率制御」
3. 清水啓希(工学研究科 物質プロセス工学専攻)
「Al 融液窒化による AlN 多結晶合成における窒化プロセスの解明」
4. 安田拓実(工学研究科 物質プロセス工学専攻)
「AlN ウィスカの表面改質による複合材料の高熱伝導化」
5. 林宏益(工学研究科 物質プロセス工学専攻)
「機械学習を活用した SiC 溶液成長の最適条件の予測と実証」
6. 鹿嶋大雅 (工学研究科 電子工学専攻)
「カーボンナノチューブ薄膜を用いたフレキシブルアナログ集積回路の設計と試作に関する研究」
7. 西 涼平 (工学研究科 電子工学専攻)
「環境発電に向けたカーボンナノチューブ薄膜における流体発電現象に関する研究」
8. 西村圭太 (工学研究科 電子工学専攻)
「カーボンナノチューブを用いたフレキシブル電気化学センサの高感度化と選択的検出に関する研究」
9. 大橋亮介 (工学研究科 マテリアル理工学専攻)
「高分子マトリックス中に分散させた多環芳香族炭化水素の電場変調吸収分光」
10. 岩下伸久 (工学研究科 応用物理学専攻)
「有機電荷移動錯体 K-TCNQ における光誘起電流発振の機能向上」
11. 丹後駿介 (工学研究科 応用物理学専攻)
「電子状態制御された多環芳香族炭化水素のラマン散乱スペクトル」

12. 長屋宏樹（工学研究科 応用物理学専攻）
「ダイマー構造を有する κ -(BEDT-TTF)₂Xの低波数領域のラマン分光」
13. 濱島圭佑（工学研究科 応用物理学専攻）
「カーボンナノチューブへの内包による光異性化分子の構造安定化」
14. 天野真希（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「硫黄フリーRAFT 試薬に基づく新規リビングラジカル重合の開発」
15. 伊藤 渚（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「光制御カチオン/ラジカル相互変換重合を用いた架橋反応制御」
16. 紺屋 証人（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「光レドックス触媒によるアルコキシアミンの活性化を用いたカチオン重合」
17. 田中良樹（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「1分子ラジカル付加とチオール-エン重合を組み合わせた新規配列制御高分子の合成」
18. 中村拓哉（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「銅触媒アジド-アルキン環化付加反応を用いたクリックリビング重合」
19. 池田 莉穂（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「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）誘導体のらせん構造制御と温度応答性」
20. 石川 涼介（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「Rh 二核錯体を有するキラル配位分子の合成と応用」
21. 板倉 学（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「二重らせんチタンヘリケートの合成と構造およびその動的構造変換」
22. 井上 和也（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「側鎖に光学活性部位を有するポリ（ビフェニルイルアセチレン）誘導体のらせん構造制御」

23. 林 矩生 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)
「光学活性 st-PMMA のらせん空孔を利用したポリラクチドを有するフラーレン誘導体の包接挙動」
24. 鵜飼元貴 (工学研究科 応用物質化学専攻)
「ZnSe-AgInSe₂固溶体量子ドットの配列構造化による光電変換特性の向上」
25. 黒田大夢 (工学研究科 応用物質化学専攻)
「八面体形状金ナノ粒子膜を用いたZnS-AgInS₂量子ドットのプラズモン発光増強」
26. 瀧山貴之 (工学研究科 応用物質化学専攻)
「水溶性(AgIn)_xZn_{2(1-x)}S₂ナノ粒子の光触媒活性に及ぼす粒子表面状態の影響」
27. 田中宏和 (工学研究科 応用物質化学専攻)
「イオン液体/金属スパッタリングによるNi系合金ナノ粒子の作製とその電極触媒活性」
28. 山内弘樹 (工学研究科 応用物質化学専攻)
「バンド端発光を示すAgInSe₂ナノ粒子の作製と固溶体形成による発光波長のチューニング」
29. 青木 啓太 (工学研究科 生命分子工学専攻)
「ナノ多孔質ガラスフィルターによる臨床応用可能なエクソソーム高速分離デバイス」
30. 内田 健太郎 (工学研究科 生命分子工学専攻)
「1細胞ラマン分光分析を用いた微生物迅速検査デバイスの構築」
31. 北村 晃大 (工学研究科 生命分子工学専攻)
「量子ドットによる移植幹細胞・免疫細胞間インターラクシオン蛍光イメージング」
32. 鈴木 大輝 (工学研究科 生命分子工学専攻)
「血中循環がん細胞識別に向けた細胞の摂動応答検出システムの開発」
33. 長縄 豪 (工学研究科 生命分子工学専攻)
「ナノワイヤを基盤とした尿中 microRNA 解析システムによる非侵襲疾病診断法の創生」

