



高次機能ナノプロセス技術に関する研究

2019年度 VBL活動成果報告書

令和2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
〒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>

名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー

2019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

令和2年3月



第23回VBLシンポジウムにてご講演を行った講師の方々

卷頭言 (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気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き試みも継続し、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。



2019年度活動成果報告書目次

卷頭言

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	81
5 海外に派遣されて	85
6 事業委員会及び専門委員会の活動	
6.1 事業委員会	87
6.2 研究推進専門委員会.....	89
6.3 研究企画専門委員会.....	90
7 ナノテクノロジープラットフォーム	
7.1 ナノテクノロジープラットフォーム.....	91
7.2 名古屋大学における支援.....	91
7.3 VBL における支援.....	91
7.4 支援実績	91
7.5 支援制度利用者リスト	92
7.6 ナノテクプラットフォーム利用報告.....	95
8 他機関との交流	165
9 発表論文リスト	
9.1 原著論文	177
9.2 総説	194
9.3 著書	196
10 研究助成金リスト	197
11 特許	205
12 VBL 関連講座の博士・修士論文リスト	
12.1 博士論文	209
12.2 修士論文	210
13 その他	
13.1 受賞リスト	215
13.2 新聞等報道リスト	224

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。

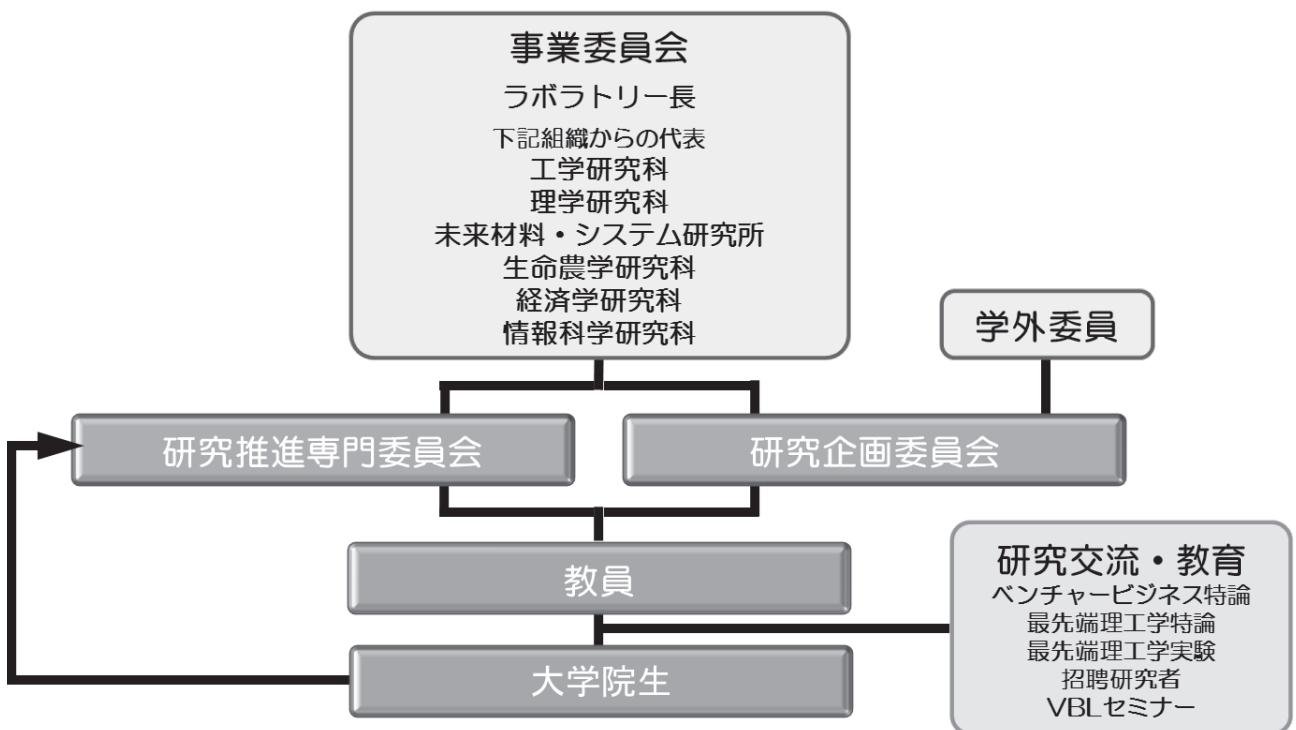
このためにも、国内外の研究者を招へいし、また、名古屋大学からは若手の研究者を海外に派遣し、研究交流と共同研究を積極的に行っている。

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

ラボラトリ一長	宇治原 徹	未来材料・システム研究所教 授
	永野修作	VBL専任 准教授
	岸本 茂	VBL専任 助 教
	秋吉 一孝	VBL専任 非常勤研究員
	土肥 侑也	VBL専任 非常勤研究員
	Peter Raj Dennis Christy	VBL専任 非常勤研究員
	Lu Chao	VBL専任 非常勤研究員
	Yao Lu	VBL専任 非常勤研究員
	Yang Xu	VBL専任 非常勤研究員
	Wei Zheng	VBL専任 非常勤研究員

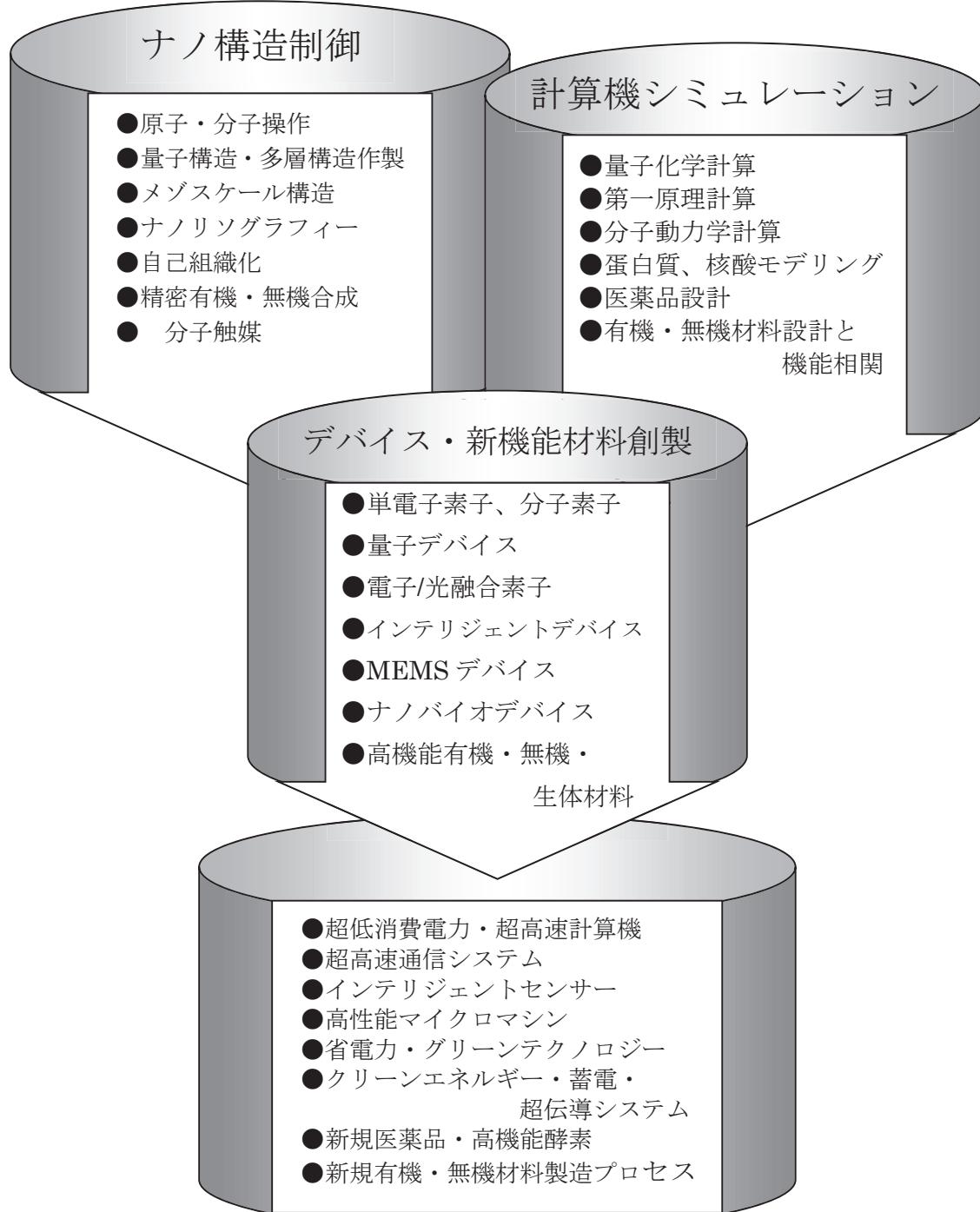
関連教員

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
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
田渕雅夫	シンクロトロン光研究センター	教 授

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

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

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



半導体ナノプロセスグループ

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

概要

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

- (1) 従来のフォトリソグラフィ、エッチング技術、薄膜形成技術に見られたパターン幅のゆらぎ、不純物濃度のゆらぎ、加工損傷等の影響は、デバイスの微細化に伴ってますます顕著となることが懸念される。
- (2) デバイス寸法が電子の波長程度になると、電子の波動性が現れる量子効果が顕著となり、従来の古典的な動作原理に基づくデバイスは正常動作しなくなる可能性がある。
- (3) デバイスの微細化とその高密度集積化はチップ当たりの消費電力の増大をもたらし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拡げ、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ー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
田渕 雅夫	シンクロトロン光研究センター	教授

研究テーマ名

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

(a) 真空一貫技術を用いたナノプロセス技術の研究

分子線結晶成長装置と電子線援用エッチング装置と組み合わせた電子線援用加工・作製装置について、薄膜成長、加工条件を詳細に検討し、超高真空雰囲気中でナノメー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なり、集積化することによって、超並列光演算が可能になる。本研究では、結合非対称多重量子井戸構造の光学的特性を評価することによって高機能化の可能性を明らかにするとともに、真空一貫ナノプロセス技術を用い、微細結合量子井戸構造の作製とその集積化に関する研究を行う。

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

(d) 原子層制御ヘテロエピタキシャル技術の研究

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

ヘテロ構造や超格子構造、量子ドットを用いた将来デバイスにおいて室温で発現する高度な量

子機能性を得るために、室温のエネルギー(数十 meV)より十分大きいエネルギー段差をヘテロ界面において実現しうるよう、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ミ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併に、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拡げ、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、ウィルス検出、遺伝子解析、タンパク質分析等と多彩にわたり、標準・汎用なチップの提供が重要課題である。物質化学と半導体工学との融合を進め、化学集積回路の基盤技術を構築するとともに、各種生体分子を選択的に検出可能なバイオセンサの創出を行う。

ナノ構造設計グループ

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

概要

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

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

本システムを用いれば

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

などの研究への応用が、特殊な訓練等を受けることなく可能である。

グループ参加教員

上垣外正己	工学研究科	教授
八島 栄次	工学研究科	教授
鳥本 司	工学研究科	教授
薩摩 篤	工学研究科	教授
馬場 嘉信	工学研究科	教授
浅沼 浩之	工学研究科	教授

研究テーマ名

- (a) 新機能有機材料の開発
- (b) 新機能無機材料の開発
- (c) タンパク質の構造と機能の解析、バイオインフォーマティクス
- (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(ミクロレベル)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・高選択性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があると思われる。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、酵素反応等でよく知られている。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、これまでに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体、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、液晶性などから不齊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充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

構造をとつ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も明らかである。

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ンア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、こ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性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て、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、オーダーメー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シークエ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いた作動原理ということができる。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りず、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 \leftrightarrow 強磁性のように変化する系を開発し、in operando 測定によって磁性変化を追跡する。またバンドフィリング制御によって極めて大きな変化が期待される鉄系超伝導体や、トポロジカル絶縁体、ポーラスラジカル分子結晶を研究対象とし、新しい物性科学を開拓する。

強相関電子系酸化物ナノ物性グループ

固体中の電子は、イオン殻が作る周期ポテンシャル中をクーロン斥力によって互いに避けあいながら運動している。この電子が持つ遍歴性と強い電子間相互作用による局在性が拮抗した領域では、半導体物理学で成功したバンド描像が破綻し、電子相関による多体効果があらわれる。このような電子系は強相関電子系と呼ばれ、固体物理学の中で主要な研究課題の一つである。強相関電子系では、高温超伝導、金属絶縁体転移、巨大磁気抵抗効果、熱電効果、異常ホール効果、マルチフェロイック物性など興味ある物性が発現し、これら異常金属附近傍の物性研究を通じて新しい物理概念が構築されてきた。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・動的情報をミ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が持たれている。現在、超伝導対の対称性に関して、磁気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關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・シリンドー型圧力セル、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ドルキャストやディップコートなどの高分子溶液から塗布する手法が用いられることがほとんどである。しかし、高分子が結晶相、液晶相や相分離構造などのナノおよびメソスケールの組織構造を持つときには、単に塗布しただけでは、これら構造の配向制御は難しい。本研究グループでは、機能性高分子をはじめとする、様々な高分子系材料を、分子レベル、高分子鎖スケール、相分離ドメインスケールに、階層的な構造スケールに適した配列・配向手法を開発し、得られるナノ組織構造による材料の高機能化、新たな機能発現を目指す。また、高分子系物質の配列・配向制御は、先に挙げた階層構造を配列・再配列、配向・再配向をダイナミックに制御する必要があり、液晶化合物を好例とした“階層的に動く”材料開発も視野に入れ、新たな高分子材料の創出に挑む。

以上の点を踏まえて、我々のグループでは次のような研究課題を設定する。

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

グループ参加教員

永野 修作

VBL専任

准教授

研究テーマ名

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

(a) 光応答性液晶ブロック共重合によるミ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ミクロ相分離構造は、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、ミ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、液晶配向およびミ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效地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く、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、その成膜法はスピンドル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。

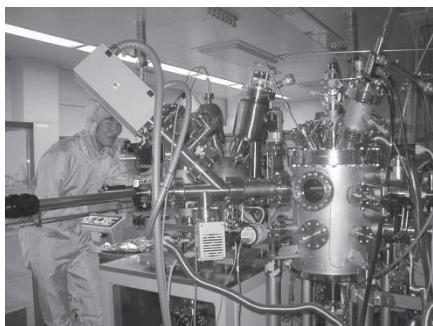
(d) 液晶性高分子薄膜の自由界面からの配向制御

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。

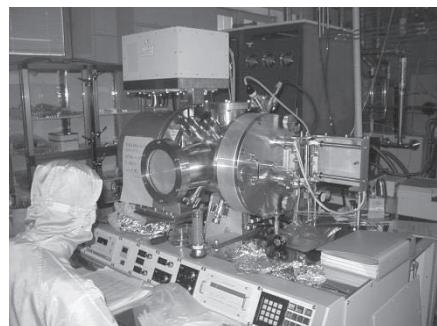
1.4 VBLの主要設備 (Research Facilities and Equipments)

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・ラジカル制御エッティングシステム



ECRスパッタ装置



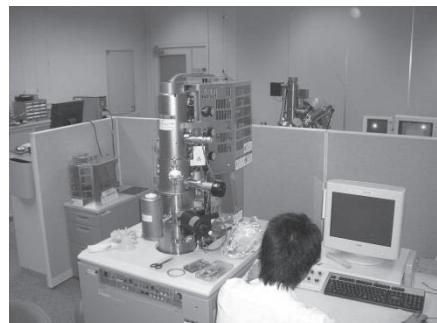
顕微ラマン分光測定装置



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エッティング装置



反応性イオンエッティング装置

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 23 回 VBL シンポジウム (VBL Symposium)

ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー (VBL) では、2019年11月6日（水）、7日（木）の両日、VBL フロンティアプラザにおいて、第 23 回 VBL シンポジウム「原子層材料：新材料・新物性の探索と応用の可能性」(共催：日比科学技術振興財団) を開催しました。

初日は、招待講演として斎藤 理一郎 東北大学大学院理学研究科教授による「原子層材料における円偏光発光」、長沢 晃輔 東京大学大学院工学系研究科准教授による「二次元層状 SnS の圧電・強誘電特性」、丸山 茂夫 東京大学大学院工学系研究科教授による「原子層材料ナノチューブ」と題した講演が行われました。斎藤氏は、原子層材料に関する非常に丁寧な導入から、新学術領域研究により花開いた昨今の研究状況までをわかりやすく説明してくださり、極めてユニークな光機能である円偏光発光に関する最新の研究成果も紹介されました。また、長沢氏は、原子層材料が秘める圧電・強誘電材料としての魅力から、SnSに関する最新の研究成果を紹介されました。丸山氏は、原子層材料を筒状に丸めた構造に相当するナノチューブに関して、炭素材料だけでなく絶縁体である hBN や半導体である遷移金属ダイカルコゲナイトなど様々な材料を用いたナノチューブの合成やそれらのヘテロ構造の作製について紹介されました。

2日目は、招待講演として町田 友樹 東京大学生産技術研究所教授による「ヘテロ積層原子層材料の物性物理」と題した講演が行われました。町田氏は、原子層材料における様々な量子伝導に関する研究紹介に加えて、ロボットや AI を用いた原子層材料の選定・ヘテロ構造の作製および高分子ドームを用いた原子層材料の操作についてご紹介いただきました。

上記招待講演者による講演の他、学内の教員 4 名による最新の研究成果も報告され、当シンポジウムを VBL が担当する最先端理工学特論の一環として聴講した学生も含めた多数の参加者らによる活発な質疑応答が行われました。



第23回VBLシンポジウム講演者の方々

第23回VBLシンポジウムプログラム

主題：「第23回VBLシンポジウム 原子層材料：新材料・新物性の探索と応用の可能性」

趣旨：グラフェンの発見以来、層状物質を単層膜させた“原子層材料”が極めて注目されている。単層化された層状物質は多層構造とは全く異なる物性を示し、それだけで新材料といえる。加えて、単層材料を組み合わせたヘテロ構造も実現されており、化学、物理、工学におよぶ幅広い分野にて重要な研究領域に成長した。本講義では、“新材料”・“新物性”・“将来の応用”をキーワードに著名な講師から最先端の研究内容に関するシンポジウムに参加し、基礎から幅広い応用分野について、学び、考え、議論することを目的とする。

主催：工学研究科・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー

共催：日比科学技術振興財団

会場：名古屋大学フロンティアプラザ（ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー）

3階 ベンチャーホール

2019年11月6日(水) 13:00～18:05

13:00-13:05	開会挨拶 宇治原 徹 (VBL長)
13:05-14:05	齋藤 理一郎 先生 (東北大学) 「原子層材料における円偏光発光」(60分)
14:05-14:50	柚原 淳司 先生 (名古屋大学) 「14族元素からなるポストグラフェン物質の創製と構造評価」(45分)
15:05-16:05	長沢 晃輔 先生 (東京大学) 「二次元層状SnSの圧電・強誘電特性」(60分)
15:05-16:50	洗平 昌晃 先生 (名古屋大学) 「IV族二次元物質に関する第一原理計算」(45分)
17:05-18:05	丸山 茂夫 先生 (東京大学) 「原子層材料ナノチューブ」(60分)

2019年11月7日(木) 9:00～12:05

9:00-10:00	町田 友樹 先生 (東京大学) 「ヘテロ積層原子層材料の物性物理」(60分)
10:00-10:45	蒲 江 先生 (名古屋大学) 「原子層材料を用いた発光素子」(45分)
11:00-12:00	北浦 良 先生 (名古屋大学) 「ヘテロ積層原子層材料の成長」(45分)
12:00-12:05	閉会挨拶 大野雄高 (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。

2019 年度第 1 回 VBL セミナー

日時：2019 年 4 月 24 日（水）16 時 30 分～17 時 30 分

場所：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

講師：Christophe Sinturel 教授 (CNRS-Universite d' Orleans, フランス)
(VBL 客員教授)

題目：Block-Polymer Thin Films for Nanopatterning Applications

Professor Christophe Sinturel is one of the leading scientists in morphology control of complex polymer systems such as block copolymers or polymer blends in thin film states and its possible application. Particularly he has attained several excellent achievements by using a clever solvent annealing method. The scientists or students other than polymer science field can also enjoy this lecture.

VBL 客員教授として本学を訪問されるオルレアン大学（仏）の Christophe Sinturel 教授によるセミナーを開催いたします。Sinturel 教授はブロック共重合体が薄膜中で作る規則構造制御の第一人者です。安定構造を作り出す際に溶媒の力を上手く引き出す「溶媒アニール」の手法などで、卓越した成果を挙げておられます。構造解析には、TEM, SEM, GISAXS などを駆使し、バルクフィルムとは異なる構造構築原理を提案しています。見かけは物理的側面が前面に出た成果ですが、物質に対する化学的性質を活かすことが制御法の基本ですので、化学・物理両分野の教員、学生にとって意義のある講演になると考えています。皆様、ご来聴いただければ幸いです。

開催報告：

VBL 外国人研究員（中核的機関研究員、名古屋大学特任教授）として招へいした University of Orleans (フランス) の Christophe Sinturel 教授により、「Blockpolymer Thin Films for Nanopatterning Applications」と題した標記セミナーが、4 月 24 日 16 時 30 分から 18 時まで VBL3 階ホールにて開催されました。

Sinturel 教授は、薄膜中のブロック共重合体やポリマーブレンドなどの複合ソフトマテリアルの構造制御の分野で世界をリードする活発な研究者の一人です。講演では、なぜ薄膜中の構造制御が重要で有用かに焦点をあて、専門外の参加者にも配慮したとても分かり易い序から入り、Sinturel 教授が近年良

く用いている溶媒アニールの手法を駆使した構造制御についての最近の主な成果についての紹介がありました。特に薄膜中で起こる構造形成のメカニズムと同じ高分子成分の高分子がバルク中で起こすものとの類似性・相違性に焦点を当て、薄膜状態という特殊空間で起こる構造形成の特徴を明確に示しました。講演に続いた質疑応答では、若手研究者から熟練の研究者に至るまで多くの質問があり、どの質問にも自らの考えを織り混ぜながら丁寧に答えを返して活発な議論を開発するなど、とても意義深いセミナーとなりました。本セミナーは他の一件と連続で開かれたこともあって、学内にとどまらず学外から多くの参加を得て、約 80 名の参加者がありました。

松下 裕秀（工学研究科 有機・高分子化学専攻）



写真：Christophe Sinturel 教授による講演風景と記念撮影

2019 年度第 2 回 VBL セミナー

日時：2019年6月4日（火）10時30分～12時00分

場所：ンチャー・ビジネス・ラボラトリー 3階ミーティングルーム

講師：Saida Mayela García Montes准教授 (Universidad Autónoma de Nuevo León (メキシコ), (VBL客員准教授)

題目：SURFACE MODIFIED HAFNIUM OXIDE NANOPARTICLES WITH ORGANIC ACIDS SYNTHESIZED IN SUPERCRITICAL WATER

要旨：

Hafnium oxide nanoparticles were synthesized under supercritical water with and without organic acid surface modifiers to produce grafted nanocrystals. The materials synthesized displayed unique controlled-shaped morphologies by using either propionic acid, citric acid, 3,4- dihydroxybenzoic acid or gallic acid as demonstrated by transmission electron microscopy. X-Ray diffraction analysis showed that monoclinic Hafnium oxide nanocrystals were synthesized in this manner. In such syntheses, organic acid molecules directly interact with the nanocrystal surface through carboxylate bondings. Chemical bonding of organic acids grafting the surface of the nanoparticles was evaluated by Fourier transform infrared spectroscopy. The grafting density was quantified from the weight loss measured using thermogravimetric analysis. Nanospheres and nanorods were obtained by tuning the surface modifiers and the supercritical conditions of the synthesis.

Keywords: Hafnium oxide, supercritical water, Organic acid grafting

開催報告：

VBL 外国人研究員（名古屋大学客員准教授）として招へいした Universidad Autónoma de Nuevo León (メキシコ) の Saida Mayela García Montes 准教授により、「Surface Modified Hafnium Oxide Nanoparticles with Organic Acids Synthesized in Supercritical Water」と題した標記セミナーが、2019 年 6 月 4 日 10 時 30 分から 12 時まで VBL3 階ミーティングルームにて開催されました。

Montes 客員准教授らは、クエン酸などカルボキシル基を有する様々な有機分子を合成場に共存させることで、これら有機分子を表面に結合した酸化ハフニウムナノ結晶の超臨界水熱合成に関して研究を進めています。本セミナーでは、合成したナノ結晶の大きさ、形状が有機分子によりどのように異なるかを示すとともに、有機分子が表面に結合するメカニズムや、ナノ結晶の溶媒中分散が有機分子の結合によりどのように影響を受けるかなど、幅広く講演を頂きました。20 名あまりの参加者があり、講演

終了後には活発な議論が展開され、様々な応用における酸化物ナノ粒子のへ活用につながる有意義なセミナーとなりました。

高見 誠一（工学研究科 物質プロセス工学専攻）



写真：Saida Mayela García Montes 准教授による講演風景

2019 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：Nguyen Xuan Viet 特任准教授 (Faculty of Chemistry, VNU University of Science, Hanoi, Vietnam, VBL客員准教授)

題目：Nanomaterials in biosensors application

要旨：

A developed variety of biosensors have contributed significant impacts on daily life. Essential issues to take into consideration the integration of biosensing platforms include the requirement for low costs and large scalable, particularly for point-of-care applications where user-friendly must also be considered. In point of these developmental factors, electrochemical methods are the very potential candidate techniques due to their simplicity, high sensitivity, and specificity. The primary focus of my research is to improve the utility of nanomaterials, which are currently being studied for a variety of fields as electronics and medical and sensing platforms. Highly sensitive and stable nanomaterials-based biosensors have opened up the possibility of creating novel approaches for the early-stage detection, diagnosis, and monitoring of disease-related biomarkers [1, 2]. The attractive properties of nanomaterials have paved the way for the fabrication of electrochemical sensors that exhibit improved analytical capacities [3]. This presentation introduces nanomaterials based electrochemical sensors and to show their benefits in some biomedical applications.

References :

1. Viet, N. X., Hoan, N. X., & Takamura, Y. (2019), Materials Chemistry and Physics, 227, 123-129.
2. Van Dat, P., & Viet, N. X. (2019). Materials Science and Engineering: C, 103, 109758.
3. Viet, N. X., Kishimoto, S., & Ohno, Y. (2019), ACS applied materials & interfaces, 11(6), 6389 - 6395.

開催報告：

Nguyen Xuan Viet 先生 (VNU University of Science, Hanoi, Vietnam) のセミナーが 2019 年 7 月 19 日（金）15 時 00 分から 16 時 30 分まで C-TECs ナレッジコモンズで開催された。Viet 先生は VBL 招聘外国人研究員（客員准教授）として 7 月 1 日から 9 月 30 日まで滞在し、ナノカーボン材料のバイオセンシング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、「Nanomaterials in biosensors application」というタイトルで、バイオセンシングの基礎とナノ材料を用いたバイオセンサに関する講演が行われた。はじめに、バイオセンシングプラットフォームの実現においては、特にユーザーフレンドリーであることも考慮する必要があり、ポイントオブケアへの応用の場合、低成本で大規模に導入できる必要がある。これらの点において、電気化学的方法は、その単純さ、高感度、および特異性のため、非常に魅力的であることが紹介された。

Viet 先生の研究はバイオセンシングにおけるナノ材料の有用性を実証することに主眼が置かれていた。高感度で安定性のあるナノ材料を用いたバイオセンサは、疾患に関連するバイオマーカーの早期検出や診断のための新しいアプローチを実現する可能性があることが紹介された。特に、カーボンナノチューブ薄膜を用いた柔軟性のある電気化学的バイオセンサにおいては、人体との適合性・コスト・高感度性を同時に有することが示され、今後の展開が期待されるものであった。本セミナーにおいては、教員と学生計 15 名余が参加し、活発な議論が行われた。

大野 雄高（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）



写真： Nguyen Xuan Viet 特任准教授による講演風景

2019 年度第 4 回 VBL セミナー

日時： 2019年10 月4 日（金）16 時00 分～17 時30 分

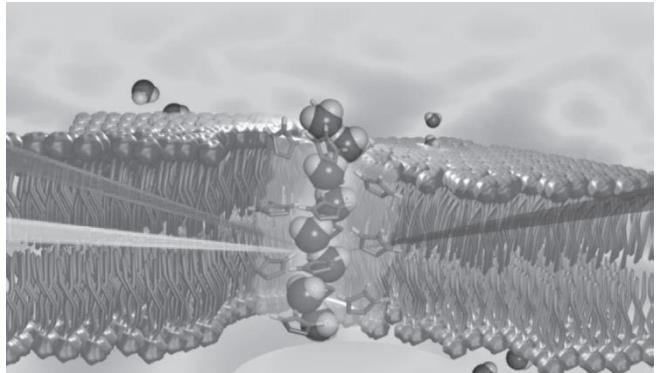
場所： 工学研究科 1 号館 10 階 1101 講義室

講師： Mihail-Dumitru Barboiu 教授（ Institut Européen des Membranes de Montpellier, CNRS, フランス）（VBL 客員教授）

題目： Artificial Water Channels

要旨：

This lecture discusses the incipient development of the first artificial waterchannels systems. We include only systems that integrate synthetic elements in theirwater selective translocation unit. Therefore, we exclude peptide channels becausetheir sequences derive from the proteins in natural channels. We review many of thenatural systems involved in water and related proton transport processes. We describe how these systems can fit within our primary goal of maintaining naturalfunction within bio-assisted artificial systems. In the last part, we present severalinspiring breakthroughs from the last decade in the field of biomimetic artificial waterchannels. All these examples demonstrate how the novel interactive water-channelscan parallel biomolecularsystems. At the same timethese simpler artificial waterchannels offer a means ofunderstanding water structuresuseful to understanding manybiological scenarios. Moreoverthey can be used for thepreparation of highly selectivemembranes for desalination.



References :

- (1) M. Barboiu and A. Gilles, Acc. Chem. Res. 2013, 46, 2814–2823. (2) M. Barboiu, Angew. Chem. Int. Ed. 2012, 51, 11674–11676. (3) Y. Le Duc, et al., Angew. Chem. Int. Ed. 2011, 50, 11366–11372. (4) E. Licsandru, et al., J. Am. Chem. Soc. 2016, 138, 5403–5409. (5) M. Barboiu, Chem. Commun. 2016, 52, 5657–5665. (6) I. Kocsis, et al., Science Adv. 2018, 4, eaao5603.

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、Mihail-Dumitru Barboiu 教授（フランス国立科学研究中心，フランス）によるセミナーが 10 月 4 日（金）午後 4 時から 5 時半まで工学研究科 1 号館 10 階 1101 講義室にて開催されました。Barboiu 先生は、モンペリエ大学で博士号を取得後、Jean-Marie Lehn 教授（1987 年ノーベル化学賞受賞者）の研究室にて博士後研究员として研究を進めた後、2008 年より Institut Européen des Membranes de Montpellier, CNRS, フランスにて研究活動を行っています。

ル化学賞) の研究室で助教として従事され、現在は超分子化学的アプローチによる人工イオン・アクアチャネルの創製と応用の研究で世界的をリードしておられます。本講演では「Artificial Water Channels」というタイトルで、バイオミメティックスの観点から生体膜中の水チャネルに匹敵する超分子集合体を人工的に作製する方法や、その機能に関する興味深い知見についてご発表頂きました。当日は、23名の学生及び教員の方々にお集りいただき、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： Mihail-Dumitru Barboiu 教授の講演風景

平成30年度第5回VBLセミナー

日時：2020年2月21日（金） 13時00分～

場所：C-TECs 5F ナレッジコモンズ

講師：Frédéric Mercier准教授（Frédéric Mercier, SIMAP lab., CNRS, Université Grenoble Alpes, France, VBL客員准教授）

題目：Process design for advanced materials in energy applications

要旨：

New, high knowledge-content materials, providing new functionalities and improved performances will be critical drivers of innovation in technologies, devices and systems, benefiting sustainable development and competitiveness. In many situations, developing the right materials by taking into account all of these constraints is the bottleneck to industrial innovation. To do so, designing the proper process for desired physical and/or chemical transformation of materials during their synthesis is one of the key points.

The first part of the talk will be dedicated to the Top Seeded Solution Growth of SiC (Silicon Carbide) with an emphasis on the process design based on multiscale modeling. In a second part, I will present recent progress on optimization techniques we use at SIMAP to fulfil the demand of new materials. In particular, I will present how a “Design of Experiments” approach can be applied to multi-variables processes in order to obtain the maximum of relevant information with the minimum of experiments.

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一起業の実例を示し、「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。

2019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ついてのご講義を、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、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、山口栄一先生の授業風景)



写真：山口栄一先生の講義風景

なお、特許関連の本講義に長年ご尽力いただいた青山学院大学の渕 真悟先生が急逝されました。先生は、かつて名古屋大学大学院工学研究科に所属され、講義のみならず、様々にVBLに深く関わってくださいました。長年のご貢献に感謝を捧げ、心からご冥福をお祈りいたします。

2019年度 ベンチャービジネス特論 I

4/11(木)	イントロダクション	VBL 准教授	永野修作
4/25(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
5/9 (木)	「スタートアップを考える人へ」	WHILL 株式会社 最高技術責任者 兼 代表取締役	福岡 宗明
5/16(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 教授	山口 栄一
5/30(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～～」	生命分子工学専攻 教授	馬場 嘉信
7/4 (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
7/11(木)	「まとめ」	VBL 准教授	永野 修作

最先端理工学実験

VBLでは大学院生を対象とした学生実験「最先端理工学実験」を実施しています。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、最先端の研究実験に展開できます。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。学生達は、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にシミュレーションを応用します。また、ナノプロセス分野では、構造解析手法などを駆使し、自らの研究に新しい計測手法やプロセス手法を取り入れようと試みます。本年度のCAD分野は、11名（マテリアルサイエンス系9名、ライフサイエンス系2名）の受講者があり、基礎と応用の2度の講習を実施しました。高压化の無機材料やタンパク質の構造、界面の分子吸着構造、プロトン伝導膜へのアプローチ、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、2名の受講者があり、X線散乱を駆使した実験を行っています。成果発表会は、12月23日に行われ、異分野の学生間で活発な討論が行われました。



写真：成果報告会の様子

以下、成果発表のプログラム示します。

2019年度 最先端理工学実験 成果発表会

日時：2019年12月23日（月）13:00～

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

開会挨拶 永野 修作 (VBL)

13:05 「SiO₂ 表面に対する5CB およびアルキルアゾベンゼンの吸着エネルギーの比較」

有機・高分子化学専攻 関研究室 古市 真梨

13:15 「Ras タンパク質のアンカードメインが受ける脂質修飾が球状ドメインに与える構造的影響」

生命分子工学専攻 構造生物工学研究室 森田大貴

13:25 「環状チオアセタールにおける環員数と環ひずみについての評価」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 村上 幸大

13:35 「活性化アミドからなる（メタ）アクリルアミド誘導体の重合性の評価」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 杉浦 優斗

13:45 「リンカ一部位のアミノ酸がRGD配列に与える構造的影響」

創薬科学研究科 細胞分子情報学分野 杉山 亜矢斗

14:05 「加湿下による界面活性剤相転移のin-situ斜入射X線散乱測定」

有機・高分子化学専攻 関研究室 竹下 智也

14:15 「側鎖にスルホン基を有するポリイミド薄膜のプロトン拡散挙動」

有機・高分子化学専攻 関研究室 渡邊 隼人

14:25 「鉄表面における水素吸着による化学反応の触媒評価」

物質プロセス工学専攻 山田 基生

14:35 「チオール-エン重付加による種々の官能基を有する配列制御高分子の合成の際に起こる環化反応性についての評価」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 山田 勇介

14:45 「 α -トリフルオロメチルアクリレートとビニルエーテルの2:1 交互ラジカル共重合」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 YOO Dasom

15:05 「イソソルバイドを原料とした二環式ジエンのカチオン重合における重合機構」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 吉田 捷人

15:15 「高秩序性ヘテロスマクチャラメラ構造を用いたsub 10 nm パターニング」

有機・高分子化学専攻 上垣外研究室 瀬田 蒼

総評・閉会 永野 修作 (VBL)

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 14 日(金)に開催し教職員学生合わせて 71 名が受講した。技術センターの齋藤氏から薬品の使用法や管理、廃液の保管、クリーンドラフトの使い方など、VBL で定めているルールを厳守し、作業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。



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 の利用者講習会をが 5 月 15 日と 16 日に分けて実施し 12 名が受講した。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る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。



レーザーリソグラフィ利用者講習会

5月23日、6月13日の2日間にわけて全学支援センターの齋藤氏の担当で行われ、10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描を行うときはマスクプランクス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 $1\text{ }\mu\text{m}$ （描画スピード $10\text{ mm}^2/\text{min}$ ）と $0.6\text{ }\mu\text{m}$ （描画スピード $3.0\text{ mm}^2/\text{min}$ ）の2つでデフォルトは $1\text{ }\mu\text{m}$ 用。光学またはエアー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があり、RIE講習会を5月30日、ICP講習会を6月6日に行った。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確実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。7名の参加があった。



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47、48号の発行を行った。

nVBLnews

News of
Nagoya University
Venture Business Laboratory
2019 Summer, No. 47

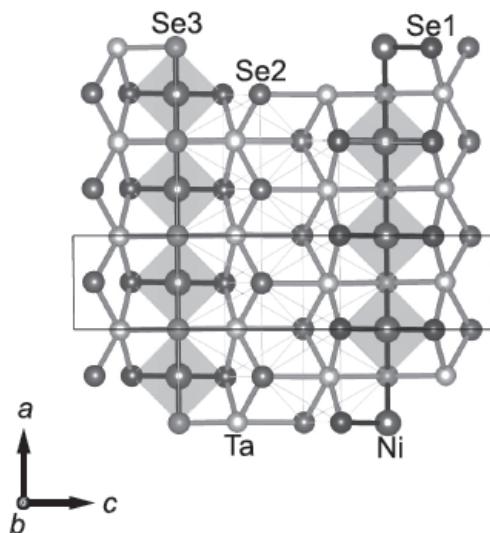
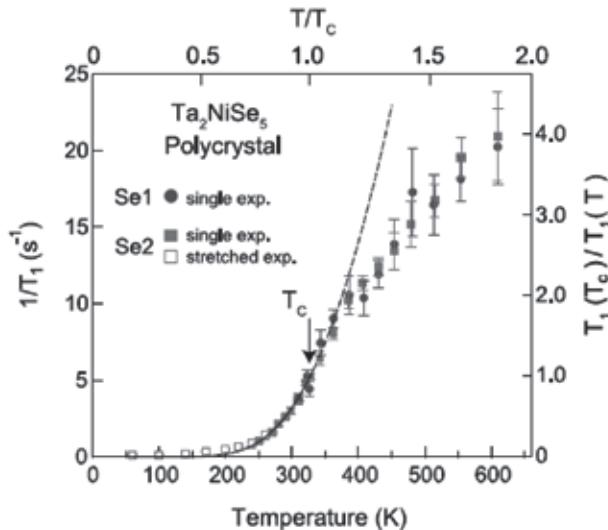
名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー ニュース

令和元年8月1日発行

第24巻第1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. Ta_2NiSe_5 の結晶構造図2. Ta_2NiSe_5 における Se1、Se2 サイトの核スピン格子緩和率 $1/T_1$ の温度変化

CONTENTS

研究紹介(1) 人体と親和性をもつ伸縮可能な電子デバイスの創出	2
研究紹介(2) 核磁気共鳴法を用いた励起子絶縁体の研究	3
研究成果報告(1) 機械学習を用いた大口径SiC単結晶溶液成長プロセスの最適化	4
研究成果報告(2) MISIM型光電変換セルの光誘起分極電流	5
研究成果報告(3) 柔軟鎖と剛直鎖から成るブロック共重合体の調製とミクロ相分離構造	6
名大祭参加報告	7
クリーンルーム利用者講習会	7
高解像度走査型電子顕微鏡(SEM)利用講習会	7
レーザーリソグラフィ利用講習会	7
エッチング装置利用講習会	7
2019年度第1回VBLセミナー報告	8
新研究員報告	8

研究紹介（1）

人体と親和性をもつ伸縮可能な電子デバイスの創出

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、西尾 祐哉、鹿嶋 大雅

ひとの IoT 化はより高精度な健康管理や病気の早期発見・治療を可能とし、長寿社会における幸福の増進や医療費削減につながると期待できる。すでに腕時計型のウェアラブルデバイスなどを用いて、脈拍や血圧などの生体情報を継続的に検出する技術は、スポーツ選手のトレーニングや医療の現場において活用され始めているが、一方で、現状のウェアラブルデバイスは硬く装着性に優れるものではない。多様なセンサを違和感なく人体に設置する技術が必要になるが、近年、ポリマー等の柔らかい有機材料を用いて、人体の動曲面に追従可能な伸縮する電子デバイス“ストレッチャブルデバイス”が実現されつつある。

カーボンナノチューブはストレッチャブルデバイスを実現する上で、特に重要な材料である。優れた電気的・機械的特性を併せ持ち、高い伸縮性と素子性能が同時に得られるばかりでなく、カーボンナノチューブは多機能性という点においても優れ、半導体性のカーボンナノチューブはトランジスタや集積回路、各種抵抗変化型のセンサを、金属性のカーボンナノチューブは配線や透明電極、電気化学センサ等を実現できる。さらに、印刷法や他の溶液法などの低温プロセスにより、ポリマーフィルム上に成膜することが可能である。究極的には、伸縮するフィルム上に各種センサや信号を処理するアナログ/デジタル回路、通信デバイスをインクジェット印刷法によって集積し、例えば、個々人にカスタマイズされたウェアラブルデバイスを安価に実現し得る（図1）。

カーボンナノチューブは1層のグラファイト（グラフェン）を切り出し円筒状に丸めた構造をもつが、その電子構造（金属か半導体か）は円筒の円周に対応するカイラルベクトルによって決まる。わずかなカイラルベクトルの違いにより、半導体になる場合と金属になる場合がある。これはカーボンナノチューブに多機能性を与えるものであると同時に、応用上、極めて困難な課題を与える。つまり、カーボンナノチューブの成長時において、カイラルベクトルを精密に制御することは困難であり、通常は、半導体と金属の混合物として得られ、純度の必要な半導体応用においては問題となる。しかしながら、最近、成長後に分離精製する技術の進展著しく、高純度(>5N)の半導体ナノチューブやカイラルベクトルごとに抽出することが可能となり、実用を目指した電子デバイス応用の研究が急速に活発になっている。

当研究室では、人体と親和性をもつ電子デバイスの技術基盤の構築を目標として、カーボンナノチューブ薄膜を用いたストレッチャブルデバイスについて、そのデバイス物理やモデリング、集積回路設計・プロセス技術の研究を進めている。最近の成果としては、大伸長(35%)においても電気的特性に変化がなく、かつ低電圧(~1 V)で動作可能なカーボンナノチューブトランジスタや集積回路を開発している（図2）。これは新たに開発した歪み制御技術を導入したカーボンナノチューブトランジスタによって初めて実現されたものである。また、デバイス特性の統計的かつ詳細な測定に基づくモデリングにより、精密な回路設計を可能とし、世界初のカーボンナノチューブによるアナログ回路も実現している。今後は各種センサを集積し、ウェアラブル IoT デバイスの実現につながる基盤技術の構築を目指す。

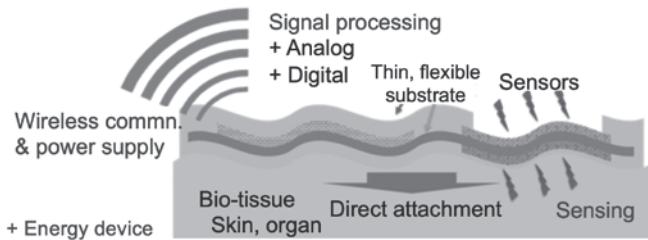


図1. 人体に貼付け可能なセンサ。



図2. カーボンナノチューブを用いて開発したストレッチャブルデバイス。

研究紹介（2）

核磁気共鳴法を用いた励起子絶縁体の研究

理学研究科 物質物理学専攻（物理系）伊藤 正行

固体物理学の分野では、近年、鉄系超伝導体、トポロジカル物質、キタエフ・スピン液体物質など新奇な物性を持つ物質が見出され、その物性発現機構に興味が集まっている。励起子絶縁体もそのような物質の1つである。励起子絶縁体とは、固体中で励起子凝縮に伴って生じる絶縁体のことである。エネルギー・ギャップの小さな半導体や価電子帯と伝導帯の重なりが小さい半金属では、価電子帯のホールと伝導帯の電子の間に働く強いクーロン相互作用によって形成された束縛状態（励起子）が、超伝導で起きるBCS的な凝縮やボース・アインシュタイン凝縮（BEC）を起こすと、励起子絶縁体状態に転移する。励起子絶縁体の研究は、1960年代に理論的に研究されたが、実際の物質では、例が少なく、実験的研究は進んでいなかった。しかし、最近、その有力な候補物質として Ta_2NiSe_5 が見出され、注目されている[1]。この物質は、図1に示すように、1本のNiSe鎖と2本のTaSe鎖からなる3本鎖を基本構造として持つ層状物質である。 $T_c=328K$ で構造相転移を伴って、帯磁率が減少する振る舞いを示す。しかし、この転移が励起子絶縁体状態への転移であるかどうかを、実験的に検証することは難しく、角度分解光電子分光で転移に伴って観測された平坦なバンド分散が、その証拠とされている[1]。

私たちは、核磁気共鳴（NMR）法を用いて、 Ta_2NiSe_5 の励起子凝縮を検証することを目的に研究を行った[2]。BCS超伝導体で、クーパー・ペアと呼ばれる電子対の凝縮を検証した実験データとして、核スピン格子緩和率 $1/T_1$ が、超伝導転移温度の直下でコヒーレンス・ピークを示すことはよく知られている。励起子凝縮に伴い、 $1/T_1$ がどのような温度変化を示すかは、興味ある問題である。図2に示すように、私たちが測定したSe核の $1/T_1$ は、 T_c 以下で熱活性型（実線）の温度変化を示すが、 T_c 直下で大きな異常を示さない。この振る舞いは、3本鎖構造に基づく理論研究の結果[3]と整合している。また、 T_c より高温まで $1/T_1$ の熱活性型（破線）的な温度変化が観測されることは、励起子凝縮の揺らぎが高温まで残っているためと考えられる。ナイト・シフトと呼ばれる局所帶磁率も、励起子凝縮に伴う変化を示した。このように、NMRは励起子絶縁体を研究するうえで有効なプローブであると言える。また、圧力を加えると、励起子凝縮温度が抑制され、約3GPa以上で金属的な振る舞いを示し、超伝導が現れることが報告された[4]。圧力によって、エネルギー・ギャップをコントロールすることができるので、圧力による物性変化は、BEC-BCSクロスオーバーの問題としてもとらえることができる。超伝導の発現機構とともに、今後の研究課題として、興味が持たれている。

- [1] Y. Wakisaka *et al.*, Phys. Rev. Lett. **103**, 026402 (2009).
- [2] S. Li, S. Kawai, Y. Kobayashi, and M. Itoh, Phys. Rev. B **97**, 165127 (2018).
- [3] K. Sugimoto *et al.*, Phys. Rev. B **93**, 041105(R) (2016).
- [4] K. Matsubayashi *et al.*, CiNii Articles, <https://ci.nii.ac.jp/naid/110009990261/>.

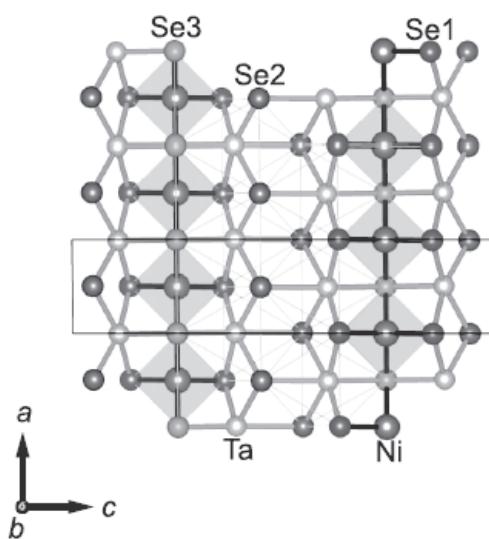


図1. Ta_2NiSe_5 の結晶構造

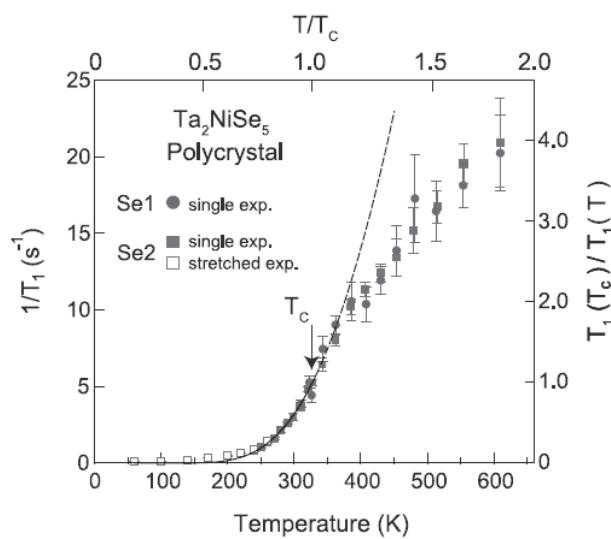


図2. Ta_2NiSe_5 におけるSe1、Se2サイトの核スピン格子緩和率 $1/T_1$ の温度変化

研究成果報告（1）

機械学習を用いた大口径 SiC 単結晶溶液成長プロセスの最適化

2018年度VBL非常勤研究員（現・京都大学大学院工学研究科材料工学専攻助教）鳴海 大翔

省エネルギーパワーデバイスの基盤材料として注目されているワイドギャップ半導体の炭化ケイ素(SiC)のウエハは、一般に昇華再結晶法で育成したバルク単結晶から作製される。しかし、2300°C以上の温度で行う昇華再結晶法では、バルク単結晶中に転位欠陥が導入されるため、高品質化が望まれている。

一方、Si系溶融合金を用いる溶液成長法は、成長界面が熱平衡に近い状態で結晶成長し[1]、また成長界面のマクロステップにより貫通転位が基底面内方向の転位に構造変換するため[2]、低転位密度の単結晶育成が達成されている。現在、パワーデバイスの製造ラインでSiCウエハを試験するには3インチ以上の大口径ウエハが必要である。溶液成長法の高品質SiC単結晶を大口径化するには、高周波誘導加熱により黒鉛坩堝内で2000°C程度に溶融保持したSi系高温溶液内の複雑な温度分布、流れ分布、溶質炭素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、熱流体計算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、熱流体計算は長時間を要し、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、溶液成長の育成条件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計算を高速予測するモデルが構築されている[3]。著者は主に、その高速予測モデルに必要な熱流体計算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。著者が改善した熱流体計算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。

はじめに、種結晶の回転速度、黒鉛坩堝の回転速度、黒鉛坩堝の内径などの育成パラメータを、実験可能な範囲でランダムに与えて100通りの熱流体計算を行った。次に、育成パラメータに加えて溶液内の温度・流速・溶質炭素濃度を特徴量に選択し、計算結果をニューラルネットワークにより回帰して熱流動の予測モデルを構築した。成長界面近傍において、炭素過飽和度が一様に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図1に示すパレート最適解を得た。ここで、図1(a)の最適解は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1(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。実際に最適解を実験に適用したところ、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り、本研究のフレームワークは研究開発期間の大幅な短縮になると期待される。現在、目的関数の前提となるSiC溶液成長法の基礎物理の解明、その知見を正確に目的関数化する手法の確立に向けた検討が進められている。

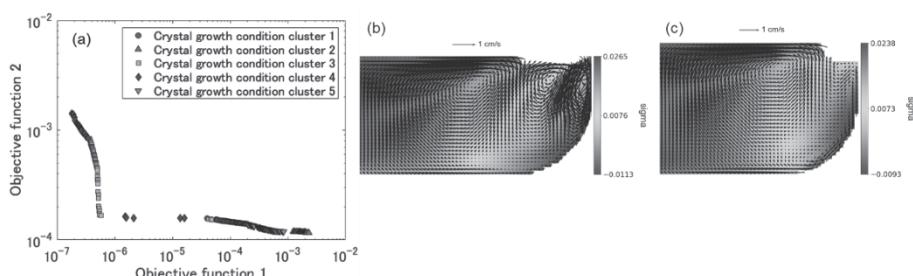


図1. (a) 2つの目的関数と最適解の関係,(b) cluster 3 の最適解例,(c) cluster 4 の最適解例
(矢印 : Si系高温溶液の流れの方向と大きさ, 色 : Si系高温溶液中の炭素過飽和度分布).