34. 後口 遼 (理学研究科 物質理学専攻)
「立体 π 共役トリプチセン誘導体の合成と分子性ハニカム格子の構築」
35. 河合俊輔 (理学研究科 物質理学専攻(物理系))
「励起子絶縁体候補物質 Ta_2NiSe_5 の ^{77}Se -NMR による研究」
36. 小林大将 (理学研究科 物質理学専攻(物理系))
「鉄系超伝導物質 FeSe の高圧下電子状態」
37. 山本裕介 (理学研究科 物質理学専攻(物理系))
「 ^{77}Se -NMR による励起子絶縁体候補物質 TiSe_2 の磁性」
38. 松岡達矢 (工学研究科 生命分子工学専攻)
「抗 HIV 因子 APOBEC3H の二本鎖 RNA に依存した複合体形成に関する構造学的解析」
39. 森一也 (工学研究科 生命分子工学専攻)
「高圧 X 線結晶構造解析で明らかになった蛋白質と水分子の相互作用」
40. 上田茉莉菜 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)
「光応答性液晶高分子システムへのキラリティの導入と機能」
41. 上野雄真 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)
「湿度応答性ポリシロキサンの開発とリオトロピック液晶相の固定化への利用」
42. 大石和明 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)
「高分子 3 次元界面における光誘起マランゴニ流の光化学及び速度論的考察」
43. 末次輝太 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)
「光応答性液晶高分子へのプロトン伝導性の付与と光メモリストタ機能の創出」

12. その他

(Misc.)

12.1 受賞リスト

1. 受賞者名：鷺見隼人（工学研究科 物質プロセス工学専攻 宇治原研）
賞名：MRS Fall Meeting & Exhibit 2018 Best Poster Award Nominee
授賞団体名：MRS
受賞日：2018年11月28日
2. 受賞者：鷺見隼人（工学研究科 物質プロセス工学専攻 宇治原研）
賞名：第47回 結晶成長国内会議 講演奨励賞
授賞団体名：日本結晶成長学会
受賞日：2018年11月2日
3. 受賞者：磯貝卓巳（工学研究科 物質プロセス工学専攻 宇治原研）
賞名：ポスター賞
授賞団体名：17th International Conference on Organized Molecular Films (ICOMF17)
受賞日：2018年7月27日
4. 受賞者：出来真斗（工学研究科 電子工学専攻 天野研）
賞名：研究奨励賞
授賞団体名：日本結晶成長学会 ナノエピ分科会
受賞日：2018年7月13日
5. 受賞者：宇佐美茂佳（工学研究科 電子工学専攻 天野研）
賞名：Student Award
授賞団体名：International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2018)
受賞日：2018年11月16日
6. 受賞者名：松永正広（工学研究科 電子工学専攻 大野研）
賞名：第44回春期応用物理学会 講演奨励賞
授賞団体名：応用物理学会
受賞日：2018年7月6日
7. 受賞者名：稲葉優文（工学研究科 電子工学専攻 大野研）
賞名：優秀ポスター賞
授賞団体名：第32回ダイヤモンドシンポジウム

受賞日：2018年11月16日

8. 受賞者名：鹿嶋大雅（工学研究科 電子工学専攻 大野研）
賞名：若手奨励賞
授賞団体名：第56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
受賞日：2019年3月2日