- [1] D. H. Hofmann and M. H. Muller, "Prospects of the use of liquid phase techniques for the growth of bulk silicon carbide crystals," *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 61--62, no. 0, pp. 29–39, 1999.
- [2] K. Murayama, T. Hori, S. Harada, S. Xiao, M. Tagawa, and T. Ujihara, "Two-step SiC solution growth for dislocation reduction," *J. Cryst. Growth*, vol. 468, no. November 2016, pp. 874–878, 2017.
- [3] Y. Tsunooka, N. Kokubo, G. Hatasa, S. Harada, M. Tagawa, and T. Ujihara, "High-speed prediction of computational fluid dynamics simulation in crystal growth," *CrystEngComm*, pp. 6546–6550, 2018.

研究成果報告（2）

MISIM型光電変換セルの光誘起分極電流

2018年度VBL非常勤研究員（現・理学研究科物質理学専攻JSPS特別研究員）**横倉 聖也**

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と変わらず、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(a)に示すように電極界面での電荷分離と薄膜内部の絶縁層が組み合わされ、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変調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変化に起因する分極電流によってのみ光応答が得られている。私は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、MISMセルにおける光誘起分極電流の機構について調べた。

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ParyleneC、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。光過渡電流測定の光源には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を行い、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。図1(b)に光照射時及び遮断時の光過渡電流の周波数依存性を示した。光照射時では、周波数が高くなるにつれ電流密度が減少するのに対し、光遮断時では電流密度の周波数依存はほとんど見られなかった。ここで、光照射時では光誘起キャリアがS層内を移動しI層との界面に充電され、光遮断時ではこれらが放電され逆向きの電流が流れる。この機構から光照射時を分極過程、光遮断時を脱分極過程と考えることができる。得られた電流の時間変化から分極、脱分極の時間変化をプロットしたところ、図1(c)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。今回作成した光電変換セルでは分極過程に比べて脱分極過程の進行が遅いことから、低周波数では分極と脱分極が十分に進行するが、高周波数では光遮断時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。その結果高周波数では光照射時の分極変化量が小さくなり電流強度が減少したと考えている。この結果から、MISM型フォトセルの特性を改善するためには、光照射時の分極過程のみならず光遮断時の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。一般に、有機デバイスでは電極-半導体間のキャリア注入障壁が問題となるが、本研究で提案したMISIMセルでは半導体層の光誘起キャリアは光のON/OFFで振動し分極変化を誘起するのみであり、半導体-金属界面でのキャリアの出し入れが無いことが特徴である。本研究で得られた知見は、光情報通信への応用可能な有機光電変換デバイス及び分極を基礎とする新規デバイスの発展に貢献できると期待している。

【参考文献】

- [1] L. Hu, X. Liu, S. Dalgleish, M. M. Matsushita, H. Yoshikawa and K. Awaga, *J. Mater. Chem. C*, 2015, 3, 5122-5135.
- [2] A. Tomimatsu, S. Yokokura, L. Reissig, S. Dalgleish, M. M. Matsushita and K. Awaga, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2019, 21, 13440-13445.

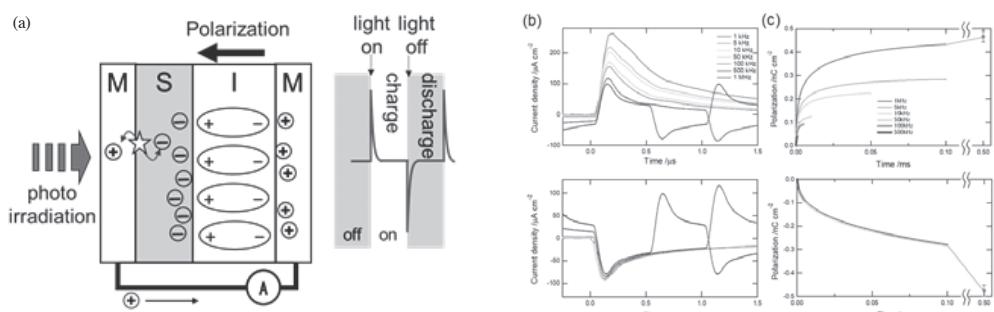


図1.(a)MISMセルの概念図。MISMセルのOn-state及びOff-stateにおける(b)光電流と、(c)その際の分極変化の周波数依存性。

研究成果報告（3）

柔軟鎖と剛直鎖から成るブロック共重合体の調製とミクロ相分離構造

VBL非常勤研究員 土肥 侑也

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、様々なミクロ相分離構造を形成することが知られている。両成分とも柔軟な鎖から成るABジブロック共重合体が形成する相構造に関しては、これまでに数多くの研究例があり、実験、理論の両面から非常によく理解されている。一方で、成分の一方が剛直な鎖から成るジブロック共重合体では、柔軟な鎖のみから成る共重合体とは異なるミクロ相分離構造を形成すると考えられ、理論・シミュレーション研究がいくつかあるものの、実験的な研究例はそれほど多くない。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）から成るジブロック共重合体P(S-*b*-HIC)試料(図1)をアニオン重合により合成し、そのバルク状態におけるミクロ相分離構造を評価した。

本稿では、総分子量約13万、PHICの体積分率0.31で、分子量分布の狭いP(S-*b*-HIC)-0.31試料の構造観察の結果を紹介する。構造観察用の試料は、トルエン溶液から2週間以上かけて溶媒をゆっくりキャストすることで調製した。透過型電子顕微鏡(TEM)と小角ならびに広角X線散乱(SAXSならびにWAXS)により、凝集構造を評価した。

図2aには、P(S-*b*-HIC)-0.31試料のTEM観察結果を示す。P(S-*b*-HIC)-0.31試料は、PSマトリクス中に角張った断面形状を有する柱状のPHICドメインが、六方充填状に規則的に配列した構造を形成していることがわかる。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。図2bに示すP(S-*b*-HIC)-0.31試料のSAXS測定の結果より、 q 値が $1:\sqrt{3}$ の比のピークを示し、広範囲で六方充填柱状構造を形成していることがわかる。図2cに示すP(S-*b*-HIC)-0.31試料のWAXS測定の結果より、 $q^* = 3.9 \text{ nm}^{-1}$ に明確なピークを示すことがわかる。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。それに対して本研究のP(S-*b*-HIC)-0.31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。図2d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、スマクティックC型の液晶構造を形成していると考えると、WAXS測定の結果を矛盾なく説明できる。

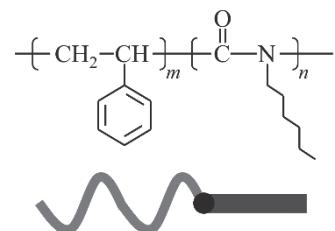


図1. P(S-*b*-HIC)ブロック共重合体の化学構造と分子鎖の模式図

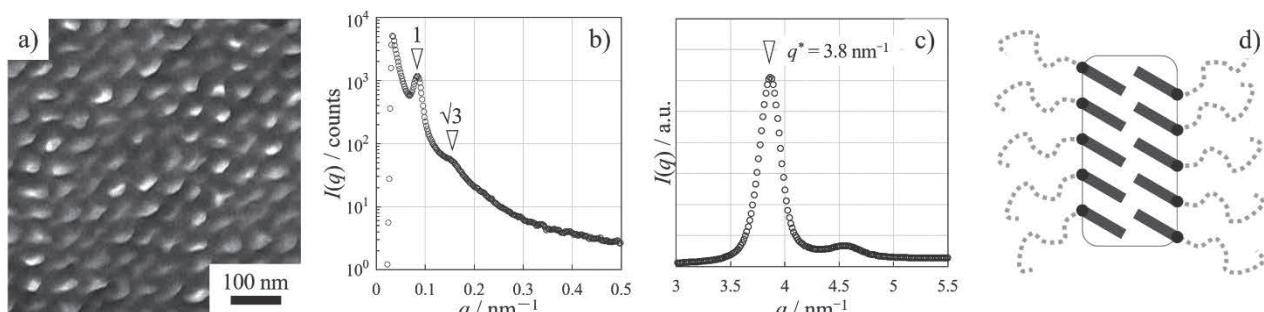


図2. P(S-*b*-HIC)-0.31試料の(a)TEM、(b)SAXS、(c)WAXS測定結果、(d)柱状ドメイン内のPHIC鎖の充填様式

「名大祭」参加報告

名大祭のラボレクチャー企画に本年度も参加し、6月15日(土)および16日(日)の両日、一般の方への実験施設の見学会を行った。電子顕微鏡の画像を見ながら高次ナノプロセスに関する研究紹介を行った後、クリーンルームへの入室していただき、様々な成膜装置、リソグラフィー装置の見学の他、結晶成長や化合物半導体に関する説明を行った。小学生から年配の方まで、2日間にて28人の参加があり、半導体プロセスや科学全般に興味もって頂ければ幸いである。



クリーンルーム利用者講習会

6月14日(金)に開催し教職員学生合わせて71名が受講した。技術センターの斎藤氏から薬品の使用法や管理、廃液の保管、クリーンドロフトの使い方など、VBLで定めているルールを厳守し、作業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) 利用講習会

S5200利用講習会が5月15日と16日に分けて実施し12名が受講した。本装置は講習会受講者のみ利用可能としている。本装置の概要や取扱上の注意点などの説明があり、試料ホルダーのハンドリングなどを行った。

エッチング装置利用講習会

RIEは5月30日に3名、ICPは6月6日に7名が受講した。ダミー基板を使ってエッチングプロセスの一連の操作を行った。ICPは塩素ガスを使用することから安全に配慮し装置を利用するよう説明があった。

レーザーリソグラフィ利用講習会

5月23日、6月13日の2日間に分けて10名が受講した。本装置は講習会を受講しなければ利用できない。操作手順として、CADデータの変換と転送、ステージへの基板の固定、描画ジョブの作成と実行。マスク作製のための現像・エッチングなどを行った。



2019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 松下 裕秀

VBL外国人研究員（中核的機関研究員、名古屋大学特任教授）として招へいしたUniversity of Orleans（フランス）のChristophe Sinturel教授により、「Block-polymer Thin Films for Nanopatterning Applications」と題した標記セミナーが、4月24日16時30分から18時までVBL3階ホールにて開催されました。

Sinturel教授は、薄膜中のブロック共重合体やポリマーブレンドなどの複合ソフトマテリアルの構造制御の分野で世界をリードする活発な研究者の一人です。講演では、なぜ薄膜中の構造制御が重要で有用かに焦点をあて、専門外の参加者にも配慮したとても分かり易い序から入り、Sinturel教授が近年良く用いている溶媒アニールの手法を駆使した構造制御についての最近の主な成果についての紹介がありました。特に薄膜中で起こる構造形成のメカニズムと同じ高分子成分の高分子がバルク中で起こすものとの類似性・相違性に焦点を当て、薄膜状態という特殊空間で起こる構造形成の特徴を明確に示しました。講演に続いた質疑応答では、若手研究者から熟練の研究者に至るまで多くの質問があり、どの質問にも自らの考えを織り混ぜながら丁寧に答えを返して活発な議論を展開するなど、とても意義深いセミナーとなりました。本セミナーは他の一件と連続で開かれたこともあって、学内にとどまらず学外から多くの参加を得て、約80名の参加者がありました。



研究員紹介



今年4月よりVBL研究員として着任しました秋吉です。現在、工学研究科応用物質化学専攻の鳥本司教授のもとで、イオン液体と金属スパッタリング法を用い、プラズモン共鳴を示す粒子の新規開発を行っております。イオン液体は蒸気圧が非常に小さく、真空中でも揮発せずに、金属スパッタリングで容易に金属ナノ粒子を合成できます。しかし、化合物ナノ粒子での報告は未だ少なく、特性も不明です。そこで、イオン液体の広い電位窓を活かし、プラズモン共鳴特性を自在に制御した光機能及び電気化学的機能の新規開拓を目指しております。VBL研究員の一員として研究活動のみならず、教育活動などにも貢献できれば幸いです。どうぞよろしくお願ひいたします。

秋吉 一孝



My name is Chao LU, coming from China. I received my Ph.D. degree from the department of applied chemistry in Osaka University, Japan. From April 2019, I started to work as a postdoctoral researcher of Venture Business Laboratory (VBL) in Nagoya University, collaborating with the research group of Prof. Kishida in the department of applied physics. Currently, my research focuses on exploring the excited state dynamics and photoelectric effect of organic semiconducting materials by using various steady-state and time-resolved spectroscopic methods.

LU Chao



My name is Xu Yang, coming from China. I received my Ph. D. degree in Department of electrical engineering and computer science from Nagoya University in September 2018. At present, I am working as a postdoctoral researcher of Venture Business Laboratory, collaborating with Prof. Hiroshi Amano group. Currently, my research focuses on growth of group-III nitrides for advanced semiconductor devices-especially two-dimensional hexagonal boron nitride grown by metalorganic vapor phase epitaxy.

YANG Xu

nVBLnews

News of
Nagoya University
Venture Business Laboratory
2020 Winter, No.

48

名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー ニュース

令和2年2月1日発行

第24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

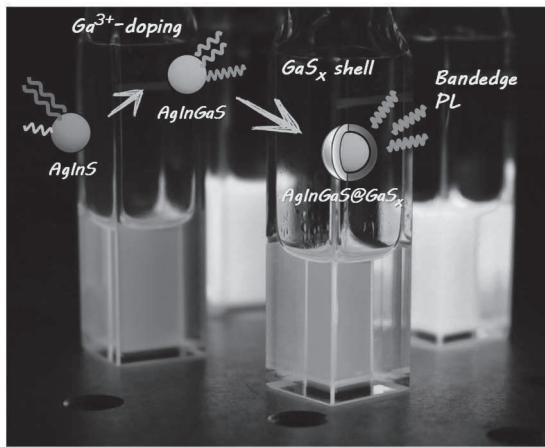


図1. Ga^{3+} ドープによる AgInS_2 量子ドットの発光波長制御と GaS_x シェル被覆による発光ピークの先鋭化

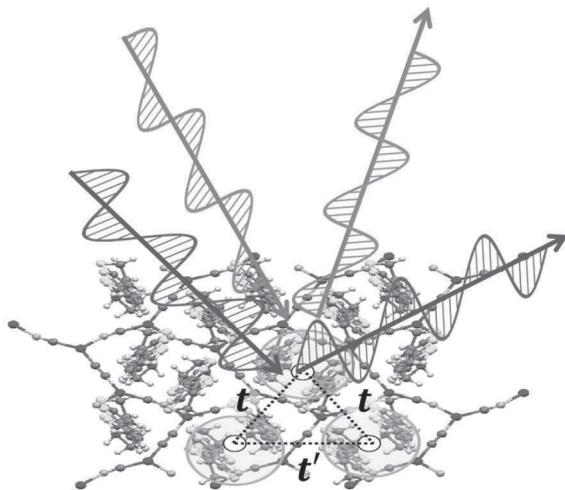


図2. 有機三角格子系における偏光に依存した光学応答

CONTENTS

ベンチャービジネス特論第Ⅰ実施報告	2
最先端理工学実験実施報告	2
研究紹介(1)	3
研究紹介(2)	4
研究紹介(3)	5
第23回VBLシンポジウム	6
2019年度第2回VBLセミナー報告	7
2019年度第3回VBLセミナー報告	7
2019年度第4回VBLセミナー報告	8
新研究員報告	8

ベンチャービジネス特論Ⅰ実施報告

VBL では理科系大学院生を対象にアントレプレナー教育として「ベンチャービジネス特論Ⅰ」を行っております。社会が成熟し、いま、まさに、起業が求められており、起業家マインドの育成を目的としています。本学学術研究・产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」から、「東海地区大学広域ファンド」や「Tongali プロジェクト」の紹介、スタートアップに誰でもチャレンジできることを教えていただきます。また、京都大学の山口栄一先生からは、「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。株式会社 WHILL の福岡宗明先生には、パーソナルモビリティの最近の展開、資金調達のあれこれ、スタートアップの生のお話をしていただいております。その他、豊田合成株式会社の太田先生の「青色 LED」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」の講義も行われました。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。

なお、特許関連の本講義にご尽力いただいた青山学院大学の渕 真悟先生が急逝されました。先生は、かつて名古屋大学大学院工学研究科に所属され、講義のみならず、様々に VBL に深く関わってくださいました。長年のご貢献に感謝を捧げ、心からご冥福をお祈りいたします。(写真は、京都大学山口先生の講義風景)



2019年度 ベンチャービジネス特論Ⅰ スケジュール

4/11	イントロダクション	永野修作 (名古屋大学 VBL)
4/25	「ベンチャービジネスを始めるための最低限の知識」	河野 廉 (名古屋大学 学術研究・产学官連携推進本部)
5/9	「スタートアップを考える人へ」	福岡 宗明 (WHILL 株式会社 最高責任者 兼 代表取締役)
5/16	「ブレイクスルー・イノベーション」	山口 栄一 (京都大学大学院 総合生存学館)
5/30	「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～」	馬場 嘉信 (名古屋大学大学院 工学研究科)
7/4	「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」	太田 光一 (豊田合成常務取締役)
7/11	「まとめ」	永野修作 (名古屋大学 VBL)

最先端理工学実験実施報告

VBL では大学院生を対象とした学生実験「最先端理工学実験」を実施しています。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、最先端の研究実験に展開できます。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。学生達は、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にシミュレーションを応用します。また、ナノプロセス分野では、構造解析手法などを駆使し、自らの研究に新しい計測手法やプロセス手法を取り入れようと試みます。本年度の CAD 分野は、11 名 (マテリアルサイエンス系 9 名、ライフサイエンス系 2 名) の受講者があり、基礎と応用の 2 度の講習を実施しました。高压化の無機材料やタンパク質の構造、界面の分子吸着構造、プロトン伝導膜へのアプローチ、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、2 名の受講者があり、X 線散乱を駆使した実験を行っています。成果発表会は、12 月 23 日に予定され、異分野の学生間で活発な討論が行われる予定です。

研究紹介（1）

有機三角格子系の光学応答

工学研究科 岸田 英夫、中村 優斗、水越 和志

π 電子系を有する有機分子をビルディングブロックとして構成される様々な構造の有機結晶が報告されている。これらの物質を舞台に新規電子状態の探索が行われ、様々な物理現象や電子機能性が見出されている。その中でも伝導体や超伝導体の探索をきっかけに BEDT-TTF(bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene、図1)とよばれる分子を単位として形成される BEDT-TTF 錯体群について多くの研究がなされ、電気伝導特性のみならず、電荷配置、スピニ状態の制御が実現している。例えば、BEDT-TTF 分子のダイマーを単位とする二次元三角格子系が形成される。マイナス一価のカウンターイオン一つに対して、BEDT-TTF ダイマー一つの割合で形成される錯体においては、ダイマーあたり一つの正電荷が存在する(図2)。この正電荷のスピニが三角格子状に配列し、スピニ間に反強磁性的な相互作用が働くと、磁気的なフラストレーションが生じる。相互作用の観点から正三角形を形成すると、安定したスピニの秩序形成ができなくなり「量子スピニ液体状態」を形成する。この量子スピニ液体状態を、磁気ラマン散乱現象を利用して光学的に観測した[1,2]。この三角形の程度は、ダイマー間の結合の強さを表す移動エネルギー t と t' (図2) の比 t/t' によってあらわされ、 $t'/t \approx 1$ において量子スピニ液体状態が実現すると理解されている。しかし、実際の空間的な配置からこの値を正確に見積もることは困難であった。これまで構造解析と理論計算から t/t' が求められてきたが、電子がどのように正三角形的に相互作用しているかを実験的に評価することが重要である。我々のグループではこれらの物質について光学的に異方性を評価することにより、その三角形の程度の評価を可能にした。有機三角格子系の一つである κ -(BEDT-TTF)₂B(CN)₄[3] を対象に、光学反射スペクトルから求めた異方性とこれまでの方法により求めた評価値の間に相関関係があることを示した(図3)。この手法を適用することにより、様々な三角格子系の評価が可能になった[4,5]。今後、有機三角格子系を基盤とする様々な物性研究や新規物性が期待され、その際にこの手法が一般的に用いられると考えている。

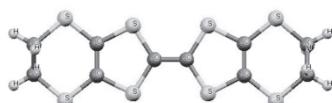


図1 BEDT-TTF 分子

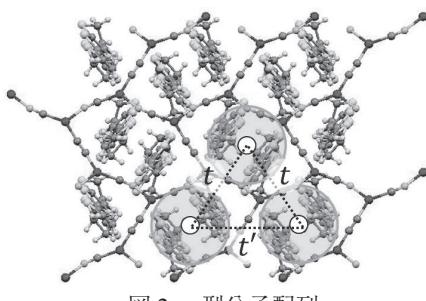


図2 κ 型分子配列

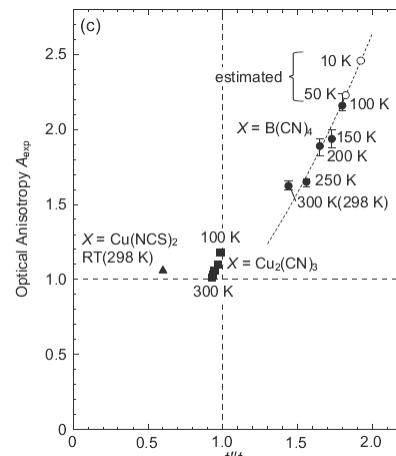


図3 構造解析から求めた t/t' と光学的異方性の関係
(文献[4]のFig. 3(c)を転載)

- [1] Yuto Nakamura, Naoki Yoneyama, Takahiko Sasaki, Takami Tohyama, Arao Nakamura, and Hideo Kishida, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 074708 (2014).
- [2] Yuto Nakamura, Takaaki Hiramatsu, Yukihiro Yoshida, Gunzi Saito, and Hideo Kishida, J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 014710 (2017).
- [3] Yukihiro Yoshida, Hiroshi Ito, Mitsuhiro Maesato, Yasuhiro Shimizu, Hiromi Hayama, Takaaki Hiramatsu, Yuto Nakamura, Hideo Kishida, Takashi Koretsune, Chisa Hotta, and Gunzi Saito, Nat. Phys. **11**, 679 (2015).
- [4] Kazushi Mizukoshi, Yuto Nakamura, Yukihiro Yoshida, Gunzi Saito, and Hideo Kishida, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 104708 (2018).
- [5] Kazushi Mizukoshi, Hiroshi Ito, Yuto Nakamura, Hiromi Hayama, Yukihiro Yoshida, Gunzi Saito, and Hideo Kishida, to be published in J. Phys. Soc. Jpn.

研究紹介（2）

Hopelessな研究だった？多元量子ドットの発光ピークの先鋭化

工学研究科 応用物質化学専攻 鳥本 司、亀山 達矢

粒子サイズと組成を精度良く制御することで、光学特性、特に発光特性を自在に制御できる量子ドットは、新規光デバイス開発のキーマテリアルとして注目を集めている。これまでの研究では、CdSe, CdTe, PbSなどの二元化合物半導体からなる量子ドットがもっぱら対象とされてきたが、毒性の高い重金属を含むために実用デバイスへの応用には大きな障害となっている。この問題を解決するために著者らは、低毒性 I-III-V 族半導体からなる多元量子ドットに早くから着目し、Zn-Ag-In-S 量子ドットの液相合成法の開発と光機能制御を行っている⁽¹⁾。しかしながら、従来の二元量子ドットがシャープなバンド端発光ピーク（半値幅~30 nm）を示すのに対し、I-III-V 族多元量子ドットは、ブロードな発光ピーク（半値幅>100 nm）のみしか示さなかった。世界中で活発に研究対象とされたにもかかわらず改善されないために、このブロードな発光こそが多元量子ドットの特徴であるとして、Self-trapped exciton model により理論的に説明する論文も、ごく最近、出版された⁽²⁾。

このような中で著者らは、（他のグループは諦めたのかなと思いながら）多元量子ドットの発光特性の改善に向けて研究を続けている。あるとき一人の大学院生から「ブロードな発光ピークの短波長側に、小さいが鋭いピークがたまに現れます」と報告があった。これは非常に大きな発見であり、これを境に「きっといつか鋭い発光を示す I-III-VI 族量子ドットが合成できる」との信念が研究室全体で芽生えた。それからの学生たちの努力はすばらしいもので、強いバンド端発光のみを示す AgInS₂ および Ag(In,Ga)S₂ 量子ドットを再現性よく合成することに成功した^(3,4)。

代表的な、AgInS₂ 量子ドットの吸収および発光スペクトルを図 1 に示す。前駆体組成を Ag/(Ag+In) 比が 0.5 として合成すると化学量論組成の量子ドットが得られ、ブロードな欠陥発光とごく小さなバンド端発光ピークを示した（図 1a）。いっぽう Ag/(Ag+In)=0.4 で合成すると、非化学量論組成をもつ Ag 不足の量子ドットが得られ、鋭いバンド端発光が観察された。さらに、この量子ドットを硫化ガリウムで被覆して、コア・シェル構造 AgInS₂@GaS_x 量子ドットとすると、欠陥発光がすべて消失して狭いバンド端発光のみとなった（図 1b）。また、コアに Ga³⁺ をドープすることで、得られる Ag(In,Ga)S₂ 量子ドットの発光色を黄色から緑色へと連続的に変えることができた。結晶内部に多くの結晶欠陥を有する量子ドットであるにも関わらず、強いバンド端発光が得られることは、非常に重要な知見である。これにより新たな合成戦略が発案され、近赤外～可視光波長領域の様々な光学特性をもつ低毒性量子ドットの合成が可能となり、新規光機能開発の研究が加速している。

この成果^(3,4)は Reiss らの総説に引用され⁽²⁾，“it could seem completely hopeless to expect being able one day to drastically reduce the PL line width of multinary chalcopyrite-type nanocrystals by chemical means. However, a recent work of Uematsu, Torimoto and coworkers opens up new perspectives for this field.” と紹介された（やはり、hopeless と思われていたようでした）

参考文献：

- (1) Torimoto, T.; Kameyama, T.; Kuwabata, S. *J. Phys. Chem. Lett.*, 2014, 5, 336-347.
- (2) Moodely, D.; Kowalik, P.; Bujak, P.; Pron, A.; Reiss, P. *J. Mater. Chem. C*, 2019, 7, 11665-11709.
- (3) Uematsu, T.; Wajima, K.; Sharma, D. K.; Hirata, S.; Yamamoto, T.; Kameyama, T.; Vacha, M.; Torimoto, T.; Kuwabata, S. *NPG Asia Mater.*, 2018, 10, 713-726.
- (4) Kameyama, T.; Kishi, M.; Miyamae, C.; Sharma, D. K.; Hirata, S.; Yamamoto, T.; Uematsu, T.; Vach, M.; Kuwabata, S.; Torimoto, T. *ACS Applied. Mater. Interfaces*, 2018, 10, 42844-42855.

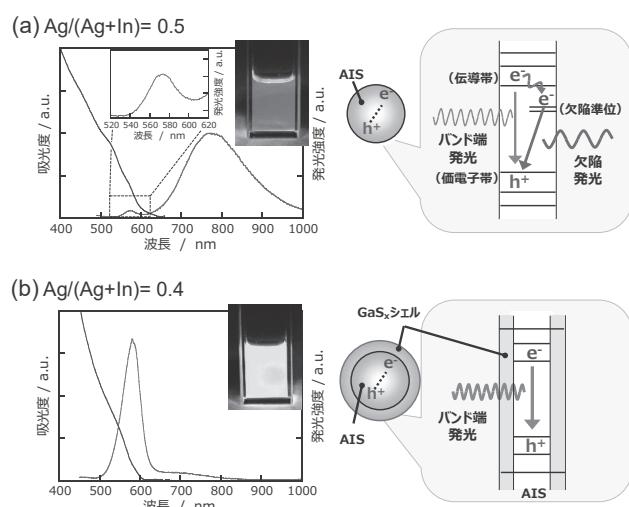


図 1 AgInS₂ 量子ドットの吸収・発光スペクトル、溶液の発光写真、およびその発光メカニズム。
(a) 化学量論組成 AgInS₂ 量子ドット、および
(b) コア・シェル構造 AgInS₂@GaS_x 量子ドット。

研究紹介（3）

有機導電体結晶中の分子構造変形に基づく導電性の可逆的変化・誘導

理学研究科 物質物理学専攻 松下 未知雄、殿内 大輝

分子は機能性を示す物質の最小単位であり、分子結晶ではその分子が数 Å から数 nm の単位で精緻に 3 次元的に配列している。現在では単一分子の導電特性を高い信頼性で計測できるようになっているが、このような集合体中の個別の分子へのアクセスや操作を行う手法は確立されておらず、分子を独立な機能単位とする分子集積回路の実現には長い道程がある。ここでは、そのような取り組みの一端を紹介したい。

2 つの TTF 骨格が互いに直交するように 4 本のアルキル鎖で固定された交差シクロファン型ドナー **TBC3** のイオンラジカル塩 **TBC3·Br(TCE)₂**においては、室温付近ではともに平面的な 2 つの TTF 骨格の一方が 170 K 以下で大きく屈曲することで結晶格子が正方晶系（高温相）から单斜晶系（低温相）へと変化し、それに伴い抵抗値が約 10 分の 1 に変化する^{1,2}。高温相で等価であった直交する軸方向（a, b 軸）が、分子の変形に伴って低温相では非等価となるが、もともと高温相では等価なため分子の屈曲方向は必ずしも固定されず、結果的に結晶内で屈曲方向が異なるドメインがナノレベルで混在するモザイク状態となる。この状態は X 線結晶構造解析からも読み取ることができ、最も揃った場合でも約 3 割が分子の屈曲方向が 90° 異なるドメインとなる。そこで、この結晶に電流を印加することで、低温相の軸方向を誘導・相互変換とともに、これらの軸方向の抵抗値を可逆的に制御することを試みた。

試料となるイオンラジカル結晶 **TBC3·Br(TCE)₂** は、**TBC3** を定電流条件で陽極酸化することにより調製し、得られた両四角錐型の結晶を長軸方向に対して垂直に劈開し、四角板状の試料の四隅にそれぞれ金線を金ペーストで取り付けた（図 1b）。この試料をクライオオスタット（QDJ PPMS）に導入し、2ch ソースメータ（Advantest R6245）を用い、相転移温度以下の温度で 2 組の対角方向にそれぞれ電流印加・抵抗測定を交互に行った。その結果、電流を流した方向に抵抗が低下し、他方の抵抗が上昇する挙動が繰り返し見られた（図 1c）。また、一方にのみ一定電流を印加し続けた場合にはそれ以上の顕著な抵抗変化は見られなかった。低温相への変化においては、一方の結晶軸方向の分子間が接近し、伝導経路が形成されて低抵抗化する一方、他方は高温相と同程度の抵抗を保持すると考えられ、これは分子間の移動積分の計算結果からも支持される。電流印加を行った場合、高抵抗な領域により大きな電圧が掛かるために構造変化に必要なエネルギー（温度上昇）が獲得される一方、一旦低抵抗となった領域ではこのような変化が起こらなくなるため、次第に電流印加方向が低抵抗な構造に偏るものと考えられる。

この物質は 1 つの結晶ではあるが、外部から印加される電流を通じて結晶内の分子やドメインが個別に構造変化することでこの現象が生じており、ある種の分子集積回路のモデルと見なし得る。現在はマクロスケールの 1 個の結晶を用いているものの、原理的には結晶内部でひずみ方向が異なるドメインの単位で生じている現象であるため、これらのドメインのサイズまで電極を小さくすることで、より物性変化が鋭敏になるとともに、複数の情報の読み書きや、経路間の相互作用の検出が可能になり、「分子集積回路」としての機能がさらに明確になると期待される。

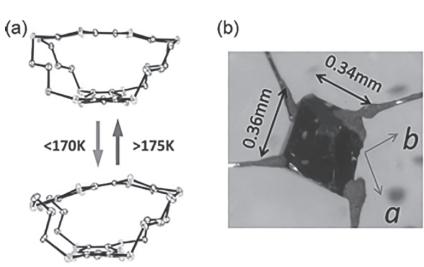


図 1. **TBC3·Br(TCE)₂** の構造相転移と、低温相における交互スイッチング現象

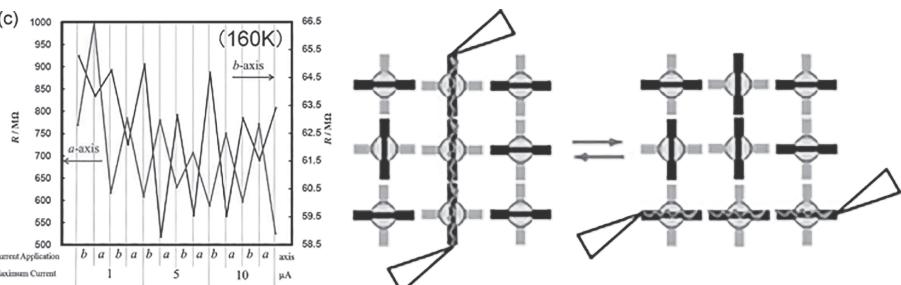


図 2. 電流印加による結晶内の低抵抗方向変化の模式図

【参考文献】

- [1] J. Tanabe, G. Ono, A. Izuoka, T. Sugawara, et al, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **296**, 61-76 (1997)
- [2] Michio M. Matsushita, Tadashi Sugawara, *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 12450-12451 (2005)

第23回ベンチャー・ビジネス・ラボラトリーシンポジウム開催報告

ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー（VBL）では、11月6日（水）、7日（木）の両日、VBL フロンティアプラザにおいて、第23回 VBL シンポジウム「原子層材料：新材料・新物性の探索と応用の可能性」（共催：日比科学技術振興財団）を開催しました。

初日は、招待講演として斎藤 理一郎 東北大学大学院理学研究科教授による「原子層材料における円偏光発光」、長沢 晃輔 東京大学大学院工学系研究科准教授による「二次元層状 SnS の圧電・強誘電特性」、丸山 茂夫 東京大学大学院工学系研究科教授による「原子層材料ナノチューブ」と題した講演が行われました。斎藤氏は、原子層材料に関する非常に丁寧な導入から、新学術領域研究により花開いた昨今の研究状況までをわかりやすく説明してくださいり、極めてユニークな光機能である円偏光発光に関する最新の研究成果も紹介されました。また、長沢氏は、原子層材料が秘める圧電・強誘電材料としての魅力から、SnS に関する最新の研究成果を紹介されました。丸山氏は、原子層材料を筒状に丸めた構造に相当するナノチューブに関して、炭素材料だけでなく絶縁体である hBN や半導体である遷移金属ダイカルコゲナイトなど様々な材料を用いたナノチューブの合成やそれらのヘテロ構造の作製に関して紹介されました。

2日目は、招待講演として町田 友樹 東京大学生産技術研究所教授による「ヘテロ積層原子層材料の物性物理」と題した講演が行われました。町田氏は、原子層材料における様々な量子伝導に関する研究紹介に加えて、ロボットや AI を用いた原子層材料の選定・ヘテロ構造の作製および高分子ドームを用いた原子層材料の操作についてご紹介いただきました。

上記招待講演者による講演の他、学内の教員 4名による最新の研究成果も報告され、当シンポジウムを VBL が担当する最先端理工学特論の一環として聴講した学生も含めた多数の参加者による活発な質疑応答が行われました。



写真：講演する先生方

2019年度第2回VBLセミナー報告

報告者：工学研究科 物質プロセス工学専攻 高見 誠一

VBL 外国人研究員(名古屋大学客員准教授)として招へいした Universidad Autónoma de Nuevo León(メキシコ)の Saida Mayela García Montes 准教授により、「Surface Modified Hafnium Oxide Nanoparticles with Organic Acids Synthesized in Supercritical Water」と題した標記セミナーが、2019年6月4日10時30分から12時まで VBL3 階ミーティングルームにて開催されました。

Montes 客員准教授らは、クエン酸などカルボキシル基を有する様々な有機分子を合成場に共存させることで、これら有機分子を表面に結合した酸化ハフニウムナノ結晶の超臨界水熱合成に関して研究を進めています。本セミナーでは、合成したナノ結晶の大きさ、形状が有機分子によりどのように異なるかを示すとともに、有機分子が表面に結合するメカニズムや、ナノ結晶の溶媒中分散が有機分子の結合によりどのように影響を受けるなど、幅広く講演を頂きました。20名あまりの参加者があり、講演終了後には活発な議論が展開され、様々な応用における酸化物ナノ粒子のへ活用につながる有意義なセミナーとなりました。



2019年度第3回VBLセミナー報告

報告者：大野 雄高（未来材料・システム研究所 未来エレクトロニクス集積センター）

Nguyen Xuan Viet 先生(VNU University of Science, Hanoi, Vietnam)のセミナーが2019年7月19日(金)15時00分から16時30分までC-TECs ナレッジコモンズで開催された。Viet 先生はVBL 招聘外国人研究員(客員准教授)として7月1日から9月30日まで滞在し、ナノカーボン材料のバイオセンシング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、「Nanomaterials in biosensors application」というタイトルで、バイオセンシングの基礎とナノ材料を用いたバイオセンサに関する講演が行われた。はじめに、バイオセンシングプラットフォームの実現においては、特にユーザーフレンドリーであることも考慮する必要があり、ポイントオブケアへの応用の場合、低コストで大規模に導入できる必要がある。これらの点において、電気化学的方法は、その単純さ、高感度、および特異性のため、非常に魅力的であることが紹介された。

Viet 先生の研究はバイオセンシングにおけるナノ材料の有用性を実証することに主眼が置かれていた。高感度で安定性のあるナノ材料を用いたバイオセンサーは、疾患に関連するバイオマーカーの早期検出や診断のための新しいアプローチを実現する可能性があることが紹介された。特に、カーボンナノチューブ薄膜を用いた柔軟性のある電気化学的バイオセンサにおいては、人体との適合性・コスト・高感度性を同時に有することが示され、今後の展開が期待されるものであった。本セミナーにおいては、教員と学生計15名余が参加し、活発な議論が行われた。



2019年度第4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、Mihail-Dumitru Barboiu 教授 (フランス国立科学研究中心, フランス) によるセミナーが10月4日 (金) 午後4時から5時半まで工学研究科1号館10階1101講義室にて開催されました。

Barboiu 先生は、モンペリエ大学で博士号を取得後、Jean-Marie Lehn 教授 (1987年ノーベル化学賞) の研究室で助教として従事され、現在は超分子化学的アプローチによる人工イオン・アクアチャネルの創製と応用の研究で世界的をリードしておられます。本講演では「Artificial Water Channels」というタイトルで、バイオミメティックスの観点から生体膜中の水チャネルに匹敵する超分子集合体を人工的に作製する方法や、その機能に関する興味深い知見についてご発表頂きました。当日は、23名の学生及び教員の方々にお集りいただき、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。



研究員紹介



My name is Wei Zheng, coming from China. I received my Ph.D. degree in Organic Chemistry from the department of chemistry in East China Normal University in 2019. At present, I work as a postdoctoral researcher of Venture Business Laboratory (VBL) in Nagoya University, collaborating with the research group of Prof. Eiji Yashima. Currently, my research focuses on construction of one-handed helical ladder polymer for chiral separation and as circularly polarized luminescence materials.

Wei Zheng

3. VBLの研究活動

(VBL Research Activity)

3.1 研究成果の概要

(Extended Abstracts of Research Products)

2019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-金属スパッタリング法による新規化合物ナノ粒子の作製と評価	秋吉一孝	応用物質化学
7	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
8	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
9	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・物質力学
10	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
11	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
12	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
13	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
14	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
15	触媒上の反応中間体の推定	山田博史	化学システム工学
16	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・物質力学
17	超高压下で合成された新規無機物質の構造快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

大野雄高（教授）、岸本茂（助教）、廣谷潤（助教）、松永正広（助教）、

Adha Sukma Aji（研究員）Tan Fu-Wen（D3）、内山晴貴（D2）、鹿嶋大雅（D1）、安藤優月（M2）、大崎朗（M2）、嶋崎悠斗（M2）、石丸紗椰（M1）、西尾祐哉（M1）、水野遼（M1）

ナノカーボン材料の特徴を活かした新規エレクトロニクスの創出に取り組んでいる。柔軟性をもつウェアラブルエレクトロニクスの実現を目指したカーボンナノチューブ(CNT)デバイスについては、センサシステムに必須のアナログ集積回路基盤技術の構築、素子の信頼性向上のための保護膜の検討、伸縮可能な低電圧動作 CNT 集積回路の実証、摩擦帶電や流体に基づくフレキシブルなエネルギーハーベスターの実証・高出力化を進めた。また、汎用的な量子計算を実現すると期待されるダイヤモンド中の窒素一空孔中心 (NV センター) について、そのスピニ状態の電気的制御を実現するための基礎技術の構築も進め、極浅 NV センターの形成技術と電荷制御技術、単一 CNT との集積技術を確立した。

フレキシブル CNT アナログ集積回路については、単一極性デバイスを用いた作動增幅回路や演算增幅回路について、高性能（高利得、広帯域）と低消費電力性を併せ持つ新規回路を提案するとともに、その有効性をプラスチックフィルム上に回路を作製・評価することにより実証した。演算增幅回路の高利得性を利用して帰還回路も実現できることを確認した。帰還增幅回路を構築することにより、増幅器の長期安定性が確保可能であることを実証し、CNT デバイスでしばしば問題となる安定性について解決の糸口を得た。CNT 演算增幅回路の実証は世界初の成果である。

個々の CNT 薄膜トランジスタ(TFT)の安定性の向上についても取り組んだ。ガスバリア性に優れ、室温成膜が可能なパリレン C を用いて CNT TFT の保護膜を形成し、伝達特性におけるヒステリシスの抑制を試みた。Si 基板上に作成した CNT TFT を用いてポストベーキングの条件を検討し、250~300°Cにおいてヒステリシスの抑制が可能であった。なお、ポストベーキングにより、ヒステリシス幅のゲート電界強度依存性に変化が見られ、環境分子由来のヒステリシスが抑制され、酸化膜中のトラップに起因するヒステリシスが観測されるようになったと考えられる。優れた耐熱性を有するポリイミドフィルムを導入することにより、ヒステリシスフリーのフレキシブル CNT TFT を実現した。

電子デバイスを人体や臓器に接着するためには 25%程度の伸縮性が求められる。伸縮可能な PDMS フィルムに加え、CNT TFT のチャネルに導入される歪みを抑制するための局所歪制御層を提案し、その有効性を実証した。局所歪み制御層の導入により、歪みに対する素子特性の安定性を得たのみならず、high-k 絶縁膜を用いることが可能となり、低電圧動作可能な伸縮する集積回路を初めて実現した。

ウェアラブルセンサの電源として期待されるエネルギーハーベスティング技術について、CNT薄膜を用いた伸縮可能な摩擦帶電シートの開発を進め、表面処理による帶電制御技術を新たに提案し、接地電極が不要な摩擦帶電デバイスを実現した。また、原子層材料を用いて雨滴等の流体から発電するエネルギーハーベスティング技術について、大面積かつ高品質な単層MoS₂をプラスチックフィルム上に形成する技術を開発し、それを用いて 1 滴の食塩水を滴下することにより、5 V以上の高い起電力が得られることを実証した。

ダイヤモンド中の NV センターとそのスピニ状態を電気的に制御するための極細配線とを集積するための技術として、極浅 NV センターの形成と NV センターと CNT 配線との自己整合的集積プロセスの開発を進めた。極浅 NV センターの形成については、イオン注入技術を用いて注入種や注入条件、ポストアニール条件に加え、表面終端技術についても検討し、量子演算に必要な負に帶電した NV センターを深さ 40 nm 程度の位置に実現した。また、極細の CNT 配線を NV センター近傍に設置するための自己整合プロセスを考案・実証した。

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

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）、犬飼大樹（M2）

当グループでは、共役系高分子・分子性導体などの有機電子材料やグラフェン・カーボンナノチューブなどのナノカーボンの新しい光・電子応答現象の探索を行っている。それらの研究の一部について概要を紹介する

（1）イオン液体ドーピングによる π 電子系物質の電子状態制御

有機分子系、ナノカーボン材料などの π 電子系物質においては、様々なドーピング手法による電子状態の制御が注目され、種々の実験手法により研究がなされている。当研究室ではイオン液体を用いたドーピング光学セルを作製し、様々な π 電子系材料のドーピングの制御とその電子状態の光学応答について研究を進めている。ITO(Indium Tin Oxide)などの透明電極により構成したプラナー型のセルを用いると、薄膜試料を空間的に広い範囲にわたりドーピングし、光学的な観察を行うことが可能である。実際に、ITO/SiO₂基板上の単層グラフェンをイオン液体によりドーピングし、ラマン散乱分光やフェムト秒レーザーを用いた発光測定を行っている。単層グラフェンの場合は外部電圧により数100meVにも及ぶフェルミエネルギーの制御が容易に行える。また広い面積を持つプラナー型の試料である利点を生かし、種々の分光法を適用し広いエネルギー領域にわたる電子状態の制御の可能性を調べている。さらに本手法による光機能性の制御を実現するために、基礎的な光学応答以外にも非線形光学応答、レーザー分光法により観測される種々の光学応答についても検討を進めている。

（2）分子性導体の新しい電子状態の探索

複数種の有機分子からなる有機電荷移動錯体には、分子が二量体を形成するものがある。特に我々は二量体内部における電荷の位置の自由度に起因した特異な電子状態について興味を持っている。このような分子ごとの電子状態を明らかにする方法として、赤外分光法やラマン散乱分光法などがある。赤外の反射スペクトルやラマン散乱スペクトルには分子の価数に敏感なピーク構造が観測される。これらを指標として特異な電子状態の解明と外場による制御の可能性について研究を進めている。当グループでは低温測定用のクライオスタッフと顕微鏡を用いた分光装置を用いて光学スペクトルの温度変化を詳細に調べている。例えば、温度に対して抵抗が特異なヒステリシスを示す物質の光学スペクトルの温度依存性について測定を行った。それらを詳細に解析した結果、各二量体における価数とそれらの空間分布が冷却過程によって異なることを明らかにした[1]。また、有機電荷移動錯体は圧力によって多彩な電子状態を発現することが知られている。最近、当グループでは圧力印加による有機電荷移動錯体の電子状態の制御と観測について研究を行っている。圧力印加にはダイヤモンドアンビルセルを用いている。現在はクライオスタッフを用いて低温圧力下の分光測定について準備を進めている。

[1] Kazushi Mizukoshi, Hiroshi Ito, Yuto Nakamura, Hiromi Hayama, Yukihiro Yoshida, Gunzi Saito, and Hideo Kishida, Charge Disproportionation and Its Cooling-Rate Dependence in κ -(BEDT-TTF)₂CF₃SO₃, Journal of the Physical Society of Japan **89**, 024710-1–024710-11 (2020).

近赤外発光を示すAg(In,Ga)Se₂量子ドットの合成と生体イメージングへの応用 Near-Infrared Photoluminescence of Ag(In, Ga)Se₂ Quantum Dots for *In Vivo* Imaging

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

【はじめに】 I-III-VI₂族半導体ナノ粒子(量子ドット)は、比較的低毒性な元素から構成され高い収率で発光することから、CdSeやPbSなど高毒性な半導体ナノ粒子の代替材料として期待されている。しかしこれらは粒子中に欠陥が多数存在し、その発光ピークの多くはブロードである。一方ごく最近、私たちは、粒子合成条件を最適化することによって、AgInS₂およびAgInTe₂ナノ粒子でバンド端発光させることに成功し、それぞれ 600 および 900 nmで鋭い発光ピークを発現させた^(1,2)。しかし、低毒性ナノ粒子のバンド端発光を、高い量子収率で広範囲に波長制御することは、未だ達成されていなかった。本研究では、近赤外光領域にEgをもつAgInSe₂ナノ粒子を対象とし、その非化学量論組成(Ag/In)制御とGa³⁺ドーピングによって可視光～近赤外光波長領域での発光波長制御を行い、生体イメージング材料としての可能性を評価した⁽³⁾。

【実験】 前駆体金属塩とセレノウレアを、1-ドデカンチオール／オレイルアミン混合溶媒中で 150 °Cで 10 分、250 °Cで 10 分間加熱し、異なるAg/In比を持つAgInSe₂ナノ粒子を得た。さらにIn源の一部をGa源に置き換え、二段階加熱することで異なるIn/(In+Ga) (= y) 比をもつAg(In,Ga)Se₂固溶体ナノ粒子を作製した。最後にこれらのナノ粒子表面上にGa₂S₃シェルを形成させ、発光特性の向上を行った。

【結果】 前駆体仕込みAg/In = 0.67 のナノ粒子は 820 nmにシャープなバンド端発光のみを示した。これは、アンチサイトに存在するAg⁺が過剰なIn³⁺で除去され、Ag⁺欠陥準位の生成が抑制されたためである。さらにGa³⁺をドープすると、得られたAg(In,Ga)Se₂ナノ粒子のEgが増大して発光波長が短波長シフトした。また、粒子表面にGa₂S₃シェルを被覆すると、粒子表面欠陥サイトが除去されて、発光量子収率が増大した。図 1 は、Ag(In,Ga)Se₂@Ga₂S₃コアシェルナノ粒子の発光スペクトルである。粒子中のGa³⁺含有量が増大すると、バンド端発光ピークが 890 から 630 nmへと短波長シフトした。図 2 は、得られたコアシェルナノ粒子のHAADF-STEM像である。面間隔から、AgInGaSe (y=0.75) 固溶体ナノ粒子がほぼ仕込み組成通りの固溶体であることが確認された。また、粒子表面にはGaとSを多く含む非晶質なシェル層が形成されていた。

生体イメージング材料への可能性を探るために、生体をよく透過する光波長領域に発光ピークをもつAg(In,Ga)Se₂@Ga₂S₃ナノ粒子(発光波長: 800 nm)をミセル化し、その少量の溶液をマウスの皮下に導入した。体外からでもナノ粒子の発光が十分に強い強度で確認できた。さらに、その発光強度は皮下のナノ粒子量にほぼ比例して増大し、生体イメージング可能であることがわかった。

以上のように、AgInSe₂ナノ粒子のAg/In比を最適化することで、鋭いバンド端発光を示す低毒性ナノ粒子が作製できた。さらにGa³⁺ドーピングしてEgを変調することで、ナノ粒子の発光波長を 600～900 nmの領域で自在に制御することができた。得られた低毒性Ag(In,Ga)Se₂ナノ粒子は、LEDの赤色発光体や生体イメージング剤としての応用が期待される。

【参考文献】 (1) T. Kameyama, et al., *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2018**, *10*, 42844-42855. (2) T. Kameyama et al., *J. Mater. Chem. C.*, **2018**, *6*, 2034-2042. (3) T. Kameyama, et al., *ACS Appl. Nano Mater.*, **2020**, *3*, 3275-3287.

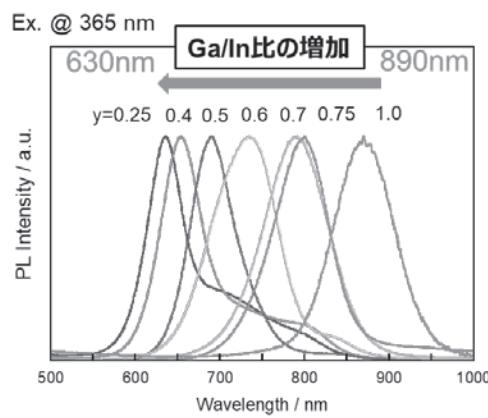


図 1 Ag(In,Ga)Se₂@Ga₂S₃ ナノ粒子の組成に依存した発光スペクトル。

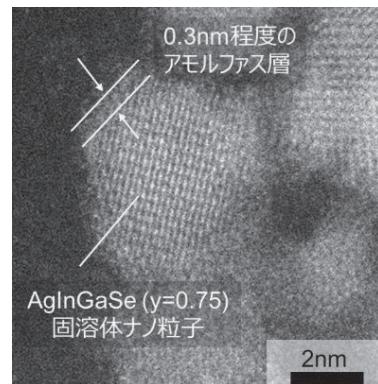


図 2 Ag(In,Ga)Se₂@Ga₂S₃ ナノ粒子(y=0.75) の HAADF-STEM 像。

Covalent Organic Framework Derived Materials for Electrical Energy Storage

理学研究科 物質理学専攻

阿波賀 邦夫 教授

松下 未知雄 准教授

Zhang Zhongyue 助授

Wu Yang 博士研究員

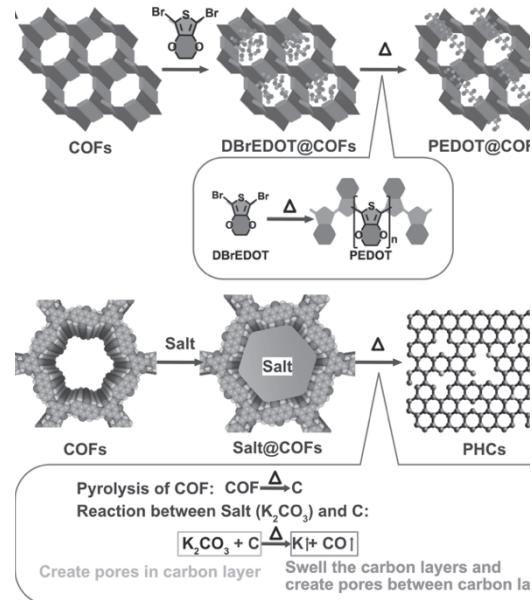
Yan Dongwan 博士後期課程(D3)

近藤 大雅 博士前期課程(M1)

Covalent organic frameworks (COFs) are a class of highly designable and functionalizable crystalline porous organic materials, which are composed of light-weight elements by strong covalent bonds. COFs can be obtained smoothly through a template-free chemical process by selection of proper building blocks and polymerization reactions, which show efficient preparation and high flexibility in the molecular design. Because of these properties, COFs are excellent electrode materials for electrochemical energy storage devices. Nevertheless, the insulating nature of the COFs has limited their electrochemical performance. To address this issue, two approaches have been developed to increasing the electrical conductivity of COF derived electrode materials (**Figure 1**).

One approach is to enhance the electron transfer by preparing conductive COF nanocomposites. The conductive poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) was introduced into the nanochannels of redox active AQ-COF in powder form by the *in situ* solid-state polymerization (SSP) method. The PEDOT chains functioned like electron highways within the nanochannels, resulting in a PEDOT@AQ-COF nanocomposite with an excellent electrical conductivity of 1.1 S cm^{-1} and a remarkably improved performance in faradaic energy storage. The all-organic PEDOT@AQ-COF electrode showed specific capacitance as high as 1663 F g^{-1} (at 1 A g^{-1}), ultrafast charge/discharge rate performance (998 F g^{-1} at 500 A g^{-1}), and excellent stability for 10000 cycles. This research demonstrates a promising strategy for increasing the conductivity of COF-based materials and broadening their applications.

Another approach is to pyrolyze COFs into porous heteroatom-doped carbons (PHCs). PHCs have been regarded as a class of promising electrode materials for supercapacitors because of their unique porous, electronic and chemical properties. COFs have been investigated as the precursors for PHCs due to their open porous structures and heteroatom-containing framework. However, direct pyrolysis of COFs usually leads to the partial collapse of the pores and dramatically decreases the porosity of the resulting carbons by comparison with that of the precursor COFs. In this research, two oxygen and nitrogen co-doped PHCs (denoted as ONC-T1s) are prepared via a salt-assisted pyrolysis method using covalent organic frameworks (COFs) as the precursor. ONC-T1s show a hierarchical porous structure with an ultra-high specific surface area (up to $3451 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$). The ONC-T1-850-based supercapacitor exhibits a high specific capacitance of 1711 F g^{-1} at 1 A g^{-1} , an ultra-fast charge-discharge rate up to 500 A g^{-1} with a specific capacitance of 856 F g^{-1} , and excellent stability. This work establishes a promising strategy for preparation of PHCs using COFs or other porous organic polymers as precursors and demonstrates the great potential of PHC-based supercapacitors.



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

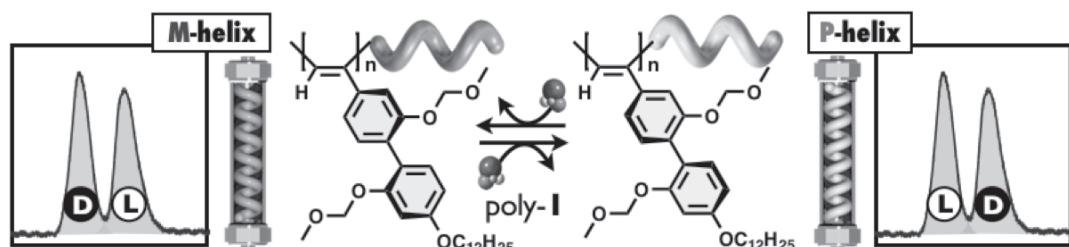
Studies on helicity control of polymers and supramolecules and their functions

工学研究科 有機・高分子化学専攻

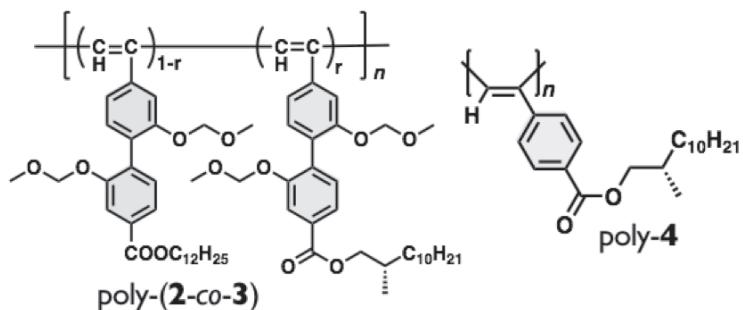
八島栄次（教授）、井改知幸（准教授）、田浦大輔（助教）、鈴木望（特任助教）

ポリ(ビフェニルイルアセチレン)誘導体への不斉増幅を伴うらせん構造の誘起・反転と記憶

側鎖に様々な官能基を有するポリフェニルアセチレン誘導体に望みの向きのらせんを光学活性体との非共有結合相互作用を介して後から自在に誘起し、光学活性体を完全に取り除き、アキラルな化合物で置換後も誘起したらせん構造が「記憶」できることを見出している。この発見を契機に、「らせん誘起と記憶」が汎用性のプラスチック（PMMA）や二重ラセンを含む他の多くの物質群へ適用可能な普遍的な概念であることを一連の研究を通して実証してきた。最近、側鎖にビフェニル基を有する poly-1 へのらせん誘起と記憶が固体状態でも可能であり、らせん構造の記憶にアキラルな化合物の介添えを必要とせず、一旦誘起されたらせん構造がキラル化合物を完全に除いても保持できることを見出した。この特長を利用して、光学異性体の溶出順序を自在にスイッチ可能な高速液体クロマトグラフィー（HPLC）用のキラル固定相の開発に初めて成功した。



本研究では、poly-1 への一方向巻きらせん構造の誘起と記憶の機構に関する知見を得るために、側鎖にキラル（2）あるいはアキラル（3）なエステル基を有する類似のポリアセチレンからなる共重合体を合成したところ、不斉中心が主鎖から遠く離れたキラルモノマーの含有率が 20% ($r=0.2$) であるにも関わらず、著しい正の非線形効果、すなわち不斉増幅能を示すことを見出した。同様のキラルな側鎖を有するポリフェニルアセチレン（poly-((S)-4)）では円二色性（CD）を全く示さなかったことから、ビフェニル基の軸性キラリティが不斉増幅に大きな影響を及ぼしていることが明らかになった。さらに、これらの共重合体に対して絶対配置の異なる光学活性アルコールを添加したところ、らせんの片寄りのさらなる増幅と巻き方向の反転と記憶が可能であることも見出した。本研究結果は、これまでの動的らせん高分子の不斉増幅の常識を覆す成果である。



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）、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。とくに、ビニル化合物のラジカル重合やカチオン重合において、ポリマーの分子量、立体構造、モノマー配列など高分子の一次構造制御を可能とする精密高分子合成技術を確立し、機能や性能に優れた高分子材料の開発へと発展させることを目的としている。

本年度の成果のうちのいくつかを下記に述べる。

(1) ドミノ型連鎖生長反応に基づく植物由来サビネンの1:2ラジカル共重合

植物の精油から得られるサビネンは、エキソメチレン基を有する5員環に、3員環が縮環した構造をもつ脂環式モノテルペンである。本研究では、サビネンをアクリル酸エスエルなどとラジカル共重合すると、1:2の選択的なラジカル共重合が進行することを見出した。この重合は、生長ラジカルがサビネンへのエキソメチレンに付加した後、縮環骨格の開環、アクリルモノマーへの付加、閉環、もう一分子のアクリルモノマーへの付加を繰り返すドミノ型連鎖生長反応で進行することが明らかとなった。また、主鎖に剛直な縮環構造が形成され、高いガラス転移温度を有するポリマーが得られた。

(2) 1,5-シフトを伴うラジカル異性化重合による配列制御ビニルポリマーの合成

ラジカル反応では、6員環遷移状態を経てラジカルが転位する1,5-シフトが知られている。本研究では、モノマーを設計し、1,5-シフトを経るラジカル異性化重合を選択的に起こすことで、配列が制御されたビニルポリマーを合成することを目的とした。とくに、スチレンや α -メチルスチレンなどのビニルモノマーを原料とし、原子移動ラジカル付加反応とアリル化により、ビニル基とスチレン誘導体とアクリル型の構造の3ユニットが連結したモノマーを合成しラジカル重合することで、選択的な1,5-シフトを伴うラジカル異性化重合による配列制御ビニルポリマーの合成が可能となった。

(3) 種々の桂皮酸誘導体の制御ラジカル共重合による新規バイオベースポリマーの合成

桂皮酸は、天然から豊富に得られる1,2-二置換ビニル化合物であり、さらにリグニン生合成過程において、クマル酸やカフェ酸など芳香環上にフェノール性水酸基を有する一連の化合物へ誘導化される。本研究では、これら官能基を有する桂皮酸誘導体を、アクリル酸エステルやスチレンとのラジカル共重合を行うことで、新規バイオベースポリマーの合成を検討した。RAFT共重合により分子量と官能基導入の制御が可能であり、生成ポリマーは剛直な骨格とカテコールなどのフェノール性水酸基の水素結合により高いガラス転移温度を示し、機能性バイオベースポリマーとしての可能性が示された。

(4) 植物由来フルフラールを原料とした新規バイオベースビニルポリマーの開発

ヘミセルロースから誘導されるキシロースの脱水反応により得られるフルフラールは、豊富で安価な非可食性のバイオマス資源として近年注目を集めている。本研究では、植物由来フルフラールを化学反応により、重合可能な種々のビニルモノマーへと変換し、適切な重合法により新規バイオベースポリマーを創出することを目的とした。とくに、フルフラールの水添で得られるテトラヒドロフルフリルアルコールの形式的な脱水反応により合成される exo -メチレン型環状ビニルエーテルは、高いカチオン重合性を示すと共に、有機酸のみによるリビングカチオン重合が可能となった。

(5) 可逆的連鎖移動機構に基づくベンゾフランの不斉リビングカチオン重合

非対称環状ビニル化合物であるベンゾフランは、ルイス酸にキラル添加剤を組み合わせた開始剤系を用いることで、光学活性ポリマーが生成することが報告されている。本研究では、このベンゾフランの不斉カチオン重合に可逆的な連鎖移動機構を組み込むことで、主鎖の不斉と分子量が同時に制御可能な不斉リビングカチオン重合系の開発を行った。とくに、 β -フェニルアラニンのアミノ基に嵩高い置換基を導入したキラル化合物と塩化アルミニウムを組み合わせ、適切なチオエーテルを連鎖移動剤として用いることで、旋光度が高く分子量の制御されたポリマーが得られることがわかった。

水素透過合金の電子状態の解析

Analysis of Electronic Structures of Hydrogen Permeable Alloys

工学研究科 材料デザイン工学専攻
湯川宏(助教)

1. 背景

B2 構造を有する Pd-53mol%Cu 合金の室温における水素透過能が時間と共に緩やかに低下し、約 4 日間で定常に達する特異な現象を見出した。水素溶解度の測定結果を用いて解析した結果、低温における特異な変化は主に水素の拡散性の低下に起因していることが示唆された。

Pd-Cu 合金は 53mol%Cu で B2 単相となり、理想的な Pd : Cu=1 : 1 (Fig.1(a)) よりも Cu を過剰に含んである。陽電子寿命測定の結果、過剰 Cu は Fig.1(b) に示すように、Pd 副格子を占有していることが明らかになった。

本研究では、過剰 Cu 原子が水素の溶解と拡散に及ぼす影響を調べる事を目的に電子状態の第 1 原理計算を行った。

2. 実験および計算方法

計算には、密度汎関数理論(DFT)に基づく平面波基底擬ポテンシャル法(プログラムコード: CASTEP)を用いた。擬ポテンシャルとしては Vanderbilt の ultrasoft 型のものを用い、また交換相関汎関数は GGA-PBE を用いた。

計算に用いたスーパーセルの模式図を Fig. 2(a)~(d) に示す。(a)と(b)は置換 Cu の位置が異なるが本質的に同じモデルである。水素の安定性に及ぼす過剰 Cu の影響を調べるために、Pd 副格子に置換した Cu の第 1 近接の T サイト (Fig.2(c)) と、最も遠くの T サイト (Fig.2(d)) にそれぞれ水素原子を 1 個挿入した。このとき、水素濃度(約 0.0185 (H/M))に相当する格子膨張を適用した。各構造について、置換 Cu 近傍の構造緩和計算を行った。構造緩和および全エネルギー計算では最も精度の高い ultra-fine を選択した。カットオフエネルギーを 4400 eV とした。

3. 結果と考察

構造緩和した構造をもとに以下の式に示すトータルエネルギー変化 ΔE を求めた。その結果を表 1 に示す。ただしこのエネルギー変化は絶対零度におけるものである。

$$\Delta E_s = E^{\text{Pd}_{26}\text{Cu}_{28}\text{H}_1} - E^{\text{Pd}_{26}\text{Cu}_{28}} - \frac{1}{2}E^{\text{H}_2} \quad (1)$$

Table 1 では水素溶解のエネルギー変化は正の値を示しているが、これは水素のゼロ点振動エネルギーの補正を行っていないためである。計算より、水素は過剰 Cu から離れた T1 サイトのほうがエネルギー的に安定であることがわかる。すなわち、水素は過剰 Cu の近くの T1 サイトは水素拡散のエネルギー障壁になることが示唆される。このことは、低温で水素拡散性が低い要因の一つと考えられるが、室温の水素透過能が徐々に減少する機構を説明出来ない。

そこで、過剰 Cu が低温で凝集しクラスターを作っている可能性について検討している。現在、Fig.1(a) のモデルを x 軸方向に ×2 に拡張したスーパーセルを構築したモデルを用いて、過剰 Cu 原子の配置を換えながら Cu 同士の相互作用について計算を行っている。

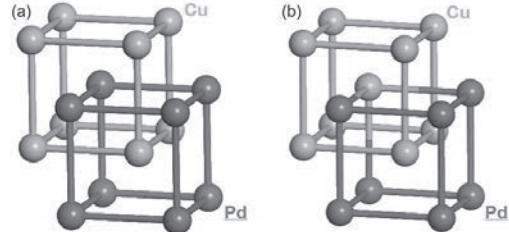


Fig. 1 Sub lattice models for
(a) ideal PdCu, (b) Cu-rich PdCu.

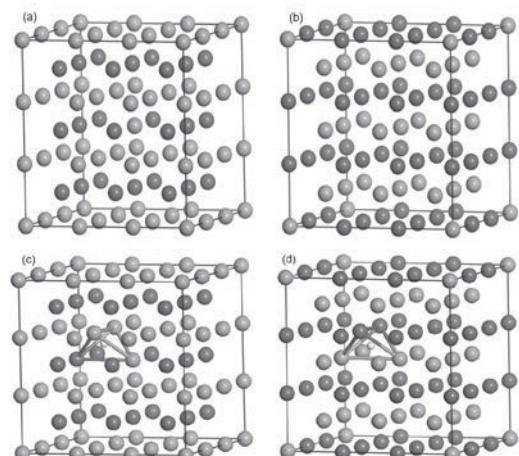


Fig. 2 Supercell models used in this study, (a) Pd₂₆Cu₂₈, (b) Pd₂₆Cu₂₈,
(c) Pd₂₆Cu₂₈H₁, (d) Pd₂₆Cu₂₈H₁

Table 1 Calculation results of total energy and dissolution energy.

	$E^{\text{Pd}_{26}\text{Cu}_{28}}$ (eV)	$E^{\text{Pd}_{26}\text{Cu}_{28}\text{H}_1}$ (eV)	E^{H_2} (eV)	ΔE_s (eV)
Model A	-62118.1705	-62133.6847		0.29
Model B	-62118.1704	-62133.8748	-15.80738815	0.10

第一原理計算による金属イオンのフェロシアン化物への吸着機構解析

First-principles analysis of sorption properties of hexacyanoferrates for metals

工学研究科 エネルギー理工学専攻
渡邊真太(特任助教) 中谷真人(准教授) 尾上順(教授)

原子力発電所から発生する使用済み核燃料や放射性廃棄物は、再処理により、再利用可能なウランおよびプルトニウムを取り除いた後、ガラス固化され地層処分されることになっておる。この高レベル放射性廃液(HLLW)のガラス固化プロセスにおいて、白金族元素である Ru, Rh, Pd は、固化時に溶融炉側壁に沈降することでジュール加熱を阻害し、一方 Mo は、ガラス内でイエローフェーズと呼ばれる低粘性流体を形成する。そのため、洗浄運転等が必要となり、固化体の処理費用およびスペースの増大など、種々の問題が起こっている。

これらの問題を解決するために、我々は、白金および Mo を HLLW から一括回収するシステムを提案している。このシステムでは、シアノ基架橋型配位高分子の一一種であるフェロシアン化物(HCF)を吸着材料として用いているが、システムの高効率化には、白金族および Mo に対して、より高い吸着能を有する HCF の開発が重要である。しかしながら、新規吸着材合成から吸着試験までの一連の実験プロセスによる網羅的な材料探索には時間とコストがかかるため、理論設計による効率的な材料探索が望まれる。本研究では、効率的な材料探索を目指して、フェロシアン化物への金属イオン吸着を支配する物理因子を第一原理計算により抽出・解析し、より高吸着能を有する材料の理論予測を行った。

密度汎関数理論に基づく第一原理計算により、HCF への金属イオン吸着に関与すると考えられるエネルギー物理量である表面吸着エネルギー、拡散障壁エネルギー、置換エネルギー、欠陥生成エンタルピー等を算出した。フェロシアン化物として、Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, CdHCF の 7 種を検討した。得られた各種エネルギー物理量と実験による吸着率との相関関係を調べることにより、吸着を支配する物理因子の抽出・解析を行った。さらに、これらの結果を基に、より高い吸着性能を有する材料の予測・検討を行った。今回の計算は、CASTEP[1]および Quantum-Espresso[2]を用いて行った。その際、交換相関汎関数に一般化勾配近似である PBE[3]を用いた。

我々のこれまでの研究から、白金族および Mo は HCF 表面へ吸着後、HCF 内部を拡散し、(200)面内でトラップされ、HCF 骨格を形成する金属イオンとの置換反応により吸着することが分かっている。これらの素過程において、表面吸着および拡散障壁エネルギーについては、吸着金属種の価数ごとに分類することができ、置換エネルギーについては吸着金属の価数に依存せず、実験吸着率との間に良い線形相関を有することを見出した。また、上記 7 種の HCF の生成エンタルピーおよび骨格内の金属欠陥生成エンタルピーを評価したところ、後者と吸着率との間に良い線形相関が見られた。さらに、より高い吸着率を有するフェロシアン化物について理論計算を行った結果、 Al^{3+} と Fe^{3+} の両イオンを骨格に有する Al/Fe ハイブリッド型の HCF が、白金族および Mo に対してより高い吸着性能を有することが示唆された。図 1 に、AlHCF および Fe^{3+} を骨格内に 25 at% 含有した Al/FeHCF の状態密度図を示す。 Fe^{3+} が骨格の Al^{3+} サイトを部分占有することにより、フェルミエネルギー近傍に Fe^{3+} の 3d 軌道を主成分とする占有および非占有軌道が出現することが分かる。これにより、HLLW 中で錯体を形成している白金族および Mo と吸着材 Al/FeHCF との間で電子授受が容易になり、その結果、白金族および Mo が孤立イオン化し、吸着が促進されると考えられる。

- [1] S. J. Clark et al., Z. Kristallogr. 220 567 (2005)
[2] P. Giannozzi et al., J. Phys.: Condens. Matter 21, 395502 (2009).
[3] J. P. Pedew et al., Phys. Rev. Lett. 77, 3865 (1996).

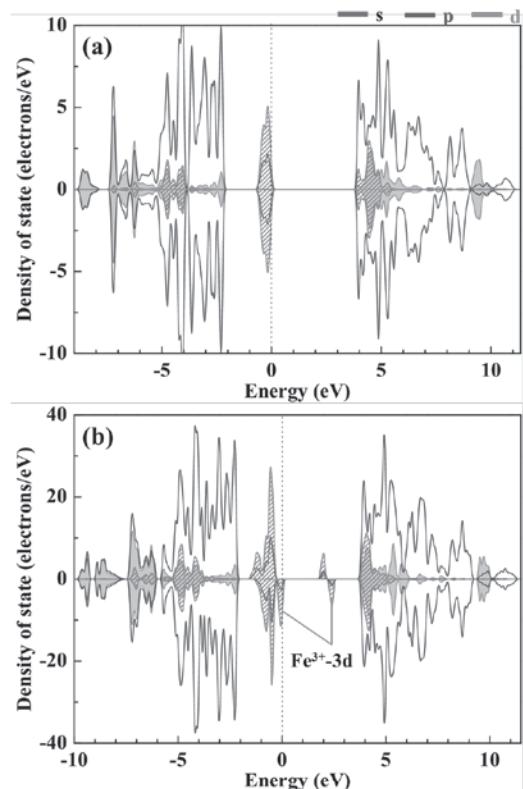


図 1 (a) AlHCF および(b) Al/FeHCF (Fe^{3+} :25 at%) の状態密度図

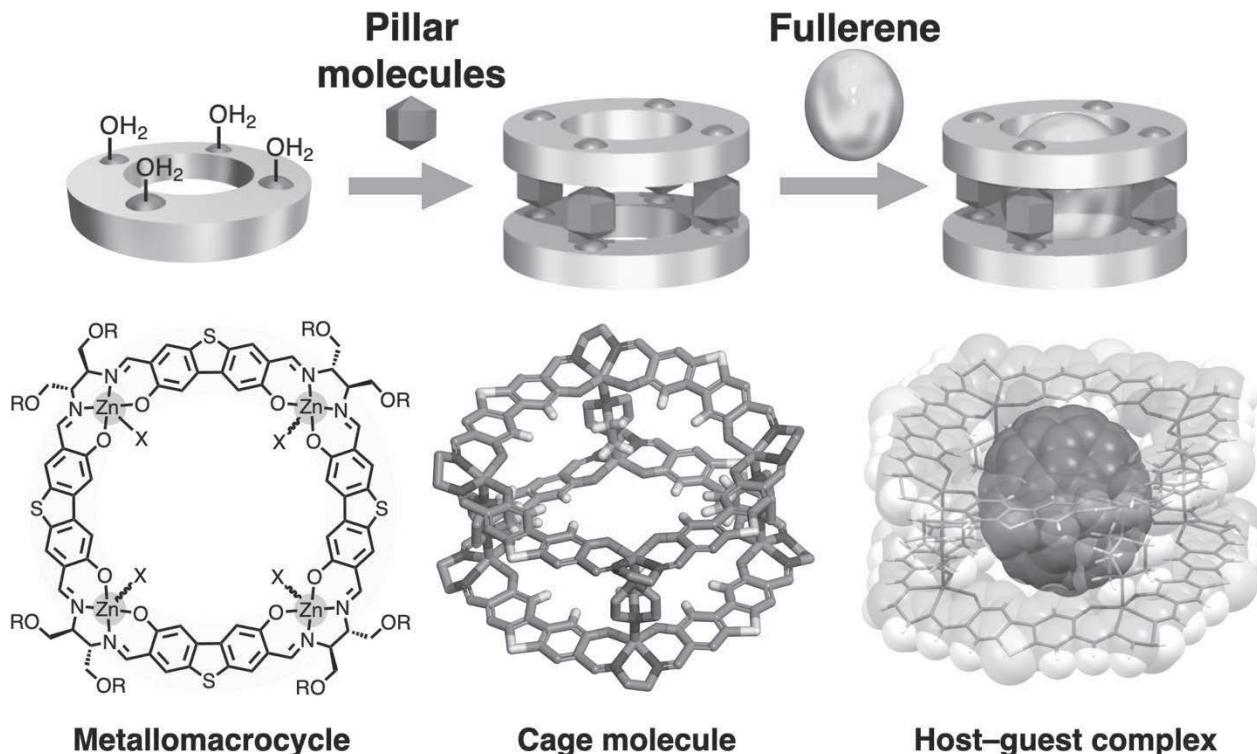
ナノ空間をもつ大環状金属錯体の空間解析

Void Analysis of Nanospace in Macroyclic Architectures

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)

サイズや形状が一義的に決まるナノ空間は、特異的な分子認識や、気体分子の吸着・脱離、混合物からの目的分子の分離精製等に用いられるため、精密な分子空間をもつホスト分子の開発が期待されている。当研究室では、流動性をもつ液体の中にナノ空間を構築するために、分子を包接できる大環状化合物や大環状金属錯体の開発とその組織化を検討してきた。その中で、我々はジベンゾチオフェンとサレンからなる大環状化合物を合成した¹⁾。この大環状化合物は、4つのジベンゾチオフェンを4つのサレン配位子で交互に連結した骨格をもち、約1 nmの内部空孔を有する。この大環状分子は、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平面四配位型金属イオンのサイズなどに応じて、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もつ大環状化合物は、五配位型や六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、サレン部位をもつ大環状化合物に五配位構造をもつ亜鉛イオンを導入することで、大環状亜鉛四核錯体を合成した。この大環状金属錯体と二座型架橋配位子であるDABCOを溶液中で混合するだけで、巨大な空間をもつかご状超分子錯体が構築することを見出した。側鎖の短いかご状超分子錯体について放射光実験を用いた単結晶構造解析を行ったところ、かご状超分子錯体が巨大なナノ空間をもち、内側に32個の水素原子をもつことが明らかとなった。また、Materials Studioによる空間解析の結果、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。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事が明らかとなった²⁾。



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。例えばダイアモンドは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、 $A_3\text{N}_4$ (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査した。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。

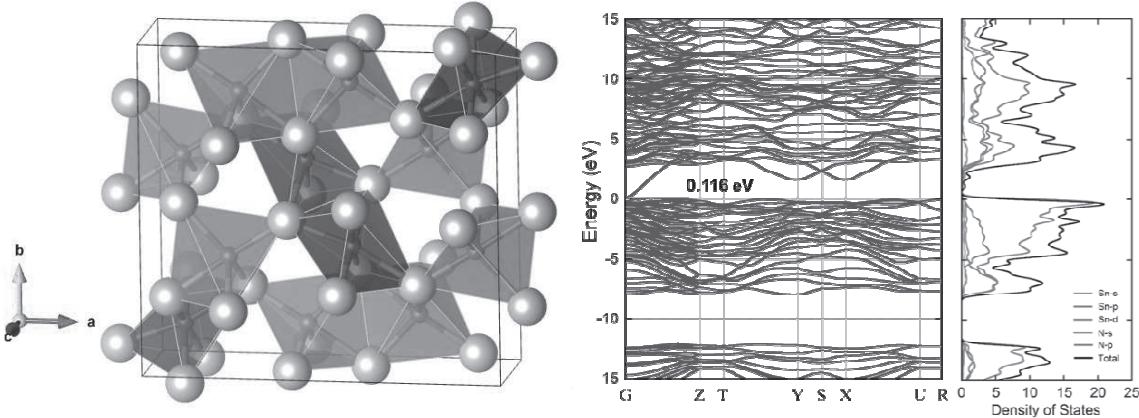


Figure 構造最適化により得られた新規 Sn_3N_4 の結晶構造と電子状態密度およびバンド分散
白丸および青丸は窒素およびスズ原子をあらわす

3.2 非常勤研究員の活動

(Activities of VBL Postdoctoral Research Associates)

イオン液体／金属スパッタリング法による酸化モリブデンナノ粒子の作製と評価

VBL 中核的研究機関研究員 秋吉 一孝

【研究背景】

一般的なバルクの金属と異なり、金や銀などの貴金属ナノ粒子に対して光を照射すると、鮮やかな色を呈するようになる。これは、光の電場振動と共に鳴して金属表面の自由電子が集団的に振動し、可視域に強い吸収や散乱が起こるためである。この現象は局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) と呼ばれている[1]。さらに、このような LSPR を示すナノ粒子と酸化チタンや酸化亜鉛などの半導体が接触した状態で光を照射した際、粒子から半導体へ電子が移動するプラズモン誘起電荷分離 (PICS) [2] という現象が起こり、これを用いた光電変換や光触媒、バイオセンサの開発が進められている[3]。

近年、自由電子密度が十分に大きい金属酸化物ナノ粒子についても LSPR を示すことが報告されており、貴金属よりもコストが低く、可視域から赤外域にかけて LSPR を制御しやすいなどの利点を有するため、注目されている[4]。しかし、粒子を液相化学還元で合成する場合、粒子の安定化のために厚い保護剤が必要であり、電子移動の阻害やセンサ感度の低下などが課題となっている。

本研究では、イオン液体に対して減圧下で金属スパッタすることで簡便に金属ナノ粒子を合成する方法(イオン液体／金属スパッタリング法) [5]に注目した。この方法によりモリブデンナノ粒子 (Mo NP) を作製し(図 1)、加熱して部分的に Mo NP を酸化させることで粒子表面に厚い保護剤のない酸化モリブデンナノ粒子 (MoO_x NP) を作製し、光電気化学応答への応用を試みた。

【研究成果】

イオン液体は 1-(2-ヒドロキシエチル)-3-メチルイミダゾリウム テトラフルオロボレート(HyEMI-BF₄)を用い、MoをスパッタリングすることでMo NPを作製した。次に、加熱処理により部分的に酸化させ、近赤外の 840 nmに LSPR の吸収ピークを示す MoO_x NP を作製した(図 2a)。

この粒子をアセトニトリルに再分散させ、ITO基板上に担持した電極を作用極とし、0.5 M Na₂SO₄水溶液に浸した。また、参照極にAg/AgCl、対極にPtを用いて、作用極に電位を印加し、単色光を照射することで各波長の光電気化学応答を測定した。基板に対し、+0.5 V vs. Ag/AgClを印加して光照射すると、LSPRによる吸収ピークに沿う形でアノード光電流が得られた(図 2b)。Mo NPを担持したITO基板で測定した場合では、近赤外域では光電流が観測されなかつた。一方、600 nmより短波長側における光電流の立ち上がりは、 MoO_3 のバンド間遷移による吸収と考えられ、吸収スペクトルの傾向ともよく一致していた。

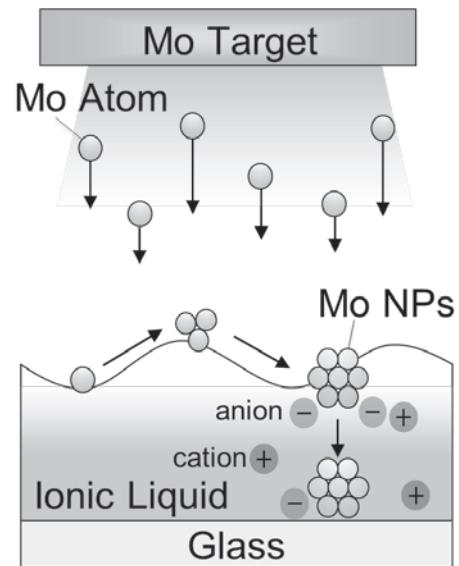


図 1. イオン液体／金属スパッタリング法を用いた Mo NP 作製の模式図

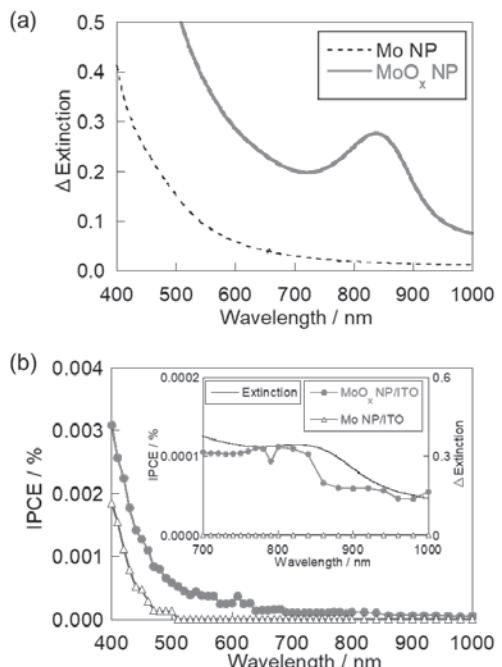


図 2. Mo と MoO_x NP の(a)消失スペクトルと(b)光電流の作用スペクトルの比較

【結論】

イオン液体／金属スパッタリング法によってMo NPを作製し、加熱により部分的に酸化させることで近赤外にLSPRを示すMoO_x NPを作製できた。この合成手法では、イオン液体の種類やスパッタ電流量、加熱時間・方法などの合成条件を変えることにより、MoO_x NPのサイズや形状、さらに酸化状態やそのLSPR特性を簡便に制御できることが示唆された。また、この得られたMoO_x NPをITO基板上に担持した電極の光電流応答については、MoO_x NPによる吸収スペクトルに沿う形状のアノード光電流の作用スペクトルが得られた。この電極による近赤外域における光電流応答は、MoO_x NPからITO側への電子移動を示唆する結果となった。今後、近赤外域での光電変換や光触媒、光電気化学的なLSPRセンサへの応用などが期待される。

【参考文献】

- [1] K. A. Willets and R. P. Van Duyne, *Annu. Rev. Phys. Chem.*, **58**, 267 (2007).
- [2] Y. Tian and T. Tatsuma, *J. Am. Chem. Soc.*, **127**, 7632 (2005).
- [3] T. Tatsuma, H. Nishi, and T. Ishida, *Chem. Sci.*, **8**, 3325 (2017).
- [4] J. M. Luther, P. K. Jain, T. Ewers, and A. P. Alivisatos, *Nat. Mater.*, **10**, 361 (2011).
- [5] T. Torimoto, K. Okazaki, T. Kiyama, K. Hirahara, N. Tanaka, and S. Kuwabata, *Appl. Phys. Lett.*, **89**, 243117 (2006).

【受賞】

- [1] 優秀ポスター賞 電気化学会関西支部・東海支部合同シンポジウム、2019年9月20日
- [2] 若手研究奨励賞 名古屋大学材料バックキャストテクノロジー研究センター、2019年10月3日

【学会発表】

- [1] K. Akiyoshi, T. Kameyama, S. Kuwabata, and T. Torimoto, "Fabrication and Optical Modulation of MoO_x Nanoparticles Prepared with an Ionic Liquid/Metal Sputtering Technique", 電気化学会関西支部・東海支部合同シンポジウム、P30、神戸市有馬温泉「有馬グランドホテル」、2019年9月20日
- [2] 秋吉一孝、亀山達矢、桑畑進、鳥本司、「イオン液体／金属スパッタリング法によるMoO_xナノ粒子の合成と光学特性の制御」、OCU先端光科学シンポジウム、P12、大阪市立大学 杉本キャンパス、2019年10月21日
- [3] K. Akiyoshi, T. Kameyama, S. Kuwabata, and T. Torimoto, "Fabrication and Optical Modulation of Molybdenum Oxide Nanoparticles Prepared with an Ionic Liquid/Metal Sputtering Technique", International Workshop on Advanced Nanoscience and Nanomaterials 2019 (IWANN2019), Burapha University, ChonBuri, Thailand, November 11 - 12, 2019.
- [4] 秋吉一孝、亀山達矢、桑畑進、鳥本司、「イオン液体／金属スパッタリング法による酸化モリブデンナノ粒子の合成と光電気化学特性」、電気化学会第87回大会、1C08、名古屋工業大学 御器所キャンパス、2020年3月17日
- [5] K. Akiyoshi, "Development of Photoelectrochemical Localized Surface Plasmon Resonance Sensors", Asian International Symposium -Advanced Nanotechnology- in the 100th Annual Meeting of The Chemical Society of Japan, 3F1-37, Tokyo University of Science, Chiba, March 22 - 25, 2020. [Invited Lecture]

A Stepwise Chemical Reduction Strategy for Exploring the Specified Dianion States of Fullerenes

Chao LU

Postdoctoral Fellow

Venture Business Laboratory, Nagoya University

1. Introduction

Remarkable electrical conductivity, structural flexibility, and optical transparency in the visible region make organic conducting materials one of the most promising materials for future transparent flexible electrodes, etc. Particularly, fullerenes have become essential organic functional materials in a broad range of fields, including organic field-effect transistors (OFETs), organic photovoltaics (OPVs), and organic light-emitting diodes (OLEDs), resulting from their high electron affinities and excellent electron transport properties.¹⁻³ On the other hand, in organic optoelectronics and nanotechnology, origins of mobile charges i.e. polarons play significant roles. For instance, polarons induced by doping affect and change the patterns of the carbon skeletons, leading to the emergence of new electronic states within the $\pi-\pi^*$ gaps. The spatial extent and anisotropy of the polarons are related to the usage of the charge carriers for achieving maximum conductivity and it is essential to investigate the charge dynamics in the states where the polarons are on the organic materials such as fullerenes. Furthermore, the information on the specified multi-ions (multi-polarons) of fullerenes is of great importance when taking into account of the roles of charge carriers in related n-type organic conductors, although the focused investigation is exceedingly scarce. Thus, in this study, a stepwise chemical reduction strategy producing the specified dianion states of C₆₀ and C₇₀ was established for the first time.

2. Experimental Section

Target molecules including C₆₀ and C₇₀ were purchased from Tokyo Chemical Industry. Reducing reagent was produced by the reaction between trimethylhydroquinone (Me₃Q) and tetrabutylammonium hydroxide (TMAOH) solution 1.0 M in methanol. Me₃Q and TMAOH solution were purchased from Tokyo Chemical Industry and Sigma-Aldrich, respectively. Benzonitrile (Kishida Chemical, Special Grade) was used as the solvent for the spectroscopic measurements. In addition, the steady-state absorption spectra were measured using a Hitachi U-3500 UV-Vis spectrometer.

3. Results and Discussion

Figure 1a shows the steady-state absorption spectra of C₆₀ with different concentrations of Me₃Q²⁻ in benzonitrile. The spectrum of neutral C₆₀ shows a strong absorption peak at 332 nm in the UV-vis region, but features almost no signals in the near-IR region. In contrast, with the stepwise addition of Me₃Q²⁻, a near-IR absorption band was clearly confirmed at 1078 nm, which can be attributed to the generation of C₆₀^{•-}. Interestingly, with a further increase in the concentration of Me₃Q²⁻, the 1078 nm absorption peak decreased in intensity whereas a new signal at 955 nm showed a rise. This phenomenon can be attributed to a transformation process of C₆₀^{•-} → C₆₀²⁻ (inset of Figure 1a). In the case of C₇₀, essentially the same phenomenon with the confirmation of C₇₀²⁻ was observed upon adding Me₃Q²⁻ as a reductant (Figure 1b and its inset). The analogical generation of C₆₀²⁻ and C₇₀²⁻ can be explained by a stepwise chemical reduction strategy described in Figure 2. The addition of TMAOH to Me₃Q produces the corresponding quinone dianion, which is a strong reductant. The potential of Me₃Q²⁻ ($E_{\text{Me}_3\text{Q}^{2-}/\text{Me}_3\text{Q}^{\bullet-}} = -1.16 \text{ V vs SCE}$) is sufficiently negative to reduce C₆₀ or C₇₀ to a stabilized C₆₀²⁻ or C₇₀²⁻ ($E_{\text{C}_{60}^{\bullet-}/\text{C}_{60}^{2-}} = -0.82 \text{ V vs SCE}; E_{\text{C}_{70}^{\bullet-}/\text{C}_{70}^{2-}} = -0.80 \text{ V vs SCE}$).

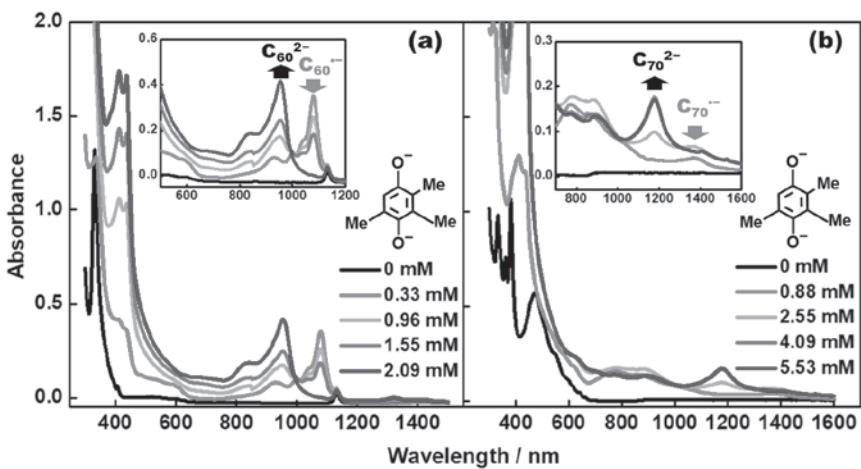


Figure 1. Absorption spectra of (a) C_{60} (0.22 mM) and (b) C_{70} (0.33 mM) with varied concentrations of Me_3Q^{2-} in benzonitrile.

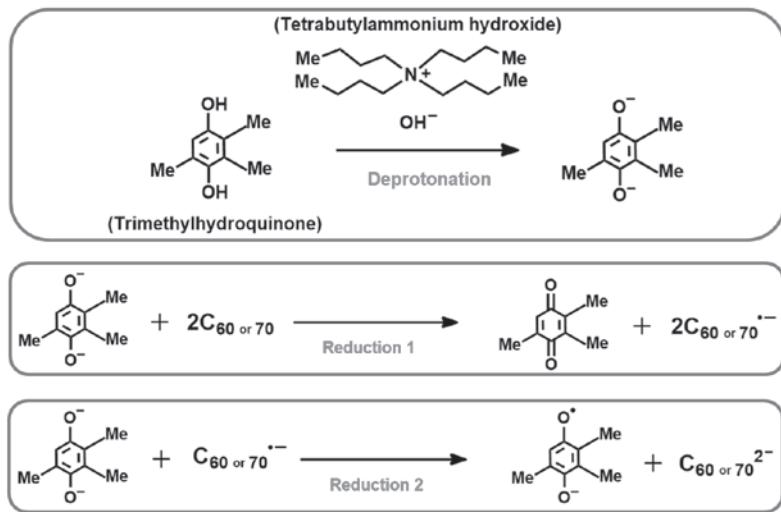


Figure 2. Strategy for the selective generation of fullerene dianions.

4. Conclusion

The reduction of fullerenes by Me_3Q^{2-} occurred via stepwise electron transfer from Me_3Q^{2-} to C_{60} or C_{70} in benzonitrile. A reliable method that uses chemically generated Me_3Q^{2-} as the reductant for the selective generation of C_{60}^{2-} or C_{70}^{2-} was thus established.

5. References

- (1) Matsuo, Y.; Sato, Y.; Hashiguchi, M.; Matsuo, K.; Nakamura, E. Synthesis, Electrochemical and Photophysical Properties, and Electroluminescent Performance of the Octa- and Deca(aryl)[60]fullerene Derivatives. *Adv. Funct. Mater.* **2009**, *19*, 2224-2229.
- (2) He, Y.; Li, Y. Fullerene Derivative Acceptors for High Performance Polymer Solar Cells. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2011**, *13*, 1970-1983.
- (3) Li, C.; Chueh, C.; Yip, H.; Zou, J.; Chen, W.; Jen, A. K. Y. Evaluation of Structure-Property Relationships of Solution-Processible Fullerene Acceptors and their n-Channel Field-Effect Transistor Performance. *J. Mater. Chem.* **2012**, *22*, 14976-14981.

Investigation on growth characteristics of carbon nanowalls using PECVD

Peter Raj Dennis Christy

Center for Low Temperature Plasma Sciences (CLPS), Nagoya University, Japan

Introduction

Discoveries of carbon allotropes such as fullerenes (0D), carbon nanotubes (1D) and graphene (2D) have created some of the great advancements in materials science and technology due to its wide variety of unique properties and applications. Carbon nanowalls (CNWs) are a few nanometers (1~10 graphene layers) thick carbon material that have unique orientation, exposed sharp edges, non-stacking morphology and huge surface-to-volume ratio [1]. An interesting aspect of this carbon allotrope is the catalytic-free growth behavior on arbitrary substrates like metals, semiconductors and insulators unlike carbon nanotubes. However, issues like low growth rate and difficulty to grow uniformly over large area are likely to be addressed in order to realize its practical applications. In this context, we investigated the growth characteristics of CNWs and the effect of plasma power on the growth rate.

Experiment

In this study, we report on the catalyst-free plasma enhanced CVD (PECVD) growth of CNWs on Cu substrate. The CVD reactor consist of two plasma region, namely, very-high frequency (VHF, 100 MHz) parallel-plate capacitively coupled plasma (CCP) and a microwave (2.54 GHz) excited surface wave hydrogen plasma (SWP), respectively. Growth substrates were heated to 800 °C using carbon heater. Two feed-gases H₂ and CH₄ with a typical flow rate of 50 and 100 sccm were introduced into SWP and CCP regions separately and the reactor pressure was maintained at 1 Pa. Each CNWs samples were grown for constant growth period of 10 minutes. To understand the growth capabilities of our CVD system under sustained plasma discharge, CNWs were grown for different CCP power (200,300,400 and 500 W).

Results and discussion

Fig.1 (a-d) show micrographs, emission spectrum and Raman spectra of typical CNWs investigated using scanning electron microscopy (SEM), optical emission spectroscopy (OES) and Raman microscopy, respectively. It is observed from SEM micrographs that CNWs typically

have maze-like microstructure and shown vertically oriented growth mode from the substrate. It is evident from Fig.1b that CNW height increases linearly from 0.8 μm to 1.4 μm for increasing CCP power (200 to 500 W). In Fig.1c, OES spectrum shows the state of the plasma during growth with peaks corresponding to radicals and ion species.

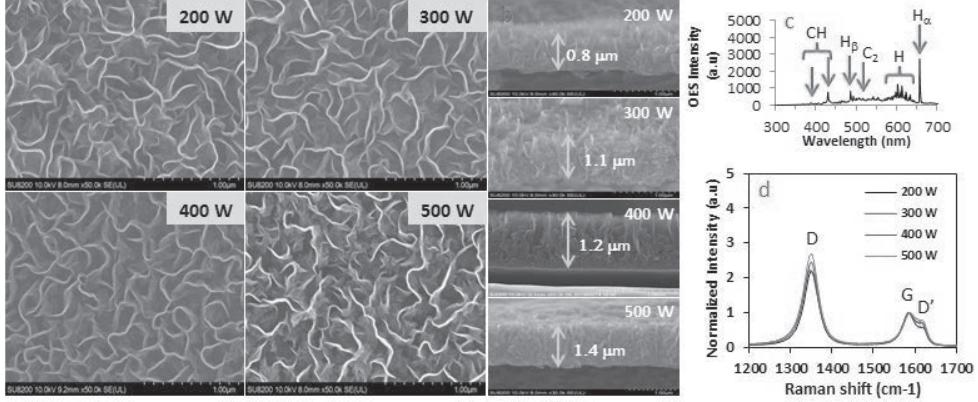


Fig. 1 (a&b) Top and Cross-section SEM images of RI-PECVD grown CNWs, (c) optical emission spectrum of H_2/CH_4 plasma and (d) Raman spectra of CNWs.

Fig.1d shows the Raman spectra of typical carbon nanowalls with good crystalline quality grown using PECVD method. A prominent and weak band appears at 1580 cm^{-1} (G band) and 1620 cm^{-1} (D' band) correspond to finite size sp^2 (graphite) crystallites identical for CNW [2]. The band at 1350 cm^{-1} is assigned to vibrations at defects including vacancies, grain boundaries and heteroatoms in graphene sheets. It is clear that a relatively high intensity D band appeared for 500W than for lower CCP powers samples. Further variations in the D' band intensity gives sign of improved CNWs structure when grown at high CCP power.

Conclusion

In summary, catalyst-free growth of CNWs with high growth has been achieved using plasma enhanced CVD method. The nanowalls growth rate ranging from an 80 nm/min for 200W to a maximum of 140 nm/min at 500 W has been observed from SEM. Raman spectra confirm the signature of CNWs with crystallization of graphitic domains in nanowalls. This study on CNWs further helps to understand future strategy to grow high quality CNWs.

References

- [1] Hiramatsu et al. Appl. Phys. Lett. Vol.84, No.23, 2004
- [2] Kurita et al. J. Appl. Phy. **97**, 104320 (2005)

4. VBLで過ごした日々

(Days Spent at VBL)

VBL Visiting Professor Activity Report, Nagoya University

From April 1st to April 30, 2019

Prof. Christophe SINTUREL

ICMN, CNRS/Université d'Orléans, FRANCE

Background

This stay in Nagoya came from a collaboration I have with Professor Matsushita since 2015, when I first contact him to express my interest about his work. In my group at ICMN, we have been interested these recent years in studying thin films of polymer, particularly the effect of interfaces and limited amount of mater on the modifications of properties such as crystallization, solvent interaction, phase behavior in polymer blends and self-assembly. Professor Matsushita's group is known worldwide for its expertise and knowledge in multi-block synthesis, characterization and self-assembly. After he stayed a first time in my group in 2016, we decided to conduct a joint research program in the framework of a PhD work that was starting at that time in Orléans (Aynur Guliyeva, Sept 2016). The aim of this work was to study the influence of the film configuration on interesting morphologies that was recently produced in Professor's Matsushita group. After two years and a half of this PhD work, one paper was published in *ACS Macro Letters*, four oral communications and 2 posters were presented in conferences.

Scientific content of the current stay

The main core of my stay in Nagoya concerned activities and discussions with Professor Matsushita about the progression of this joint research program.