9. 受賞者名：松永正広（工学研究科 電子工学専攻 大野研）
賞名：若手奨励賞
授賞団体名：第56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
受賞日：2019年3月2日

10. 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

11. 受賞者名：紺屋 証人（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：Reaction Chemistry & Engineering Poster Prize
授賞団体名：ICAPPP 2018
受賞日：2018年12月20日

12. 受賞者名：有津 拓（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：ベストポスター賞
授賞団体名：第17回産学官接着若手フォーラム
受賞日：2018年12月14日

13. 受賞者名：伊藤 渚（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：第49回中部化学関係学協会連合秋季大会 東海高分子優秀学生発表賞
授賞団体名：高分子学会東海支部
受賞日：2018年12月10日

14. 受賞者名：後藤美咲（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：IPC2018 Young Scientist Poster Award
題名：1,5-Hydrogen Transfer Radical Polymerization for Synthesis of Sequence-Regulated Vinyl Polymers

受賞団体名：The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) 高分子学会
受賞日：2018年12月7日

15. 受賞者名：渡辺大智（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：IPC2018 Young Scientist Poster Award
題名：Asymmetric Living Cationic Polymerization of Benzofuran via Reversible Chain-Transfer Mechanism in the Presence of Chiral Additives
受賞団体名：The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) 高分子学会
受賞日：2018年12月7日
16. 受賞者名：横田知瞭（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：第8回CSJ化学フェスタ2018 優秀ポスター賞
題名：フルフラールを原料とした環状ビニルエーテルの合成と制御カチオン重合
受賞団体名：第8回CSJ化学フェスタ2018
受賞日：2018年11月14日
17. 受賞者名：渡辺大智（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：第8回CSJ化学フェスタ2018 優秀ポスター賞
題名：可逆的連鎖移動機構を利用したベンゾフランの不斉リビングカチオン重合
受賞団体名：第8回CSJ化学フェスタ2018
受賞日：2018年11月14日
18. 受賞者名：竹嶋久晶（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：博士学術賞
受賞団体名：名大鏡友会
受賞日：2018年10月12日
19. 受賞者名：竹嶋久晶（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：MoDeSt2018 Conference ポスター賞
受賞団体名：Modification, Degradation and Stabilisation of Polymers
受賞日：2018年9月4日
20. 受賞者名：天野真希（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：東海高分子研究会学生奨励賞
受賞団体名：東海高分子研究会、高分子学会東海支部
受賞日：2018年8月25日

21. 受賞者名：田中良樹（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：東海高分子研究会学生奨励賞
授賞団体名：東海高分子研究会、高分子学会東海支部
受賞日：2018年8月25日

22. 受賞者名：西田竹徳（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：第11回 GSC Student Travel Grant Award
授賞団体名：Green & Sustainable Chemistry Network, Japan
受賞日：2018年6月14日

23. 受賞者名：孫志紅（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：第67回高分子学会年次大会 高分子学会優秀ポスター賞
授賞団体名：高分子学会
受賞日：2018年6月14日

24. 受賞者名：堀田真央（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：第67回高分子学会年次大会 高分子学会優秀ポスター賞
授賞団体名：高分子学会
受賞日：2018年6月14日

25. 受賞者名：宇留嶋彬央（工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研）
賞名：ポスター賞
授賞団体名：シンポジウム モレキュラー・キラリティー2018 (MC2018), 実行委員長 坂本 昌巳, 荒井 孝義
受賞日：2018年5月12日

26. 受賞者名：石立涼馬（工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研）
賞名：Poster Award
授賞団体名：4th Molecular Chirality Asia (MCAsia 2018), The Organizing Committee
Chairman Yoshio Okamoto
受賞日：2018年5月12日

27. 受賞者名：安藤 光香（工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研）
賞名：東海高分子研究会学生奨励賞
授賞団体名：東海高分子研究会、高分子学会東海支部
受賞日：2018年8月25日