- We discussed the content of a new paper that was written by Aynur Guliyeva. In this paper, it is shown that a new transition between alternating gyroid (G_A) structure and cylindrical morphology was observed in thin films for a poly(isoprene-block-styrene-block-(2-vinylpyridine)) (ISP) triblock terpolymer exhibiting in bulk a Q_{214} morphology. Unusual transition pathway, involving the $\{011\}$ planes of gyroid that become the $\{100\}$ planes of cylindrical structure (the cylinders being grown along the $<100>$ direction of the G_A) was observed. Thanks to additional experimental results brought from the group of Nagoya (TEM) and detailed discussion with Professor Matsushita, we were able to make clearer the driving force of this transition and complete the writing of the paper, which is now ready to submit in *Macromolecules*.
- We planned new experiments in France for the up-coming months. New polymer compositions will be sent to this aim in France.
- We discussed about the writing of a review paper dealing with the formation of non-constant mean curvature interfaces in block-polymer. The content of this paper was decided during this stay and is planned to be submitted in July.

- We organized the PhD defense of Aynur Gulyeva that will be held in France, in presence of Professor Matsushita (date, jury composition was defined). This defense will be part of a longer stay in France of Professor Matsushita that will stay a month as invited professor in our University. The planning of his venue (seminar, scientific content) was discussed. We anticipate the writing of a last paper during this stay.

Apart from this central activity, I was involved in group meetings and individual discussions with all Professor Matsushita's group members (from associate professor to M1 students). I believe that the personal discussions with them were mutually beneficial. A series of discussions was also organized with the Professors of the Polymer Group at the Graduate School of Engineering (Prof. Masami Kamigaito, Prof. Yuichi Masubuchi, Prof. Takahiro Seki, Prof. Eiji Yashima). We shared common interest and for some of them, I believe future collaboration can be envisioned. Particularly, I have common collaborators in France with Prof. Masami Kamigaito and we identified some subjects that would be worth working within a joint consortium.

Eventually, I gave a general seminar on April 24th where the attendance was high. I was introduced during this meeting to Prof. Seiichi Matsuo, President of the University of Nagoya and Prof. Yoshio Okamoto, laureate of the 2019 Japan Prize. During the talk, I presented the latest results obtained in the framework of this collaboration.

Acknowledgments

I want to express my highest gratitude to the Venture Business Laboratory, Nagoya University for giving me the opportunity to spend a productive and exciting month at Nagoya University. Of course, I am deeply indebted to Professor Matsushita for organizing such a perfect stay. He made this first experience in Japan memorable. Eventually, I want to acknowledge Professor Atsushi Takano and Dr Yuya Doi their kind help during my stay.



Memorable days spent in VBL, Nagoya University

From July 01 to September 13, 2019

Dr. Nguyen Xuan Viet

Faculty of Chemistry, VNU University of Science, Hanoi

19 Le Thanh Tong, Hoan kiem district, Hanoi, Viet Nam

First of all, I would like to express my sincere gratitude to the management of Venture Business Laboratory, Nagoya University for giving me the opportunity to spend an animating, enthusing, exciting and memorable months at Nagoya University for the purpose of conducting research on “Nano-Process technology for highly functional materials and devices” in collaboration with Professor OHNO YUTAKA of the Institute of Materials and Systems for Sustainability (IMaSS). This report would be meaningless if I do not acknowledge the following names, Professor Kishimoto Shigeru, Professor Hirotani Jun, Professor Matsunaga Masahiro and mis Isowa Yuko for their smooth arrangement to come to Nagoya University as a Foreign Visiting Research Fellow.

To me Nagoya is my memorable city. I spent most significant part of my life in the Department of Electronics, Graduate School of Engineering, Nagoya University for my post-doctoral fellowship. This time when I came back here, I could reminiscent all of these pleasant memories. I had the opportunity to meet with a number of undergraduate as well, master and doctor course students of Ohno laboratory and discussed their work. I believe that the personal discussions with them were mutually beneficial.

During the past two and half months, my work was focused on the fabrication and characterizations of flexible microelectrodes and flexible field effect transistor (FET) devices based on single-walled carbon nanotube (CNT) thin film. The floating catalysis chemical vapor deposition method (FC-CVD) was used to prepare the CNT thin films which show a high degree of flexibility, uniformity and easy of manipulation; The properties of particularly advantageous for flexible devices base-CNT have found extensive applications in a number of areas including electronics, sensor, wearable devices, implantable devices, storage system and so on. I fabricated the flexible microelectrodes and CNT-FET via conventional microfabrication process by using an oxide protection layer, which is used to cover the CNT thin film during the fabrication process, minimizes contamination of the surface. The fabricated flexible CNT microelectrodes showed almost ideal electrochemical characteristics for microelectrodes. The CNT microelectrodes were employed to detect dopamine, an

important neurotransmitter, and the results showed enhanced resistance to surface fouling during dopamine oxidation in comparison to carbon fiber and gold microelectrodes. In addition, the high-sensitivity detection of dopamine is also demonstrated with differential-pulse voltammetry, with a resulting limit of detection of \sim 50 nM. The reliability, uniformity, and sensitivity of the present CNT microelectrodes provide a platform for flexible electrochemical sensors.

Besides, the flexible CNT-FET devices were also explored as a simple, reliable pH sensing device. To examine the sensitivity of the CNT FET sensors to the change of pH of medium, we conducted a series of pH detection experiments. The different pH solutions were put in the PDMS pool formed on the substrate by using a pipette. Figure 1 shows the response of a CNT-FET to buffer solutions of various pH ranging from 4 to 10. The drain current (hole current) increased and the positive shift of threshold voltage (inset of fig 1) with the increase in pH, however transconductance was kept unchanged. This behavior can be explained by the presence of surface charges on the CNT surface. The surface charge density can be modified by changing of electrolyte pH. Deproton process (pH increase) makes the surface more negatively charged, resulting in a positive shift of threshold voltage as experimentally observed.

I also presented a lecture on July 19 in the Venture Business Laboratory Seminar entitled as “Nanomaterials in biosensor application”.

I believe that the time at VBL, I gained a unique kind of experience by interacting with researchers who are very dedicated to their research, while many of them undoubtedly are at the forefront of related scientific fields. In addition, I found really good opportunity to see again a number of my good colleagues and friends in Japan and to visit my favorite places in Nagoya. I am happy to mention very good shapes for my work and kind assistance of VBL staff as well as a number of students of the laboratories. The friendly atmosphere in the laboratory made my stay at the VBL both scientifically fruitful and personally pleasant. Finally, I thank again all who made my stay in Nagoya in the Venture Business program so productive.

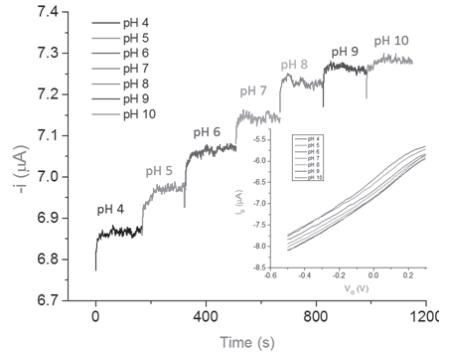


Fig. 1 Response of CNT FET to 1 mM PBS with 10 mM NaCl solutions of various pH from 4 to 10. (Inset) I_D - V_G characteristics of CNT TFT measured in solution of pH from 4 to 10.

5. 海外に派遣されて (Report of Exchange Researcher)

スクリップス研究所派遣報告

名古屋大学大学院 工学研究科 生命分子工学専攻

樋田 啓

令和元年7月から令和2年2月までの約半年間、VBL 海外派遣研究の助成をいただき、米国カリフォルニア州のスクリップス研究所（The Scripps Research Institute）の Prof. Ramanarayanan Krishnamurthy 研究室にて客員研究員として研究を行う機会をいただきました。

スクリップス研究所はサンディエゴ近郊のラホヤにある研究所で、周りにはカリフォルニア大学サンディエゴ校やソーク研究所などがあります。そのため、学生や研究者が多い文教地区で日本人研究者も多く住んでおり、治安はかなり良い地域でした。また、サンディエゴの夏は日本と比べてかなり涼しいにもかかわらず、冬は暖かく気候はかなり快適でした。スクリップス研究所は Prof. Sharpless や Prof. Wüthrich などのノーベル賞受賞者も在籍するアメリカでも有数の研究所でカリフォルニアとフロリダにキャンパスがあり 2400 人以上の研究者が働いています。研究分野としては化学、生物学、医学、情報科学と幅広く非常に学際的な雰囲気でした。

Krishnamurthy 研究室は化学科に所属しており、ポスドクが 6 名の小さな研究室でした。私の在籍中には生粋のアメリカ人はいませんでしたが、ポスドクの出身地は中国、インド、フランス、メキシコ、エクアドルと幅広く、とても多様な文化と触れ合うことが出来ました。研究内容としては prebiotic chemistry (前生物化学と訳すのでしょうか) で、核酸やタンパク質、糖、脂質などの化学的な起源を探るという非常にスケールの大きな研究を行っています。私は名古屋大学で人工核酸を使って六重鎖構造を調製する研究を行っており、この六重鎖構造が化学進化によって RNA が出現する以前の遺伝子の原型であった可能性があるということで渡米し共同研究を行うことになりました。実際の実験としてはほぼ 100 % 有機化学の研究でしたが、私としては学生時代に勉強したきりであった有機化学をもう一度（初めて？）勉強するとしてもよい機会となりました。また、研究の意味づけを重要視する prebiotic chemistry の考え方は、私にとって非常に新鮮でとてもよい刺激を受けることが出来ました。実際には化合物の合成に試行錯誤が必要であり半年間はほぼ合成で終わってしまいましたが、今後も共同研究を進める予定です。

Krishnamurthy 研究室では週 1 回の group meeting の他に、Krishnamurthy 先生との個別ディスカッションが毎週ありました。また、私は免除されていましたが他のポスドクは毎週 report を提出する必要があり、密にディスカッションが行われていたのがとても印象的でした。また、スクリップス研究所では数多くのセミナーが開催されていました。特に、Faculty Candidate Seminar と呼ばれる Faculty Member 候補者のポスドクが行うセミナーは私自身とても勉強になりました。また、研究所全体のメーリングリストが充実しており、メーリングリストを通じて器具の貸し借りや試薬の譲渡などが頻繁に行われていました。

また、共通の機器も充実しており、他のラボの機器もかなり自由に使わせてもらえる環境でした。日本の大学でも同様のシステムが導入出来れば、もっと効率的に研究が進められるのではないか？と感じました。半年間という短い期間ではありましたが、私自身海外の研究機関で研究を



図 1 Krishnamurthy 研究室のある建物外観



図 2 Krishnamurthy 先生と報告者

行うのが初めてであり、今後の研究人生においてとてもよい勉強となつたと思っています。

最後に、半年間の海外渡航に非常に快く送り出していただいた浅沼先生、神谷先生、村山先生、研究室の皆様に感謝いたします。また、受け入れ先の Krishnamurthy 先生及び Krishnamurthy 研究室の皆様にはとても親切にしていただき、滞りなく研究を進めることができました。この場をお借りして御礼申し上げます。最後に私の海外渡航にご尽力いただきました VBL 関係者の皆様、事務室の方々に深く感謝いたします。

6. 事業委員会および専門委員会の活動 (Activities of VBL Committee)

6.1 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 効 (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 2019年6月28日(火) 書面審議のみ

審議事項 :

2019年度事業計画(案)について
平成30年度決算(案)について
2019年度予算(案)について
2019年非常勤研究員の募集について
2019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
2019年海外派遣者の募集について

報告事項 :

平成30年度非常勤研究員、招へい研究者について
平成30年度事業報告について

- ・第2回事業委員会 2019年12月9日(月) 書面審議のみ

審議事項 :

次期ラボラトリー長の選考について
令和2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
令和2年度外国人客員教員(外国人招へい研究員)の募集について
令和2年度海外派遣者の募集について

- ・第3回事業委員会 2020年2月26日(水)

審議事項 :

- 次期ラボラトリ一長候補者の選考について
- 次期事業委員会委員の推薦依頼について
- 令和2年度中核的研究機関研究員
- 外国人客員教員、海外派遣者の採用について

報告事項 :

- 准教授の退職について
- 令和元年度中核的研究機関研究員、外国人客員教員、海外派遣者について
- 令和元年度事業報告について

6.2 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)
田渕雅夫	(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2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。

6.3 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： 2020 年 3 月 19 日 (木) 書面審議

議題：

1. VBL の事業概要
2. VBL の研究活動
3. 意見 (外部委員)

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

7.1 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とともに、産学官連携や異分野融合を推進する。

7.2 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。

7.3 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。

7.4 支援実績

電子顕微鏡、アッシング装置の利用を中心に、64件の利用があり、旧プログラムのナノ支援より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。

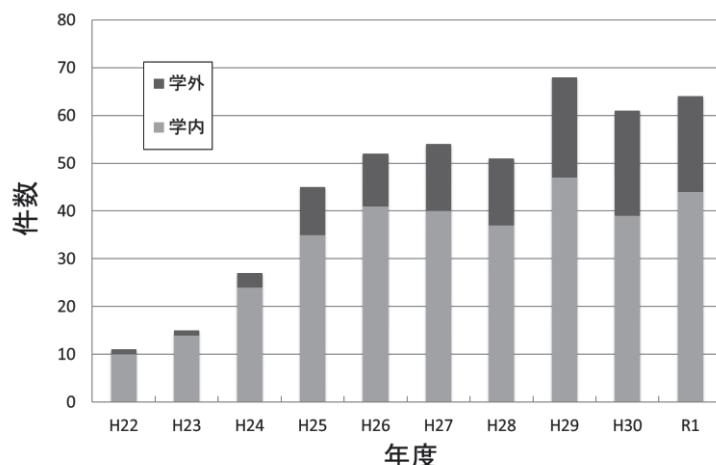


図. ナノテクプラットフォーム支援件数の推移（～22年度までナノ支援）

7.5 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。7.6節にはその成果報告をまとめた。

1	量子ナノ構造デバイスの研究	廣谷潤	名古屋大学
2	マイクロセンシングデバイスの開発	福澤健二	名古屋大学
3	磁性薄膜の磁壁を利用したスピンドル効果の検証	桑原真人	名古屋大学
4	ハーフメタルを用いたスピンドル効果の研究	植田研二	名古屋大学
5	高成形性形状記憶合金のコンビナトリアル評価	櫻井淳平	名古屋大学
6	イオン注入法による歪緩和 $Ge_{1-x-y}SixSny$ の層の形成	中塚 理	名古屋大学
7	半導体デバイスのための材料およびプロセス開発研究	黒澤昌志	名古屋大学
8	高秩序ナノ構造体の創製と評価に関する研究	小齊 孝	名古屋大学
9	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
10	プラズマ照射試料の表面観察	梶田 信	名古屋大学
11	超高分解能超冷中性子検出器の高精度解析用参照標識の形成	長繩直崇	名古屋大学
12	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
13	IV族系二次元物質の形成と化学構造評価	大田晃生	名古屋大学
14	オプト・ケモロボットを用いたマルチスケール細胞解析システム	益田泰輔	名古屋大学
15	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
16	三次元リンパ管ネットワークの構築と蠕動収縮刺激による機能制御	益田泰輔	名古屋大学
17	有機非線形光学薄膜の結晶成長	竹家 啓	名古屋大学
18	卓越大学院 DII におけるプロダクト開発実習	田岡紀之	名古屋大学
19	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
20	鉄系超伝導薄膜の構造と物性制御	飯田和昌	名古屋大学
21	薄膜の測温抵抗体を用いた円盤型デトネーション燃焼の熱伝達量測定	堀田貢太郎	名古屋大学
22	界面ナノ構造制御による超低抵抗金属/IV族半導体コンタクト形成技術	中塚 理	名古屋大学
23	ハイスクープットマイクロ流体細胞分取システムの研究・開発	佐久間臣耶	名古屋大学
24	MEMS や半導体などをセラミック材で支持する構造	西薗和則	株式会社 MARUWA

25	スパッタ薄膜の耐久性改善	森 清貴	東海興業株式会社
26	微細構造光学素子の作成	北居幸子	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
27	ワイヤーグリッド型偏光板の加工方法検討	大村拓磨	株式会社 東海理化
28	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	宇理須恒雄	名古屋大学
29	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	名古屋大学
30	高純度同位体シリコンエピ基板上の量子デバイス作製	宮本 聰	名古屋大学
31	微細加工表面での動的接触角決定機構の解明	伊藤高啓	中部大学 工学部
32	ナノ一オーダーの周期構造を用いた光学素子の作製に関する研究	元垣内敦司	三重大学大学院工学研究科
33	高分子材料及び二次元ナノ材料への光共振器導入とレーザー粒子の作製	蒲 江	名古屋大学
34	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
35	トンネル接合の作製およびカーボンナノ物質成長制御	柏谷聰	名古屋大学
36	UV 硬化型材料の性能評価	大和真樹	イーエルイーコンサルティング
37	S tudy of the Synechocystis sp. PCC 6803 cells in response to environmental stress by using on chip space time control	魚住 信之	東北大学
38	新生児生体信号の非侵襲モニタリング	佐藤義明	名古屋大学
39	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	小野隆	三井化学株式会社
40	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
41	細胞培養マイクロデバイスの開発	清水一憲	名古屋大学
42	電極開発	竹内和歌奈	愛知工業大学
43	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

44	マイクロロボットの開発	市川明彦	名城大学
45	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	後藤元信	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	光応答性液晶側鎖およびアモルファス側鎖ランダム共重合体を用いたサブ 10nm パターン形成	関 隆広	名古屋大学
48	トップコート膜の作製	脇本佳季	アイシン精機株式会社
49	細胞および生体モデルを対象とした医療機器開発	小澤理夫	メドリッジ株式会社,
50	半導体フォトカソードの微細加工に関する研究開発	小泉 淳	株式会社 Photo electron Soul
51	ガラスマスクの作成	川勝弥一	名古屋大学
52	ガラス基板上の誘電体スラントグレーティングの作製	尾形洋一	小糸製作所研究所
53	強誘電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
54	Cu 合金膜および Ti 合金膜のエッチング性評価	富永尚吾	大同特殊鋼株式会社
55	半導体電極開発	竹内和歌奈	愛知工業大学
56	酸化物型全固体リチウム二次電池に用いる集電体金属膜の作製	山本貴之	名古屋大学
57	パワーデバイス用 GaN 基板の評価	櫻井秀樹	株式会社アルバック
58	Unidirectional thermal conductivity enhancement in yttrium Iron garnet due to the effect of spin waves	A. Abdulkareem	名古屋大学
59	ナノバイオデバイスの開発	有馬彰秀	名古屋大学
60	Si 赤外線受光素子に関する研究	副島成雅	株式会社豊田中央研究所
61	セラミック材料の耐プラズマ性の評価	小川大輔	中部大学
62	Cs-K-Sb による GaAs の NEA 活性化	郭磊	名古屋大学
63	非反転対称性磁性体の作製と新規スピinn光機能の探索	松原正和	東北大学
64	ウェアラブル機器搭載を見据えた超薄型熱輸送デバイスの開発	上野藍	名古屋大学

7.6 ナノテクプラットフォーム利用報告

課題番号	:F-19-J002
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)	: <u>J. Hirotani</u>
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、パリレン

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。CNT のデバイス応用として、まずは超臨界乾燥を用いて均一な CNT 薄膜形成を試みた。さらに CNT 薄膜トランジスタ(TFT)のヒステリシス低減のために CNTTFT 上にパリレンを成膜した。さらに柔軟なアナログ集積回路の実現を目指し、CNT TFT のデバイスマルの構築と回路設計・シミュレーション技術の構築、差動増幅器の設計と試作を昨年度に引き続き行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

超臨界乾燥装置、レーザー描画装置、走査型電子顕微鏡、段差計、パリレン成膜装置

【実験方法】

CNT 成膜に用いた基板は Si 基板またはポリエチレンナフタレート(Polyethylene naphthalate: PEN)を用いた。トランジスタ構造はボトムゲート型とトップゲート型の CNT TFT とした。電極と配線には(Ti/Au = 10/100nm)を成膜した。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、RIE によりパターニングを施した。半導体型 CNT 薄膜は転写法またはディップコーティングにより形成し、酸素プラズマを用いたドライエッ칭により素子間分離を行った。

Si 基板上の CNT 形成時に乾燥工程に超臨界乾燥を用い、超臨界乾燥の有無による CNT 薄膜形成への影響を確認した。パリレンは Si 基板上のバックゲート

型の CNTTFT の上に形成した。パリレン成膜後に様々な温度や窒素環境下でアニール処理を行うことで、TFT の電気特性のヒステリシスの低減を試みた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

まずは、超臨界乾燥により CNT 凝集するのを防ぐことができるなどを原子間力顕微鏡により確認した。さらに CNT 薄膜形成過程でプラズマ処理不要の表面シラン化手法を考案して、これにより PEN 基板上にトップゲート型 CNTTFT を作製し、動作を確認した。

また、CNTTFT 上にパリレン成膜を行った結果、パリレンを成膜するだけでも多少のヒステリシスの低減を確認した。250°C以上の温度でアニール処理を行うことで、ほぼヒステリシスフリーの電気特性が得られることがわかった。さらに CNT 薄膜の濃度やデバイスマル構造、回路を新規に考案することで A/D 変換回路の動作を実証した。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- [1] Fabrication of Carbon Nanotube Thin Films for Flexible Transistor Applications using a Cross-linked Amine Polymer, Matsumoto Kaisei, Ueno Kazuki, Hirotani Jun, Ohno Yutaka and Omachi Haruka, *Chem. Eur. J.*, (2020), DOI: 10.1002/chem.202000228

6. 関連特許(Patent)

特許出願済み。

課題番号	: F-19-J003
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: マイクロセンシングデバイスの開発
Program Title (English)	: Development of micro-sensing devices
利用者名(日本語)	: 福澤健二
Username (English)	: K. Fukuzawa
所属名(日本語)	: 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	: Graduate school of Eng., Nagoya University
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング, マイクロマシン

1. 概要(Summary)

両面露光用マスクアライナー一式および Deep Si Etcher を活用したフォトリソグラフィーと微細加工を行い、マイクロセンシングデバイス(トライボロジー計測用およびバイオ応用デバイス)の試作を行った。具体的には、ミクロな摩擦・潤滑特性定量化のための MEMS 応用マイクロプローブおよび DNA 分子を大きさによって分離・解析するマイクロ流体デバイスを試作した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

両面露光用マスクアライナー一式, Deep Si Etcher

【実験方法】

トライボロジー計測用デバイスでは、静電アクチュエータ付きマイクロプローブを試作した。Silicon On Insulator (SOI) 基板を用い、基板表面と裏面で異なる構造を形成した。エッチングマスクとして、フォトレジスト膜を用い、マスクアライナーにより露光・現像してパターニングした。Deep Si Etcher を用いて、基板を深堀りエッチングし、静電アクチュエータを構成するための電極構造も加え、プローブを垂直方向に駆動可能なアクチュエータとした。また、DNA サイズ分離用マイクロ流体デバイスでは、シリコン基板を用いた。マスクアライナーを用いてフォトレジスト膜をパターニングした後、Deep Si Etcher を用いて、基板をエッチングしマイクロ流路を形成した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

結果は以下の通りである。

・トライボロジー特性計測用デバイス

すきま制御しながらしう動面間に働く表面力の計測を可能とするプローブ実現のために、静電アクチュエータによりすきま制御しながら表面力計測が可能であるかを検証

した。試作を進め、ねらいとするプローブ構造が形成可能なことを確認した。さらに、アクチュエータの原理的な動作確認に成功した。試作結果例を Fig. 1 に示す。

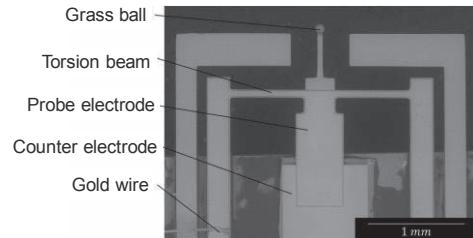


Fig. 1 SEM image of fabricated probe for dual-axis friction force microscopy.

・DNA サイズ分離用マイクロデバイス

DNA サイズ分離用マイクロ流路デバイスを試作した。DNA を伸長するための流路構造の改良を進め、原理的に伸長が可能であることを確認した。

4. その他・特記事項(Others)

・本研究の一部は、情報ストレージ研究機構の支援を得て実施された。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 稲川賢人, 福澤健二, 伊藤伸太郎, 張賀東, 日本機械学会第 10 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 令和元年 11 月 19 日.
- (2) 東直輝, 福澤健二, 伊藤伸太郎, 張賀東, 日本機械学会第 10 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 令和元年 11 月 21 日.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-J004
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ニ散乱効果の検証
Program Title (English)	:Observation of spin scattering using magnetic domain-walls in a magnetic thin-film
利用者名(日本語)	:富樫将孝 ¹⁾ , 水野りら ¹⁾ , 永田渉 ¹⁾ , 中蔵虎二郎 ¹⁾ , 古井雅人 ¹⁾ , <u>桑原真人</u> ^{1),2)}
Username (English)	:M. Togashi ¹⁾ , L. Mizuno ¹⁾ , W. Nagata ¹⁾ , K. Nakakura ¹⁾ , M. Furui ¹⁾ , <u>M. Kuwahara</u> ^{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) Nagoya University Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University
キーワード／Keyword	:リソグラフィ・露光・描画装置、磁性薄膜、スピニ散乱

1. 概要(Summary)

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

原子間力顕微鏡、フォトリソグラフィ装置、段差計、電子線露光装置、走査型電子顕微鏡 S5200、走査型電子顕微鏡 S4300

【実験方法】

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

3. 結果と考察(Results and Discussion)

電子線露光装置を用いて、 $3\mu\text{m}$ 正方形パターンを作製した。次に、PLD 蒸着装置を用いて基板上にパーマロイ薄膜を蒸着し、パターニングされたパーマロイ薄膜を得た。この試料を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察し、エネルギー分散型 X 線分光器(EDX)を取得しパーマロイが蒸着されていることを確認した。また、透過電子顕微鏡(TEM)を用いてディフォーカス像を取得、磁壁の観察を行った。その結果、パーマロイ薄膜において磁壁構造を観測することに成功した。さらに、パルス電子線による時間分解測定において、パーマロイ薄膜における磁壁観察が $100\mu\text{s}$ 以下で観測できることを確認することに成功した。これにより、パルス透過電子顕微鏡を用いた磁壁移動の動的観察が可能な条件を見出すことに成功した。

4. その他・特記事項(Others)

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

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1)富樫将孝, 石田高史, 小松正弥, 長尾全寛, 肖英紀, 桑原真人, 斎藤晃, 日本顕微鏡学会第 75 回学術講演会, 2019 年 6 月 17 日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-J006
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:ハーフメタルを用いたスピンドバイスの研究
Program Title (English)	:Study on spin-based devices using half-metal ferromagnet
利用者名(日本語)	:今井祐太, 植田研二, 羽尻哲也, 浅野秀文
Username (English)	:Y. Imai, K. Ueda, T. Hajiri, H. Asano
所属名(日本語)	:名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	:Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード／Keyword	:リソグラフィ・露光・描画装置, 膜加工・エッチング, 積層膜

1. 概要(Summary)

グラフェン(炭素 sp^2)とダイヤモンド(炭素 sp^3)はその優れた物性から、次世代電子材料として期待されている。グラフェンとダイヤモンドは単一でも優れた材料であるが、この両者を組み合わせた炭素 sp^2/sp^3 界面で様々な新規物性(界面スピンドバイス等)が現れることが理論予測されており、炭素 sp^2/sp^3 界面に注目が集まっている。しかし、一般的なグラフェン成長手法である CVD 法では金属触媒が必要となる為、ダイヤモンド等の異種基板上へのグラフェンの直接成長は難しく、ダイヤモンド上グラフェンの作製に関する実験報告は殆ど無い。本研究ではダイヤモンド上へのグラフェン作製手法として、酸化グラフェンのプラズマ下での還元アニール法(プラズマアニール法)に着目し、ダイヤモンド等様々な基板上へのグラフェン作製を行った。また炭素 sp^2/sp^3 界面デバイス応用を視野にグラフェン/ダイヤモンド接合の界面特性も調査した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

RIE エッチャリング装置、フォトリソグラフィ、ラマン分光装置、SEM

【実験方法】

酸化グラフェン溶液を用いたスピンドコート法によりダイヤモンド基板上に酸化グラフェンを堆積させた後、酸化グラフェンのプラズマアニールを行い、ダイヤモンド上へのグラフェンの作製を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

プラズマアニール法によりダイヤモンド半導体上でグラフェン作製を試みた所、ラマンスペクトルでダイヤモンドの炭素 sp^3 結合に由来するラマン(*Dia.)ピークと共にグラフェン由来の G、2D ピークが観測され、ダイヤモンド半導体上への数層グラフェンの成長が確認できた (Fig. 1)。また、原子間力顕微鏡を用いた成長過程の観察から、酸化グラフェンの還元と共に三角形型のグレインが 2 次元成長、融合することで数層グラフェンとなることが分かった (Fig. 1 插入図)。このダイヤモンド上グラフェンを用いて電界効果測定を行った結果、 $V_G \sim 1.1$ V で抵抗が極大値となった。

これはグラフェンのキャリア極性が変化する電荷中性点に相当し、グラフェンのディラックコーンに対応する両極性が確認できた事となる。これらの結果からプラズマアニール法により、ダイヤモンド上グラフェンの直接成長が可能となった。これらを用いて作製したグラフェン/ダイヤモンド接合の電流-電圧測定で、グラフェン/ダイヤモンド界面はオーミック的伝導特性を示したが、グラフェン/ダイヤモンド接合のバンドダイアグラムから界面のオーミック伝導が示唆され、本手法により急峻なグラフェン/ダイヤモンド(炭素 sp^2/sp^3)界面が形成できたと考えられる。

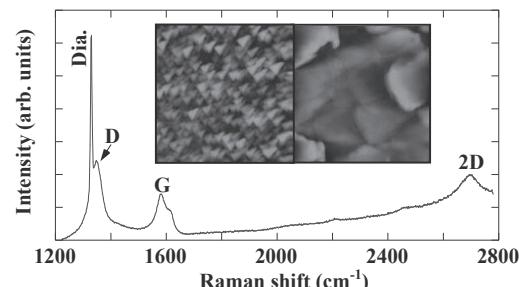


Fig. 1 ダイヤモンド上グラフェンのラマンスペクトルと原子間力顕微鏡像 (左から 3 分、30 分アニール)

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- Graphene/diamond (carbon sp^2 - sp^3) heterojunctions as novel photoelectronic devices, Y. Imai, K. Ueda, Y. Mizuno, and H. Asano, SSDM 2019, Nagoya, Japan, 2-5 Sep. 2019.
- Carbon nanowalls/diamond heterojunctions as novel photo-switching memory devices, Y. Imai, K. Ueda, H. Itou, Y. Mizuno and H. Asano, CSW 2019, Nara, Japan, 19-23 May 2019.
(他3件の関連発表有)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J007
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 高成形性形状記憶合金のコンビナトリアル評価
Program Title (English)	: Fabrication of evaluation substrate for high formable shape memory alloys and evaluation their properties
利用者名(日本語)	: 櫻井淳平, 千須和要
Username (English)	: <u>J. Sakurai</u> , K. Chizuwa
所属名(日本語)	: 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	: Graduate School of Engineering, Nagoya University.
キーワード／Keyword	: リソグラフィ, コンビナトリアル, 金属ガラス, 高成形性形状記憶合金

1. 概要(Summary)

Ti-Ni 形状記憶合金は形状記憶効果、超弾性、優れた生体適合性を示し、それらの特性を活かしステントや歯科矯正ワイヤ等の医療用デバイスへ応用されている。しかし加工性が乏しく、形状の自由度は低い。我々は、Ti-Ni 形状記憶合金の加工性を改善した Ti-Ni 系高成形性形状記憶合金(High Formable Shape Memory Alloys : HFSMAs)を開発した。本合金は Ti-Ni 合金に Zr や Cu 等適切な第三元素を添加することで、スパッタ等で成膜した試料がガラス転移を示す薄膜金属ガラスとなり、過冷却液体領域の温度範囲での粘性流動特性を利用した成形加工が可能である。成形加工を施した後、熱処理により結晶化し形状記憶合金となる。その結果、複雑な三次元構造を有する形状記憶合金デバイスの作製が可能となる。本研究では HFSMAs の医療デバイスへの応用を目指し耐食性評価を行う。効率的な特性評価を行うため、コンビナトリアル手法を適用し、アノード分極試験用の評価基板の作製とその評価を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

露光プロセス装置一式、レーザ描画装置、スパッタリング装置

【実験方法】

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

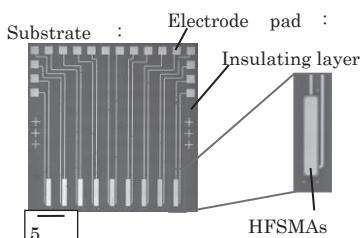


Fig. 1 Evaluation substrate.

本研究では、Ti-Ni-Cu で評価基板を作製した。アノード分極試験は三電極方式による電気化学測定を行った。

JIS T 0302: 2000に基づき、評価基板を生理食塩水(9 g/L, 37±0.5°C)に浸漬し、電位を掃引し分極曲線を得た。電位掃引速度は 40 mV/min、範囲は-0.2~2.5 V とした。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

本評価基板を用いて、Ti-Ni-Cu 高成形性形状合金系でリニアスイープボルタメトリ法を行った。不動態保持電流 i_{ps} についてまとめた結果を Fig. 2 に示す。一部 Ti-Ni 二元系と同等な耐食性を示す高成形性形状記憶合金の探索に成功した。

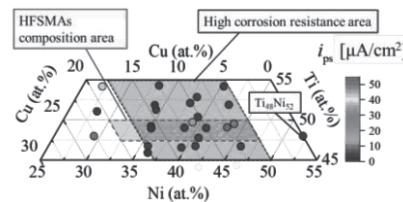


Fig. 2 Passive current of Ti-Ni-Cu alloys

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) K. Chizuwa, C. Oka, S. Hata, J. Sakurai: Combinatorial Evaluation for Biocompatibility of High Formable Shape Memory Alloys, PRICM10, H-9, 2019/18-22
- (2) K. Chizuwa, C. Oka, S. Hata, J. Sakurai, H. Hosoda: Combinatorial Evaluation for Corrosion Resistance of Ti-Ni-based High Formable Shape Memory Alloys, The 4th International Symposium on Biomedical Engineering, P1-18, 2019/11/14-15
- (3) 千須和要, 岡智絵美, 秦誠一, 櫻井淳平: 高成形性形状記憶合金の耐食性のコンビナトリアル評価, 日本機械学会第 27 回機械材料・材料加工技術講演会, 207, 2019/11/21

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J008
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: イオン注入による歪緩和 $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ の層の形成
Program Title (English)	: Formation of Strain-Relaxed $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ Epitaxial Layer Using Ion-implanted Method
利用者名(日本語)	: 祖父江秀隆、柴山茂久、中塚理
Username (English)	: H. Sofue, S. Shibayama, O. Nakatsuka
所属名(日本語)	: 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	: Graduate School of Eng., Nagoya Univ.
キーワード／Keyword	: イオン注入装置、 $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 、歪緩和

1. 概要(Summary)

シリコンフォトニクスの実現に向け、IV族元素のみで室温発振可能な半導体レーザーが要求されている。この半導体レーザーの材料として、活性層である $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ に効果的にキャリアを閉じ込められる $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ ダブルヘテロ構造が注目されている。

本構造における $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ の直接遷移化に向けて、クラッド層かつ $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ の下地層として機能する $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層には、 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ 層の歪緩和を伴う Ge よりも大きな格子定数が要求される。しかし、 $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ の効果的な歪緩和は従来困難であり、大格子定数 $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層の作製は未達成であった。本研究では $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ において実績[1]のあるイオン注入基板を用いたエピタキシャル層の歪緩和法に注目し、イオン注入法が $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層の歪緩和促進に与える影響を調査した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

イオン注入装置

【実験方法】

p 型 Ge(001)基板にイオン注入装置を用いて B イオンを注入した。化学洗浄・超高真空中での熱処理により表面清浄化を行った後、分子線エピタキシ法を用いて $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層を堆積し、XRD により結晶性を評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

イオン注入無しおよび $3.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ のイオン注入を行った Ge 基板上に $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ を成長させた試料の二次元逆格子空間マッピングの結果を Fig. 1 に示す。

イオン注入していない Ge 基板上の $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ が pseudomorphic に成長しているのに対して、 $3.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の B イオン注入を行った Ge 基板上では $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ が歪緩和して成長することが分かった。

ドーズ量の増加に伴い歪緩和率 (DSR) および面内格子定数が増加することが分かり、特に $3.0 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 注入の試料においては、92%の DSR、面内格子定数 0.574 nm の $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ の形成を実現した。この $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y$ 層の面内格子定数は直接遷移が予想される Sn 組成 10%の無歪 $\text{Ge}_{1-x}\text{Sn}_x$ に相当する。

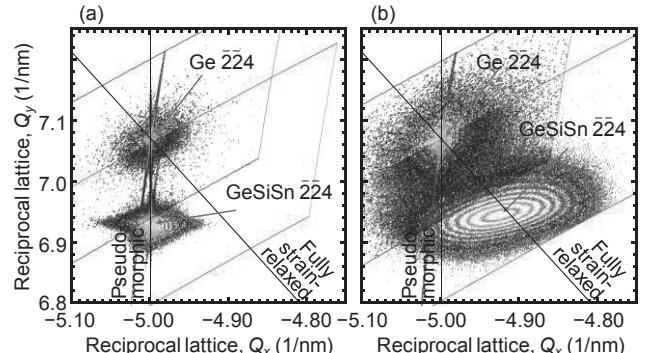


Fig. 1 XRD-2DRSM results of (a) $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{Ge}$ sample. (b) $\text{Ge}_{1-x-y}\text{Si}_x\text{Sn}_y/\text{ion-implanted Ge}$ sample.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

- [1] K. Sawano *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **42**, L735 (2003).

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J009
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 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)	: 丹下龍志、黒澤昌志
Username (English)	: R. Tange, M. Kuroswa
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.

1. 概要(Summary)

大規模集積回路の高速化および省電力化に向けて、金属配線を光配線に置き換えるシリコンフォトニクス技術が注目されている。この技術の発光素子材料の候補として SiSn が挙げられる。SiSn は光通信帯域における直接遷移化が理論計算によって予測されている[1-3]。しかし、直接遷移化する Sn 組成およびバンドギャップの Sn 組成依存性は計算手法によって異なっており、実験的な解明が求められている。実験的に SiSn 薄膜の光物性解明には、様々な Sn 組成の SiSn 薄膜を形成する必要があるが、その成長機構および Sn 組成の制御方法は未解明である。そこで本研究では、成長機構を解明すべく、様々な Sn 組成の SiSn 薄膜を形成し、設計 Sn 組成を XPS により評価した。

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】

Si(001)基板上に分子線エピタキシ法を用いて SiSn 薄膜を形成した。XPS 測定により蒸着した Sn 組成を求め、結晶化温度の設計 Sn 組成依存性、格子置換位置 Sn 組成と設計 Sn 組成の関係を調査した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

SiSn 薄膜の成長条件を Fig. 1 に示す。横軸は XPS 法により測定した各試料の設計 Sn 組成である。設計 Sn 組成 4% の試料では堆積温度を 220°Cまで低下させると非晶質化した。一方、堆積温度 220°Cで設計 Sn 組成を 11%に増加させると SiSn 薄膜はエピタキシャル成長した。これにより、設計 Sn 組成の増加により SiSn 薄膜の結晶化温度が低下したことが判明した。さらに、これらの試料の格子置換位置組成を X 線回折 2 次元逆格子空間マップ(XRD-2DRSM)により評価した結果を Fig 2 に示す。堆積温度の低下によって格子置換位置 Sn 組成が増加し

た。以上より、堆積温度の低下によって Sn 原子のマイグレーションが抑制され、格子置換位置 Sn 組成が増加したと考えられる。

4. その他・特記事項(Others)

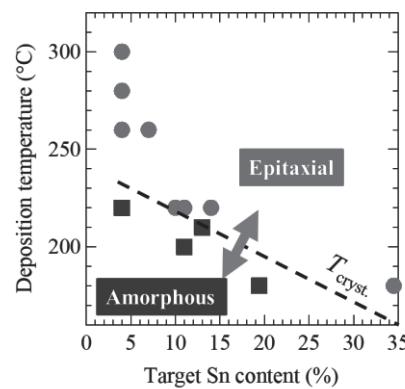


Fig. 1 Growth features depending on the target Sn content and the deposition temperature.

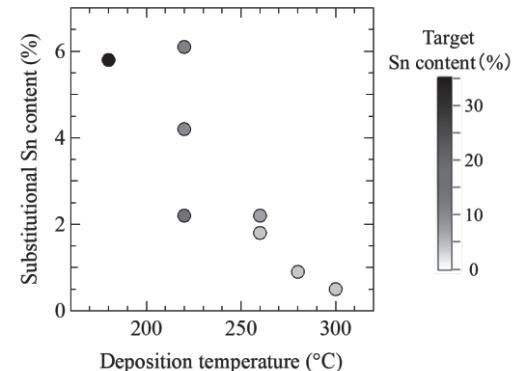


Fig. 2 Substitutional Sn content depending on the deposition temperature.

・参考文献

- [1] P. Moontragoon et al., J. Appl. Phys. **112**, 073106 (2012).
- [2] J. Tolle et al., Appl. Phys. Lett. **89**, 231924 (2006).
- [3] Y. Nagae et al., Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 04CR10 (2017).

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 第 25 回電子デバイス界面テクノロジー研究会

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J010
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 well-ordered nanostructures
利用者名(日本語)	: 小齊孝, 木村康裕, 徳悠葵, 巨陽
Username (English)	: K. Kosai, Y. Kimura, Y. Toku, Y. Ju
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., Univ. of Nagoya
キーワード／Keyword	: 成膜・膜堆積, Cu ₂ O, ナノワイヤ, 光電極, 太陽光水分解

1. 概要(Summary)

テンプレート法によってナノワイヤ作製を行うためには、表面粗さの小さい薄膜によって形成された電極を用いることが重要である。今回、上記の仕様を満たす電極生成を目指し、ガラス基板上に Cr および Au の成膜を試みた。なお Cr はガラス基板と金属薄膜の密着性を向上させるために成膜した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

スパッタリング装置 キヤノンアネルバ製
E - 200S

【実験方法】

ガラス基板表面上の有機物や油脂を除去するため、アセトン・エタノール中において、それぞれ周波数 23 kHz, 10 min 超音波洗浄し、純粋で数回洗浄する。洗浄はアズワン社超音波洗浄機 ASU-2 を用いて行った。洗浄を行ったガラス基板に Fig. 1 に示すマスクを用い、以下の条件でスパッタリングを行った。

- 条件: Ar ガス圧: 1.0 Pa, 出力: 240 W, ターゲット・ステージ間距離: 70 mm

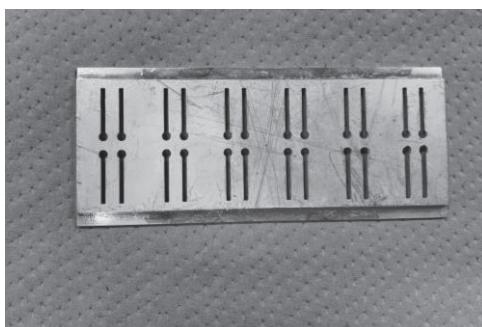


Fig. 1 Photograph of a mask for sputtering.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 2 に示すように Cr 薄膜, Au 薄膜の順にそれぞれ 100 nm 成膜できた。成膜された Au は、テンプレート法によるナノワイヤ作製を行うのに十分な伝導性と表面粗さを有していることが確認できた。

また、Cr を中間層として使用することにより十分な密着強度を確保することができた。

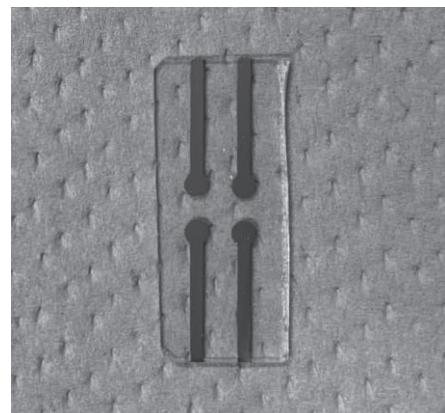


Fig. 2 Photograph of sputtered Au film on glass substrate.

4. その他・特記事項(Others)

- JSPS 科学研究費基盤研究(S) 17H06146

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-J012
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:高機能磁気センサデバイスの開発と評価
Program Title (English)	:Development and evaluation of high-performance magnetic sensor device
利用者名(日本語)	:大島大輝
Username (English)	:D. Oshima
所属名(日本語)	:名古屋大学未来材料・システム研究所
Affiliation (English)	:Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University
キーワード／Keyword	:成膜・膜堆積、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)

我々は磁化変調方式の巨大磁気抵抗(GMR)センサを提案しているが、磁化変調にはセンサとは別に交流磁界を印加するために導線に電流を流す必要があり、その消費電力は無視できない。本年度では省電力化を目指し、スピノホール効果を利用した磁化変調を試みた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

8 元マグネッ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 元マグネットロンスパッタリング装置を用いて Ta/CoFe(A)/NiO/CoFe(B)/Cu/CoFe(C)/MnIr/NiFe/Ta/SiO₂/Si sub.のサンプルを作製し、フォトリソグラフィーおよび ECR-SIMS エッチング装置を用いてセンサ素子を基板上に形成した。次に、センサ中心部のみ Ta/CoFe/NiO を残すようエッチングし、その上からセンサ素子と直交する方向に Ta ワイヤーをリフトオフ法により形成した。Fig. 1 に作製したデバイスの概略図を示す。このデバイスのセンサとしての機能の評価を行うとともに、スピ

ンホール効果による磁化変調の可能性について検討した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

このデバイスにおける磁気抵抗変化率の最大値は約 4 %であり、従来の素子構造と大きく変化がないことを確認した。この構造においてスピノホール効果を確認するため、Fig. 1 のように Ta ワイヤーにパルス電流を流した後の抵抗値変化を調べる実験を行った。Ta ワイヤーに電流を流すと、スピノホール効果により CoFe(A)/NiO を介してその下の CoFe(B)にスピントルクが加わると予想され、そのトルクにより CoFe(B)層の磁化が反転するものと考えられる。実際、ある条件において CoFe(B)層の磁化が反転するという結果が得られた。一方、スピントルクが CoFe(B)層に加わらないであろう、CoFe(A)/Al₂O₃/CoFe(B)に変更したサンプルでは磁化反転は見られなかった。したがって、Fig. 1 に示すような構造においてスピントルクで磁化変調を起こすことができる可能性があると言える。しかし、Ta に交流電流を流して CoFe(B)層の磁化変調を起こすことはできなかった。今後はこの原因を探っていく必要がある。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

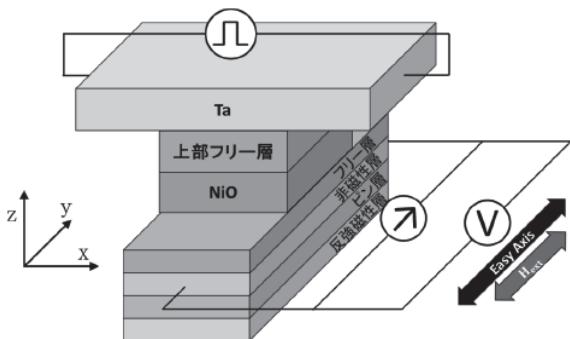


Fig. 1 Schematic image of fabricated sensor device

課題番号	:F-19-J013
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⁾ , 奥山樹 ²⁾ , 香双園 ²⁾
Username(English)	:S. Kajita ¹⁾ , T. Okuyama ²⁾ , S. Feng ²⁾
所属名(日本語)	:1) 名古屋大学未来材料・システム研究所, 2) 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	:1) IMaSS, Nagoya University, 2) Grad. School of Eng., Nagoya University
キーワード／Keyword	:成膜・膜堆積、表面処理、形状・形態観察

1. 概要(Summary)

本研究では、ヘリウムプラズマとレニウム(Re)イオンの共堆積環境での照射実験を行った。レニウムは六方最密(HCP)構造を持ち、ヘリウムプラズマ照射により直線的なナノ構造を形成することが明らかになっている[1]。本研究では、ヘリウムプラズマ中での巨大ファズ形成のメカニズムを目的として、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた巨大ファズの分析を行った。

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】

ヘリウムプラズマ照射は、直線型ダイバータプラズマ模擬装置(NAGDIS-II)を用いて行った。共堆積環境の実現のため、試料板の近くにスパッタリング線を設置した。試料板とスパッタリング線には別々のバイアスを印加することができ、試料板にかけるバイアスで入射イオンエネルギーを制御し、スパッタリングを誘起する。照射後は、走査型電子顕微鏡(SEM)と TEM を用いて試料分析を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

ヘリウムプラズマとReイオンの共堆積環境での照射により、Re巨大ファズが形成した。Re巨大ファズは3 mmもの厚みを持った形状を持ち、直線的なナノサイズのファイバーの集合により構成されている。先行研究のタンゲステン(W)巨大ファズにおいて見られた膜状構造の形成は確認されなかった。さらに、TEMによる電子線回折パターンの取得により、巨大ファズを構成するファイバーの結晶性が明らかになり、ファイバーが常にc軸方向<0001>への成長を示していることがわかった(Fig. 1)。この結果は、

先端の結晶構造が維持されながら、ファイバーの軸方向に成長が起こっていることを示唆しており、ファイバーの先端でエピタキシャル成長が起こっていると考えられる。

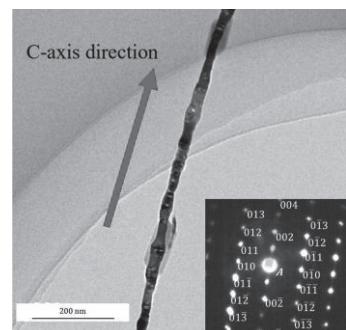


Fig. 1 TEM micrographs of Re-LFNs and diffraction pattern.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

[1] T. Nojima, et al., Plasma Fus. Res. **13** (2018) 3406065.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

[1] S.Kajita, et al. "Helium-plasma-induced straight nanofiber growth on HCP metals", Acta Materialia, 181, 342-351, 2019.12.