28. 受賞者名：川端 賢（工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研）
賞名：Best Poster Award
授賞団体名：The Ninth International Forum on Chemistry of Functional Organic Chemicals (IFOC-9) The Chair of IFOC-9 Takashi Kato, The Chair of Award Committee Katsumi Uchiyama
受賞日：2018年11月19日
29. 受賞者名：川端 賢（工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研）
賞名：IPC2018 Molecular Systems Design & Engineering Poster Prize
題名：Supramolecular Polymerization of Helical Foldamers Driven by Intermolecular Hydrogen Bonds
授賞団体名：The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) 高分子学会
受賞日：2018年12月7日
30. 受賞者名：八島 栄次（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
賞名：第59回東レ科学技術賞
授賞団体名：公益財団法人 東レ科学振興会 会長 日覺 昭廣
受賞日：2019年3月14日
31. 山内 弘樹（工学研究科 応用物質化学専攻、鳥本研）
賞名：Best Poster Award
題目：Wavelength-tunable Band-edge Photoluminescence of Multinary Semiconductor Nanocrystals in the Visible and Near-IR Region
授賞団体名：The 7th Hsinchu Summer Course and Workshop on "Emergent Functional Matter Science"
受賞日：2018年6月27日
32. 森 優貴（工学研究科 応用物質化学専攻、鳥本研）
賞名：ポスター優秀賞
題目：Ag-Li-In-Se 半導体ナノ粒子の粒子組成に依存する光電気化学特性
授賞団体名：電気学会東海支部・北陸支部合同シンポジウム（2018年東海地区ヤングエレクトロケミスト研究会・光電気化学研究会）
受賞日：2018年8月28日
33. 笹本 康介（工学研究科 応用物質化学専攻、鳥本研）
賞名：優秀学生講演賞

題目：サイズと組成により制御する金-銀ナノリングコロイドのプラズモン特性

受賞団体名：電気化学会第 86 回大会

受賞日：2019 年 3 月 28 日

34. 受賞者名：嶋田泰佑（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：日本化学会第 98 春季年会 学生講演賞
授賞団体名：公益社団法人 日本化学会
受賞日：2018 年 4 月 16 日
35. 受賞者名：北村晃大（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：第 34 回日本 DDS 学会学術集会 優秀発表賞
授賞団体名：日本 DDS 学会
受賞日：2018 年 6 月 26 日
36. 受賞者名：安井隆雄（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：安藤博記念学術奨励賞
授賞団体名：一般財団法人 安藤研究所
受賞日：2018 年 6 月 30 日
37. 受賞者名：湯川博（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：第 39 回日本炎症・再生医学会 優秀演題賞
授賞団体名：一般社団法人 日本炎症・再生医学会
受賞日：2018 年 7 月 12 日
38. 受賞者名：Hiromi Takahashi（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：Oral Presentation Award
授賞団体名：International Conference on Science and Technology of Emerging Materials, STEMa 2018
受賞日：2018 年 7 月 13 日
39. 受賞者名：長縄豪（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：化学とマイクロ・ナノシステム学会第 38 回研究会 優秀発表賞
授賞団体名：一般社団法人 化学とマイクロ・ナノシステム学会
受賞日：2018 年 11 月 1 日
40. 受賞者名：水巻登茂樹（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）