[2] S.Kajita, et al., "Growth of nano-fibers on HCP-metals by He plasma irradiation", Japanese Journal of Applied Physics 59, SHHA03, 2020.2.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-J014
利用形態	:技術相談, 機器利用
利用課題名(日本語)	:超高分解能超冷中性子検出器の高精度解析用参照標識の形成
Program Title (English)	:Formation of reference marks for fine analysis with super high resolution ultracold neutron detector
利用者名(日本語)	:長縄直崇 ¹⁾ , 武藤直人 ²⁾
Username (English)	:N. Naganawa ¹⁾ , N. Muto ²⁾
所属名(日本語)	:1) 名古屋大学未来・材料システム研究所, 2) 名古屋大学理学研究科物理F研究室
Affiliation (English)	:1) Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University, 2) Lab. F, Physics department, Graduate School of Science, 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

1. 概要(Summary)

低速中性子が作り出す量子力学的な波紋の像の精密解析を行うため、最高で 11 nm という位置分解能を発揮する検出器を原子核乾板技術を用いて開発した[1]。波紋の精密解析を行うには、高分解能以外に、検出器の面積内の各点にサブミクロンの精度で座標値を与えることが必要である。このための微細な標識の刻印法を微細加工プラットフォーム(PF)の御協力の下、電子線リソグラフィの手法を用いて昨年度に開発した。今回、この検出器を用いてフランスのラウェ・ランジュバン研究所にて地球重力場中の束縛状態における中性子の波紋の像を撮影する機会を得た。この実験で用いる検出器のシリコン基板上に同標識を刻印するべく、微細加工 PF のご支援の下、大島大輝氏にご協力頂き、電子線露光装置および RIE エッチング装置を用いた加工を行い、その結果を確認した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子線露光装置、RIE エッチング装置

【実験方法】

熱酸化処理により両面に約 100 nm 厚の SiO₂層が形成された 4 インチ Si ウェハ(0.5 mm 厚)3 枚の各々に対し、片面に電子線露光用レジストを約 400 nm 厚で塗布し、縦横 50 μm 間隔で直径 1 μm の円形のパターンを電子線露光装置を用いて焼き付けた。(但し 500 μm 間隔に該当する箇所のパターンは直径 5 μm とした。) このようなパターンを 1 cm × 7 cm の領域に焼き付けた。続いてレジストを現像した後、RIE エッチング装置を用いて CF₄、SF₆ガスにより、電子線露光部の Si 板を約 0.5 μm の深さにまでエッチングし、更に残った SiO₂層を除去した。標識が存在する領域の切り出し後、京都大学複合原子力科学研究所の日野正裕氏により B₄C(200 nm)-NiC(60 nm)-C(20 nm)の 3 層構造を持つ薄膜のス

パックタが行われた。その後、名大理学部物理F研究室にてスパッタ膜上に超微粒子原子核乳剤を 10 μm 厚で塗布した。試料の内の 1 枚に J-PARC MLF の BL05 にて冷中性子を照射し、現像後に光学顕微鏡下で標識の状態を確認した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

現像後の検出器の落射光学顕微鏡写真を Fig. 1 に示す。顕微鏡下で明確に標識を確認することができた。

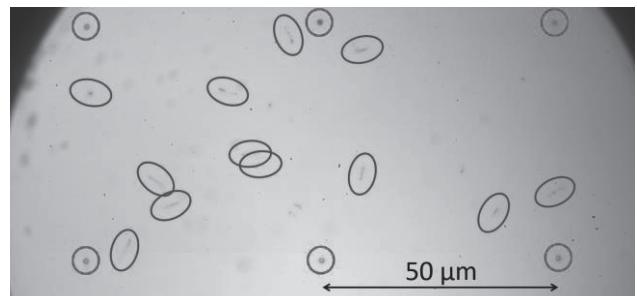


Fig. 1 図中の赤い円内の標識が明瞭に見えている。青い楕円内は、スパッタ膜中のホウ素の中性子吸収により生じた飛跡。

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献:[1] N. Naganawa et al., Eur. Phys. J. C, (2018) 78:959.

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

1. 長縄直崇, 中性子物理研究会, 2019, 口頭発表.
2. N. Muto et al., ICMASS 2019, ポスター発表.
3. 武藤直人, KEK S 型課題「パルス中性子を用いた中性子基礎物理研究」研究会, 2019, 口頭発表.
4. 日本物理学会第 75 回年次大会, 武藤直人等 (2020).

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J015
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)	: <u>T. Tsutsumi</u>
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)

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

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

原子間力顕微鏡

【実験方法】

ICP エッティング装置を用いた塩素プラズマエッティング時に発生する表面荒れや元素組成比の劣化、表面ダメージなどを原子間力顕微鏡および X 線光電子分光法により評価した。また、バイアスパワーやプロセス時間のプラズマ誘起ダメージへの影響を調査した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 に未処理と 100 nm エッティング後の AFM 像、表面荒れの値 (RMS)、ラインプロファイルを示す。100 nm のエッティング後にエッチピットの生成が見られた。このエッチピットは、気相中で生成された Cl_2^+ と Cl ラジカルで転移部分のエッティング速度を促進することが原因の一とに考えられる。また、エッティング深さが増加することで、つまりエッティング時間が増加することで表面ラフネスも増加していくことがわかった。また、エッティング反応生成物の蒸気圧の違いにより、エッティング後は初期膜とは異なる元素組成比になる。バイアスを増加させることでエッティング速度が増加しプラズマプロセス時間は短縮される。プロセス

時間と NBE 強度とは相関は確認できておりらず、イオンエネルギーの増加が NBE 強度の劣化を誘起したことがわかった。気相中で Cl_2^+ と Cl ラジカルを減少させ、転位部分のダングリングボンドを終端させることで、エッチピットは抑制できると考えられる。

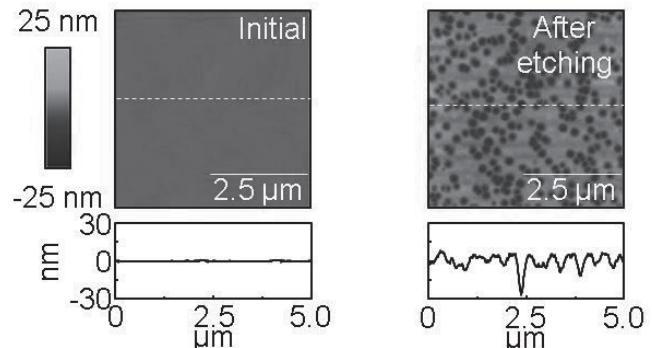


Fig. 1 Surface roughness measured by AFM before and after Cl_2 plasma.

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-19-J016
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: IV族系二次元物質の形成と化学構造評価
Program Title (English)	: Characterization of 2D materials consisting with group IV elements
利用者名(日本語)	: 大田晃生、牧原克典、宮崎誠一
Username (English)	: A. Ohta, K. Makihara, S. Miyazaki
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	: 分析、二次元物質、結晶状態

1. 概要(Summary)

グラフェンと同様の単原子層の蜂の巣構造を有するゲルマニンなど Ge 原子の二次元物質形成の指針を得ることを目的とし、真空蒸着により形成した Al/Ge(111)構造上に表面偏析する Ge 薄膜の結晶状態を評価した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

薄膜 X 線回折装置

【実験方法】

p型 Ge(111)基板を 4.5% に希釈した HF 溶液に浸漬し自然酸化膜を除去した後、蒸着装置内で真空中の熱処理(300°C , $\sim 1.5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$)により Ge(111)表面を清浄化した。その後、真空蒸着(到達圧力: $\sim 1.5 \times 10^{-5} \text{ Pa}$)を用いて、厚さ $\sim 50\text{nm}$ の Al 層を室温または 100°C で堆積した。別途行った XPS 測定より、表面に 1nm 以下の極薄の Ge が偏析していることを確認している。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

入射角 0.4° で X 線を入射した In-plane X 線回折(XRD)より、試料表面に偏析した Ge の試料表面に対して垂直な格子面の結晶性を調べた(Fig. 1)。In-plane 測定における X 線の侵入深さは~数 nm であり、Al 層を室温堆積した試料では顕著なピークは認められないが、基板温度 100°C で堆積した試料ではダイヤモンド構造の Ge(220)に由来する鋭いピークが観測された。このことは、表面偏析した Ge は試料表面と平行に(111)が配向していることを示唆している。同様の試料の AFM 測定より、室温堆積に比べて 100°C で Al 層を堆積することで表面の凹凸が減少し、表面平坦化が認められた。以上のことから、 100°C という低温にも関わらず極薄の Ge 結晶が成長することが分かった。

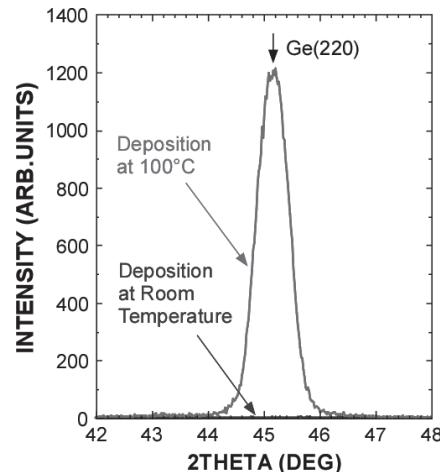


Fig. 1 In-plane XRD diffraction of segregated Ge on Al/Ge(111) structure by thermal evaporation at room temperature and 100°C .

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) M. Kobayashi, A. Ohta, et al., Jpn. J. Appl. Phys., **59**, (2020) SGGK15.
- (2) M. Kobayashi, et al., 32th International Micropocesses and Nanotechnology Conference (MNC), 31P-9-54L (Hiroshima, Oct. 2019)
- (3) M. Kobayashi, et al., 2019 International Conference of Solid State of Device and Materials (SSDM), F-4-03 (Nagoya, Sept. 2019)
- (4) 小林 征登、他、2020 年 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 12p-D519-10 (2020 年 3 月)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J017
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: オプト・ケモロボットを用いたマルチスケール細胞解析システム
Program Title (English)	: Multiscale Cell Analysis System Using Opto-chemo Robot
利用者名(日本語)	: 益田泰輔
Username (English)	: T. Masuda
所属名(日本語)	: 名古屋大学未来社会創造機構ナノライフシステム研究所
Affiliation (English)	: Institutes of Nano-Life-Systems, Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置, マイクロ流体チップ, マイクロセンサ

1. 概要(Summary)

オプト・ケモロボットにおける、センシング機能を搭載したハイドロゲル製のカプセル型マイクロロボットの作製において、均一径のロボットを作製するためのマイクロ流体デバイス作製に名古屋大学支援機関の設備を利用した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザ描画装置, マスクアライナ

【実験方法】

レーザ描画装置を用いて、Fig. 1 に示す形状のマイクロ流体デバイスを作製するためのフォトマスクを作製し、Fig. 2 に示すようマイクロ流体デバイスの作製プロセスにおけるフォトリソグラフィの工程でマスクアライナを用いた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 3 に作製したマイクロ流体デバイスを用いて pH 感受性蛍光色素の FITC を導入したハイドロゲル製マイクロビーズの作製結果を示す。Fig. 3(a) に示す十字型の流路において、左から 10 % の PEGDA575 水溶液に FITC と光開始剤 LAB を加えた混合液を連続層として流し、上下の流路から分散層としてミネラルオイルを流すことでの PEGDA575 水溶液からなるハイドロゲル製マイクロビーズの作製した。ビーズ径は Fig. 3(b) に示すように連続層と分散層の圧力比により調整可能で、Fig. 4 に示すように平均径 20 μm の単分散ビーズの作製に成功した。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- 山田雄風, 秋田祐介, 丸山央峰, 新井史人, 単分散ハイドロゲル光環境センサ, Robomech2019, 2P1-F09, 2019.

6. 関連特許(Patent)

なし。

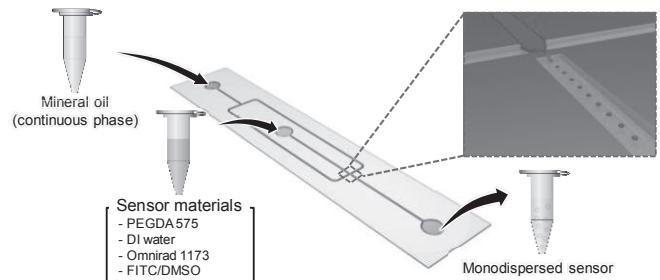


Fig. 1 Concept of continuous fabrication of hydrogel microbead in microfluidic device.

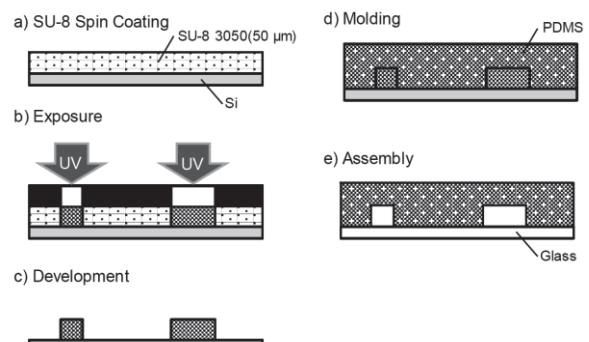
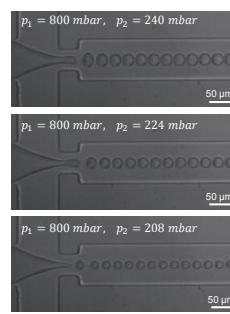


Fig. 2 Fabrication process of microfluidic device.



(a)

(b)

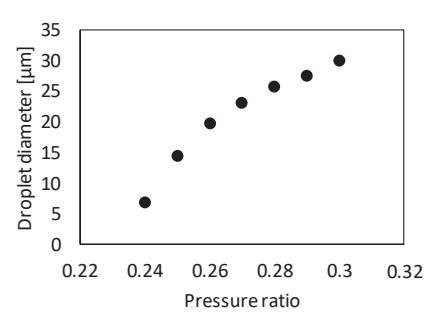
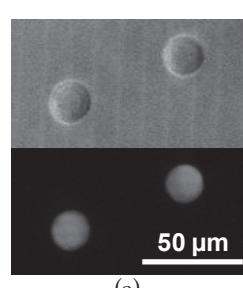
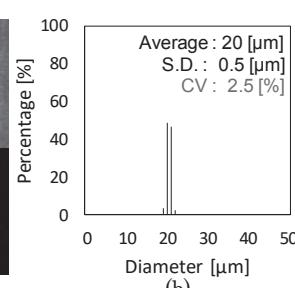


Fig. 3 Fabrication of hydrogel microbead using microfluidic device. (a) Photos of fabrication of microbead, (b) Relationship between pressure ratio and diameter of microbead.



(a)



(b)

Fig. 3 Fabrication of hydrogel microbead using microfluidic device. (a) Photos of fabrication of microbead, (b) Relationship between pressure ratio and diameter of microbead.

課題番号	:F-19-J018
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)	:Evaluation of mechanical interaction between mechanical characteristics of cell spheroids and culture environment based on on-chip cell sorting activated by cellular mechanical characteristics
利用者名(日本語)	:佐久間臣耶
Username (English)	:S. Sakuma
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	:マイクロ流体チップ, スフェロイド, 機械特性, ソーティング, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

本研究では、ハイスループットにスフェロイドの機械特性を計測し、マルチにソーティングするシステムを構築することを目的としている。本機器利用においては、上記システムのうち、ガラス・シリコン系の高剛性なロボット統合型マイクロ流体チップの開発を行った。開発したロボット統合型マイクロ流体チップを統合した自動計測・分取システムを構築し、MSC スフェロイドの連続機械的特性計測、および、オンチップソーティングを達成した。

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), レーザ描画装置(Heidelberg mPG101-UV), ICP エッティング装置(サムコ製 RIE-800), ダイシングソー装置(DISCO 製 DAD522)

【実験方法】

本研究で開発したロボット統合型マイクロ流体チップは、チップ内に一対の力センサプローブを有し、これをチップ外部のピエゾアクチュエータで駆動することで、スフェロイド変形させ、その時の反力を計測することで、機械特性計測を行う。力センサプローブは、シリコンを梁型に加工し、梁の変形を CCD カメラにて計測する方式を用いた。力センサプローブに格子上のパターンを付与し、この格子と CCD カメラの画像素子の格子からモアレ縞を発生させ、高分解能な位置計測をする方式を統合した。また、チップの作製技術として、従来多く用いられてきたポリジメチルシロキサンの樹脂をベースとしたマイクロ流体チップに代わり、ガラス・シリコン系の材料で構成した高剛性なマイクロ流体チップを開発した。

本研究では、間葉系幹細胞(MSC:Mesenchymal Stem Cell)のスフェロイドを対象としてシステムの構築を行った。紙面の都合上詳細は割愛するが、ロボット統合型マイクロ流体チップ内にスフェロイドを導入した後、2台のシリングポンプにてチップの計測部にて位置制御を行った後、オンチップ力センサプローブを駆動することで、スフェロイドの硬さ評価を行った。さらに、この硬さを機械指標とし、ソート用のローラーポンプを駆動することで、対象の微粒子を搬送流路の分岐部にてソーティングを行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

構築した自動計測・分取システムの指標計測スループット評価を、26個の MSC スフェロイドを用いて行い、手動計測のスループットの約2倍となる 3.14 spheroids/min を達成した。また、MSC スフェロイドとマイクロビーズの混合溶液を用いたソーティングの基礎評価を行い、MSC: 5 個/5 個、ビーズ: 5 個/5 個の、連続した機械指標活性型オンチップソーティングを達成した。

4. その他・特記事項(Others)

本研究は、科研費(17H04913)の助成にて行われた。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

[1] S. Sakuma, K. Nakahara, F. Arai, “Continuous mechanical indexing of single-cell spheroids using a robot-integrated microfluidic chip”, IEEE Robotics and Automation Letters, 4(3), pp.2973-2980 (2019)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-J019
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:三次元リンパ管ネットワークの構築と蠕動収縮刺激による機能制御
Program Title (English)	:Construction of lymphatic network and control by peristaltic stimulation
利用者名(日本語)	:益田泰輔
Username (English)	:T. Masuda
所属名(日本語)	:名古屋大学未来社会創造機構ナノライフシステム研究所
Affiliation (English)	:Institutes of Nano-Life-Systems, Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University
キーワード／Keyword	:メカノバイオロジー, 3D プリンタ, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

本研究は、脈管系の重要な構成要素である大小のリンパ管を生体外で構築することを目的とする。蠕動・収縮といった複雑で動的な細胞周囲の微小環境を忠実に再現することで、培養細胞に本来の組織・器官特異的性質を発揮させ、リンパ浮腫等の根本的治療を目指した人工血管リンパ管を有する三次元組織構造体の構築を目指す。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置一式、両面露光用マスクアライナ、スペッタリング装置一式、ダイシングソー装置、マルチマテリアル 3D プリンタ

【実験方法】

三次元組織構造体は、全長：18.8 mm、狭窄部幅；1.0 mm、厚み：1.0 mm のダンベル形状とした。三次元細胞構造体の外形はモールディング法により、形状安定性を図った。その後、ゼラチンメタクリロイルを主剤とした GelMA-A (CELLINK Co.) ハイドロゲルにマウス筋芽細胞 C2C12 を導入し、マルチマテリアル 3D プリンタで作製したモールド内部にバイオプリンティングして三次元細胞構造体を作製した。これで、細胞内部の組織化を促し、組織構造体への誘導をかける。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製した三次元細胞構造体は、固定治具を介して、CO₂ インキュベータ内部に設置した伸展刺激印加培養システムのチャンバー内に搭載する。筋芽細胞は、伸展方向に配向することが知られている。繰り返し伸展ひずみを印加することにより、筋芽細胞の分化調節を行う。伸展刺激印加培養システムでは、伸展機構と対峙して力センサ

を搭載した。本研究で作製した伸展刺激印加培養デバイスを用いて、ハイドロゲル(GelMA-A)三次元構造体に対して伸展刺激を印加し、その際にゲルに生じる張力の計測を行った。その結果、リン酸緩衝生理食塩溶液(PBS)中で、周期 1 Hz、振幅 1 mm の伸展刺激を印加した際、三次元構造体の最大張力は約 70 mN であることが確認できた。

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:名古屋大学未来社会創造機構、新井史人

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

1. Zyaoyu Wang, Taisuke Masuda , et al. , Assembly and Monitoring of Modular Tissue Structure of Micro-Fibers, 2019 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2019), December 2019, Nagoya, Japan.
2. Zyaoyu Wang, Taisuke Masuda , et al. , Assembly of Modular Tissue Structure of Micro-fibers using Magnetic Force and Capillary Force , The 33rd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2020), January 2020, Vancouver, Canada.

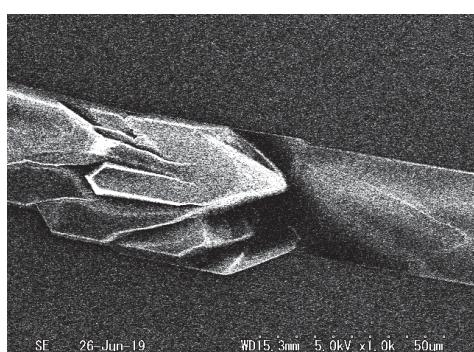
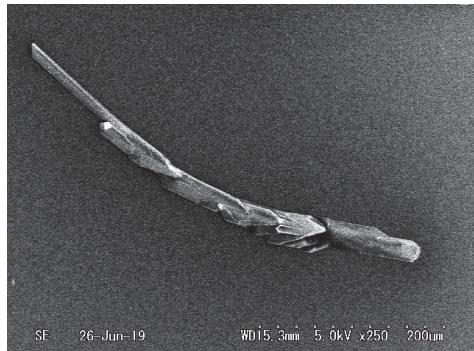
6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J021
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 有機非線形光学薄膜の結晶成長
Program Title (English)	: Crystal growth of thin film nonlinear optical crystal
利用者名(日本語)	: 松木謙太、王培賓、内田裕久、 <u>竹家啓</u>
Username (English)	: K. Matsuki, P. Wang, H. Uchida, <u>K. Takeya</u>
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、非線形光学結晶

1. 概要(Summary)

レーザー励起テラヘルツ波発生において非線形光学結晶が用いられる。無機結晶と比べて有機結晶は高性能であるが、その作成が困難であることが多い。さらに有機結晶はテラヘルツ波に対する吸光度が大きいため、結晶形状をコントロールすることが必要とされる。これまでのような操作が困難であったが、最近になり、テラヘルツ波光源のための非線形光学有機結晶が気相成長で作成できることが発見された。気相成長法で作成することにより、テラヘルツ波発生に適した薄膜形状で作成することが出来る。しかしながら、結晶の核発生などのメカニズムには依然として不明点がある。そこで、発生メカニズムの解明のために OH1 薄膜結晶に対して走査型電子顕微鏡をもちいた観測を行った。



2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡(日立ハイテクフィールディング社製 S4300)

【実験方法】

気相成長により作成した OH1 結晶を基板上に保持したまま電子顕微鏡で観測した。基板材料は 6H-SiC、用いた結晶は OH1 有機結晶である。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

観測された SEM 画像を図に示す。基板上の結晶を特定してその全体像を観察することができた。一方で、結晶の核発生地点の特定や結晶成長の模様を類推するような結果は観察されなかった。条件を変えて成長させた結晶の観測が今後必要と思われる。

4. その他・特記事項(Others)

測定に際して、協力いただきました微細加工プラットフォーム職員の方々に感謝いたします。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-J022
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:卓越大学院 DII におけるプロダクト開発実習
Program Title (English)	: Practical training in product development in DII Collaborative Graduate Program
利用者名(日本語)	:田岡紀之
Username (English)	:N. Taoka
所属名(日本語)	:名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	:Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード／Keyword	:リソグラフィ・露光・描画装置、成膜・膜堆積、膜加工・エッチング

1. 概要(Summary)

名古屋大学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のカリキュラムの一つに「プロダクト開発実習」がある。現在「電力変換用 GaN トランジスタの作製とインバータ回路への応用 (GaN パワー)」「エネルギーハーベストデバイスを実装した IoT センサ開発」「デジタルものづくりによるハングライダーモデルの作製とその制御実習」および「フレキシブル基板上ディスプレイ作製に向けた半導体デバイス設計・試作・プロセス実習 (有機発光デバイス)」の4つ実習を行なっている。これらの4つ内、GaN パワーおよび有機発光デバイスの実習において、GaN MOS キャパシタ、GaN MOSFET に向けたメサ構造および Ge TFT の作製を目指した。それらの作製プロセスにおいて、名古屋大学ベンチャービジネスラボラトリの設備を用いた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子ビーム蒸着装置、フォトリソグラフィ

【実験方法】

GaN MOS キャパシタ:

GaN 基板を洗浄後、ゲート絶縁膜を形成した。その後、ゲート絶縁膜上に Al を真空蒸着した。Al にレジスト塗布後、フォトリソグラフィによってゲートパターンングを行った。ウェットエッチでゲート構造を形成することによって、MOS キャパシタを作製した。作製したキャパシタの電気的特性を評価した。

GaN MOSFET に向けたメサ構造:

GaN 基板を洗浄後、4-5um 程度のレジストを塗布した。メサ構造パターンをフォトリソグラフィによって形成後、ドライエッチを行い、メサ構造を形成した。

Ge TFT:

Al₂O₃/Si 基板上に Ge を電子ビーム蒸着装置を用いて堆積し、フォトリソグラフィによってメサ構造のパターンニングを行った。ウェットエッチによって、Ge メサ構造を形成し、Ni をソース・ドレイン領域に蒸着することによって、バックゲート型の TFT を作製した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

GaN MOS キャパシタでは、比較的良好な MOS 特性を確認することができた。一方で、容量-電圧特性において、ヒステリシスが見られた。今後、プロセスの再検討により、界面特性の向上を目指す。

縦型 GaN MOSFET 応用に向けたメサ構造の作製においては、メサ構造形成後、レジストの残留と考えられるムラが見られた。今後ハードマスクの材料およびプロセス条件を検討する必要がある。

作製した Ge TFT の鳥瞰図を Fig. 1 に示す。ソース、ドレイン、チャネル領域が形成されていることがわかる。

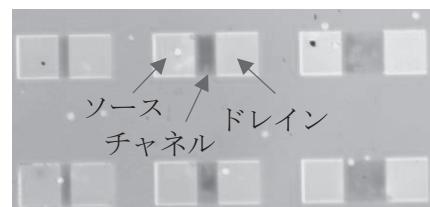


Fig. 1 Ge TFT の鳥瞰図

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-19-J023
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)	: Proposal of thermal switch material using change of thermal conductivity associated with ion intercalation and deintercalation in oxides thin film
利用者名(日本語)	: 宇治原徹
Username (English)	: <u>T. Ujihara</u>
所属名(日本語)	: 名古屋大学未来材料・システム研究所
Affiliation (English)	: Institute of Materials and Systems for Sustainability, Nagoya University
キーワード／Keyword	: 成膜・膜堆積、スパッタ、WO ₃ 、LLZ-Ta、LCO、Al

1. 概要(Summary)

全固体型熱スイッチのデバイス化に向けて、各層の成膜条件、積層方法の調査が重要である。電解前後で熱伝導率が変化するようなエレクトロニクスデバイスの実現を目指し、名古屋大学の微細加工 PF の設備を利用して、試料作製、及び各種評価を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

3 元マグネトロンスパッタ装置、段差計、走査型電子顕微鏡

【実験方法】

ITO コートガラス上に WO₃を積層、さらに LLZ-Ta、LCO、Al を順に積層した。スパッタ条件は以下の条件で行った。【1】

- (i) WO₃: Ar:10 ccm O₂:1.5 ccm、圧力4 Pa、RF パワー150 W
- (ii) LLZ-Ta: Ar:15 ccm 、圧力 1 Pa、RF パワー100 W
- (iii) LCO: Ar:15 ccm 、圧力 1 Pa、RF パワー100 W
- (iv) Al: Ar:15 ccm 、圧力 1 Pa、RF パワー100 W

作製した試料は段差計で膜厚を、走査型電子顕微鏡で表面状態を確認した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

各種材料のサンプル、及び積層後のサンプルを Fig. 1 に示す。Fig. 2 に LCO 薄膜の SEM 画像を示す。クラックが発生することなく成膜できていることが分かった。また、LCO 薄膜の膜厚は約 400 nm であった。(スパッタ時間: 30 min)

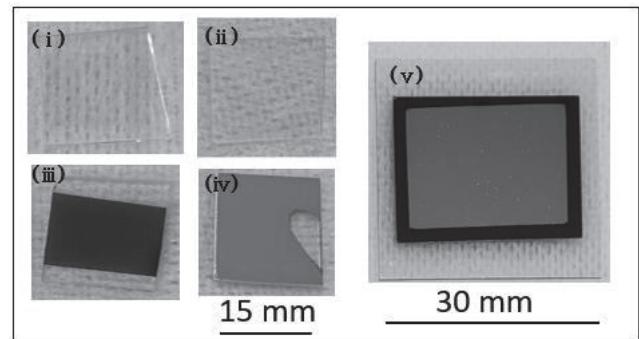


Fig.1 Pictures of thin film (i) WO₃, (ii) LLZ-Ta, (iii) LCO, (iv) Al, (v) Al/LCO/LLZ-Ta/WO₃.



Fig.2 SEM image of the surface of LCO thin film.

4. その他・特記事項(Others)

- 【1】小林竜大,名古屋大学修士論文(2019)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J024
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 鉄系超伝導薄膜の構造と物性制御
Program Title (English)	: Tuning the microstructure and the superconducting properties of Fe-based superconducting thin films
利用者名(日本語)	: 近藤圭佑、辻泰成、伊東直樹、畠野敬史、飯田和昌、生田博志
Username (English)	: K. Kondo, Y. Tsuji, N. Ito, T. Hatano, K. Iida, H. Ikuta
所属名(日本語)	: 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	: Graduate school of engineering, Nagoya University
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、膜加工・エッチング、形状・形態観察、NdFeAs(O,H)

1. 概要(Summary)

分子線エピタキシー(MBE)法で作製した水素ドープした NdFeAsO 薄膜の電気輸送特性を評価するために、フォトリソグラフィ装置と RIE エッチング装置を用いて超伝導細線を加工した。その結果、水素ドープされた NdFeAsO 薄膜の自己磁場中における臨界電流密度 J_c は、4 K で 17 MA/cm^2 に達した[1]。この値は、我々が知る限り、鉄系超伝導薄膜の中では世界最高である。

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

【実験方法】

フォトリソグラフィ装置と RIE エッチング装置を用いて超伝導細線を加工した。細線加工を行った薄膜の顕微鏡写真の一例を Fig. 1 に示す。細線加工後に電流・電圧パッドに Al 線を取り付け、電気輸送特性を 4 K から 30 K まで、外部磁場を試料の c 軸に平行に印加し、測定し

た。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 から細線は設計通りの大きさに加工されている。加工前後で試料の超伝導転移温度および転移幅に差がないことから、細線加工によるダメージは受けていないと結論できる。この試料の自己磁場中における J_c は、4 K で 17 MA/cm^2 を記録した。

4. その他・特記事項(Others)

- 参考文献: [1] K. Kondo *et al.*, The 32nd International Symposium on Superconductivity, Dec. 3, 2019
- 他の機関の利用: 九州大学 (A18-KU-1004)
- CREST(JST): 超伝導インフォマティクスに基づく多結晶型超伝導材料・磁石の開発

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 近藤圭佑 他 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会(2019) 20p-C207-15.
- (2) K. Kondo *et al.*, The 32nd International Symposium on Superconductivity, (Kyoto, Japan) Dec. 3, 2019.
- (3) K. Iida, Materials Research Meeting 2019, (Yokohama, Japan) Dec. 10, 2019.
- (4) K. Iida, Iron-based Superconductors: advances towards applications, (Santa Margherita Ligure, Italy) Feb. 13, 2020.

6. 関連特許(Patent)

なし。

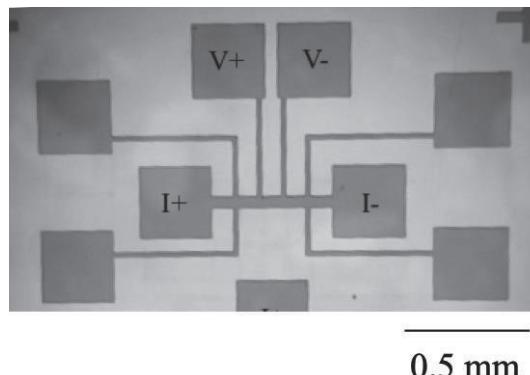


Fig. 1 A representative of a top-view optical micrograph for the micro-wires for transport measurements.

課題番号	: F-19-J027
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 薄膜の測温抵抗体を用いた円盤型デトネーション燃焼の熱伝達量測定
Program Title (English)	: Heat Transfer Measurement of a Disk-shaped Rotating Detonation Combustor with a Thin Film Resistance Temperature Detector
利用者名(日本語)	: 堀田貢太郎
Username (English)	: <u>K. Hotta</u>
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	: detonation, rotating detonation combustor, heat flux, 成膜・膜堆積

1. 概要(Summary)

回転デトネーション燃焼器(rotating detonation combustor, RDC)とは超音速で連続伝播するデトネーション波を利用した熱機関であり、燃焼器の小型化が期待される。デトネーション燃焼による壁面への高熱負荷が大きな課題となっている。そこで本研究ではデトネーション波の構造を可視化することが容易な円盤型RDCを用いて、可視化計測と薄膜の測温抵抗体を用いた高速度応答での熱流束計測を同時にを行い、デトネーション波の伝播と熱流束の関係を明らかにする。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子ビーム蒸着装置、3元マグネットロンスパッタ、小型微細形状測定装置

【実験方法】

Al_2O_3 を母材とした熱流束プローブ表面に Pt を約 1 μm 積層、さらに保護膜として SiO_2 を 1.5 μm 製膜した。Pt の抵抗値と温度の関係から、温度を計算し、その値をプローブの境界条件として入力して、非定常熱解析から熱の流入を算出する。Fig. 1 に本研究で使用する円盤型 RDC の模式図を示す。燃料にエチレン、酸化剤に酸素を用い燃焼試験を行った。

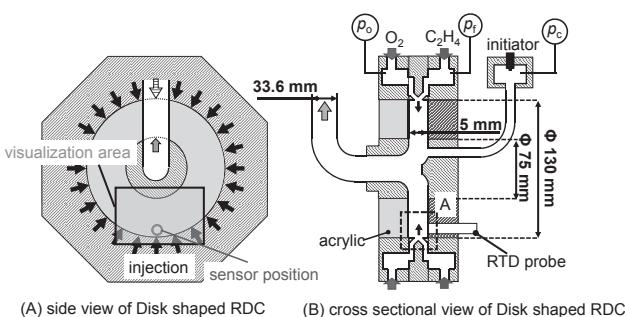


Figure 1. 燃焼器模式図

3. 結果と考察(Results and Discussion)

画像の A3 ではデトネーション波がセンサを右から左へ通過しており、A7 では左から右へ通過している。それぞれがセンサの温度上昇と熱流束上昇に対応していることが分かった。

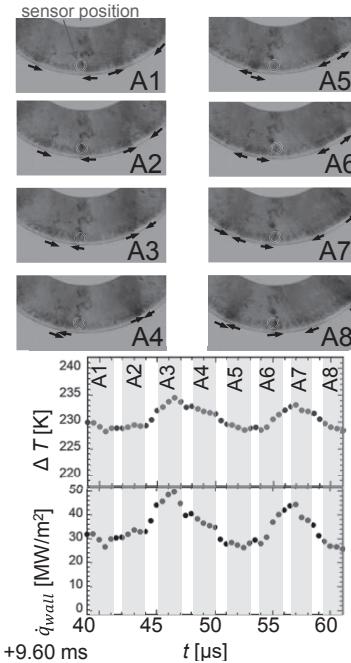


Fig. 2 実験結果

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) K. Hotta, A. Kawasaki, K. Matsuoka, J. Kasahara, A. Matsuo and I. Funaki, The Fifty-Seventh Symposium on Combustion, 2019.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-J028
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 界面ナノ構造制御による超低抵抗金属/IV族半導体コンタクト形成技術
Program Title (English)	: Formation technique of metal/group-IV semiconductor contact with ultra-low contact resistivity by control of interface nanostructure
利用者名(日本語)	: 千賀一輝、柴山茂久、中塚理
Username (English)	: K. Senga, S. Shibayama, O. Nakatsuka
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	: イオン注入、ゲルマニウム、Ge

1. 概要(Summary)

新規チャネル材料として、電子・正孔ともに高いキャリア移動度を持つ Ge が期待されている。Ge チャネルを用いたデバイスの実用化のためには、金属/半導体界面のコンタクト抵抗率の低減は重要な課題である。近年、様々な金属/n-Ge 界面のコンタクト抵抗率が報告されているが、要求値は達成されていない[1]。本研究では、金属/n-Ge 界面の電気伝導特性評価によるコンタクト抵抗率の低減に向け、高濃度 Ge 基板を作製し基板活性化不純物濃度評価を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

イオン注入装置、急速熱処理装置

【実験方法】

イオン注入装置を用いて、*p*型 Ge(001)基板上に設計基板不純物濃度が 10^{18} – 10^{20} cm⁻³ となるようにリン(P)を印加電圧 40 kV で注入し、高濃度 *n*型層 Ge を作製した。その後、不純物活性化のため、急速熱処理装置を用いて 500–700 °C で 10 秒間活性化熱処理を行った。マイクロ四探針法により基板表面のシート抵抗を測定し、高濃度 *n*層の基板濃度を求めた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

マイクロ四探針法により測定した各試料のシート抵抗および抵抗率を Fig. 1 に示す。高濃度 *n*型層の膜厚は、SRIM シミュレーションから 90 nm とした。 10^{19} および 10^{20} cm⁻³ の設計不純物濃度基板では、熱処理温度の増大に伴いシート抵抗および抵抗率の低減を確認できた。また、 10^{18} cm⁻³ の設計不純物濃度基板においても、600 および 700 °C での熱処理によって、シート抵抗は熱処理前に比べ減少した。Fig. 1 の抵抗率の結果から、基板不

純物濃度を計算した結果を Fig. 2 に示す。700 °C での活性化熱処理によって、基板不純物濃度はそれぞれ、 7.7×10^{17} 、 1.2×10^{19} 、 8.2×10^{19} cm⁻³ となった。

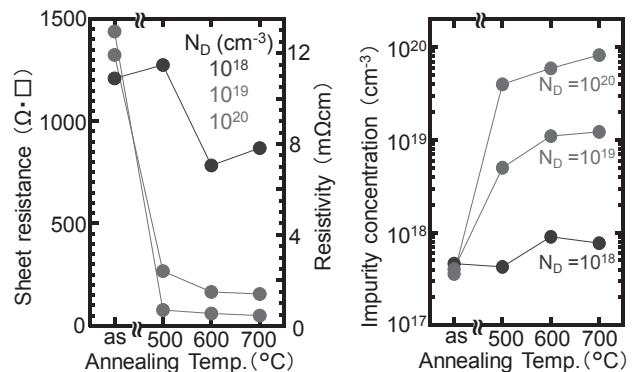


Fig. 1 Sheet resistance and resistivity versus annealing temperature.

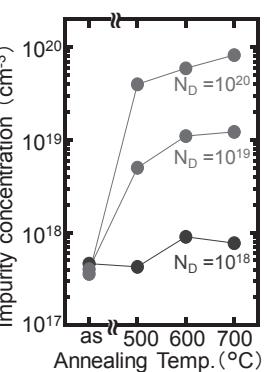


Fig. 2 Impurity concentration versus annealing temperature.

4. その他・特記事項(Others)

・本研究の一部は、キオクシア株式会社（旧社名 東芝メモリ株式会社）の支援をうけて実施したものです。

Acknowledgment: The research has been partly executed in response to support of KIOXIA Corporation (former Toshiba Memory Corporation)".

・参考文献

- [1] International Roadmap for Devices and Systems (IRDS) 2018 [<https://irds.ieee.org/editions>].

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-J030
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:ハイスループットマイクロ流体細胞分取システムの研究・開発
Program Title (English)	:Research and development of high-throughput microfluidic cell sorting system
利用者名(日本語)	:佐久間臣耶
Username (English)	:S. Sakuma
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	:マイクロ流体チップ, 細胞, ソーティング, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

近年、単一細胞解析の重要性から、希少細胞などを対象としてシングルセルソーティング技術に注目が集まっている。細胞ソーティングに広く用いられている FACS では、あらかじめ装置内にセットされたキャピラリーを用いて細胞を計測・分取するため、キャピラリーの除染作業に時間がかかること、サンプル同士のコンタミネーションの可能性があるという課題がある。一方で、マイクロ流体チップを用いたオンチップセルソーティングでは、チップをサンプル毎にディスポーザブルとすることでできるため、除染やコンタミネーションの問題がなく、さらに、一般的な顕微鏡下に配置することができるため、種々のイメージング技術との組み合わせが可能であるといった大きな利点がある。本研究では、企業との共同研究により、申請者らが従来開発したオンチップセルソーティングシステムのさらなる高スループット化および製品化へ向けた研究・開発を目的とする。本機器利用においては、マイクロ流体チップの開発のうち、チップ作製プロセスの検討を行った。

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), レーザ描画装置(Heidelberg 製 mPG101-UV), ICP エッティング装置(サムコ製 RIE-800), ダイシングソ一装置(DISCO 製 DAD522)

【実験方法】

本研究で対象とするオンチップセルソーティングシステムのマイクロ流体チップは、メインチャネルに直交するよう接続した 2 つのオンチップメンブレンポンプを有し、その十字に交差するソーティングポイントにおいて、メンブレンポンプを用いた局所的な流体制御を行うことで、細胞を下流にて振り分ける構成となっている。高速・高精度駆動

が可能なピエゾアクチュエータを用いることで、超高速に流体制御を行うことが可能である。

チップはガラス-シリコン-ガラスの 3 層構造となっており、DRIE によりシリコン層に、マイクロ流路、および、オンチップメンブレンポンプを構成し、ガラス面に細胞フォーカシングのための流路を構成した(参考文献:S. Sakuma, et al, Lab chip, 2017; N. Nitta, et al., Cell, 2018; A. Isozaki, et al., Nat. Protoc., 2019)。セルソーティングシステムは倒立の蛍光顕微鏡を基盤として構成し、蛍光検出をトリガとすることで、オンチップメンブレンポンプを駆動し、マイクロビーズおよび細胞の分取実験を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

上記参考文献を基に、ガラス-シリコン-ガラスの 3 層のそれぞれにおいて、プロセス条件の検討を行い、マイクロ流路、オンチップメンブレンポンプ、および、フォーカシング流路の作製に成功した。また、作製したマイクロ流体チップを用いて、オンチップセルソーティングシステムを構成し、オンチップメンブレンポンプを用いた流体制御の基礎検討を行った。さらに、マイクロビーズ、および、細胞のソーティングの基礎実験に成功し、開発したマイクロ流体チップの有用性を確認した。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし

課題番号	: F-19-NU-0001
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: MEMS や半導体などをセラミック材で支持する構造
Program Title (English)	: Structure to support MEMS and semiconductors with ceramic material
利用者名(日本語)	: 西園和則,瀬尾暁,牧野伸哉
Username (English)	: <u>K. Nishizono</u> , S. Seo, N. Makino
所属名(日本語)	: 株式会社 MARUWA
Affiliation (English)	: MARUWA CO. LTD
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)

セラミック基板に半導体チップを搭載する方法として、金属薄膜パターンを用い半導体チップを接着する実験を検討している。まずはシリコンウェハ表面に金属薄膜のパターニングからはじめた。

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 MA-6)、電子ビーム蒸着装置

【実験方法】

名古屋大学微細加工プラットフォームの装置を利用し、シリコンウェハを使って金属薄膜の成膜とパターニング(配線幅 4 μm)の条件出しから始めた。

最初にスピノコータを使用して、シリコンウェハ(4インチ)にフォトレジストを塗布した。次に、両面露光マスクアライナで露光した後にドラフトチャンバー内で現像してフォトレジストをパターニングした。フォトレジストをパターニングしたウェハに金属薄膜を蒸着装置で成膜した。金属成膜したウェハのフォトレジスト部分を剥離するリフトオフ法によって、金属薄膜をパターニングしたウェハを試作した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

今回は、半導体装置の使用経験が少ないメンバーのため装置操作の習得も兼ねて実験を進めた。まずは金属薄膜(厚さ 0.2~1.0 μm) のパターニングから取り組んだ。リフトオフ法によるメタライズを試作した結果、金属パターンエッジ部分のバリが問題となった。特に、金属薄膜の厚さが 1 μm の場合にバリが多くみられた。

バリ対策として、フォトレジストの種類や組合せを変えるなどして実験した結果、フォトレジスト+犠牲層レジスト

の組合せがもっともバリが少なかった。

一方、蒸着装置チャンバー内の温度によってレジストの断面構造が変化することが知られている。そこで、電子ビーム蒸着装置内に設置したウェハに温度マーカを貼って温度を確認しながら、使用可能なフォトレジストの条件を確認した。

上記のようにフォトレジストの種類や組合せ、成膜条件などの対策を実施した結果、バリを改善できた。

今後は、さらに金属薄膜パターニングを微細化したいと考えている。

4. その他・特記事項(Others)

- ・他の機関の利用: 京都大学ナノテクノロジーハブ拠点
- ・名古屋大学 加藤剛志様、大島大輝様に感謝いたします。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0002
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: スパッタ薄膜の耐久性改善
Program Title (English)	: Improvement of durability of sputtered thin film
利用者名(日本語)	: 森清貴
Username (English)	: K. Mori
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・膜堆積、スパッタリング、保護膜、耐久性

1. 概要(Summary)

樹脂製品に金属薄膜を成膜するにあたり、金属薄膜の耐久性が悪いことが課題である。今回、名古屋大学のスパッタリング装置を利用して SiO_2 保護膜を積層することで金属薄膜の耐久性を評価した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

3 元マグネットロンスパッタ装置

【実験方法】

スパッタリングにより PPS 基板に Ni 膜もしくは Al 膜を $0.2 \mu\text{m}$ 、 SiO_2 膜を $0.1 \mu\text{m}$ 成膜した。スパッタの条件ならびに作製したサンプルを以下に示す。

- ・スパッタガス: Ar 雰囲気下(15sccm) 1.0Pa
- ・RF 電源: 300W
- (i) Ni スパッタ $0.2 \mu\text{m}$
- (ii) Ni スパッタ $0.2 \mu\text{m}$ + SiO_2 スパッタ $0.1 \mu\text{m}$
- (iii) Al スパッタ $0.2 \mu\text{m}$
- (iv) Al スパッタ $0.2 \mu\text{m}$ + SiO_2 スパッタ $0.1 \mu\text{m}$

3. 結果と考察(Results and Discussion)

成膜した Ni スパッタのサンプルの写真を Table. 1 に示す。成膜時と 1 ヶ月後の表面抵抗を測定し、Ni 膜の劣化具合を確認した。なお、サンプルは常温で空気に触れる状態で保管した。

Sample	(i) Ni $0.2 \mu\text{m}$	(ii) Ni $0.2 \mu\text{m}$ + SiO_2 $0.1 \mu\text{m}$
Initial	$0.6064 \Omega/\square$	$0.5364 \Omega/\square$
After 30 days	$0.6726 \Omega/\square$	$0.5675 \Omega/\square$

Table. 1 Pictures of Ni sputtered thin film.

保護膜により初期からの表面抵抗の上昇を抑えることができた。金属薄膜が直接空気に触れなくなつたため、酸化にくくなつたからだと考えられる。

続いて更なる耐久性を確認するために腐食しやすい Al 膜の耐塩水性を確認した。塩水噴霧後のサンプルの写真を Fig. 1 に示す。

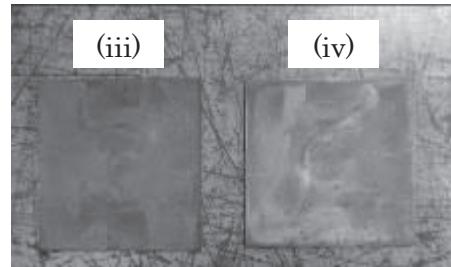


Fig. 1 Result of salt spray test.

試験後のサンプルはどちらも Al 膜が完全に黒く変色した。耐塩水には SiO_2 保護膜では全く効果がなかった。

今回の検討により、金属膜の酸化防止のために SiO_2 保護膜の有効性を確認できた。しかし、耐塩水性は不十分であるため保護膜の材質や工法の検討が必要である。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0003
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
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	: 膜加工・エッチング、リソグラフィ・露光・描画装、微細光学素子

1. 概要(Summary)

基材表面に微細構造を設け、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、基材表面に微細凹凸形状を設けた光学素子の作成を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

RIE エッチング装置

【実験方法】

フォトリソグラフィを用いて、シリコン基板上にレジストで微細パターンを作成。その後、RIE エッチング装置を用いてシリコンのエッチングを行い、シリコン基板上に微細パターンを形成した。サンプル作成に用いたエッチング条件を Table 1 に示す。

No	RF Power (w)	Gas	Flow Rate (SCCM)	Pressure (Pa)
1	100	SF6	25	2.0
2	70	SF6/O2	25/5	2.0

Table 1. Recipes of RIE.

事前実験により求めたシリコン基板とノボラック系レジストのエッチング選択比は、

- No.1 シリコン基板/レジスト = 3 / 1
- No.2 シリコン基板/レジスト = 1 / 1

であったため、この選択比を考慮してレジストパターンの作成を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作成したパターンの顕微鏡写真を Fig. 1 に示す。SF6 ガスでのエッチングは等方的に進みやすく、SF6 ガスのみでエッチングしたサンプル(Fig. 1 (a))は、アンダーカットが発生して、エッチング部の開口幅が広がる様子が見られた。一方、O2 を添加してエッチングしたサンプル(Fig. 1(b))では、シリコン酸化膜生成による側壁保護の効果が見られており、アンダーカットに起因するパターン崩れを低減できることが分かった。

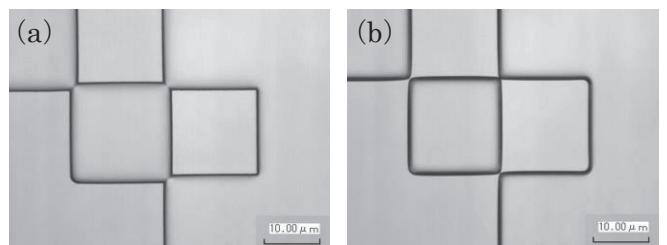


Fig. 1 Pictures of samples fabricated by different conditions No.1 and 2.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0004
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: ワイヤーグリッド型偏光板の加工方法検討
Program Title(English)	: Research of wire grid polarizer processing
利用者名(日本語)	: 大村拓磨, 石井佐織
Username(English)	: <u>T. Omura</u> , S. Ishii
所属名(日本語)	: 株式会社 東海理化,
Affiliation(English)	: Tokai Rika, Co.Ltd
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、ナノインプリント装置、プロセス評価

1. 概要(Summary)

ワイヤーグリッド型偏光板を形成する微細なライン&スペース(L&S)の形状測定手法の一つに原子間力顕微鏡(以下 AFM)がある。しかし、カンチレバーの先端形状によつては、高アスペクト比の L&S の形状測定は難しい。そこで今回は、異なる先端形状を持つカンチレバーを用いて、アスペクト比 2.5 の L&S 形状を測定した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

原子間力顕微鏡

【実験方法】

測定試料には Table 1 に示す微細な L&S が加工された石英ガラスを用いた。

イオナイザで除電処置した試料に対し、Table 2 に示す先端形状の異なる 2 種類のカンチレバーを用いて AFM による L&S 形状の測定を行つた。測定条件を Table 3 に示す。

次に、測定試料を L/S に垂直方向に断面カットし、SEM で断面観察を行い、AFM の測定結果と比較した。(試料断面には導電性確保のため微量の Os を成膜した。)

Material	Quartz
Size	10mm×10mm ×0.6mm
Design value	Line 80nm Space 80nm Height 200nm

Table 1 Object

Symbol	(a)	(b)
Material	Si	Si
spring constant	40 N/m	42 N/m
Tip radius	8 nm	2 nm
Feature	General purpose	High resolution

Table 2 Cantilever

Mode	DFM
Range	1μm×0.25 μm
Pixels	256
Scan rate	0.25 Hz

Table 3 Measurement condition

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 に AFM、および SEM による L&S 形状の測定結果を示す。

カンチレバー(a)による測定では、SEM に比べて L&S 高さが小さく、スペース幅が測定できなかった。一方、カンチレバー(b)の場合には、SEM に比べてスペース幅は小さいものの、L&S 高さは同程度であった。

カンチレバー(a)では、探針の先端形状がカンチレバー(b)より太いため、L&S のスペースの底まで探針が届いていないと推定される。

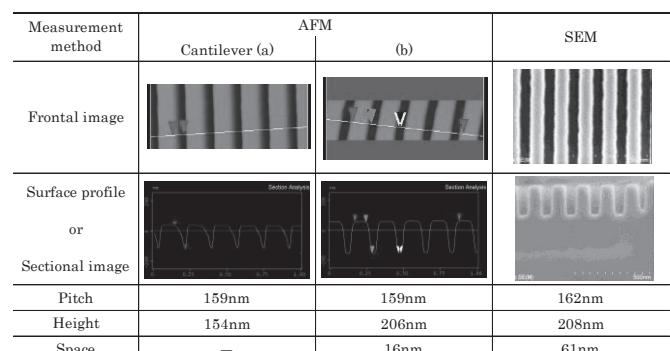


Fig. 1 Results of L&S measurement
by AFM and SEM

4. その他・特記事項(Others)

・本課題にあたり、ご指導いただいた加藤先生をはじめ、微細加工プラットフォームの皆様に感謝いたします。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0010
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, 長岡靖崇, <u>宇理須恒雄</u>
Username(English)	: Z-H. Wang, H. Uno, Y. Nagaoka, <u>T. Urisu</u>
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、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た。培養型プランナーパッチクランプバイオチップを製作し、神経細胞ネットワークのイオンチャネル電流の測定に成功した。プロトタイプ装置の製作はほぼ完成し、細胞播種装置を開発中である。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

ICP エッチング装置一式(サムコ製 / RIE-800)、両面露光用マスクアライナ((Suss MicroTec AG 製 / MA-6)、ダイシングソー装置(サムコ製 / DAD522)、Deep Si Etcher(住友精密工業製 / Multiplex-ASE)

【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 RIE-800 (51) でエッチング (MULTIPLEX-ASE (73))。
- (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と Deep Si Etcher 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マスクアライナでセルケージと微細貫通穴のパターンに位置合わせをして、裏面の溶液溜め加工のためのレジストパターンを形成。その後ボッシュプロセスで深穴形成。
- (4) ダイシングソー装置を利用し、最後のプレナーパッチクランプチップを正確にカットした。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

プレナーパッチクランプチップを PLL(poly-L-lysine)など ECM(extra cell matrix)でコーティングし、ラットの

海馬神経細胞の長期間の初代培養に成功した。培養開始から3週間後、プロトタイプ装置の中心部の微細貫通孔上の神経細胞のチャンネル電流の測定に成功した。Fig. 1 に、その素子の全体 3D 図を示す。プロトタイプ装置の製作をほぼ完成した。Fig. 2 に、その装置の全体 3D 図を示す。Fig. 1 の素子は青い蓋の下あるアルミ製のファラデーケージ内に装着する。今後、播種装置の開発を進め、本技術の実用化をめざす予定である。

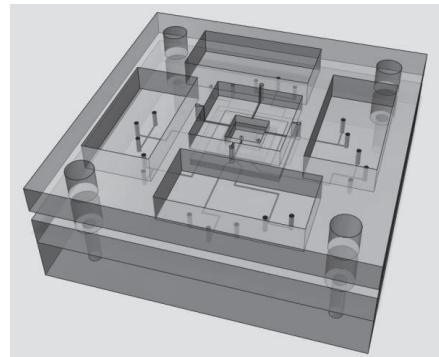


Fig.1 4ch microfluidic planar patch clamp device.