賞名：第45回日本臓器保存生物医学会学術集会 会長賞

授賞団体名：一般社団法人 日本臓器保存生物医学会

受賞日：2018年11月12日

41. 受賞者名：安井隆雄（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）

賞名：名古屋大学石田賞（自然科学分野）

授賞団体名：国立大学法人 名古屋大学

受賞日：2018年11月20日

42. 受賞者名：安井隆雄（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）

賞名：ImPACT 宮田プログラム公開成果報告会 最優秀賞

授賞団体名：国立研究開発法人 科学技術振興機構

受賞日：2018年12月4日

43. 受賞者名：長縄豪（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）

賞名：第38回 キャピラリー電気泳動シンポジウム 最優秀ポスター賞

授賞団体名：公益社団法人 日本分析化学会 電気泳動分析研究懇談会

受賞日：2018年12月7日

44. 受賞者名：嶋田泰佑（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）

賞名：第13回 わかしやち奨励賞 応用研究部門 優秀賞

授賞団体名：愛知県

受賞日：2018年12月17日

45. 受賞者名：北村一晟（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

賞名：第22回液晶化学研究会シンポジウム ポスター賞

受賞題目：光応答性液晶高分子薄膜上のヘテロ界面での光誘起クレーターパターン形成

授賞団体名：液晶化学研究会

受賞日：2018年5月12日

46. 受賞者名：上田茉莉菜（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

賞名：ADMD2018 Outstanding Poster Paper Award

受賞題目：Photoreorientation Behaviors of Liquid Crystalline Azobenzene Block Copolymers with Chirality

授賞団体名：22th International Symposium on Advanced Display Materials and Devices
(ADMD2018)

受賞日：2018年7月12日

47. 受賞者名：末次輝太（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）
賞名：ADMD2018 Outstanding Poster Paper Award
受賞題目：Preparation of P3HT nanoparticles and the composite films with n-type organic semiconductor
授賞団体名：22th International Symposium on Advanced Display Materials and Devices
(ADMD2018)
受賞日：2018年7月12日
48. 受賞者名：向井孝次（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）
賞名：ILCC-Kyoto Poster Award
受賞題目：High-density polymer brush formation by surface segregation and self-assembly of liquid-crystalline block copolymer
授賞団体名：27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018)
受賞日：2018年7月27日
49. 受賞者名：北村一晟（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）
賞名：ILCC-Kyoto Poster Award
受賞題目：Photoinduced Crater Pattern by the Surface Heterostructure Fabricated by Inkjet Printing on Liquid Crystalline Polymer Films
授賞団体名：27th International Liquid Crystal Conference (ILCC2018)
受賞日：2018年7月27日
50. 受賞者名：滝島啓介（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）
賞名：東海高分子研究会学生奨励賞
受賞題目：ランダム共重合化により誘起される長距離秩序ヘテロスメクチック相
授賞団体名：東海高分子研究会、高分子学会東海支部
受賞日：2018年8月25日
51. 受賞者名：向井孝次（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）
賞名：KJF-ICOME2018 Poster Award
受賞題目：High-density polymer brushes via surface segregation of liquid-crystalline azobenzene block copolymers

授賞団体名：2018 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2018)

受賞日：2018年9月6日

52. 受賞者名：北村一晟（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

賞名：BCSJ Award for Poster Presentation

受賞題目：Photoinduced Crater Pattern by the Surface Tension Difference Fabrication by Inkjet Printing on Photoresponsive Liquid Crystalline Polymer Films

授賞団体名：2018 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2018)

受賞日：2018年9月6日

53. 受賞者名：向井孝次（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

賞名：名大鏡友会 博士学術賞

受賞題目：表面偏析と自己集合作用を利用した高分子高密度ブラシ構造の構築

授賞団体名：名大鏡友会

受賞日：2018年10月12日

54. 受賞者名：向井孝次（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

賞名：日本 MRS 年次大会 奨励賞

受賞題目：Formation of a self-assembled liquid-crystalline polymer brush structure in micro-fabricated polymer film

授賞団体名：日本 MRS

受賞日：2018年12月22日

55. 受賞者名：北村一晟（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

賞名：IPC 2018 Young Scientist Poster Award

受賞題目：Photoinduced Mass Transfer by the Surface Tension Defference Fabricated by Inkjet Printing on Polymer Films