Fig.2 Prototype high-throughput screen 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技術課職員、近藤聖彦技術課職員
- ・他機関の利用：分子研機器センター施設(S-19-MS-1068)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 宇野秀隆、高田紀子、王志宏、近藤聖彦、浮田芳昭、高村禪、宇理須恒雄、高性能マイクロ流路バルブシステムの開発, 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会, 2019年3月9日～3月12日, 東京, 日本
- (2) 王志宏, 宇野秀隆, 栗田裕子, 長岡靖崇, 高田紀子, 宇理須恒雄, 培養型プレーナーパッチクランプチップの微細構造修飾, ナノ学会第17回大会, 2019年5月9日～5月11日, 鹿児島, 日本
- (3) 長岡靖崇、王志宏、宇野秀隆、高田紀子、栗田裕子、宇理須恒雄、培養型プレーナーパッチクランプにおけるシリーズ抵抗, 2019年第80回応用物理学秋季学術講演会, 2019年9月18日～9月21日, 札幌, 日本

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-NU-0013
利用形態	:機器利用
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、盛んに研究されている。本研究では、a-FeSiB 薄膜と磁気抵抗効果を示すグラニュラー薄膜で構成される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(キャノン社製 PLA-501(S))、磁気特性評価システム群(トルク磁力計)

【実験方法】

a-FeSiB 薄膜、Co-Al₂O₃ グラニュラー薄膜はマグネットロンスパッタ法で成膜した。トルク磁力計により、飽和磁歪定数を測定した。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。電気特性は2端子法により測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1(a) は、リフトオフに使用したフォトマスクの写真である。左右電極間(□部分)にはギャップが存在し、設計値は 3 μm である。Fig. 1(b) は実際にリフトオフで作製した a-FeSiB 薄膜パターンである。a-FeSiB には磁気特性改善のため微量の Nb を添加している。ギャップ部分を拡大して評価したところ、電極間のギャップ長は約 4 μm であった。

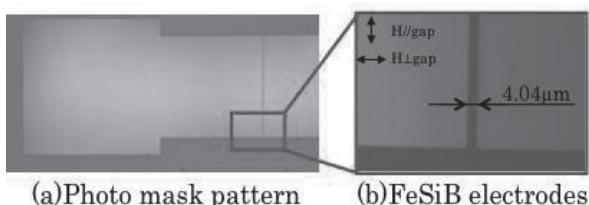


Fig. 1 (a) Photo mask pattern and (b) a-FeSiB electrodes of strain sensor.

本研究のひずみセンサは、Fig. 1(b) のギャップ部分に磁気抵抗効果を示す Co-Al₂O₃ グラニュラー薄膜を堆積させた構造となっている。作製したセンサに磁界を印加した際の電気抵抗の変化を Fig. 2 に示す。磁界の印加方向は Fig. 1(b) に示してある。ギャップに垂直に磁界を印加すると、電気抵抗は急激に減少しており、これは、a-FeSiB 電極の磁気モーメントの向きが外部磁化で変化し、ギャップに漏れ磁界を発生させていることを示している。今後、ひずみにより a-FeSiB 電極の磁気モーメントの向きを制御し、電気抵抗の変化により、ひずみを検出する実験を実施する予定である。

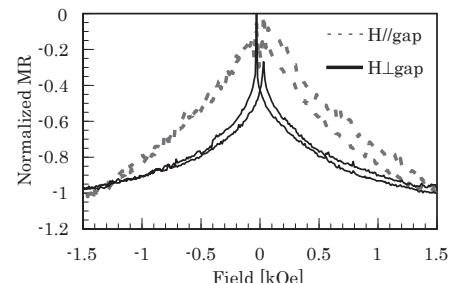


Fig. 2 Typical MR loops. Magnetic field was applied parallel and perpendicular to the gap.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会: Po2-2: 上部智也, 野末周平, 藤原裕司, 小林正, 岩田聰, 加藤剛志, 大島大輝: FeSiB アモルファス薄膜を用いた GIG 型ひずみセンサの試作

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-NU-0014
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:高純度同位体シリコンエピ基板上の量子デバイス作製
Program Title (English)	:Fabrication of quantum devices on high-purity silicon isotope epi-wafers
利用者名(日本語)	:宮本聰, 佐藤克哉, 宇佐美德隆
Username (English)	: <u>S. Miyamoto</u> , K. Sato, 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	: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、分析、量子デバイス

1. 概要(Summary)

近年、同位体シリコン Si-28 の純度を 99.92%まで精製したエピ膜を有するシリコン基板上では、单一量子ビットに対する量子情報保持時間が桁違いに延伸されることが実証され、大規模量子計算を実現するための理想的なプラットフォームとして注目されている。我々が推進するこの同位体制御 Si-28 エピ基板の構造最適化及び高品質化のためには、デバイス特性評価による迅速なフィードバック開発が重要であり、ホールバー構造や微細ゲート構造の安定した作製技術の確立が不可欠である。本課題は、欠陥準位の少ない高品質なゲート絶縁膜を挟んで、広範囲で電界制御可能な量子デバイス構造の作製を目的とし、本年度は、名古屋大学・微細加工プラットフォームの装置群を用いた基本プロセス条件の最適化を重点的に実施した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置(Heidelberg Instruments 社製 DWL66FS)、フォトリソグラフィ装置(共和理研社製 K310P100S)、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)、原子層堆積装置(サムコ社製 AD-100LE)

【実験方法】

(1) レーザー描画装置により 3 インチのフォトマスクを設計・試作し、フォトリソグラフィ装置を用いて東京応化工業社製レジスト(OFPR-800LB)を塗布したシリコン基板に各プロセス用のパターンを形成した。(2) 当研究室が所有する真空蒸着装置によりゲート電極を堆積し、成膜レートは段差計で堆積膜厚を測定することで決定した。ここでは、Ti は~0.5 Å/sec、Au は ~1.0 Å/sec として Ti (5 nm)/Au (50 nm) 金属パッドの堆積を試みた。(3) RIE エッチング装置により、SF₆/O₂ ガス雰囲気中でホールバー

型のメサ構造へと加工した。(4) ゲート絶縁膜として、原子堆積層装置(ALD)を用いて、300 °C、300 サイクルで Al₂O₃ 絶縁膜の堆積試験を実施した。但し、チャンバー内への不純物混入を避けるため、レジストを塗布していないシリコン基板上に堆積した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

各プロセス用に作製したフォトマスク、及びフォトリソグラフィにより形成したパターンに対し、最小構造幅~20 μm まで設計通りに形成されていることを確認した。またゲート電極の堆積に際しては、リフトオフ時に Au 上部層の部分的な剥離が観察されたが、概ね制御した膜厚の Ti/Au 電極パターンの形成が可能となっている。RIE エッチングではマスクに用いたレジスト膜厚の変化は観察されず、OFPR-800LB がある程度のドライエッチング耐性を有することを確認した。また狙い通りのメサ構造加工は可能であることは確認出来たが、レジストの焼き付きが見られたため、新たに専用剥離剤の導入を進めている。ALD プロセスでは、当研究室が所有する分光エリプソメーターを用いて、堆積した Al₂O₃ 絶縁膜の厚さが所望の~30 nm であることを確認した。今後、徐々に量子デバイスの作製に移行し、電気的特性評価を通じて一連のプロセスの最適化、更には Si-28 エピ構造作製の条件最適化へと繋げる。

4. その他・特記事項(Others)

- ・文部科学省 光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP)「シリコン量子ビットによる量子計算機向け大規模集積回路の実現」
- ・本課題は、田岡 紀之 特任准教授(名古屋大学)、齋藤 清範 技術職員(名古屋大学)に技術支援を頂きました。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0017
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
Username (English)	: T. Ito
所属名(日本語)	: 中部大学工学部
Affiliation (English)	: College of Engineering, Chubu 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)

液体一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において一時的に固着された接触線が解放される瞬間の挙動を解明し、モデル化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(DWL66FS)、フォトリソグラフィ装置(K310P100S)、RIE エッチング装置(RIE-10NR)

【実験方法】レーザー描画装置にてプ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、20~1000μm 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 200μm とした場合の接触角の時間変動の実験での測定結果を実線で

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。また、解放された瞬間の界面形状を初期値としたモデル計算結果を同図中に破線で示すが実験結果と良い一致が得られている。

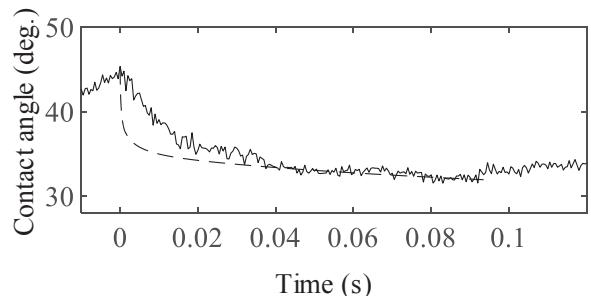


Fig. 1 Time evolution of contact angle.

4. その他・特記事項(Others)

・本研究は大阪市立大学、名古屋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 2019, 令和元年 8 月 6 日.
- (2) 伊藤 高啓, 藤井 壮一郎ら, 混相流 (2020) (掲載決定)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-NU-0018
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:ナノーオーダーの周期構造を用いた光学素子の作製に関する研究
Program Title (English)	:Study on the fabrication of optical devices with nano-order periodic structure
利用者名(日本語)	:元垣内敦司、松尾和樹、田中凌雅、鈴木翔大、伊藤峻汰、清水清義、中川翔輝
Username (English)	:A. Motogaito, K. Matsuo, R. Tanaka, S. Suzuki, R. Ito, S. Shimizu, S. Nakagawa
所属名(日本語)	:三重大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	:Graduate School of Engineering, Mie University
キーワード／Keyword	:リソグラフィ・露光・描画装置、膜加工・エッチング、形状・形態観察、周期構造、光学素子

1. 概要(Summary)

我々は今まで石英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電子線レジストによる回折レンズの作製を行ってきた[1]。本研究では電子線露光装置と反応性イオンエッ칭装置を利用して、高出力レーザーの光に耐えられる石英ガラスの回折レンズの作製を行った。また、今年度は新たに金属回折格子を用いた表面プラズモンセンサーや光学フィルター[2]などを、電子線露光装置を用いて作製を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子線露光装置、RIE エッチング装置、原子間力顕微鏡
【実験方法】

回折レンズは、ミクロンオーダーの同心円状の構造である。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露光装置を用いて 2 nA のビーム電流で $200 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ の条件で電子線露光を行った後に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 Cr 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 CF4 を 20 sccm, 5Pa, 150 W の条件で 7 分 45 秒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。

一方、金属回折格子は周期が 500 nm 以下の構造で、ガラス基板に電子線レジストを塗布して電子線露光装置を用いて 200 pA のビーム電流で $200 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ の条件で露光を行った後に現像して回折格子パターンを作製した後に Au や Ag をスパッタ装置で堆積させて作製した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 に回折レンズの中心部の原子間力顕微鏡像を

示す。中央部は周期 27.9 μm 、深さ 507 nm で設計通りの構造が作製できた。末端部も同様に周期 7.4 μm 、深さ 510 nm と設計通りの構造が作製できた。次にこのレンズの集光特性を評価した。Fig. 2 にその結果を示す。このレンズは焦点距離が 6 mm のレンズであるが、設計通り 6 mm で光が集光できていることを確認した。強度分布もシミュレーションと一致した結果が得られ、石英ガラスでもこれまでレジストで作製していた回折レンズと同等のものが作製できた。今後は構造を変えることで、様々な集光パターンが実現の目指すこととハイパワーのレーザーに対する耐久性の評価性の評価を研究を進める予定である。

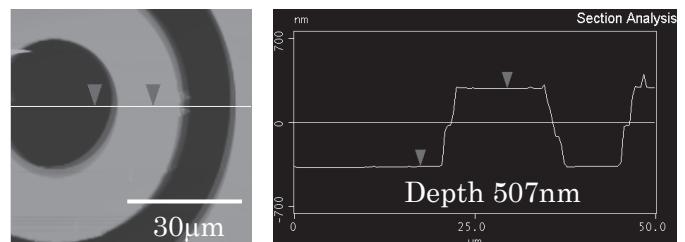


Fig. 1 AFM image of the fabricated lens in the center part.

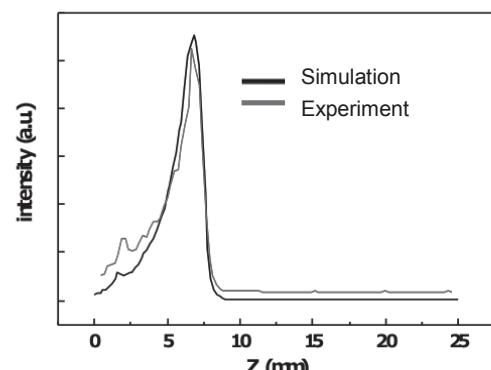


Fig. 2 The results of the optical characterization for fabricated diffractive lens.

一方、金属回折格子についても設計通りのパターンが作製できたので、今後光学的特性評価を進め、シミュレー

ション通りの特性が得られるか検討する予定である。

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献

[1] A. Motogaito et al., Applied Optics, 59,
pp.742-747 (2020)

[2] A. Motogaito et al., Plasmonics, 10,
pp.1657-1662 (2015)

・謝辞

本研究を実施するにあたり試料作製や設計でご協力いたしました名古屋大学 加藤剛志准 教授、大島大輝 助教、三重大学 平松和政 名誉教授に感謝いたします。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、(公財)住友電工グループ社会貢献基金 学術・研究助成、アカデミスト(株) クラウドファンディング、三重大学研究支援事業、三重大学中小企業との共同研究スタートアップ支援事業によるものである。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 松尾他 日本光学会年次学術講演会 5pB1 (2019)

(2) 田中他 日本光学会年次学術講演会 5pC4 (2019)

(3) 鈴木他 日本光学会年次学術講演会 5pC5 (2019)

他国内会議発表 1 件(2020 年 3 月)、国際会議発表 1 件(2020 年 4 月)を予定

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0019
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とレーザー素子の作製
Program Title (English)	: Fabrications of polymer and 2D material laser diodes with a microcavity
利用者名(日本語)	: 新井晶博、蒲江、竹延大志
Username (English)	: A. Arai, J. Pu, 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 Engineering, Nagoya University
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、有機高分子、二次元材料、光共振器、レーザー

1. 概要(Summary)

有機材料は多彩な発光色と優れた発光特性を有しており、近年有機ELテレビ等に代表されるように、発光素子材料として注目を集めている。特に、有機高分子は液相法により素子作製が可能であり、今後は柔軟な基板上に安価かつ簡便な液相法により作製された発光素子の重要性が高まると考えられる。特に、我々のグループでは液相法を用いて容易に発光素子作製が可能な電気化学発光セル(LEC)に着目し、本素子による電流励起レーザー発振を目指している。^[1] しかしながら、レーザー素子の実現には光共振器の導入が不可欠であるため、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、分布帰還(DFB)型共振器を組み込んだ発光素子の作製を行った。また、共振器作製技術は高分子のみならず、二次元材料等新たな発光材料への適用も試みた。

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

【実験方法】

予め電極が蒸着された SiO₂ 基板上に、電子線露光装置とICPエッチング装置を用いて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 1:3

(凹部 85 nm、凸部 255 nm)

特に、上記のグレーティングを電極間に作製することで、その表面に高分子膜をスピノコート成膜すれば発光素子への DFB 構造が導入可能となる。作製した素子は光励起発光(PL)と電流励起発光(EL)とともに評価を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1に示すAFM像から、電極間にグレーティング構

造(凹凸比率 1:1)が作製できている。本基板上有機高分子薄膜を成膜し PL を直接観測した写真を Fig. 2 に示す。電極間でのみ指向性のある強い発光が得られたことから、DFB 型共振器として機能していることが分かる。本素子の電極間に数ボルト電圧を印可すると、イオンの再配列により高分子膜内に pn 接合が形成され EL が生じる。Fig. 3 は DFB 型共振器がある時とない時で、素子から得られた EL スペクトルを比較したものである。DFB の導入により EL の明瞭な先鋒化が確認できた。これにより今後は、大電流密度を注入可能な測定手法等を用いることで、液相法による電流駆動高分子レーザー素子の実現が期待できる。

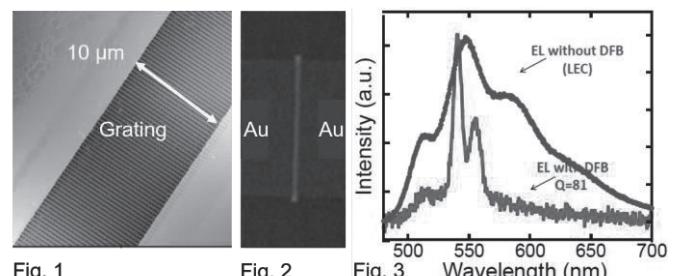


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

Figs. 1-3. AFM image (1), PL image (2), and EL spectrum (3) of a cavity-integrated polymer LEC.

4. その他・特記事項(Others)

- 参考文献: [1] T. Sakanoue *et al.*, *Adv. Mater.* **29**, 1606392 (2017)

- 科学研究費補助金 基盤研究(A) 「ファンデルワールス材料を用いた革新的熱電変換デバイス」

- ・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)

- ・新井晶博 他、レーザー学会第 540 回研究会、茨城県つくば市、2019 年 12 月 6 日-7 日

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0020
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
Username (English)	: <u>T. Suzuki</u>
所属名(日本語)	: 名古屋大学理学研究科
Affiliation (English)	: Graduate School of Science, Nagoya University
キーワード／Keyword	: 成膜・膜堆積、半導体、遠赤外線検出器

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。波長~30–200 μm 帯に高い光感度を有するために、Ge にボロンを添加した Ge:B 層と、高純度 Ge 層の 2 層構造を形成する必要がある。微細加工技術を用いて、高純度 Ge 基板上に 2 層構造をパターニングすることで実現させた。本課題では、検出器の一連の製作のうち、ボロンを添加する領域とそうでない領域のパターン形成のためのハードマスク (SiO₂ 膜) をプラズマ CVD 装置にて成膜した。同装置のステージ温度を 300 °C に設定し、SiO₂ 膜(3 μm 厚)を Ge ウエハ上に成膜した。成膜室から Ge ウエハを取り出したところ、SiO₂ 膜にひびが生じていることが分かった。Ge と SiO₂ の熱膨張係数差の違いによるものと考えられる。Ge 上に~1 μm 以上の厚い SiO₂ 膜を成膜するための条件の最適化が必要である。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

プラズマ CVD 装置、小型微細形状測定機一式

【実験方法】

練習用として Si ウエハ(3 インチ)の 1/4 片を用い、プラズマ CVD 装置で Si 上に SiO₂ 膜を成膜した。1 μm 厚と 3 μm 厚狙いで成膜した 2 試料に対し、小型微細形状測定機を用いて膜厚を計測し、成膜レートを算出した。

以上の結果を踏まえ、本番用の高純度 Ge ウエハ(2 インチ)を用いて、以下の工程で Ge ウエハ上に SiO₂ 膜を成膜した。

A. 表面洗浄

a. 脱脂洗浄: アセトン・エタノール浸漬

b. 酸洗浄: 希フッ酸浸漬

B. 窒素ガスによるウエハの乾燥

C. プラズマ CVD による SiO₂ 膜の形成 (3 μm 厚)

成膜条件は、同装置の標準レシピを適用。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Si への SiO₂ 膜の成膜は成功した。膜厚は、成膜レート 24.5 nm/min に基づいて見積もった厚さの 80%程度であることが明らかになった。この結果を用いて、Ge 上に SiO₂ 膜を 3 μm 厚狙いで形成した。なお、成膜中のステージ温度は、同装置の標準温度である 300 °C に設定した。成膜後、Ge ウエハを成膜室から取り出したところ、SiO₂ 膜にひびが全面に渡って生じていることが分かった。

ステージ温度 300 °C において、SiO₂ 膜が Ge 上に形成され、Ge ウエハを室温へ降温することで、SiO₂ と Ge の熱膨張係数差の違いによって SiO₂ 膜にひびが生じたのだと推測される。東京工業大学の微細加工 PF のプラズマ CVD 装置を用いて(技術代行による支援)、同 Ge ウエハ上に 3 μm 厚の SiO₂ 膜の形成に成功している実績がある。このことは、今回の成膜条件が厚い SiO₂ 膜の形成に適していなかったのだと考えられる。

4. その他・特記事項(Others)

・本課題の円滑な遂行に多大なるご支援を頂きました、名古屋大学 加藤 剛志 准教授をはじめとする微細加工 PF に感謝申し上げます。プラズマ CVD 装置の使用方法の説明および、成膜方法のご相談に乗って頂きました、名古屋大学 財満・中塙研究室の坂下 満男 助教に感謝いたします。小型微細形状測定機の操作方法をご教示頂きました、名古屋大学 未来材料システム研究所の熊澤 正幸 技術補佐員に感謝いたします。

・本課題は、JSPS 科研費 JP18K18773 の助成を受けたものです。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0024
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 tunneling junctions and growth control of nanocarbon
利用者名(日本語)	: 津村公平、堀良太、 <u>柏谷聰</u>
Username (English)	: K. Tsumura, R. Hori, <u>S. Kashiwaya</u>
所属名(日本語)	: 名古屋大学工学部物理工学科
Affiliation (English)	: Department of Applied Physics, School of Engineering, Nagoya University
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、層状物質、接合、超伝導

1. 概要(Summary)

物質を構成する原子の組成や微視的な配置によって生み出されたトポロジカルなバンド構造に起因した物性やその応用に関する研究が多方面から行われてきた。このような研究が進展する中で、このトポロジカルなバンド構造を異なる物質の組み合わせやその電子状態の操作によって人工的に作り出そうという理論的な研究も行われてきた。我々はこの理論的な提案を実験的に検証したいと考えている。そこで本研究ではその舞台となる多端子型の Josephson 接合の作製を目指した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

- 電子線露光装置
- マスクレス露光装置

【実験方法】

スコッチテープ法でマーカー付き Si 基板上に層状物質を劈開し、单層～数層程度の薄い結晶を選び出して電極作製用の CAD ファイルを作成した。まずは電子線露光装置を用いて微細電極用のレジストパターンを形成し、本利用者所属研究室のスパッタ蒸着装置を用いて劈開した層状物質に Al 電極を接続した。そしてマスクレス露光装置を用いてボンディングパッドのレジストパターンを形成し、上記と同様にスパッタ蒸着によって Au 電極を Al 電極に接続した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製した試料の光学顕微鏡写真を Fig. 1 に示す。Fig. 1 中の暗い部分が Si 基板、明るい部分が Al 電極であり、それらの電極間に層状物質がある(Fig. 1 中では層状物質は確認できない)。Al 電極間隔は 300 nm として試料を設計したが、Fig. 1(a) のように複数の Al 電極を層状物質

に接続した多端子型の接合がうまく形成できている。しかし、Fig. 1 (b) のように電極端にバリが発生し、それを介して Al 電極同士が短絡してしまった試料も複数あった。今後はスパッタ蒸着条件や露光・現像条件を調整し、良好な形状の試料が作製できる条件を検討していきたい。また今回作製した試料は輸送特性をまだ評価できていないが、測定後はその結果を接合作製プロセスに反映して最適な測定が行えるようなプロセス条件を確立したい。

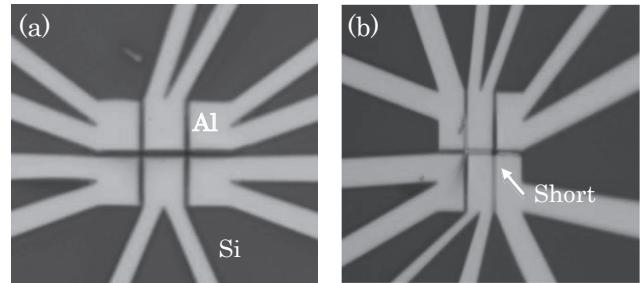


Fig. 1. Optical microscope images of multi-terminal Josephson junctions fabricated on a Si substrate.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

1. Gate-Induced Superconductivity in a 3R-MoS₂ Bulk Single Crystal, Ryota Hori, Kohei Tsumura, Rikizo Yano, Takao Sasagawa, Satoshi Kashiwaya, TOPO-MAT2019, Kyoto 2020.12.5.
2. 3R-MoS₂ バルク結晶の電界誘起超伝導, 堀良太, 津村公平, 矢野力三, 笹川崇男, 柏谷聰, 第 75 回日本物理学会年次大会, 2020.3.18 (予定)

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0026
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)

フォトリソグラフィー法を用いて液晶 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、また更に高感度なフォト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。名古屋大学、VBL の装置を利用して昨年度確立した評価プロセスにより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。また青色の顔料分散液を用いてレジストも作成した。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スライドガラスに露光により形成し、市販の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。

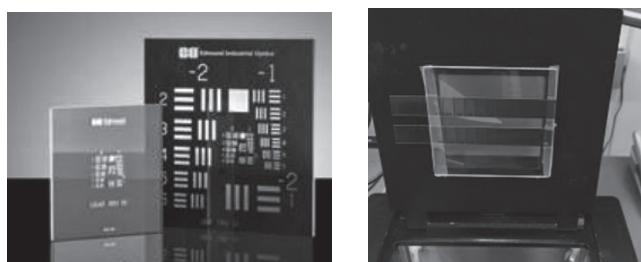


Fig. 1 1951USAF Test Target and 10 Step Tablet.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

スライドガラス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

たステップダブルートを用いた方法では残った膜のステップ数で比較した。露光装置の光源の劣化により実験お再現性が取れなくなった。光量計を用いてエネルギーを実験ごとに計測する必要がある。一方青色顔料を含むレジストを用いることで視認性が上がり用意に結果を判定することが出来た。開発中の感光材料は市販のものと比べて感度が高いことがわかった(Fig. 2)。

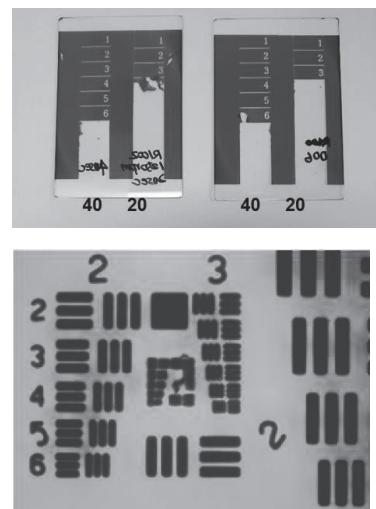


Fig. 2 Patterns on a glass wafer after development and the image by Step Wedge for sensitivity test.

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-19-NU-0028
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	:
Program Title (English)	: Study of the <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803 cells in response to environmental stress by using on chip space-time control
利用者名(日本語)	: チャン デイ ¹⁾ , 魚住信之 ²⁾
Username (English)	: D. Chang ¹⁾ , N. Uozumi ²⁾
所属名(日本語)	: 1) 名古屋大学大学院工学研究科マイクロ・ナノ機械理工学専攻, 2) 東北大学大学院工学研究科バイオ工学専攻
Affiliation (English)	: 1) Department of Micro-Nano Mechanical Science & Engineering, Graduate School of Engineering, Nagoya University, 2) Department of Biomolecular, Graduate School of Engineering, Tohoku University
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置, 成膜・膜堆積, Mechanical Properties

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)、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)、小型微細形状測定機一式 (小坂研究所製 ET200)、蛍光バ

イオイメージング装置一式 (共焦点レーザ顕微鏡システムニコン製 A1Rsi-N)、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)、デジタルマイクロスコープ一式 (KEYENCE 製 VK-9700)、ダイシングソー装置 (DISCO 製 DAD522)、リアクティブイオンエッチング装置 (サムコ製 RIE-10N)、マルチマテリアル 3D プリンタ (RICOH 社製 ProJet5500X)

【実験方法】

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

3. 結果と考察(Results and Discussion)

The microfluidic chip utilized in this research was

made of silicon on insulator (SOI) wafer consisting of three layers, a device layer, an intermediate oxide layer and a substrate layer. A stretchable pushing probe and a beam type force sensor were formed in the device layer by microfabrication technology. The pushing probe was connected to the thick silicon substrate layer via the intermediate oxide layer. In this way, we actuated the probe by pushing the thick substrate using a piezo actuator.

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

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:名古屋大学未来社会創造機構 新井史人
教授

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Chang, Di, et al. "Measurement of the mechanical properties of single Synechocystis sp. strain PCC6803 cells in different osmotic concentrations using a robot-integrated microfluidic chip." *Lab on a Chip* 18.8 (2018): 1241-1249.
- (2) Chang, Di, et al. "Mechanical Characterization of a Single Yeast Cell Using a Robot Integrated Microfluidic Chip." 2018 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS). IEEE, 2018.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-NU-0029
用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:新生児生体信号の非侵襲モニタリング
Program Title (English)	:Non-invasive monitoring of neonatal biosignals
利用者名(日本語)	:佐藤義明
Username (English)	:Y. Sato
所属名(日本語)	:名古屋大学医学部付属病院
Affiliation (English)	:Nagoya University Hospital
キーワード／Keyword	:リソグラフィ・露光・描画装置, 成膜・膜堆積, 接合

1. 概要(Summary)

NICU(新生児集中治療室)や GUC(継続保育室)における新生児医療現場での新生児の生体情報、(体重、体動、呼吸、脈拍)を簡便、正確、連続かつリアルタイムで、新生児に極力ストレスを与えずに計測できる従来なかった新しい非侵襲な生体信号モニタリングシステムを開発し、それによる看護師等ケアスタッフの業務負担ならびにストレスの軽減にも貢献することを目指す。体重から心拍情報までワイドレンジに計測可能な水晶振動式荷重センサを高感度化し新生児の非侵襲モニタリングを実施した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置一式、両面露光用マスクアライナ、ダイシングソー装置、スペッタリング装置一式、ウェハ接合装置、リアクティブイオンエッチング装置

【実験方法】

リアクティブイオンエッチング装置を用いて作製した、シリコン製のステンシルマスクを用いて、スペッタリング装置により、水晶振動子の層となる水晶ウェハに電極を成膜する。次に、マスクアライナを用いて、カバー層となる水晶ウェハに接合用のレジストをパターニングする。なおパターニングには、レーザー描画装置を用いて製作したフォトマスクを利用した。水晶振動子層とカバー層を、ウェハ接合装置を用いて貼り合わせた後に、ダイシングソーによってセンサを切り分けることで、水晶振動式荷重センサを作製した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

室崎らの開発した水晶振動式荷重センサは 0.4 mN-600 N のダイナミックレンジを実現してきており、体重と心拍数の同時計測が可能であることを示している。しか

し、従来センサは成人の計測のために設計されており、新生児と成人の血圧や体重差といった違いから、新生児の計測のためには、センサの高感度化が必要となる。従来センサの振動子層の厚さ 42 μm から 20 μm に変更し、センサを相似的に小さくすることでセンサの高感度化を行った。作製したセンサの感度は 4.81 kHz/N となり、従来センサから 12.6 倍の感度向上に成功した。センサ特性を評価したところ、センサの分解能は 0.09 mN となった。また、高感度化したセンサにより、新生児の体重、心拍、呼吸の同時計測が可能あることが確認できた。

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:名古屋大学未来社会創造機構、新井史人教授、室崎裕一特任助教

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- ・渡邊史朗、室崎裕一、佐藤義朗、脇田浩正、新井史人、水晶振動式荷重センサを用いた新生児生体信号の非拘束計測、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2019, 2019/6/6
- ・渡邊史朗、室崎裕一、新井史人、ほか、新生児生体信号計測のためのワイドレンジ荷重計測システム、第 37 回日本ロボット学会学術講演会, 2019/9/6
- ・Shiro Watanabe, Yuichi Murozaki, Yoshiaki Sato, Kazuya Honbe, and Fumihiro Arai, Wide-range load sensing of newborn's biosignals with quartz crystal resonator, 2019 Int. Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2019/12/2

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19- NU-0030
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)	: 小野 隆
Username (English)	: T. Ono
所属名(日本語)	: 三井化学株式会社
Affiliation (English)	: Mitsui Chemicals, Inc.
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改良したバイオニックセンサを作製する。その際、デバイス作製に、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】

レーザー描画装置一式、両面露光用マスクアライナ、スペ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、マルチマテリアル 3D プリンタ

【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。さらに、眼球モデル作製時の治具等に3D プリンタを用い、作製効率の向上を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

上記方法により、作製したセンサを Fig. 1 の様に回路基板の裏側に設置および配線した。これにより、防水処理が簡便になった。Fig. 2 に示すように、センサユニットを眼球モデルに組み込むことにより、眼科医が眼底手術の訓練を行う際の眼底部への押し込み力計測が水中で行う事ができた。これにより、手技評価用センサシステムの統合に成功した。



Fig. 1 Cap of retinal force

sensor.

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:名古屋大学未来社会創造機構、新井史人教授、小俣誠二特任助教、東京大学工学系研究科 光石 衛教授、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

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

1. 小俣 誠二, 原田 香奈子, 光石 衛, 新井 史人. バイオニックヒューマノイド: 眼科モデル. システム／制御／情報, 63(10):409-414, 2019.
2. S. Omata, F. Arai, et al 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), January 2020, Hawaii, USA.
3. S. Omata, F. Arai, et al., A Novel Eye Surgery Simulator for Exercising Operation Task of Inner Limiting Membrane Peeling. 30th 2019 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS2019), December 2019, Nagoya, Japan.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0031
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物質理学専攻(化学系)
Affiliation (English)	: Department of Chemistry, 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)

新たな二次元系である原子層に熱い視線が注がれており、なかでも遷移金属ダイカルコゲナイト(TMD)と呼ばれる一群の二次元結晶が脚光を浴びている。TMD はその厚さが 0.7 nm の極薄膜であり、ほぼ全ての原子が表面に露出しているため周環境の影響を受けやすい。このため、TMD 本来の特性を観測するためにはその表面を保護する必要がある。本機器利用では、TMD の表面を六方晶窒化ホウ素(hBN)で保護した4端子デバイス作製プロセスの一環で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。今後は、TMD のもつバレーの自由度を操作を目指したより詳細な実験へと展開する予定である。

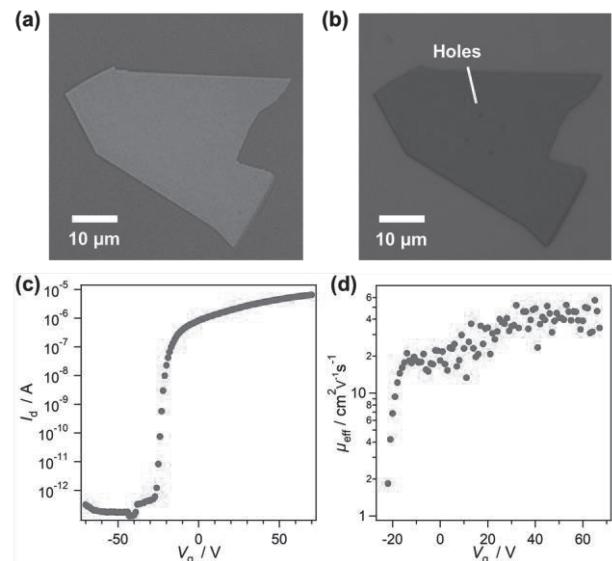


Fig. 1 Optical microscope images of (a) a hexagonal Boron Nitride (hBN) flake and (b) the hBN after RIE.

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-19-NU-0034
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, 古谷太樹, 葛西晴郎, 山本一貴
Username (English)	: K. Shimizu, T. Furutani, H. Kassai, K. 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	: リソグラフィ・露光・描画装置、細胞培養、マイクロ流路

1. 概要(Summary)

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

微細加工技術を用いると、培養細胞に対して時空間的制御した化学・物理刺激を負荷することが可能であると考えられ、従来の細胞培養法よりも、高度に生体内に類似した環境を創り出せると考えられる。本研究では、骨格筋細胞と運動神経細胞を位置制御し、それらの細胞を3次元的に共培養可能なバイオマイクロデバイスの開発を目指した。名古屋大学の微細加工ナノプラットフォームの複数の装置を利用してバイオマイクロデバイスを作製し、実際に細胞培養を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置、両面露光用マスクアライナ

【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) をスピンドルコートし、薄膜を形成した。ホットプレートを用いて、100°Cで45分間加熱した。フォトリソグラフィ装置を用いて作製しフォトマスクを用いて露光した。95°Cで5分間加熱した後に、SU-8 用現像液で露光していない部分の SU-8 3005 を除去した。さらに、シリコンウェハ上にネガティブフォトレジストである SU-8 3050 (MicroChem) をスピンドルコートし、薄膜を形成した。上記と同じ手順で、露光、加熱、現像を行った。作製した鋳型上でポリジメチルシロキサン(PDMS) 薄膜を作製し、別で作製した PDMS 薄膜と接合することで、細胞培養デバイスを完成させた。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製したデバイスを用いて運動ニューロンの培養を行った。作製したデバイスと骨格筋組織構築デバイスを組み合わせることで、運動ニューロンと骨格筋組織の共培養に成功した(Fig. 1)。今後は共培養プロセスの最適化を進める予定である。

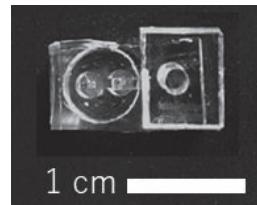


Fig. 1 Pictures of cell culture device fabricated in this study.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 清水一憲ら: 日本筋学会第5回学術集会、2019年8月2日(発表日)
- (2) 清水一憲ら: 化学とマイクロ・ナノシステム学会第40回研究会、令和元年11月19日(発表日)
- (3) 山本一貴ら: 細胞アッセイ技術の現状と将来、令和2年1月20日(発表日)

6. 関連特許(Patent)

特許出願済み。

課題番号	: F-19-NU-0035
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 電極開発
Program Title (English)	: Development of electrode
利用者名(日本語)	: 竹内和歌奈
Username (English)	: <u>W. Takeuchi</u>
所属名(日本語)	: 愛知工業大学工学部電気学科
Affiliation (English)	: Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology
キーワード／Keyword	: SiC 薄膜、in-situ ドーピング、形状・形態観察

1. 概要(Summary)

化学気相成長法で成長させたシリコンカーバイド(SiC)薄膜の形状観察を走査型電子顕微鏡を用いて行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡:SEM(日立ハイテクフィールディング社製 S5200)

【実験方法】

化学気相成長法により SiC 原料としてビニルシランを用いて、SiC 薄膜を Si 基板上に成長温度 850 °C で成長させた。成長時間が 60 分である。電極応用に向けて、抵抗率を下げるために、リン原料である PF₃ をビニルシラン原料に混合させて、in-situ リンドーピングを行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 (a) から (d) に Si 基板上に PF₃ 流量を変えて SiC 薄膜を成長させた試料の断面 SEM 像を示す。Si 基板上に 51 から 216 nm 薄膜が堆積されていることがわかる。PF₃ 流量に膜厚が依存していないため、PF₃ は膜厚に影響を与えていないことがわかった。

4. その他・特記事項(Others)

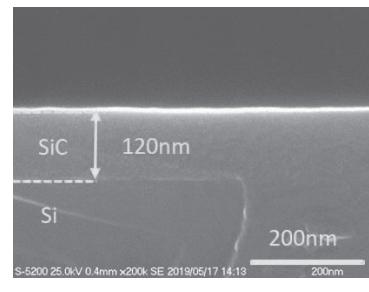
なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

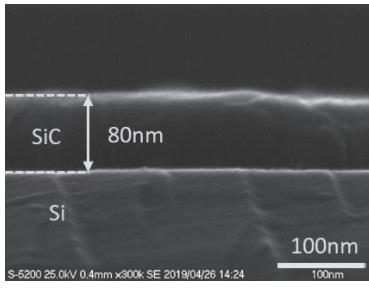
(1) T. Koide, Y. Jin, S. Yasuhara, and W. Takeuchi, ISPlasma2020, 10P2-14 (2020).

6. 関連特許(Patent)

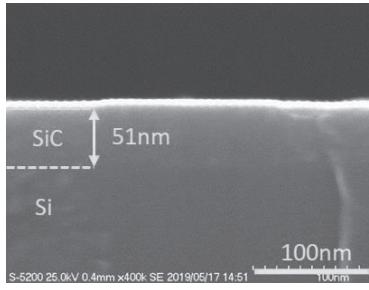
なし。



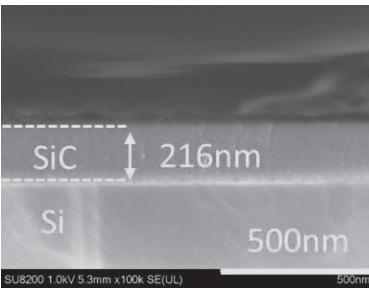
(a) PF₃ flow rate: 4 sccm



(b) PF₃ flow rate: 10 sccm



(c) PF₃ flow rate: 20 sccm



(d) PF₃ flow rate: 100 sccm

Fig. 1 Cross-sectional SEM images of the SiC thin film on Si substrate grown by the vinylsilane gas.

課題番号	:F-19-NU-0036
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, 堀尾航平, 中村匡徳
Username (English)	:D. Ono, M. Sato, H. Wada, K. Horio, <u>M. Nakamura</u>
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、軟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 mm 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 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 μm ~5 μm である。描画において、Laser Power は 6 mW / 45 % とした。

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 rpm, 30 s の条件でスピンドルコートした。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。このとき、露光時間を 4 s と 10 s 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、露光時間 4 s において、狭窄部の長さが 192 μm 、幅が 9.5 μm であった。これは、設計寸法に対して、狭窄部長さが 4 % 小さく、狭窄部幅が 19 % 大きかった。しかし、細胞に大きな変形を与

えるという目的はこの寸法でも十分満たすことが可能であるため、今回はこの流路を採用した。

今後はさらに露光時間の条件出しを行い、設計寸法を反映した鋳型の作製を行う。

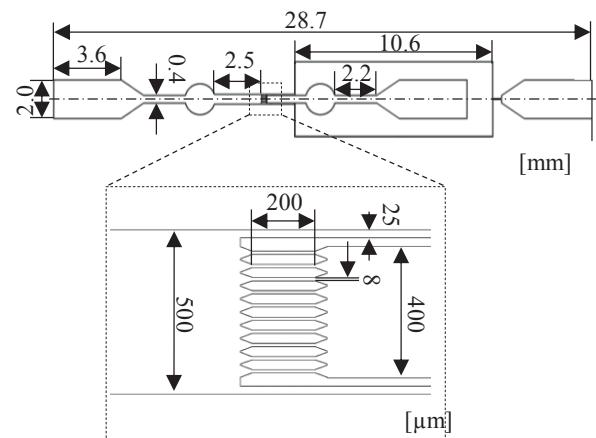


Fig. 1 Schematic drawing of the microfluidic channel.

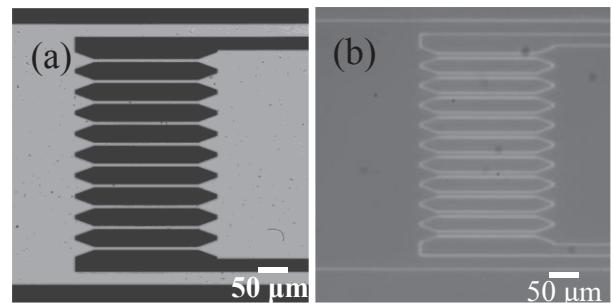


Fig. 2 (a) photomask and (b) silicon wafer.

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-NU-0042
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:マイクロロボットの開発
Program Title (English)	:Development of Micro-robot
利用者名(日本語)	:市川明彦
Username (English)	:A. Ichikawa
所属名(日本語)	:名城大学理工学部メカトロニクス工学科
Affiliation (English)	:Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Science and Engineering, Meijo University
キーワード／Keyword	:リソグラフィ・露光・描画装置, MEMS, ヒューマンモデル

1. 概要(Summary)

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

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

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

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

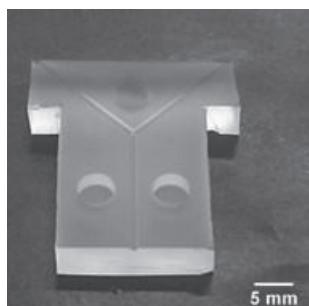


Fig.1 PDMS mold.

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



Fig. 2 Gel mold.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

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

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-NU-0044
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)	:Carotenoid nanoparticles produced by rapid expansion of supercritical solution
利用者名(日本語)	:神田英輝、 <u>後藤元信</u>
Username (English)	:H. Kanda, <u>M. Goto</u>
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、超臨界二酸化炭素、カロテノイド、異性化、微粒子

1. 概要(Summary)

色鮮やかな野菜に含まれているカロテノイドは共役二重結合を持つ天然の脂質で、その一種であるリコピンは深赤色の天然着色料として使用されている。また強力な抗酸化作用があるので機能性食品への利用も進んでいる。天然リコピンである *trans* 体は結晶成長しやすく加工性や吸収性が悪く、その向上には nm サイズの微粒子にするのが効果的である。従来は粉碎や溶液内での貧溶媒晶析によって微粒子化されたが粒子径が大きく、摩擦熱や加熱による劣化や有機溶媒の残留溶媒の懸念もある。そこで本研究では、リコピンを *cis* 異性化することで、結晶成長し難くして超臨界二酸化炭素(SC-CO₂)に可溶にするとともに、この SC-CO₂ 溶液を大気圧へと急速膨張する超臨界流体急速膨張(RESS)法によってリコピンのナノ微粒子化を試みた。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

走査型電子顕微鏡 S5200, S4300

【実験方法】

ジクロロメタン中で *trans* リコピンを 80°C で加熱することで *cis* 異性化率 76.0% のリコピンを得た。これに含まれる未反応の *trans* 体をろ過で除去して *cis* 異性化率 97.8% のリコピンを得た。これらを 40°C・25MPa の SC-CO₂ に溶解させてノズルから大気へと噴霧させた。SC-CO₂ の急速膨張によってリコピンの溶解度が瞬時に低下して微粒子として析出した。得られたリコピン微粒子をフィルターで回収し、SEM 観察により粒径を、順相 HPLC により *cis* 体の含有の有無を、粉末 XRD で結晶性の有無を確認した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 の SEM 観察から、97.8% *cis* リコピンからは平均粒径 46 nm のナノ粒子が確認された。このナノ粒子は Fig. 2 の HPLC の結果から *cis* リコピンであり、Fig. 3 の粉末 XRD からアモルファス構造であることが明らかになった。これは *cis* 異性化によってリコピン分子の二重結合部分が折れ曲がったことで分子間力が弱くなった事が原

因である。

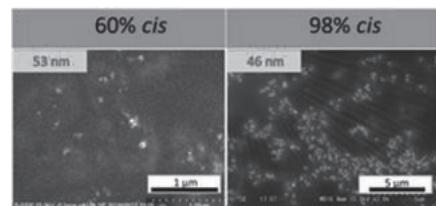


Fig. 1 Lycopene powder obtained by RESS method.
(Left *cis*-isomerization 76.0%, right 97.8%)

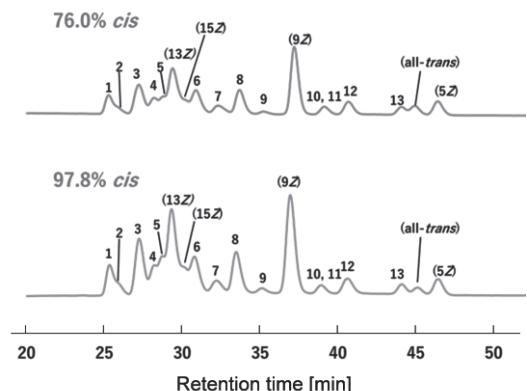


Fig. 2 HPLC of lycopene powder.

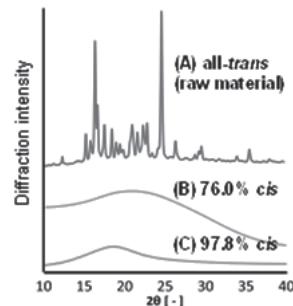


Fig. 3 XRD spectrum of lycopene powder.

4. その他・特記事項(Others)

リコピンの分析・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-19-NU-0047
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)	: <u>向井康人</u>
Username (English)	: <u>Y. Mukai</u>
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優れた粒子捕捉性能と透水性を持つことから、新たな水処理用濾材としての応用が期待されている。さらに吸着機能を付与すれば、比表面積の大きさを活かした高性能な吸着材にもなり、濾過と吸着を同時に行える多機能濾材として、水処理プロセスに応用することができる。本研究では、ナノファイバー膜にカーボンブラック(CB)を担持して吸着機能を付与する手法を提案し、高い溶質吸着性能が得られる担持条件を検討した。

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】

一次粒子径 20 nm の CB を用い、硝酸によって酸化処理を行った。処理前の CB は凝集しているが、酸化 CB は良好な分散状態を保った。ポリアクリロニトリルを原料として電界紡糸を行い、平均纖維径 400 nm のナノファイバー膜を作製した。ナノファイバー膜を濃度 10 g/L の CB 分散液に浸漬し、2 時間振盪させた。CB 分散液から取り出して軽く水ですすぎ、乾燥させた後、150°Cで 1 時間加熱処理を行い、CB をナノファイバー膜の纖維表面に融着させた。

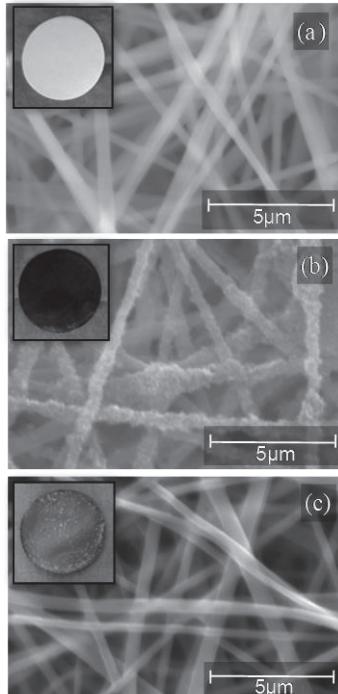


Fig. 1 SEM images and appearance of membranes
 (a) Without CB
 (b) With untreated CB
 (c) With oxidized CB

各種のナノファイバー膜の表面を走査型電子顕微鏡(SEM)で撮影し、外観写真とともに Fig. 1 に示した。(b)より、未処理の CB を担持した膜は黒色に染まり、CB が纖維表面に融着している様子が確認できた。一方、(c)の酸化 CB を担持した膜は、外観が灰色に変化したため担持はされているが、CB がナノレベルの小ささのため、SEM 写真では確認できなかった。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

種々の濃度に調整したメチレンブルー(MB)水溶液に各種の膜を入れて吸着試験を行い、MB の平衡濃度と平衡吸着量の関係を求めた。いずれの膜も Langmuir 型の吸着等温式に従う吸着挙動を示したので、Langmuir 式に基づき飽和吸着量を求めた。その結果、CB を担持していない膜は 1.9 mg/g、未処理の CB を担持した膜は 5.0 mg/g、酸化 CB を担持した膜は 96.2 mg/g であり、酸化処理を施すことで圧倒的に高い吸着量を得ることができた。この結果から、高い吸着性能を得るために、酸化処理は必要不可欠な操作であるといえる。

その他、酸化 CB をナノファイバー原料の高分子溶液中に混合して電界紡糸する手法も、吸着機能を有するナノファイバー膜の製造法として有効であることを示した。

4. その他・特記事項(Others)

本研究は JSPS 科学研究費補助金 16K06824 および向科学技術振興財団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., Journal of Textile Engineering, to be published in Vol. 66, No. 1, 2020.
- (2) Y. Mukai et al., The 47th Textile Research Symposium, 2019. 6. 19.
- (3) Y. Mukai et al., APCChE 2019, 2019. 9. 25.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	:F-19-NU-0049
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:光応答性液晶側鎖およびアモルファス側鎖ランダム共重合体を用いたサブ 10nm パターン形成
Program Title (English)	:Sub-10nm pattern formation by random copolymers with photoresponsive liquid crystal and amorphous side-chains
利用者名(日本語)	:瀬田蒼 ¹⁾ 、永野修作 ²⁾ 、関隆広 ¹⁾
Username (English)	:A. Seta ¹⁾ , S. Nagano ²⁾ , T. Seki ¹⁾
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 Eng., Nagoya Univ., 2) Nagoya Univ. VBL
キーワード／Keyword	:膜加工・エッチング、側鎖型液晶高分子、ナノパターンニング

1. 概要(Summary)

当研究室では、互いに非相溶な液晶基と非液晶基を持つランダム共重合体を合成することで、液晶側鎖によるサーモトロピック液晶性と主鎖を介した側鎖間の相分離ラメラ構造を設計し、サブ 10 nm のパターンニング材料への応用を目指している。本報告では、光応答性液晶側鎖とかご型シルセスキオキサン側鎖(POSS)からなる液晶ランダム共重合体 P(Az-*r*CB-*r*POSS)を合成し、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結果を報告する。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

RIE エッティング装置 サムコ社製 RIE-10NR

【実験方法】

P(Az-*r*CB-*r*POSS)を合成し、石英基板に膜厚約 80 nm の薄膜を調製した。この薄膜に出力 50 w、O₂ 流速 10 sccm、圧力 2Pa の条件にて O₂ RIE 処理を行った。O₂ RIE 処理前後の紫外可視吸収スペクトル測定および斜入射 X 線散乱測定を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

出力 50 w、O₂ 流速 10 sccm、圧力 2 Pa の条件にて処理を行った、O₂ RIE 処理時間と P(Az-*r*CB-*r*POSS) 薄膜の膜厚変化のプロットを Fig. 1a に示す。処理時間とともに膜厚が減少し、約 70 s にて約 48 nm で膜厚の減少は見られなくなった。未処理および 140 s の処理を行った P(Az-*r*CB-*r*POSS) 薄膜の紫外可視スペクトルを Fig. 1b に示す。260~400 nm の吸収バンドは、液晶ランダム共重合体の液晶基に由来し、処理後にて吸光度が

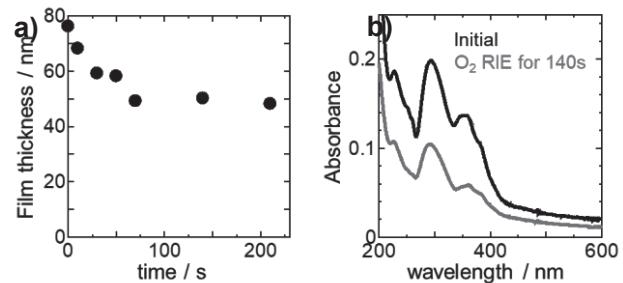


Fig. 1 (a)Time course of thickness for a P(Az-*r*CB-*r*-POSS) thin film by O₂ RIE treatment. (b) Absorption spectra for a P(Az-*r*CB-*r*-POSS) thin film before and after O₂ RIE treatment.

半減していることがわかった。また、POSS 側鎖は、O₂ RIE 処理により無機化、架橋し、シリカ膜となることが知られている。よって、O₂ RIE 処理により、液晶側鎖基の分解と POSS 鎮の無機化による収縮が起こり、膜厚の減少が起こっていることが示唆される。斜入射 X 線散乱測定から、O₂ RIE 処理を行っても、P(Az-*r*CB-*r*POSS)の側鎖間の相分離構造の規則性は保たれていることを確認しており、今後、条件を最適化し、ナノパターン材料へ展開していく予定である。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0064
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: トップコート膜の作製
Program Title (English)	: Preparation of top coat film
利用者名(日本語)	: 脇本佳季
Username (English)	: <u>Y. Wakimoto</u>
所属名(日本語)	: アイシン精機株式会社
Affiliation (English)	: Aisin Seiki Co.Ltd
キーワード／Keyword	: 表面処理、スピンドルコート、撥水膜、パリレン蒸着

1. 概要(Summary)

クリーンルーム内でガラス表面に機能膜を成膜し、特性評価用サンプルを作製する。パリレン C の下地層上に数種類の撥水膜をスピンドルコートするために、微細加工 PF を利用したので報告する。

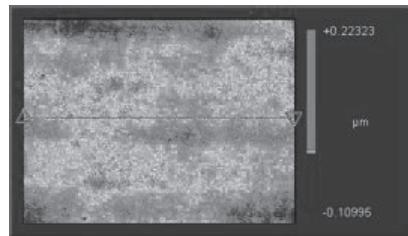


Fig. 1 Glass before coating.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

パリレンコーティング装置一式(KISCO 製
DACS-LAB)、オゾンクリーナー、スピンドルコーター

【実験方法】

20 mm 角 × 厚み 1 mm の石英ガラスにパリレン C を 2.5 μm 形成し、撥水コート材を 1 μm スピンドルコーターで塗布した。

パリレン塗布後と撥水コート後の表面粗度を Zygost 7200 で測定し、10 倍の表面状態を比較する。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1-3 に示すようにパリレン塗布後、数 μm のトゲ状付着物が確認できる。パリレン上の撥水材にもトゲは認められるので、トップコートの粗さにパリレンのそれが影響する。

石英ガラス表面は汚染していないため、パリレン成膜中にトゲ状付着物が形成されたと考えられる。今後は成膜前にチャンバー内を十分清掃し、付着物量の増減を検証する予定である。



Fig. 2 Glass after parylene coat.

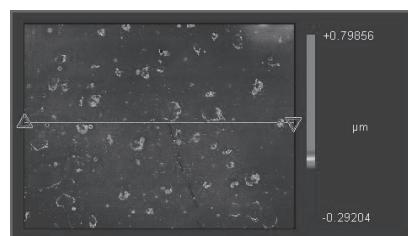


Fig. 3 Top coated surface.

4. その他・特記事項(Others)

- 他機関の利用: 豊田工業大学

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0065
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 細胞および生体モデルを対象とした医療機器開発
Program Title (English)	: Development of medical equipments using bionic model
利用者名(日本語)	: 小澤理夫 ¹⁾ , 益田泰輔 ²⁾
Username (English)	: T. Ozawa ¹⁾ , T. Masuda ²⁾
所属名(日本語)	: 1) メドリッジ株式会社, 2) 名古屋大学未来社会創造機構
Affiliation (English)	: 1) Medridge Co., 2) Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University
キーワード／Keyword	: 生体模倣手術モデル, 3D プリンタ, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

近年, 脳神経外科領域において, 低侵襲手術 (Minimally Invasive Surgery) や手術ロボットを用いたマイクロサーボ等, 手術の高度化が注目されており, 安全な遂行には, 多くの手術経験が必要になってくる。本研究では, 脳神経外科の内視鏡下経鼻頭蓋底手術に対応したモデルの作製を行い, 手術手技や医療機器の評価のため臓器にセンサを組込んだ手術シミュレータシステム(Bionic- Brain)を開発する。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置一式, 両面露光用マスクアライナ, スパッタリング装置一式, ダイシングソー装置, マルチマテリアル 3D プリンタ

【実験方法】

Bionic- Brain は, 頭部, 皮膚, 鼻中隔, 蝶形骨, 直径が数十 mm の海綿静脈洞, 内頸動脈, 各脳神経, 下垂体を有する脳実質, および硬膜を含む頭蓋底モジュールから構成される。人工骨, 脳動・静脈および各脳神経は, マルチマテリアル 3D プリンタ(ショア硬度 27A~70D の範囲)で作製した(Fig. 1)。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

脳神経外科医による頭蓋底経鼻下垂体手術のトレーニングを実施した。術者は内視鏡下のもとドリルを用いて蝶形骨洞後壁を除去して, 頭蓋底の硬膜を露出させた。その後, 脳下垂体を暴露するために, 剪刀を用いて硬膜を切開した。一連の操作から, 作製した Bionic- Brain が数十 μm のレベルでヒト解剖学構造を再現していることが確認された。また, 脳神経外科医より, 蝶形骨洞の切開時に

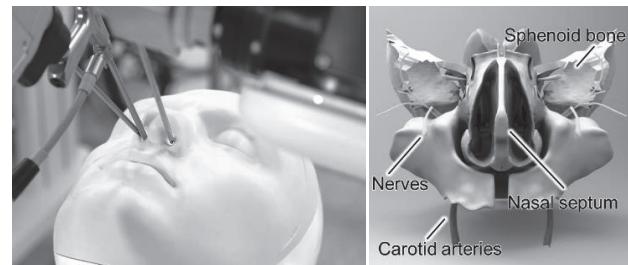


Fig. 1 Bionic-Brain: Training system for endoscopic transsphenoidal surgery

おけるドリル切削性実際の手術に非常に類似するとの官能評価が得られた。

また, 模擬した物理特性に影響を与えないよう臓器内部にフレキシブル圧電センサを選定し, 組込むことに成功した。鼻腔内の中央離板である鼻中隔への負荷計測, 特に手術鉗子の衝突状況をモニタリングし, 鼻腔内での鉗子のふらつきや過度な動きの見える化を実現した。

4. その他・特記事項(Others)

・共同研究者:名古屋大学未来社会創造機構, 新井史人

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- 益田泰輔, 新井史人, ほか, Bionic-Brain: 内視鏡下経鼻頭蓋底手術トレーニング, ロボティクス・メカトロニクス 講演会2019広島. June 2019, 広島県広島市.
- 益田泰輔, 新井史人, ほか, バイオニックヒューマノイドプラットフォームの要素技術の成果, 第58回 日本生体医工学会大会. June 2019, 沖縄県那覇市.

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0066
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 半導体フォトカソードの微細加工に関する研究開発
Program Title (English)	: Microfabrication of semiconductor photocathode
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	: 膜加工・エッチング、形状・形態観察、リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

電子ビームの輝度は、電子顕微鏡の分野で頻繁に使用される電子錠性能評価指標である。輝度を決める要素として電子源サイズがあり、小さくすることで高輝度化することができる。そこで、半導体フォトカソードにおいて電子源サイズの縮小による高輝度化を目的として、その加工技術の研究開発を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

マスクレス露光装置

【実験方法】

当初の予定では、ドライエッチングによる形状加工を行う予定であったが、長期にわたる装置の故障により、使用することができなかった。そのため今年度は、マスクレス露光装置によるパターニングのテストのみを行った。

ドライエッチングを想定したテスト用レジストパターンをフォトリソグラフィーにより作製した。基板にフォトレジストを塗布し、プリベーク後にマスクレス露光装置にて露光を行った。テストパターンは CAD にて DXF ファイルを作成し、マスクレス露光装置のプログラムにより露光パターンとなるビットマップデータを作成した。テストパターンには、ライン & スペース、円形、四角形、反転パターンの四角形、および、目視可能なサイズの文字(英字と漢字)を用いた。文字は、あらかじめ CAD 上で図形化処理を行った。露光後、ポストベークと現像を行った。作製した試料は、実体顕微鏡により観察・評価した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

現像後のレジストパターンを Fig. 1 に示す。Fig. 1(a) ライン & スペースと直径 50 μm 円形、(b) 10 μm 四角形、(c) 反転パターン 10 μm 四角形、(d) 英字、(e) 漢字に

おいて、CAD 上での設計通りにパターニングすることができた。

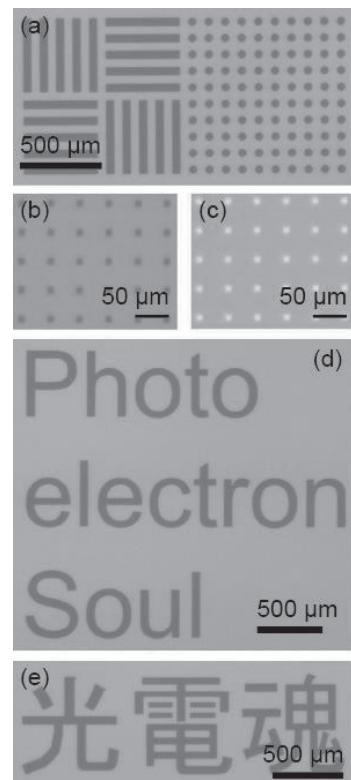


Fig. 1 Various photoresist patterns fabricated using maskless photolithography.

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-19-NU-0070
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: ガラスマスクの作成
Program Title (English)	: Creating a glass mask
利用者名(日本語)	: 川勝弥一
Username (English)	: <u>Y. Kawakatsu</u>
所属名(日本語)	: 名古屋大学 生物機能開発利用研究センター
Affiliation (English)	: Bioscience and Biotechnology Center, Nagoya Univ.
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、フォトマスク作成、マイクロ流体デバイス

1. 概要(Summary)

本研究では、植物の生体内シグナル伝達物質を検出する簡易デバイスの開発を行なっている。今回、新たにデザインしたマイクロ流路デバイスを製作するため、名古屋大学、微細加工プラットフォーム・コンソーシアムの設備を利用して、レーザー描画装置を用いてフォトマスクを作成した。

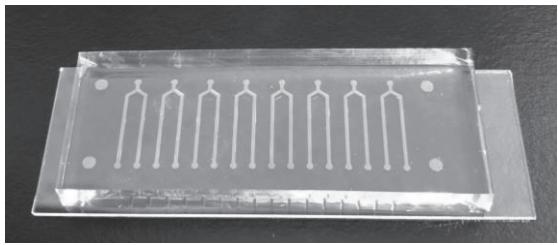


Fig. 2 Microchannel device.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置

【実験方法】

レーザー描画装置を用いてクロムマスクにデザインを描画し、TMAH およびクロムエッチング液で現像することでフォトマスクを作成した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

製作したフォトマスクを(Fig. 1)に、それを用いて製作したマイクロ流路デバイスを(Fig. 2)に示す。製作したデバイスは送液装置とつなぐことで、検出実験を行なった。

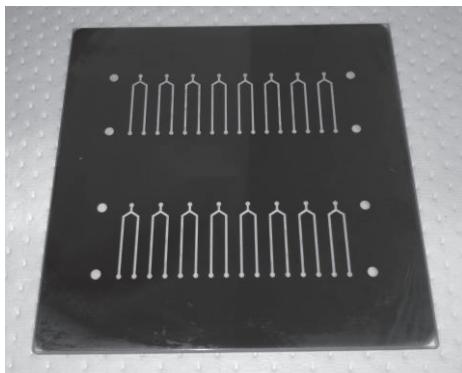


Fig. 1 Photomask.

4. その他・特記事項(Others)

・CREST (JST)「植物頑健性」

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) 第 31 回高遠分子細胞生物学シンポジウム、2019.
8.22 – 2019. 8. 23

6. 関連特許(Patent)

特許出願済み

課題番号	: F-19-NU-0071
利用形態	: 技術代行、機器利用、
利用課題名(日本語)	: ガラス基板上の誘電体スラントグレーティングの作製
Program Title (English)	: Fabrication of the dielectric slanted grating on a glass substrate
利用者名(日本語)	: 尾形洋一
Username (English)	: Y. Ogata
所属名(日本語)	: 小糸製作所研究所
Affiliation (English)	: Research and Development Dept., Koito Manufacturing Co., Ltd.
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、RIE エッチング、スラントグレーティング

1. 概要(Summary)

本研究では、電子ビームリソグラフィー(EBL)手法および反応性イオンエッチング(RIE)手法を用いて、ガラス(SiO_2)基板上にサブマイクロ周期からなる二酸化チタン(TiO_2)スラントグレーティングを作製し、その形状を走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて観察する。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

3 元マグネットロンスパッタ装置、電子ビーム蒸着装置、RIE エッチング装置、電子線露光装置、走査型電子顕微鏡

【実験方法】

Fig. 1 に示すように、 $10 \times 10 \times 0.5\text{mm}^3$ の SiO_2 を基板に用いて、EBL と RIE を中心とした 8 段階からなる工程を実施する。ここで、始点を A)、終点を B)とする。

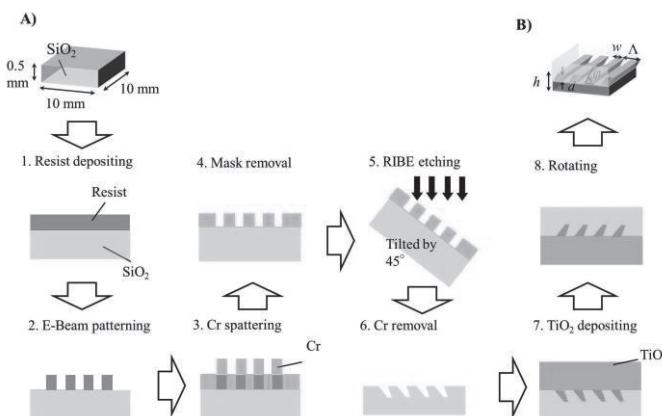


Fig. 1 Fabrication step of slanted gratings (A→B).

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 2 (a)(b) は、 TiO_2 スラントグレーティングの SEM 断面像を示す。Fig. 2(a) の低倍率 SEM 断面像では、 SiO_2 基板上で左向きの TiO_2 スラントナノ周期構造が見られる。Fig. 2(b) の高倍率 SEM 断面像では、 SiO_2 層上

で周期 A 、高さ d 、幅 $(w_1+w_2)/2$ 、厚み h 、それと傾斜角 $(\varphi_1+\varphi_2)/2$ がそれぞれ 704 nm 、 227 nm 、 468 nm (w_2-w_1 : 71 nm)、 920 nm 、 55.2° ($\varphi_1-\varphi_2$: 14.40°) の TiO_2 スラントグレーティングが確認できた。 TiO_2 層には周期的なエアギャップが形成されていた。これは、 SiO_2 鋳型への EB 蒸着角がスラント角に一致していないことが原因であり、改善が必要とされる。

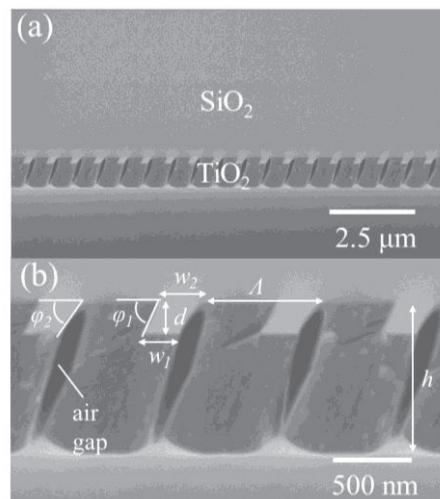


Fig. 2 Cross-sectional SEM images on the TiO_2 slanted grating: (a) low-, (b) high-magnification.

4. その他・特記事項(Others)

・参考文献:

- [1] B. Bai et al, *Appl. Optics*, **49**, 5454 (2010)

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

- (1) Yoichi Ogata, 光学素子の製造方法および光学素子、
2019-161069, 2019.9.4

課題番号	: F-19-NU-0079
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)	: <u>山田智明</u>
Username (English)	: <u>T. Yamada</u>
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	: 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、薄膜キャパシタ構造を作製することで、自発分極の反転を利用した不揮発性メモリや、誘電率の電圧依存性を利用したチューナブルキャパシタ、電気熱量効果を利用した小型冷却素子などへの応用が期待されている。

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重要である。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きた。昨年度までに白金電極の成膜の最適化が終了したため、本年度は作製した薄膜キャパシタ構造の電気特性評価を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

小型微細形状測定機一式

【実験方法】

SrTiO_3 単結晶基板上に、下部電極として SrRuO_3 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 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ および $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ 薄膜をパルスレーザー堆積法で成膜した。作製した強誘電体薄膜表面上に、白金電極を電子ビーム蒸着法で成膜した。作製した薄膜および電極の成形状態を顕微鏡および小型微細形状測定機で確認し、強誘電体テスターで薄膜キャパシタの特性評価を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

一例として、 $\text{SrTiO}_3(001)$ 上にエピタキシャル成長した $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 薄膜の $P-E$ 曲線を Fig. 1 に示す。

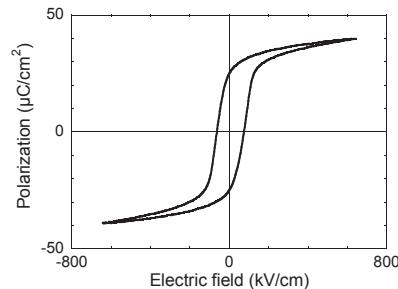


Fig. 1 $P-E$ loop measured at 10 kHz for $\text{Pt}(10 \text{ nm})/\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3(620 \text{ nm})/\text{SrRuO}_3(20 \text{ nm})/\text{SrTiO}_3(001)$.

Fig. 1 からわかるように、電界の掃引により飽和した強誘電ヒステリス特性が得られたことがわかる。本研究により、強誘電体薄膜キャパシタとして機能する電極の作製に成功した。

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-19-NU-0080
利用形態	:機器利用
利用課題名(日本語)	:Cu合金膜およびTi合金膜のエッティング性評価
Program Title (English)	:Etching characterization of Cu alloy film and Ti alloy film
利用者名(日本語)	:富永尚吾
Username (English)	:S. Tominaga
所属名(日本語)	:大同特殊鋼株式会社
Affiliation (English)	:Daido Steel Co., Ltd
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・エッティング

1. 概要(Summary)

大同では、オリジナルのターゲット材を販売しているが、配線膜や保護膜に適用する場合には、各ターゲット毎に適したエッティング条件の確立が必要である。

そこで名古屋大学微細加工PFの設備を利用して、Cu合金膜およびTi合金膜のエッティング性評価を実施した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

フォトリソグラフィ装置

【実験方法】

Cu合金膜は、エッティングによる膜断面の形状の変化を調査するため、下記の手順でエッティングを実施した。

- ①レジスト(S1813G+シランカップリング剤)塗布
- ②115 °C × 2 min のベーキング
- ③線幅 10 μm のフォトマスクにて露光(8 sec, 12 sec)
- ④現像
- ⑤エッティング(最大 3 min)

薬液:リン酸 + 硝酸 + 水(Bal.)

時間は 4 水準(10 sec, 20 sec, 30 sec, 40 sec)

Table1 の各条件で、エッティングした膜について、断面観察を実施した。(断面観察は大同社内で実施)

No.	Conditions
①	Exposure 8sec、Etching 40sec
②	Exposure 12sec、Etching 10sec
③	Exposure 12sec、Etching 20sec
④	Exposure 12sec、Etching 30sec
⑤	Exposure 12sec、Etching 40sec

Table1 Experimental conditions.

Ti合金膜(4種)は、エッティングレートを測定するため、C2010T(林純薬製)の薬液を使用し、膜が溶けきるまでの時間を測定した。室内温度 20 °C で実施した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

・Cu合金膜のエッティング結果

水準②について、レジストは除去されていたが、エッティング時間が不足していたため、膜は溶けきっておらず、目標とする断面形状になっていなかった。

水準②以外は、レジストが除去されておらず、膜までエッティングされていなかったため、全体として露光および現像がの条件が適切でないことが考えられる。

・Ti合金膜のエッティングレート測定

Fig.1 に示す通り、Ti合金の組成の違いにより、エッティングレートが変化していることがわかった。

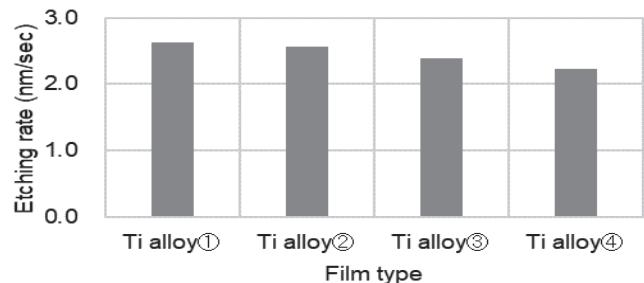


Fig. 1 Etching rate change of Ti alloy Film.

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-19-NU-0081
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 半導体電極開発
Program Title (English)	: Development of semiconductor electrode
利用者名(日本語)	: 竹内和歌奈
Username (English)	: <u>W. Takeuchi</u>
所属名(日本語)	: 愛知工業大学工学部
Affiliation (English)	: Faculty of Engineering, Aichi Institute of Technology
キーワード／Keyword	: SiC 薄膜、in-situ ドーピング、形状・形態観察、結合状態観察

1. 概要(Summary)

化学気相成長法で成長させたシリコンカーバイド(SiC)薄膜の結合評価をX線光電子分光を用いて行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

X線光電子分光装置

【実験方法】

化学気相成長法によりSiC原料としてビニルシランを用いて、SiC薄膜をSi基板上に成長温度850°Cで成長させた。電極応用に向けて、抵抗率を下げるために、リン原料であるPF₃をビニルシラン原料に混合させて、in-situリンドーピングを行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

堆積したSiCの結合状態を調べるために、XPS測定を行った。Si2p、C1s軌道から、ともにSiC結合を観測した。SiCが堆積されていることがわかった。PF₃ガスを用いて、ドーピングを行っているため、ドーピングした試料においては、PとF元素の確認を行った。Fig.1にF1s軌道の結果を示す。P2pからピークが検出された。一方、F1sから、PF₃の流量の増加と共にFの結合に寄与するピークが増加した。ドーピングガスであるPF₃を用いると、Fも同時に取り込まれることがわかった。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) T. Koide, Y. Jin, S. Yasuhara, and W. Takeuchi,

ISPlasma2020, 10P2-14 (2020)

6. 関連特許(Patent)

なし。

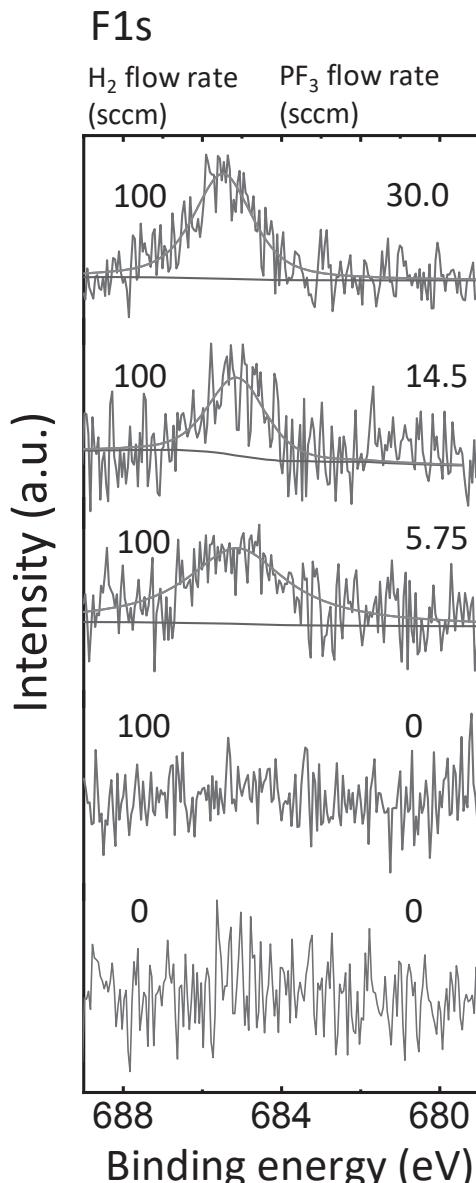


Fig. 1 XPS spectra of F1s in the in-situ P doped SiC films.

課題番号	: F-19-NU-0082
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 酸化物型全固体リチウム二次電池に用いる集電体金属膜の作製
Program Title (English)	: Fabrication of metal films used for oxide-based all-solid-state lithium batteries
利用者名(日本語)	: <u>山本貴之</u>
Username (English)	: <u>T. Yamamoto</u>
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、電子ビーム蒸着、全固体リチウム二次電池

1. 概要(Summary)

薄膜型全固体リチウム二次電池を構築する過程において、高品質な集電体金属薄膜の成膜手法が重要となる。本研究では、名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリの一の電子ビーム蒸着装置を利用して、Al 薄膜の成膜を行った。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子ビーム蒸着装置

【実験方法】

基板には Si ウエハーを、ターゲットには Al ブロックを用いて電子ビーム蒸着を行った。蒸着速度は約 1 \AA/s であり、約 100 s 蒸着を行うことで、膜厚が 10 nm となることを狙って成膜した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

成膜後の試料を研究室に持ち帰り、光学顕微鏡及び原子間力顕微鏡(AFM)を用いて表面形態を観察した。Fig. 1 に示す光学顕微鏡像では、Al の蒸着領域と未蒸着領域で明瞭な色の違いが見られ、Al が蒸着されていることが示唆された。また、Fig. 2 に示す AFM 像から、自己平均面粗さは 0.87 nm であり、平滑で緻密な膜が成膜されていることが確認された。今後は今回と同様の集電体金属薄膜を備えた電気化学セルを作製し、実際に電気化学測定が可能であるかを調べる予定である。



Fig. 1 Optical image of Al thin film deposited on Si substrate.

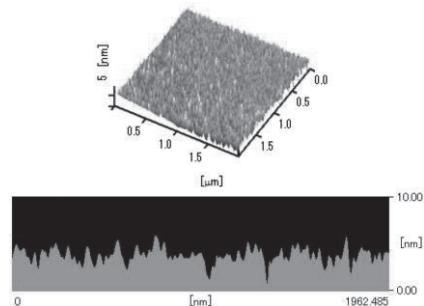


Fig. 2 AFM image of Al thin film deposited on Si substrate.

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-19-NU-0085
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)	: 櫻井秀樹
Username (English)	: <u>H. Sakurai</u>
所属名(日本語)	: 株式会社アルバック 半導体電子技術研究所
Affiliation (English)	: Institute of Semiconductor & Electronics Technologies, ULVAC, Inc.
キーワード／Keyword	: 形状・形態観察, 走査電子顕微鏡, 窒化ガリウム, パワーデバイス, イオン注入

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、Mgイオン注入したGaNサンプルを活性化処理したサンプルを用意し、走査型電子顕微鏡による処理表面の形状観察を行った。

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 を結晶成長させた母材を用い、そこに Mg イオン注入と活性化アニール処理(処理条件: 1500 °C、15 分、1GPa の高压窒素条件下)を行った。このプロセスを経た試料の表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)

試料の表面観察結果を Fig. 1 に示す。観察結果から、アニール 1500 °C の条件下においては、平坦な表面形状が保たれている領域と、凸凹形状の領域が共存する。

この凹凸形状は、非常に高い温度によって GaN の熱分解反応が顕著に発生することを意味する。今回の観察結果を受け、最適な活性化アニール処理条件は 1500 °C 以下の温度領域で再度検討を進める実験方針を得ることが出来た。

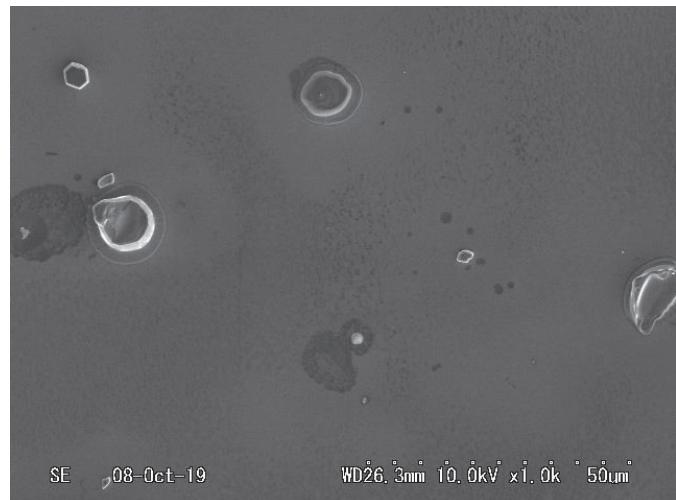


Fig. 1 Planview SEM image of Mg-implanted GaN sample annealed at 1500 °C (x1.0k).

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-19-NU-0088
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	:
Program Title (English)	: Unidirectional thermal conductivity enhancement in yttrium Iron garnet due to the effect of spin waves
利用者名(日本語)	:
Username (English)	: <u>A. Abdulkareem</u>
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	: Spin-caloritronics, thermal conductivity measurement, yttrium iron garnet, 3ω method, リソグラフィ・露光・描画装置

1. 概要(Summary)

The objective of this research is to investigate the interaction between spin waves and phonons in Yttrium Iron Garnet (YIG) which is reflected as an enhancement in the thermal conductivity in the direction of the spin waves. For that, a measurement technique is developed based on the well-known 3ω (3ω) method for the purpose of observing quantitatively this enhancement.

The proposed measurement technique is based on a set of symmetric micro heater/sensors which are fabricated mainly by using photolithography and sputtering.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置 (Heidelberg Instruments 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・アルバ製 E-200S), スパッタ絶縁膜作製装置 (MES アフティ社製 AFTEX-3420)

【実験方法】

First a thin layer of SiO_2 is sputtered by AFTEX-3420 to insulate the noise of the spin waves on the signal of the sensors. The laser writer (DWL66FS) is used then to write the pattern of the heater/sensors either on a Cr mask or directly on the photoresist layer on the surface of the sample. On the other hand, the mask aligner (Suss Micro Tec AG MA-6) is utilized to transfer the pattern

from the mask to the photoresist layer.

E-200S sputtering device is utilized finally to deposit a 5 nm layer of Cr as an adhesive layer and 250 nm of Au as the main structure of the heater/sensors.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

As a first stage of the research, SiO_2 insulation layer deposition were tested successfully on YIG which indicates that adhesion enhancement is not required. Moreover, sputtering Cr/Au multi thin films on YIG by E-200S was also calibrated for acquiring the desired thickness of the heater/sensors pattern.

4. その他・特記事項(Others)

None

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

None

6. 関連特許(Patent)

None

課題番号	: F-19-NU-0097
利用形態	: 技術相談
利用課題名(日本語)	: ナノバイオデバイスの開発
Program Title (English)	: Development of nanobiodevice
利用者名(日本語)	: 有馬彰秀
Username (English)	: <u>A. Arima</u>
所属名(日本語)	: 名古屋大学大学院工学研究科
Affiliation (English)	: Graduate School of Engineering, Nagoya University
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、成膜・膜堆積、膜加工・エッティング、形状・形態観察

1. 概要(Summary)

單一生体粒子検出に資する、低アスペクト比かつ低容量のナノポアデバイスを作製するため、名古屋大学の支援機関に技術相談を行った。

本研究ではナノポア周辺に、流路に代表される微細構造を作りこむために、各構造間の位置合わせが課題となっていた。

相談により、マスクアライナーによるメタルマーカーを利用した描画において、最初に作製する構造と同時に電子線(EB)リソグラフィ用のマーカーを描画することをご提案いただいた。これにより、各構造間の相対位置を適切に設定することが可能になった。

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-19-NU-0099
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: Si 赤外線受光素子に関する研究
Program Title (English)	: Study on infrared sensors on Si platform
利用者名(日本語)	: 副島成雅, 石井栄子
Username (English)	: <u>N. Soejima</u> , E. Ishii
所属名(日本語)	: 株式会社豊田中央研究所
Affiliation (English)	: Toyota Central R&D Labs., Inc.
キーワード／Keyword	: 成膜・膜堆積、プラズマ CVD、フォトニクス

1. 概要(Summary)

自動車の自動運転には様々なセンサの情報が必要である。中でも自車から障害物の距離を測定するために赤外線をプローブとして用いる LiDAR (Light Detection and Ranging) に期待が集まっている。この LiDAR の小型化・低コスト化のため、受光素子は Si の信号処理部との一体化が求められている[1]。今回、Si プロセスを基盤にした赤外線受光素子の実現のため、名古屋大学での試作環境構築を目指し、名大ナノテクプラットフォーム所有のプラズマ CVD 装置を用いて、Si 基板に対して電気的な分離に必要な絶縁膜の成膜実験を実施した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

プラズマ CVD 装置

【実験方法】

成膜条件のうち、成膜圧力、TEOS (TetraEthyl OrthoSilicate) 流量、RF Power について、設定できる最大値まで可変して成膜し、成膜レートの確認を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

成膜レートは TEOS 流量を増加させると高くなつた。また、RF Power は 90W の時に成膜レートが高くなり、成膜圧力は 0.75 Torr の時に成膜レートが高くなつた (Fig. 1)。

4. その他・特記事項(Others)

- ・参考文献:[1] 柳井 謙一 他、自動運転を実現するセンサ技術、自動車技術、Vol.74、No.2、pp.23-28
- ・装置の取り扱いをご指導くださいました坂下満男先生(名古屋大学)に感謝いたします。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

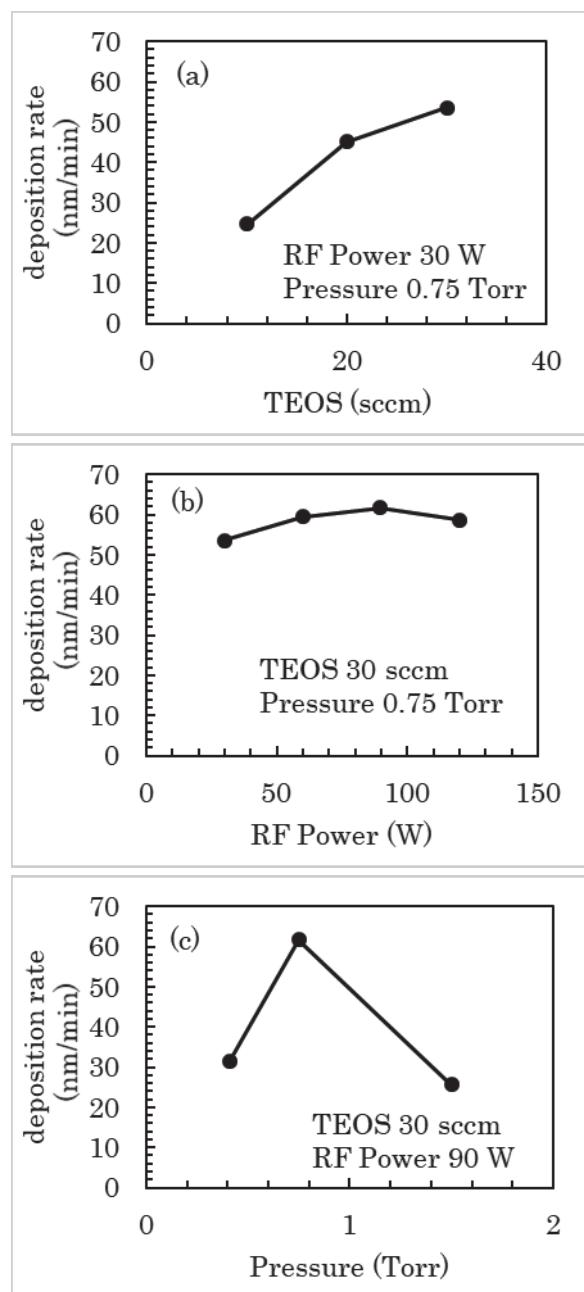


Fig. 1 Relationship of the deposition rate to deposition conditions. (a) Flow rate of TEOS, (b) RF power, and (c) deposition pressure.

課題番号	: F-19-NU-0100
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: セラミック材料の耐プラズマ性の評価
Program Title (English)	: Evaluation of Ceramic Materials Resistance to Plasma
利用者名(日本語)	: 小川大輔
Username (English)	: <u>D. Ogawa</u>
所属名(日本語)	: 中部大学 工学部 電気電子システム工学科
Affiliation (English)	: Department of Electrical and Electronic Engineering, College of Engineering, Chubu University
キーワード／Keyword	: 形状・形態観察、セラミック、耐プラズマ性

1. 概要(Summary)

現代の半導体プロセスにおいて、低温プラズマの役割は非常に大きく、消費者が求めるものに応えるためだったり、半導体加工する企業の利益を最大化するためだったりと様々なところで日々努力が重ねられている。つまり、これら両方の求めるものを達成するためには、半導体の微細化が不可欠で、年々その度合いが進んでいる。しかし、この著しい進歩の裏には、これまで支えてきた技術の見直しが都度行われており、その結果、その加工レシピや加工環境などが止まることなく変化し続けている。本課題では、そういった社会的 requirement をもとに、半導体プロセスに必要な各種セラミック材料のプラズマに対する耐性について調査を行なった。

より右側がプラズマに曝露した領域を示している。

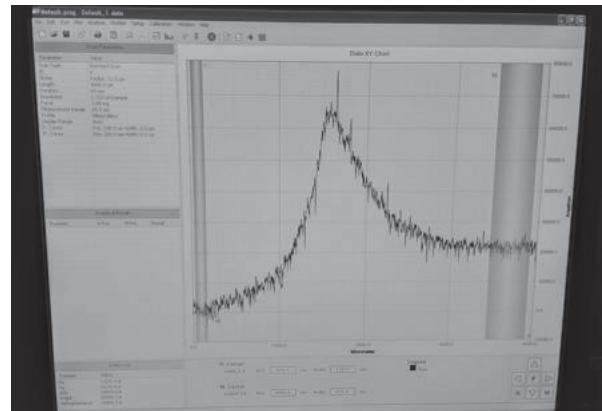


Fig. 1 An example of the step measurement for a ceramic sample.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

段差計(アルバック社製、Dektak150)

【実験方法】

反応性プラズマ内に数種類のセラミックサンプルをセットし、RFバイアスをかけてイオン衝撃を与える。耐プラズマ性を調査するため、プラズマ照射により生じたサンプルの損耗を定量評価する。そのため、サンプル表面の一部をマスクし、プラズマ曝露領域と非曝露領域との間に発生するステップを、プラズマ照射停止後に段差計を用いて計測する。放電に用いるガスの種類、放電やRFバイアスのパワー等のパラメーターを変えることにより、各種セラミックの耐プラズマ性を定量比較することができる。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1 は、今回の測定で得られた測定結果の一例であり、赤線より左側がプラズマに曝露していない領域、緑線

Fig. 1 に見られるように、当初はプラズマによるスパッタを期待していたが、今回のプラズマ曝露の条件では、むしろ膜が堆積していることが判明した。これはサンプルが厚すぎて RF バイアスが試料表面に十分に印加されず、イオン照射エネルギーが不十分であったこと、およびプラズマ容器内面が清浄でなかったことが原因であったと考えられる。今後これらの条件を改善し、さらに研究を進めていきたい。

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-19-NU-0101
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: Cs-K-Sb による GaAs の NEA 活性化
Program Title (English)	: A study of NEA activation of GaAs with Cs-K-Sb
利用者名(日本語)	: 郭磊
Username (English)	: G. Lei
所属名(日本語)	: 名古屋大学シンクロトロン光研究センター(SR センター)
Affiliation (English)	: Nagoya University Synchrotron radiation Research center
キーワード／Keyword	: 表面処理、NEA-GaAs、Cs-K-Sb

1. 概要(Summary)

NEA-GaAs の NEA (Negative Electron Affinity) 表面生成に用いられるセシウムと酸素による化学修飾は、残留ガス(O_2 、 H_2O 、炭化水素等)による汚染、逆流イオンによる衝撃などに非常に敏感で、その動作圧力は極高真空($<10^{-9}$ Pa)を要する。さらに、50 mA という大きな引き出し電流での $1/e$ 寿命は 1.5 時間しかなく、用途が超高感度光センサ等に限られている。本研究では、Cs-O の従来 NEA 活性化手法の替わりに、アルカリ薄膜によるヘテロ結合を用い、新たな NEA の製作に挑戦する。

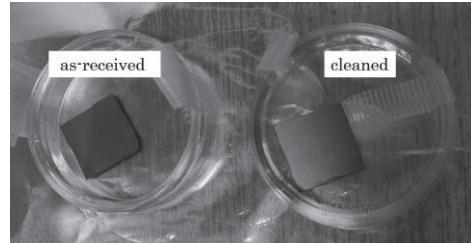


Fig. 2. The picture of the GaAs samples.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

フォトリソグラフィ装置

【実験方法】

フォトリソグラフィ装置の付帯設備であるドラフトチャンバ内にて NEA 表面生成に必要となる GaAs 基板洗浄を行った(Fig. 1)。

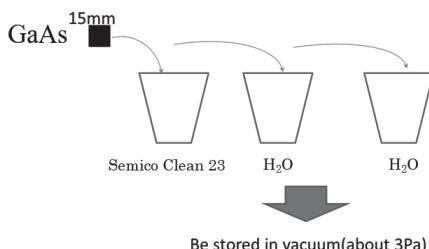


Fig. 1. Surface treatment method.

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 2 は洗浄前後の GaAs 基板の写真である。今後、既設の SR センター内の蒸着装置を用い、洗浄した GaAs 基板上に Cs, K, Sb 蒸着し、NEA を作り、その性能を評価する。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0103
利用形態	: 共同研究
利用課題名(日本語)	: 非反転対称性磁性体の作製と新規スピノン光機能の探索
Program Title (English)	: Fabrication of noncentrosymmetric magnets and exploration of novel spin-photonics functionality
利用者名(日本語)	: 小林隆嗣, 関根大輝, 重藤真人, 高田悠太, <u>松原正和</u>
Username (English)	: T. Kobayashi, D. Sekine, M. Shigefuji, Y. Takata, <u>M. Matsubara</u>
所属名(日本語)	: 東北大学大学院理学研究科
Affiliation (English)	: Graduate School of Science, Tohoku University
キーワード／Keyword	: リソグラフィ・露光・描画装置、膜加工・エッチング、光メタマテリアル、非線形光学測定

1. 概要(Summary)

情報記録デバイスの高速化・高密度化・低消費電力化は、ビッグデータの処理が求められるこれからの社会において大きな課題である。そのような新しい情報記録デバイスの候補の1つとして、反強磁性体を用いるという方策があるが、反強磁性秩序を検出・制御することは一般に非常に困難である。

今回、名古屋大学微細加工プラットフォームの設備を利用して、反強磁性秩序の一種である電子スピンの渦(磁気渦)が発生するナノ磁性体の周期構造を作製し、磁気渦による新機能の開拓とそれを直接的に検出・制御するための新技術の確立を目指した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

電子線露光装置、8元マグネットロンスパッタ装置、ECR-SIMS エッチング装置、原子間力顕微鏡

【実験方法】

マグネットロンスパッタ、電子線露光装置、エッチング装置を用いて、ナノ磁性体周期構造を作製した。また、原子間力顕微鏡(AFM)や磁気力顕微鏡(MFM)を用い、試料の評価を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

強磁性体のペーマロイ(NiFe)を用い、直径が200ナノメートル程度、厚さ50ナノメートル程度の円柱状のナノ磁性体周期構造を作製した。試料の典型的なAFM像を示す通り(Fig. 1)、ほぼ設計通りの試料作製に成功した。また、MFMを用いた磁気イメージにより、磁気渦の発現に由来する像を観察することに成功した。今後、非線形光学的手法を用い磁気渦の新たな検出・制御手法の開拓と新機能の創出を目指す。

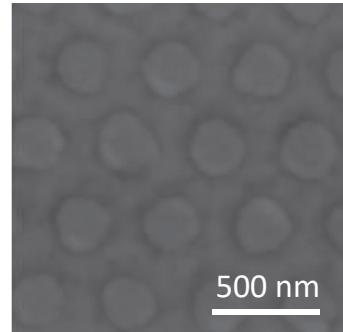


Fig. 1 AFM image of periodic arrangement of permalloy (NiFe) nanomagnets.

4. その他・特記事項(Others)

- ・本研究の一部は、科学研究費補助金 若手研究(A) 17H04844「非線形光学プローブによる室温人工マルチフェロイック物質の開拓と新機能創出」により行われた。
- ・共同研究者:
名古屋大学工学研究科 加藤剛志 准教授、
名古屋大学未来材料・システム研究所 大島大輝 助教
- ・本研究を遂行するにあたり多大なご協力を頂きました名古屋大学工学研究科の加藤剛志准教授、名古屋大学未来材料・システム研究所の大島大輝助教と岩田聰教授に御礼申し上げます。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) 重藤真人, 小林隆嗣, 高田悠太, 加藤剛志, 大島大輝, 岩田聰, 松原正和, 日本物理学会第75回年次大会, 令和2年3月16日.
- (2) 松原正和 他, NanotechJapan Bulletin 13, No.1 (2020).