授賞団体名：12th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2018) 高分子学会

受賞日：2018年12月7日

12.2 報道リスト

1. 宇治原 徹（未来材料システム研究所）
日刊工業新聞 2018年4月10日
「放熱性高く加工容易」
2. 宇治原 徹（未来材料システム研究所）
日刊工業新聞, 2018年5月23日
「窒化ガリウム半導体 結晶欠陥を非破壊で発見 産総研が評価技術」
3. 宇治原 徹（未来材料システム研究所）
日本経済新聞, 2018年6月6日
「ニッポンの革新力」
4. 宇治原 徹（未来材料システム研究所）
日経エレクトロニクス, 10月号, p54-56
5. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞, 2018年4月3日
6. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞, 2018年5月17日
7. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞, 2018年7月11日
8. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞, 2018年7月25日
9. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞, 2018年10月18日
10. 天野 浩（未来材料システム研究所）
日本経済新聞, 2018年5月17日
11. 天野 浩（未来材料システム研究所）

日本経済新聞, 2018年6月6日

12. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日本経済新聞, 2018年7月22日
13. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日本経済新聞, 2018年10月18日
14. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日本経済新聞, 2019年2月1日
15. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日刊工業新聞, 2018年5月25日
16. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日刊工業新聞, 2019年3月14日
17. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
毎日新聞, 2018年6月7日
18. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
科学新聞, 2018年5月25日
19. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
METI ジャーナル, 2019年2月21日
20. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
METI ジャーナル, 2019年2月22日
21. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
NHK 名古屋, 2019年2月27日
22. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
週刊ダイヤモンド, 2018年12月8日
23. 上垣外正己 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)

日本経済新聞, 2018/11/11

「夢つなぐ日本の化学技術 高機能の材料開発に活路」

24. 馬場嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)

科学新聞, 2019年1月25日

「文部科学省 ナノテクノロジープラットフォーム事業 秀でた研究成果」

25. 馬場嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)

科学新聞, 2019年1月1日

「今年の展望 2019 起こせるか日本発のイノベーション AI 利用する無年に 高感度センサー ウイルス検出に威力」

26. 馬場嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)

朝日新聞, 2019年2月4日

「血液数滴で超早期発見 ごく初期でも分泌 マイクロ RNA から特定」

27. 馬場嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)

工業新聞, 2019年3月1日

「ナノワイヤで破砕 微生物の種類特定 名大、感染症予防に活用」

28. 馬場嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)

日本経済新聞電子版, 2019年4月12日

「名古屋大、多剤耐性菌、病院・屋外で検出」

29. 馬場嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)

日経産業新聞, 2019年4月12日

「名古屋大、AI とナノテク活用 多剤耐性菌、病院・屋外で検出 感染拡大、人類の脅威に」

30. 馬場嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)

日本経済新聞, 2018年3月7日

「名大・九大・阪大など、持ち運び可能な微生物センサーを開発」

31. 馬場嘉信 (工学研究科 生命分子工学専攻)

日本経済新聞 on line, 2018年3月19日

「和光純薬工業、幹細胞標識用超低毒性量子ドット「Fluclair」を販売開始」

32. 馬場嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
化学工業日報, 2018年3月19日
「幹細胞標識 量子ドット 超低毒性製品を投入 和光純薬」
33. 馬場嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
日経バイオテック, 2018年3月19日
「和光純薬工業、幹細胞標識用超低毒性量子ドット「Fluclair」を販売開始」
34. 馬場嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
日経産業新聞, 2018年3月23日
「移植した幹細胞追跡 名大など、ナノ粒子開発」
35. 馬場嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
日刊工業新聞, 2018年3月26日
「微生物センサー持ち運び可能に 名大」
36. 馬場嘉信（工学研究科 生命分子工学専攻）
日刊工業新聞, 2018年12月20日
「名大 イノベ教育・研究拠点 ナノテクノロジー、ライフサイエンス 先進医療・介護で基盤技術構築」
37. 鳥本 司（工学研究科 応用物質化学専攻）
日刊工業新聞, 2018.8.27
「鮮やかな色で明るく発光, カドミウムフリー量子ドット蛍光体」
38. 永野 修作（VBL, 工学研究科 有機・高分子化学専攻）
日刊工業新聞, 2019年02月28日
「名大、高分子膜向け表面加工技術 インクジェット描画と同じ溝形成」