6. 関連特許(Patent)

なし。

課題番号	: F-19-NU-0104
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: ウェアラブル機器搭載を見据えた超薄型熱輸送デバイスの開発
Program Title (English)	: Development of ultra-thin heat transport device for wearable equipment
利用者名(日本語)	: 杉本賢哉, <u>上野藍</u>
Username (English)	: K. Sugimoto, <u>A. Ueno</u>
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, 熱マネジメント, ループヒートパイプ

1. 概要(Summary)

この研究では厚さサブミリ以下の超薄型フレキシブルループヒートパイプ(FLHP)の開発研究を行う。ループヒートパイプ(LHP)は封入された作動流体の気液の相変化を利用して熱を輸送する熱輸送デバイスであり、小型デバイス搭載に向けた LHP 薄型化の研究は数多く行われている。しかし、用いられている材料は主に銅などの金属であり、未だフレキシブル性を有した LHP は存在しない。そこで、この FLHP ではエッチングプロセスを用い、柔軟な材料である PDMS 上に流路を形成することでフレキシブル性を有する LHP の作製を目指とした。この FLHP は上下面の流路基板アセンブリすることで作製される。それぞれの基板には蒸気、液が通過する流路が形成されており、ガラスクロムマスクに描画装置を用いて各流路パターンを形成し、その後マスクアライナにて、流路パターンが掘られた SU-8 モールドを作製する。そこに PDMS を流し込み、転写させることによって 1 枚の基板を作製した。最終目標としてはウェアラブル機器搭載に向け、厚さサブミリ以下かつ高熱輸送を可能とするフレキシブル性を有した LHP の創出を研究目標としている。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

レーザー描画装置 (Heidelberg Instruments DWL66FS), 両面露光用マスクアライナ (Suss Micro Tec AG 製 MA-6)

【実験方法】

初めにレーザー描画装置を用いて、ガラスクロムマスク上にそれぞれの基板に対応した流路パターンを掘り、マスクを作製した。次に SU-8 シートレジストを Si ウェハに貼り付け、両面露光用マスクアライナにて感光を行う。その後、現像液及びリンス洗浄によってそれぞれの基板に対

するモールドを作製した。ここで作製したモールドに硬化前の PDMS を流し込み、ベイクすることで基板の作製を完了とする。最後にはそれぞれの基板の表面をプラズマ処理し、アセンブリを行う。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

マスク作製にとりかかり、流路パターンが掘られ次第モールドの作製にとりかかる予定である。今回は十分な流路高さを確保するために、シートレジストを積層しモールドの作製を行うため、レジストの浮きやずれによる欠損が生じないように留意する必要がある。これに関しては、予備実験として多層レジストを用いたモールドの作製を行っており、問題なく作製可能であったので、本サンプルを作製する際にもいくつかの留意点に気を付けながら作製していく予定である。

4. その他・特記事項(Others)

なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

なし。

6. 関連特許(Patent)

なし。

8. 他機関との交流

(Reports of Collaborations)

1. 「第 16 回 CIRFE セミナーでの講演」

(招待講演)

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 天野 浩

University of California, Santa Barbara VAN DE WALL Chris G.

「Impact of point defects on efficiency of devices」のタイトルにて教職員、学生への講演を行い、意見交換を行った。

2. 「第 17 回 CIRFE セミナーでの講演」

(招待講演)

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 天野 浩

Tsinghua University YU Zhiping.

「Wireless Power Transfer (WPT): From Physics to Electrical Engineering」のタイトルにて教職員、学生への講演を行い、意見交換を行った。

3. 「第 24 回 CIRFE セミナーでの講演」

(招待講演)

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 天野 浩

Georgia Institute of Technology SHEN Shyh Chiang

「III-Nitride Power PN Rectifiers and Heterojunction Bipolar Transistors」のタイトルにて教職員、学生への講演を行い、意見交換を行った。

4. 「Integrated GaN Active Matrix Emitters: i-GAME に関する研究」

(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 天野 浩

Korea University Tae-Yeon Seong 他 大学院生 4 名

韓国 GRL より研究資金支援を受け、CIRFE と高麗大学でマイクロ LED アレイをアクティブに駆動し、眼鏡型の AR および VR ディスプレイの実現を目指した共同研究を行っている。

5. 「GaN 系パワーデバイスに関する情報交換」

(研究交流)

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 天野 浩

Infineon Technologies Austria AG DETZEL Thomas

世界最大のパワーデバイス製造企業である Infineon と、GaN 系パワーデバイスの現状及び将来性について、それぞれの立場で意見交換を行った。

6. 「GaN バルク基板成長に関する意見交換」

(研究交流)

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 天野 浩

ポーランド科学アカデミー高圧研究所 SSOCHACKI Tomasz

GaN バルク結晶成長法であるアモノサーマル法と HVPE 法で長年の経験のある Tomasz 博士に、それぞれの結晶成長法の詳細と最先端の研究成果を披露していただき、また C-TEFs の HVPE 装置に関する改善点をご指摘いただいた。

7. 「CIRFE の紹介及び研究組織に関する情報交換」

(研究交流)

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 天野 浩

Stanford University WARNER Timothy

大学からのスタートアップ創成で歴史の長いスタンフォード大学のプロボストとして、資金調達や研究管理法などの情報を聞き、また CIRFE の活動を紹介して、今後の共同研究の可能性を話し合った。

8. 「名大ークレルモンオーベルニュ大学との交流協定」

(学術交流協定に基づく交流)

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 天野 浩

クレルモンオーベルニュ大学 TRASSOUDAINE Agnes、PERY Emillie

世界で唯一、HVPE 法で InGaN ナノワイヤを作製しているクレルモンオーベルニュ大学と、我々の MOVPE 技術の融合による太陽電池や可視長波長 LED 実現の可能性について検討している。また先方より学振の研究員として Geffrey Avit 氏が CIRFE にて、研究活動を行っている。

9. 「文部科学省 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に関する研究」

(研究打合せ)

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 天野 浩

AIXTRON SE SCHULTE Bernd

高温対応の MOVPE 装置による高 Al 組成 AlGaN の MOVPE 成長に関する成長条件の詳細の打ち合わせを行った。

10. 「窒化物半導体バルク成長及びエピタキシャル成長機構の解明に関する研究」

(研究打合せ)

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 天野 浩

ノースカロライナ州立大学 SITAR Zlatko

HVPE 法による GaN 長尺結晶成長の成長炉の設計指針に関して、Sitar 教授の昇華法による AlN バルク結晶成長に関する長年の経験をもとに、最適な面内温度分布に関する議論を交わした。また博士後期課程学生の研究指導を行っていただいた。その成果の一部は Journal of Crystal Growth に掲載された。

11. 「GaN 系パワーデバイスに関する情報交換」

(研究交流)

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 天野 浩

Invispower WANG Zhe、他 2 名

中国でパワーデバイス製造を手がける Invispower の研究者と、GaN 系パワーデバイスの研究開発の状況と今後の可能性について情報交換を行った。

12. 「GaN 系縦型パワーデバイスに関する打ち合わせ」

(研究交流)

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 天野 浩

Stanford University CHOWDHURY Srabanti

GaN 系縦型パワーデバイスで世界トップの研究実績を有する Chowdhury 教授に複数回来ていただき、最先端の研究開発の状況を紹介していただくとともに、C-TEFs の製造技術を用いた次世代パワーデバイス研究開発について、特に学生交流の具体的な進め方を話し合った。

13. 「ワイドバンドギャップ縦型パワーデバイスの熱工学に関する研究」

(研究打合せ)

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 天野 浩

Georgia Institute of Technology GRAHAM Samuel

今後ますます増加するパワーデバイスのパワー密度に対応した放熱技術について、レーザを用いた Samuel 教授の最先端ミクロ熱伝導評価解析技術を紹介していただくとともに、我々のサンプルを評価していただくなど、共同研究の具体的な進め方を議論した。既に共同での論文執筆が 1 報ある。また CIRFE 出来助教が Samuel 教授研究室にインターンシップさせて頂き、光による熱伝導解析技術を学んだ。

14. 「ワイドバンドギャップ半導体ナノ構造の物性解明に関する研究」

(研究打合せ)

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 天野 浩

Linkoping University MONEMAR Bo

30年来、共同研究等で交流のある Monemar 教授に CIRFE に 1か月間滞在していただき、特にマイクロ LED ディスプレイの社会実装を目指す博士課程学生の研究指導をしていただいた。

15. 「パワーデバイス用新材料研究に関する研究」

(研究打合せ)

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 天野 浩

Nanyang Technological University SUBRAMANIAM Arulkumaran

高エネルギー粒子検出器用デバイスとして、高耐圧 GaN ショットキーバリアダイオードを共同開発し、世界最高感度の特性を実現し多。既に論文や国際会議での発表が数多く、交流実績が進んでいる。

16. 「卓越大学院 DII 協働プログラム学生の受け入れおよびパワーデバイス共同研究の打ち合わせ」

(研究交流)

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 天野 浩

Nanyang Technological University MHAISALKAR Subodh、他 3名

世界有数のパワーデバイス試験設備を有する NTU の電気系教員と、DII 学生のインターンシップ受け入れを許可していただき、また C-TEFs 製造の GaN 系パワーデバイスの NTU での試験の可能性について、打ち合わせを行った。

17. 「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に関する研究」

(研究打合せ)

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 天野 浩

鄭州大学 劉 玉懷

JST プログラム SICORP において、C-TEFs にて紫外レーザ構造の光学的評価、鄭州大学にて結晶成長及び評価に関する共同研究を行った。

18. 「紫外フォトカプラの共同研究」

(研究交流)

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 天野 浩

南京誘電大学 WANG Yongjin

JST プログラム SICORP において、C-TEFs にて紫外レーザ構造の光学的評価、南京郵電大学にてフォトカプラの試作及び評価に関する共同研究を行った。既に共著論文

も複数ある。また、王先生にはC-TEFsに来ていただき、プロセス方法を学生に指導していただいた。

19. 「GaN 基板標準化に関する活動」

(研究交流)

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 田中 敦之
ファインセラミックスセンター 石川 由加里

GaN 基板標準化に向けた議論を行った。またその際の指標となる、GaN 基板への KOH による転位部へのエッチピット形成の実験に関して、装置・条件等について研究交流を行った。

20. 「GaN 基板貼合わせ・スマートカットに関する研究」

(研究交流)

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 田中 敦之
明星大学 須賀 唯知

GaN 基板の価格低減に向けて、表面活性化接合を利用した貼合わせや、GaN において貼合わせとスマートカットをどのように組み合わせていくかについて議論を行った。

21. 「GaN デバイスの熱抵抗低減に関する研究」

(研究交流)

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 田中 敦之
名古屋工業大学 分島 彰男

GaN デバイスの熱抵抗低減に向け、GaN デバイスとヒートスプレッダ界面の形状が熱伝導特性に与える影響に関して、実験結果及びそのシミュレーション解析への反映について議論を行った。

22. 「AlGaN HEMT のノーマリオフ構造に関する研究」

(研究交流)

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 新田 州吾
名古屋工業大学 分島 彰男

AlGaN HEMT のノーマリオフ化構造に関して、Si デルタドープ GaN cap 層の構造最適化と実際のエピ出来栄えについて議論を行った。

23. 「HVPE による GaN バルク結晶の長尺化に関する研究」

(研究交流)

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 新田 州吾

科学技術振興機構 碓井 彰

HVPE 法による GaN バルク結晶の長尺化における問題解決のため、成長レートと品質の同時改善と多結晶析出抑制に関して、成長条件と装置構成の両観点から議論を行った。

24. 「イオン注入法により作製した縦型 GaN-MOSFET に関する研究」

(研究交流)

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 出来 真斗

法政大学 中村 徹

GaN 中へイオン注入した Mg の活性化に関する議論および堆積絶縁膜の界面特性に関する議論を行った。

25. 「高効率紫外発光デバイス作成に関する研究」

(研究交流)

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 本田 善央

三重大学 三宅 秀人

AlGaN 系紫外発光素子の効率向上に向けた、結晶成長技術や光学特性について議論を行った。

26. 「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

27. 「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

28. 「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

29. 「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

30. 「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 聰

31. 「高純度半導体カーボンナノチューブの抽出と素子応用」
(共同研究)

未来材料システム研究所 未来エレクトロニクス集積研究センター 大野 雄高
産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 片浦 弘道

32. 「原子層材料のエネルギーハーベスティング応用」
(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
九州大学 グローバルイノベーションセンター 吾郷 浩樹

33. 「有機電荷移動錯体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、東京大学)、矢持秀起（京都大学）、大塚晃弘（京都大学）、北川宏（京都大学）、齋藤軍治（豊田理化学研究所）

34. 「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）

35. 「有機電荷移動錯体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
佐々木孝彦（東北大学）、井口 敏（東北大学）、米山直樹（山梨大学）

36. 「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）

37. 「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

宮田耕充（首都大学東京）

38. 「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）

39. 「有機高分子を用いた熱電効果に関する研究」

(共同研究)

工学研究科 応用物理学専攻 竹延 大志

北海道大学 電子研 太田 裕道

微細加工技術を用いて作製した電極により有機高分子薄膜の熱電効果の解明と性能向上指針の探索を行っている。出力電力に最大値が存在することを見出しており、柔軟性を有する熱電変換素子応用に向けて研究を進めている。

40. 「可視光によってスイッチ可能な相互変換型カチオン／PET-RAFT 共重合」

(共同研究)

工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外正己, 内山峰人, Sun Zhihong

東京工業大学 物質理工学院 応用化学系 佐藤浩太郎

豪州・ニューサウスウェールズ大学 化学工学科 Cyrille Boyer, Jiangtao Xu

亜鉛ポルフィリン錯体とホウ素ルイス酸を用いて、ビニルエーテルとアクリル酸エステルの共重合を行い、カチオン重合と光照射下でのみラジカル PET-RAFT 共重合が進行することを見出した。

41. 「ビニルエーテルとフッ素系モノマーの共重合体の合成」

(共同研究)

工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外正己, 内山峰人, 西田竹徳

東京工業大学 物質理工学院 応用化学系 佐藤浩太郎

仏国・モンペリエ シャルル・ジェラール研究所 Vincent LADMIRAL, Sylvain Caillol, Mona Semsalilar

ビニルエーテルのカチオン RAFT 重合とフッ素系モノマーのラジカル RAFT 重合を組み合わせることで、両者のブロック共重合体の合成を行った。

42. 「植物由来化合物を原料としたミクロゲル核分解性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, 内山峰人, 宮島雅斗

英国・バース大学 化学科 Antoine Buchard, Thomas McGuire

植物由来スチレンモノマーの側鎖にエポキシ基を導入し、リビングラジカル重合によりブロックポリマーを合成した後、エポキシ基と酸無水物との交互共重合によるリンクリング反応を行うことで、エステル結合のミクロゲル核からなる星型ポリマーを合成し、分解反応を検討した。

43. 「ポリアミド 11 とポリビニルカテコールの完全バイオベースポリマーブレンドの合成」
(共同研究)

工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外正己, 竹嶋久晶

東京工業大学 物質理工学院 応用化学系 佐藤浩太郎

豊田中央研究所 平井隆行, 河田順平, 成田麻美子, 井川泰爾

ポリアミド 11 とポリビニルカテコールから成る完全バイオベースポリマーのブレンドが高い相溶性と優れた機械物性を示すことを見出した。

44. 工学研究科 応用物質科学専攻 鳥本 司
National Chiao Tung University (国立台湾交通大学)
Prof. Yung-Jung Hsu

45. 「がんの光免疫治療に関する研究」
(共同研究)

工学研究科 生命分子工学専攻 馬場嘉信

米国 NIH 国立がん研究所 小林久隆教授

難治がんについて、新規光免疫治療法を開発し、論文発表した。

46. 「生体ナノ量子センサに関する研究」
(共同研究)

工学研究科 生命分子工学専攻 馬場嘉信

東京工業大学 波多野睦子教授

幹細胞中の局所温度計測を実現する生体ナノ量子センサの開発と、幹細胞温度と幹細胞治療効果の研究を行い、論文を発表した。

47. 「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。

48. 三角格子反強磁性体 NaYbS_2 の磁性

(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、新奇な基底状態や励起状態を持つ磁性を示す。最近見出された NaYbS_2 は、そのような系の一つであり、基底状態がスピニ液体と予想されている。前年度に引き続き、NMR 測定を行い、基底状態に関する研究を行った。

49. 梯子型構造を持つ鉄系化合物 CsFe_2Se_3 の磁性

(共同研究)

理学研究科物質理学専攻(物理系) 伊藤正行

東北大学 大串研也 青山拓也、東大物性研 平田靖透

梯子型構造を持つ鉄系化合物は、鉄系超伝導体の反強磁性相の磁気構造と関連して、その磁性に興味を持たれている。 CsFe_2Se_3 は、温度を下げるとき、常磁性相から非整合反強磁性相、さらに、整合型反強磁性相へ磁気転移を起こす。以前に測定した NMR の結果に対して、内部磁場の詳細な解析を進め、非整合型反強磁性相と整合型反強磁性相の磁気構造モデルを提案した。

50. 「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」

理学研究科 阿波賀邦夫

北京大学 Song Gao

上記課題に関する共同研究、交流 workshop の開催

51. 「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。

52. 「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。

53. 「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。

54. 「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ズ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。

55. 「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。

56. 「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。

57. 「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。

9. 発表論文リスト

(List of Published Papers)

9.1 原著論文

1. L. Wang, T. Horiuchi, A. Sekimoto, Y. Okano, T. Ujihara, S. Dost, "Three-dimensional numerical analysis of Marangoni convection occurring during the growth process of SiC by the RF-TSSG method," *J. Cryst. Growth*, **520**, 72-81 (2019).
2. T. Horiuchi, L. Wang, A. Sekimoto, Y. Okano, T. Ujihara, S. Dost, "Adjoint-based sensitivity analysis for the optimal crucible temperature profile in the RF-Heating TSSG-SiC crystal growth process," *J. Cryst.. Growth*, **517**, 59-63(2019).
3. H. Niinomi, T. Sugiyama, T. Ujihara, S. Guo, J. Nozawa, J. Okada, T. Omatsu, S. Uda, "In Situ Microscopic Observation on Surface Kinetics in Optical Trapping-Induced Crystal Growth: Step Formation, Wetting Transition, and Nonclassical Growth," *Cryst. Growth Des.*, **19** (7), 4138-4150 (2019).
4. N. Kokubo, Y. Tsunooka, F. Fujie, J. Ohara, S. Onda, H. Yamada, M. Shimizu, S. Harada, M. Tagawa, T. Ujihara, "Nondestructive visualization of threading dislocations in GaN by micro raman mapping," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, SCCB06 (2019).
5. T. Horiuchi, L. Wang, A. Sekimoto, Y. Okano, T. Yamamoto, T. Ujihara, S. Dost, "The Effect of Crucible Rotation and Crucible Size in Top-Seeded Solution Growth of Single-Crystal Silicon Carbide," *Cryst. Res. Technol.*, **54**, 1900014 (2019).
6. L. Wang, T. Horiuchi, A. Sekimoto, Y. Okano, T. Ujihara, S. Dos, "Three-dimensional numerical analysis of Marangoni convection occurring during the growth process of SiC by the RF-TSSG method," *J. Cryst. Growth*, **520**, 72-81 (2019).
7. 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).
8. T. Horiuchi, L. Wang, A. Sekimoto, Y. Okano, T. Ujihara, S. Dost, "Adjoint-based sensitivity analysis for the optimal crucible temperature profile in the RF-Heating TSSG-SiC crystal growth process," *J. Cryst. Growth*, **517** (1), 59-63 (2019).
9. 宇治原 徹, 角岡 洋介, 畑佐 豪記, 脇掛 健太朗, 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, **62**, 136-140 (2019).

10. 石川 晃平, 三橋 貴仁, 伊藤 靖仁, 竹内 幸久, 原田 俊太, 田川 美穂, 宇治原 徹, “結晶成長学的見地による金属負極の析出形態と結晶方位の相関解明,” 日本結晶成長学会誌, **46**, 136-140 (2019).
11. 宇治原 徹, “少量添加で樹脂素材の熱伝導率を向上させる AlN ウィスカーフィラーの開発,” エレクトロニクス実装学会誌, **22**, 195-198 (2019).
12. K. Nagamatsu, Y. Ando, T. Kono, H. Cheong, S. Nitta, Y. Honda, M. Pristovsek, H. Amano, “Effect of substrate misorientation on the concentration of impurities and surface morphology of an epitaxial GaN layer on N-polar GaN substrate by MOVPE,” *J. Cryst Growth*, **512**, 78-83 (2019).
13. H. Fukushima, S. Usami, M. Ogura, Y. Ando, A. Tanaka, M. Deki, M. Kushimoto, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, “Deeply and vertically etched butte structure of vertical GaN p-n diode with avalanche capability,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, SC2CD25 (2019).
14. S. Usami, A. Tanaka, H. Fukushima, Y. Ando, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, “Correlation between nanopipes formed from screw dislocations during homoepitaxial growth by metal-organic vapor-phase epitaxy and reverse leakage current in vertical p-n diodes on a free-standing GaN substrates,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, SCCB24 (2019).
15. S. Usami, N. Mayama, K. Toda, A. Tanaka, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, “Direct evidence of Mg diffusion through threading mixed dislocations in GaN p-n diodes and its effect on reverse leakage current,” *Appl. Phys. Lett.*, **114**, 23 (2019).
16. Z. Ye, S. Nitta, K. Nagamatsu, N. Fujimoto, M. Kushimoto, M. Deki, A. Tanaka, Y. Honda, M. Pristovsek, H. Amano, “Ammonia Decomposition and Reaction by High-Resolution Mass Spectrometry for Group III-Nitrides Epitaxial Growth,” *J. Cryst.. Growth*, **516**, 63 (2019).
17. H. Nan, D. V. Dinh, M. Pristovsek, Y. Honda, H. Amano, “Controlling the orientations of directional sputtered non- and semi-polar GaN/AlN layers,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, SC1044 (2019).
18. A. Tanaka, K. Nagamatsu, S. Usami, M. Kushimoto, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, M. Bockowski, H. Amano, “V-shaped dislocations in a GaN epitaxial layer on GaN substrate,” *AIP advances*,

9, 095002 (2019).

19. M. Takahashi, A. Tanaka, Y. Ando, H. Watanabe, M. Deki, M. Kushimoto, S. Nitta, Y. Honda, K. J. Chen, H. Amano, "Suppression of Green Luminescence of Mg - Ion - Implanted GaN by Subsequent Implantation of Fluorine Ions at High Temperature," *physica status solidi (b)*, **257**, 4, 190554 (2019).
20. D. Sato, A. Honda, A. Koizumi, T. Nishitani, Y. Honda, H. Amano, "Optimization of InGaN thickness for high-quantum-efficiency Cs/O-activated InGaN photocathode," *Micro and Nano Engineering*, **223**, 111229 (2020).
21. D. Sato, T. Nishitani, Y. Honda, H. Amano, "Recovery of quantum efficiency on Cs/O-activated GaN and GaAs photocathodes by thermal annealing in vacuum," *Journal of Vacuum Science & Technology B*, **38**, 12603 (2020).
22. A. Tanaka, S. Inotsume, S. Harada, K. Hanada, Y. Honda, T. Ujihara, H. Amano, "Demonstration of observation of dislocations in GaN by novel birefringence method," *physica status solidi (b)*, **257**, 1900553 (2019).
23. Z. Ye, S. Nitta, Y. Honda, M. Pristovsek, H. Amano, "Analysis of Trimethylgallium Decomposition by High-Resolution Mass Spectrometry," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59**, 25511 (2020).
24. Y. Robin, F. Hemeret, G. D' . Inca, M. Pristovsek , A. Trassoudaine, H. Amano, "Monolithic integration of tricolor micro-LEDs and color mixing investigation by analog and digital dimming," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, SCCC06 (2019).
25. J.-H. Park, J.-Y. Lee, M.-D. Park, J.-H. Min, J.-S. Lee, X. Yang, S. Kang, S.-J. Kim, W.-L. Jeong, H. Amano. D.-S. Lee "Influence of Temperature-Dependent Substrate Decomposition on Graphene for Separable GaN Growth," *Adv. Mater. Interfaces*, **6**, 1900821 (2019).
26. Z. Zhang, M. Kushimoto, T. Sakai, N. Sugiyama, L. J. Schowalter, C. Sasaoka, H.Amano, "A 271.8 nm deep-ultraviolet laser diode for room temperature operation," *Appl. Phys. Express*, **12**, 1240003 (2019).
27. M. Kushimoto, T. Sakai, Y. Ueoka, S. Tomai, S. Katsumata, M. Deki, Y. Honda, H. Amano, "Effect of Annealing on the Electrical and Optical Properties of MgZnO Films Deposited by

Radio Frequency Magnetron Sputtering," *Phys. Status Solidi A*, **217**, 1900955 (2020).

28. X. Yang, S. Nitta, M. Pristovsek, Y. H. Liu, M. Kushimoto, Y. Q. Liao, Y. Honda, H. Amano, "Scalable synthesis of multilayer h-BN on AlN by metalorganic vapor phase epitaxy: nucleation and growth mechanism," *2D Materials*, **7**, 15004 (2019).
29. K. Matsumoto, T. Ono, Y. Honda, K. Torigoe, M. Kushimoto, H. Amano, "Origin of acceptor diffusion into silicon substrate during GaN growth by metal organic chemical vapor deposition," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, 75502 (2019).
30. M. Sarzynski, E. Grzanka, S. Grzanka, G. Targowski, R. Czernecki, A. Reszka, V. Holy, S. Nitta, Z. Liu, H. Amano, M. Leszczynski, "Indium Incorporation into InGaN Quantum Wells Grown on GaN Narrow Stripes," *Materials*, **12**, 2583 (2019).
31. S. Sato, M. Deki, T. Nakamura, T. Nishimura, D. Stavrevski, A. D. Greentree, B. C. Gibson, T. Ohshima, "Photoluminescence properties of praseodymium ions implanted into submicron regions in gallium nitride," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, 051011 (2019).
32. A. Sandupatla, S. Arulkumaran, G.I. Ng, K. Ranjan, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, "GaN drift-layer thickness effects in vertical Schottky barrier diodes on free-standing HVPE GaN substrates," *AIP Advances*, **9**, 045007 (2019).
33. A. Sandupatla, S. Arulkumaran, K. Ranjan, N. G. Ing, P. P. Murmu, J. Kennedy, S. Nitta, Y. Honda, M. Deki, H. Amano, "Low Voltage High-Energy α -Particle Detectors by GaN-on-GaN Schottky Diodes with Record-High Charge Collection Efficiency," *Sensors*, **19**(23), 5107 (2019).
34. S. Abhinay, S. Arulkumaran, G.I. Ng, K. Ranjan, M. Deki, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, "Improved breakdown voltage in vertical GaN Schottky barrier diodes on freestanding GaN with Mg-compensated drift layer," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **59** (1), 10906 (2020).
35. D. Tomida, T. Yoshinaga, "Thermal Conductivity Measurements of Liquid Ammonia by the Transient Short-Hot-Wire Method," *International Journal of Thermophysics*, **41**, 53, (2020).
36. T. Sakai, M. Kushimoto, Z. Zhang, N. Sugiyama, L. J. Schowalter, Y. Honda, C. Sasaoka, H. Amano, "On-wafer fabrication of etched-mirror UV-C laser diodes with the ALD-deposited DBR," *Appl. Phys Lett.*, **116**, 122101 (2020).

37. D. V. Dinh, H. Amano, M. Pristovsek, “Nonpolar m-plane Al_xGa_{1-x}N layers grown on m-plane sapphire by MOVPE,” *J. Cryst.. Growth*, **512**, 100 (2019).
38. Y. Nagasawa, K. Kojima, A. Hirano, M. Ipponmatsu, Y. Honda, H. Amano, I. Akasaki, S. F. Chichibu, “Comparison of Al_xGa_{1-x}N multiple quantum wells designed for 265 and 285 nm deep-ultraviolet LEDs grown on AlN templates having macrosteps,” *Appl. Phys. Express*, **12**, 064009 (2019).
39. 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,” *physica status solidi (b)*, **256**, 1800648 (2019).
40. Q. Liu, N. Fujimoto, S. Nitta, Y. Honda, H. Amano, “Computational fluid dynamics simulation study of the gas flow balance in a vertical HVPE reactor with a showerhead for low cost bulk GaN crystal growth,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, SC1055 (2019).
41. K. Uemura, M. Deki, Y. Honda, H.i Amano T. Sato, “Effect of photoelectrochemical etching and post-metallization annealing on gate controllability of AlGaN/GaN high electron mobility transistors,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, SCCD20 (2019).
42. K. Takahashi, R. Shinoda, S. Mitsufuji, M. Iwaya, S. Kamiyama, T. Takeuchi, T. Hattori, I. Akasaki, H. Amano, “Fabrication of a GaInN/GaInP/GaInAs/Ge four-junction solar cell using the wafer bonding technology,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **58**, 072003 (2019).
43. D.-H. Kim, Y. S. Park, D. Kang, K.-K. Kim, T.-Y. Seong, H. Amano, “Combined effects of V pits and chip size on the electrical and optical properties of green InGaN-based light-emitting diodes,” *JOURNAL OF ALLOYS AND COMPOUNDS*, **796**, 146-152 (2019).
44. H. Y. Kim, C. M. Lim, K. S. Kim, J. T. Oh, H.-H. Jeong, J.-O. Song, T.-Y. Seong, H. Amano, “Via-Hole-Type Flip-Chip Packaging to Improve the Thermal Characteristics and Reliability of Blue Light Emitting Diodes,” *ECS JOURNAL OF SOLID STATE SCIENCE AND TECHNOLOGY*, **8**, Q165-Q170 (2019).
45. F. Piva, C. De Santia, M. Deki, M. Kushimoto, H. Amano, H. Tomozawa, N. Shibata, G. Meneghesso, E. Zanoni, M. Meneghini, “Stability and degradation of AlGaN-based UV-B LEDs:

- Role of doping and semiconductor defects,” *Microelectronics Reliability*, **100-101**, 113418 (2019).
46. D. Kang, J.-T. Oh, J.-O. Song, T.-Y. Seong, M. Kneissl, H. Amano, “Hole injection mechanism in the quantum wells of blue light emitting diode with V pits for micro-display application,” *Appl. Phys. Express*, **12**, 102016 (2019).
47. D. V. Dinh, N. Hu, Y. Honda, H. Amano, M. Pristovsek, “Aluminium incorporation in polar, semi- and non-polar AlGaN layers: a comparative study of x-ray diffraction and optical properties,” *Sci. Rep.*, **9**, 15802 (2019).
48. H.-Y. Kim, J. W. Lee, Y. M. Moon, J. T. Oh, H.-H. Jeong, J.-O. Song, T.-Y. Seong, M. Kneissl, H. Amano, “Improvement in the Reliability of AlGaInP-Based Light-Emitting Diode Package Using Optimal Silicone and Leadframe Structure,” *ECS JOURNAL OF SOLID STATE SCIENCE AND TECHNOLOGY*, **9**, 015014 (2019).
49. D. V. Dinh, N. Hu, H. Amano, Y. Honda, M. Pristovsek, “Untwinned semipolar (10(1)over-bar3) Al_xGa_{1-x}N layers grown on m-plane sapphire,” *SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY*, **34**, 125012 (2019).
50. M. Kneissl, T.-Y. Seong, J. Han, H. Amano, “The emergence and prospects of deep-ultraviolet light-emitting diode technologies,” *Nat. Photonics*, **13**, 233-244 (2019).
51. Y. Nagasawa, R. Sugie, K. Kojima, A. Hirano, M. Ippommatsu, Y. Honda, H. Amano, I. Akasaki, S. Chichibu, “Two-dimensional analysis of the nonuniform quantum yields of multiple quantum wells for AlGaN-based deep-ultraviolet LEDs grown on AlN templates with dense macrosteps using cathodoluminescence spectroscopy,” *J. Appl. Phys.*, **126**, 215703 (2019).
52. F. Ren, K. Mishra, H. Amano, J. Collins, J. Han, W. Im, M. Kneissl, T. Seong, A. Setlur, T. Suski, “Preface-JSS Focus Issue on Recent Advances in Wide Bandgap III-Nitride Devices and Solid State Lighting: A Tribute to Isamu Akasaki,” *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, **9**, 010001 (2019).
53. J. Kim, Y. Lee, H. Im, Ch. Oh, J. Shim, D. Kang, T. Seong, H. Amano, “Improvement of The Light Output of Blue InGaN-Based Light Emitting Diodes by Using a Buried Stripe-Type n-Contact and Reflective Bonding Pad,” *ECS J. Solid State Sci. Technol.*, **9**, 015021 (2019).
54. D.-H. Lee, D. Kang, T.-Y. Seong, M. Kneissl, H. Amano, “Effect of unevenly-distributed V pits

- on the optical and electrical characteristics of green micro-light emitting diode," *J. Appl. Phys.*, **53**, 045106 (2020).
55. A. S. Aji, R. Nishi, H. Ago, Y. Ohno, "High output voltage generation of over 5 V from liquid motion on single-layer MoS₂," *Nano Energy*, **68**, 104370-1-7 (2019).
56. Y. Ito, K. Funayama, J. Hirotani, Y. Ohno, Y. Tadokoro, "Stochastic Optimal Control to Minimize the Impact of Manufacturing Variations on Nanomechanical Systems," *IEEE Access*, **7**, 171195-171205 (2019).
57. M. Matsunaga, J. Hirotani, S. Kishimoto, Y. Ohno, "High-output, transparent, stretchable triboelectric nanogenerator based on carbon nanotube thin film toward wearable energy harvesters," *Nano Energy*, **68**, 104297-1-8 (2019).
58. N. Wei, P. Laiho, A. T. Khan, A. Hussain, A. Lyuleeva, S. Ahmed, Q. Zhang, Y. Liao, Y. Tian, E. - X. Ding, Y. Ohno, E. I. Kauppinen, "Fast and Ultraclean Approach for Measuring the Transport Properties of Carbon Nanotubes," *Adv. Func. Mater.*, **30**, 1907150-1-9 (2019).
59. H. Omachi, T. Komuro, K. Matsumoto, M. Nakajima, H. Watanabe, J. Hirotani, Y. Ohno, H. Shinohara, "Aqueous two-phase extraction of semiconducting single-wall carbon nanotubes with isomaltodextrin and thin-film transistor applications," *Appl. Phys. Express*, **12**, 097003-1-3 (2019).
60. K. Funayama, H. Tanaka, J. Hirotani, K. Shimaoka, Y. Ohno, Y. Tadokoro, "Dependence of enhancement factor on electrode size for field emission current from carbon nanotube on silicon wafer," *Nanotechnol.*, **30**, 425201-1-6 (2019).
61. M. Inaba, H. Kawarada, Y. Ohno, "Electrical property measurement of two-dimensional hole-gas layer on hydrogen-terminated diamond surface in vacuum-gap gate structure," *Appl. Phys. Lett.*, **114**, 253504-1-5 (2019).
62. K. Funayama, H. Tanaka, J. Hirotani, K. Shimaoka, Y. Ohno, Y. Tadokoro, "Noise modeling in field emission and evaluation of the nano-receiver in terms of temperature," *IEEE Access*, **7**, 57820-57828 (2019).
63. H. Uchiyama, S. Saijo, S. Kishimoto, J. Ishi-Hayase, Y. Ohno, "Operando Analysis of Electron Devices Using Nanodiamond Thin Films Containing Nitrogen-vacancy Centers," *ACS Omega*, **4**,

7459-7466 (2019).

64. Y. Yoshida, M. Maesato, S. Tomono, Y. Kimura, G. Saito, Y. Nakamura, H. Kishida, H. Kitagawa, "Partial Substitution of Ag(I) for Cu(I) in Quantum Spin Liquid κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃, Where ET Is Bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene," *Inorg. Chem.*, **58** (8), 4820–4827 (2019).
65. M. Nagata, S. Shukla, Y. Nakanishi , Z. Liu , Y. Lin, T. Shiga, Y. Nakamura, T. Koyama, H. Kishida, T. Inoue, N. Kanda, S. Ohno, Y. Sakagawa, K. Suenaga, H. Shinohara, "Isolation of Single-Wired Transition-Metal Monochalcogenides by Carbon Nanotubes," *Nano Lett.*, **19** (8), 4845-4851 (2019).
66. Y. Yoshida, M. Maesato, Y. Nakamura, M. Ishikawa, H. Yamochi, G. Saito, H. Kishida, H. Kitagawa, "Bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene Cation Radical Salts Composed of Nonuniform Silver(I) Complex Polyanions," *Inorg. Chem.*, **58** (24), 16703-16711 (2019).
67. K. Mizukoshi, H. Ito, Y. Nakamura, H. Hayama, Y. Yoshida, G. Saito, H. Kishida, "Charge Disproportionation and Its Cooling-Rate Dependence in κ -(BEDT-TTF)2CF₃SO₃," *J. Phys. Soc. Jpn.*, **89** (2), 024710(1–11) (2020).
68. A. Otsuka, Y. Shimizu, G. Saito, M. Maesato, A. Kiswandhi, T. Hiramatsu, Y. Yoshida, H. Yamochi, M. Tsuchiizu, Y. Nakamura, H. Kishida, H. Ito, "Canting Antiferromagnetic Spin-Order (TN = 102 K) in a Monomer Mott Insulator (ET)Ag₄(CN)₅ with a Diamond Spin-Lattice," *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **93** (2), 260-272 (2020).
69. K. Kanahashi, N. Tanaka, Y. Shoji, M. Maruyama, I. Jeon, K. Kawahara, M. Ishihara, M. Hasegawa, H. Ohta, H. Ago, Y. Matsuo, S. Okada, T. Fukushima, T. Takenobu, "Formation of environmentally stable hole-doped graphene films with instantaneous and high-density carrier doping via a boron-based oxidant," *NPJ 2D Mater. Appl.*, **3**, 7 (2019).
70. M.-H. Chiu, H.-L. Tang, C.-C. Tseng, Y. Han, A. Aljarb, J.-K. Huang, Y. Wan, J.-H. Fu, X. Zhang, W.-H. Chang, D. A. Muller, T. Takenobu, V. Tung, L.-J. Li, "Metal-Guided Selective Growth of 2D Materials: Demonstration of a Bottom-Up CMOS Inverter," *Adv. Matter.*, **31**, 1900861 (2019).
71. T. T. Do, K. Matsuki, T. Sakanoue, F.-L. Wong, S. Manzhos, C.-S. Lee, J. Bell, T. Takenobu, P. Sonar, "Indenofluorene-based-copolymers: Influence of electron-deficient benzothiadiazole (BT) and benzooxadiazole (BO) moieties on light emitting devices," *Organic Electronics*, **70**, 14-24

(2019).

72. Y. Kawasugi, K. Seki, S. Tajima, J. Pu, T. Takenobu, S. Yunoki, H. M. Yamamoto, R. Kato, "Two-dimensional ground-state mapping of a Mott-Hubbard system in a flexible field-effect device," *Sci. Adv.*, **5**, eaav7282 (2019).
73. H. Ito, Y. Edagawa, J. Pu, H. Akutsu, M. Suda, H. M. Yamamoto, Y. Kawasugi, R. Haruki, R. Kumai, T. Takenobu, "Electrolyte-Gating-Induced Metal-Like Conduction in Nonstoichiometric Organic Crystalline Semiconductors under Simultaneous Bandwidth Control," *Phys. Status Solidi RRL*, **13**, 1900162 (1-6) (2019).
74. J. Pu, K. Matsuki, L. Chu, Y. Kobayashi, S. Sasaki, Y. Miyata, G. Eda, T. Takenobu, "Exciton Polarization and Renormalization Effect for Optical Modulation in Monolayer Semiconductors," *ACS Nano*, **13**, 9218-9226 (2019).
75. H. Tanaka, A. Wakamatsu, M. Kondo, S. Kawamura, S. Kuroda, Y. Shimoi, W.-T. Park, Y.-Y. Noh, T. Takenobu, "Microscopic observation of efficient charge transport process across domain boundaries in donor-acceptor-type conjugated polymers," *Commun. Phys.*, **2**, 96 (1-10) (2019).
76. Y. Kawasugi, K. Seki, J. Pu, T. Takenobu, S. Yunoki, H. M. Yamamoto, R. Kato, "Non-Fermi-liquid behavior and doping asymmetry in an organic Mott insulator interface," *Phys. Rev. B*, **100**, 115141 (2019).
77. K. Kanahashi, M. Ishihara, M. Hasegawa, H. Ohta, T. Takenobu, "Giant power factors in p- and n-type large-area graphene films on a flexible plastic substrate," *NPJ 2D Mater. Appl.*, **3**, 44, (2019).
78. H. Tanaka, K. Kanahashi, N. Takekoshi, H. Mada, H. Ito, Y. Shimoi, H. Ohta, T. Takenobu, "Thermoelectric properties of a semicrystalline polymer doped beyond the insulator-to-metal transition by electrolyte gating," *Sci. Adv.*, **6**, eaay8065 (1-8) (2020).
79. M. Uchiyama, K. Satoh, M. Kamigaito, "Cooperative Reduction of Various RAFT Polymer Terminals using Hydrosilane and Thiol via Polarity Reversal Catalysis," *Chem. Commun.*, **55**, 5327-5330 (2019).
80. K. Satoh, K. Ishizuka, T. Hamada, M. Handa, T. Abe, S. Ozawa, M. Miyajima, M. Kamigaito,

"Construction of Sequence-Regulated Vinyl Copolymers via Iterative Single Vinyl Monomer Additions and Subsequent Metal-Catalyzed Step-Growth Radical Polymerization," *Macromolecules*, **52**, 3327-3341 (2019).

81. W.-S. J. Li, V. Ladmiral, H. Takeshima, K. Satoh, M. Kamigaito, M. Semsarilar, C. Negrell, P. Lacroix-Desmazes, S. Caillol, "Ferulic Acid-Based Reactive Core-Shell Latex by Seeded Emulsion Polymerization," *Polym. Chem.*, **10**, 3116-3126 (2019).
82. M. Uchiyama, M. Sakaguchi, K. Satoh, M. Kamigaito, "A User-Friendly Living Cationic Polymerization: Degenerative Chain-Transfer Polymerization of Vinyl Ethers by Simply Using Mixtures of Weak and Superstrong Protic Acids," *Chinese J. Polym. Sci.*, **37**, 851-857 (2019).
83. T. Hirai, J. Kawada, M. Narita, T. Ikawa, H. Takeshima, K. Satoh, M. Kamigaito, "Fully Bio-Based Polymer Blend of Polyamide 11 and Poly(vinylcatechol) Showing Thermodynamic Miscibility and Excellent Engineering Properties," *Polymer*, **181**, 121667 (7 pages) (2019).
84. Y. Terao, S. Sugihara, K. Satoh, M. Kamigaito, "1:3 ABAA Sequence-Regulated Substituted Polymethylenes via Alternating Radical Copolymerization of Methyl Cinnamate and Maleic Anhydride Followed by Post-Polymerization Reactions," *Eur. Polym. J.*, **120**, 109225 (7 pages) (2019).
85. M. Konya, M. Uchiyama, K. Satoh, M. Kamigaito, "Cationic Polymerization via Activation of Alkoxyamines Using Photoredox Catalysts," *ChemPhotoChem*, **3**, 1100-1108 (2019).
86. H. Takeshima, K. Satoh, M. Kamigaito, "Bio-Based Vinylphenol Family: Synthesis via Decarboxylation of Naturally Occurring Cinnamic Acids and Living Radical Polymerization for Functionalized Polystyrenes," *J. Polym. Sci.*, **58**, 91-100 (2020).
87. K. Satoh, Z. Sun, M. Uchiyama, M. Kamigaito, J. Xu, C. Boyer, "Interconvertible and Switchable Cationic/PET-RAFT Copolymerization Triggered by Visible Light," *Polym. J.*, **52**, 65-73 (2020).
88. Y. Okaya, Y. Jochi, T. Seki, K. Satoh, M. Kamigaito, T. Hoshino, T. Nakatani, S. Fujinami, M. Takata, Y. Takeoka, "Precise Synthesis of a Homogeneous Thermoresponsive Polymer Network Composed of Four-Branched Star Polymers with a Narrow Molecular Weight Distribution," *Macromolecules*, **53**, 374-386 (2020).

89. M. Uchiyama, M. Osumi, K. Satoh, M. Kamigaito, "Thiol-Ene Cationic and Radical Reactions: Cyclization, Step-Growth, and Concurrent Polymerizations for Thioacetal and Thioether Units," *Angew. Chem. Int. Ed.*, **59**, 6832–6838 (2020).
90. 佐藤浩太郎, 森優也, 上垣外正己, "イソプレンのアニオン重合末端ハロゲン化を鍵としたブロック共重合体の合成," *高分子論文集*, **76**, 234-240 (2019).
91. R. Ishidate, A. J. Markvoort, K. Maeda, E. Yashima, "Unexpectedly Strong Chiral Amplification of Chiral/Achiral and Chiral/Chiral Copolymers of Biphenylacetylenes and Further Enhancement/Inversion and Memory of the Macromolecular Helicity," *J. Am. Chem. Soc.*, **141**, 7605–7614 (2019).
92. R. Ishidate, T. Sato, T. Ikai, S. Kanoh, E. Yashima, K. Maeda, "Helicity Induction and Memory Effect in Poly(biphenylacetylene)s Bearing Various Functional Groups and Their Use as Switchable Chiral Stationary Phases for HPLC," *Polym. Chem.*, **10**, 6260–6268 (2019).
93. D. Taura, K. Shimizu, C. Yokota, R. Ikeda, Y. Suzuki, H. Iida, N. Ousaka, E. Yashima, "Fluorescent Molecular Spring That Visualizes the Extension and Contraction Motions of a Double-Stranded Helicate Bearing Terminal Pyrene Units Triggered by Release and Binding of Alkali Metal Ions," *Chem. Commun.*, **55**, 12084–12087 (2019).
94. M. Ando, R. Ishidate, T. Ikai, K. Maeda, E. Yashima, "Helicity Induction and Its Static Memory of Poly(biphenylacetylene)s Bearing Pyridine N-Oxide Groups and Their Use as Asymmetric Organocatalysts," *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.*, **57**, 2481–2490 (2019).
95. T. Hayashi, K. H. Lee, H. Iida, E. Yashima, S. Irle, Y. Hijikata, "The Helix-Inversion Mechanism in Double-Stranded Helical Oligomers Bridged by Rotary Cyclic Boronate Esters," *J. Comput. Chem.*, **40**, 2036–2042 (2019).
96. D. Taura, K. Shimomura, N. Ousaka, E. Yashima, "Complementary Double-Stranded Helical Oligomers Bearing Achiral Bifunctional Groups That Catalyze Asymmetric Aldol Reaction," *Chirality*, **32**, 254–264 (2020).
97. T. Ikai, R. Ishidate, K. Inoue, K. Kaygisiz, K. Maeda, E. Yashima, "Chiral/Achiral Copolymers of Biphenylacetylenes Bearing Various Substituents: Chiral Amplification through Copolymerization, Followed by Enhancement/Inversion and Memory of the Macromolecular

Helicity," *Macromolecules*, **53**, 973–981 (2020).

98. T. Kameyama, K. Sugiura, S. Kuwabata, T. Okuhata, N. Tamai, T. Torimoto, "Enhanced Photoelectrochemical Properties of Zn-Ag-In-Te Nanocrystals with High Energy Photon Excitation," *ChemNanoMat*, **5**, 1028-1035 (2019).
99. K. Kumagai, T. Uematsu, T. Torimoto, S. Kuwabata, "Direct Surface Modification of Semiconductor Quantum Dots with Metal-Organic Frameworks," *CrystEngComm*, **21**, 5568-5577 (2019).
100. T. Shoji, M. Tamura, T. Kameyama, T. Iida, Y. Tsuboi, T. Torimoto, "Nanotraffic Lights: Rayleigh Scattering Microspectroscopy of Optically Trapped Octahedral Gold Nanoparticles," *J. Phys. Chem. C*, **123**, 23096-23102 (2019).
101. W. Hoisang, T. Uematsu, T. Yamamoto, T. Torimoto, S. Kuwabata, "Core Nanoparticle Engineering for Narrower and More Intense Band - Edge Emission from AgInS₂/GaS_x Core/Shell Quantum Dots," *Nanomaterials*, **9**, 1763 (2019).
102. G. Motomura, K. Ogura, T. Kameyama, T. Torimoto, T. Uematsu, S. Kuwabata, T. Tsuzuki, "Efficient Quantum-Dot Light-Emitting Diodes Using ZnS-AgInS₂ Solid-Solution Quantum Dots in Combination with Organic Charge-Transport Materials," *Appl. Phys. Lett.*, **116**, 093302 (2020).
103. M. Ichimiya, T. Kameyama, T. Torimoto, T. Uematsu, S. Kuwabata, M. Ashida, "Temperature Dependences of Photoluminescence Intensities Observed from AgInGaS and AgInGaS/GaS_x Core-Shell Nanoparticles," *J. of Nanophotonics*, **14**, 016010 (2020).
104. T. Kameyama, H. Yamauchi, T. Yamamoto, T. Mizumaki, H. Yukawa, M. Yamamoto, S. Ikeda, T. Uematsu, Y. Baba, S. Kuwabata, T. Torimoto, "Tailored Photoluminescence Properties of Ag(In,Ga)Se₂ Quantum Dots for Near-Infrared *In Vivo* Imaging," *ACS Appl. Nano Mater.*, **3**, 3275-3287 (2020).
105. Y. Kitase, Y. Sato, K. Ueda, T. Suzuki, A. Mikrogeorgiou, Y. Sugiyama, K. Matsubara, Y. T. Okabe, S. Shimizu, H. Hirata, H. Yukawa, Y. Baba, M. Tsuji, Y. Takahashi, A. Yamamoto, M. akawa, "A Novel Treatment with Stem Cells from Human Exfoliated Deciduous Teeth for Hypoxic-Ischemic Encephalopathy in Neonatal Rats," *Stem Cells and Development*, **29**, 63-74 (2020).

106. T. Suzuki, N. Kaji, H. Yasaki, T. Yasui, Y. Baba, "Mechanical Low-Pass Filtering of Cells for Detection of Circulating Tumor Cells in Whole Blood," *Anal. Chem.*, **92**, 2483-2491 (2020)
107. Y. Miura, H. Yukawa, Y. Baba, Y. Tabata, "Visualization of human iPS cells-derived 3D cartilage tissue by gelatin nanospheres," *Tissue Eng. C*, **26**, 244-252 (2020).
108. Y. Isobe, K. Sato, Y. Nishinaga, K. Takahashi, S. Taki, H. Yasui, M. Shimizu, R. Endo, C. Koike , N. Kuramoto, H. Yukawa, S. Nakamura, T. Fukui, K. Kawaguchi, T. F. Chen-Yoshikawa, Y. Baba , Y. Hasegawa, "Near Infrared Photoimmunotherapy Targeting DLL3 For Small Cell Lung Cancer," *EBioMedicine*, **52**, 102632 (2020).
109. G. Zhang, C. Wang, W. Mizukami, T. Hosomi, K. Nagashima, H. Yoshida, K. Nakamura, T. Takahashi, M. Kanai, T. Yasui, Y. Aoki, Y. Baba, T. Yanagida, "Monovalent Sulfur Oxoanions Enable Millimeter-Long Single Crystalline hWO₃ Nanowire Synthesis," *Nanoscale*, **12**, 9058-9066 (2020).
110. 柳田剛, 安井隆雄, "ナノワイヤを用いた尿中細胞外小胞捕捉," 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム" *NanotechJapan Bull.*, **12**, H30秀でた利用成果(1-5) (2019).
111. 安井隆雄, 真栄城正寿, "化学とマイクロ・ナノシステム学会 第38回研究会 若手企画セッション開催報告," *化学とマイクロ・ナノシステム学会誌*, **18**, 14-15 (2019).
112. X. Zhao, K. Nagashima, G. Zhang, T. Hosomi, H. Yoshida, Y. Akihiro Y., M. Kanai, W. Mizukami, Z. Zhu, T. Takahashi, M. Suzuki, B. Samransuksamer, G. Meng, T. Yasui, Y. Aoki, Y. Baba, T. Yanagida, "Synthesis of Monodispersely Sized ZnO Nanowires from Randomly Sized Seeds," *Nano Lett.*, **20**, 599-605 (2019).
113. Y. Akihiro, K. Nagashima, T. Hosomi, M. Kanai, H. Anzai, T. Takahashi, G. Zhang, T. Yasui, Y. Baba, T. Yanagida, "Water-Organic Cosolvent Effect on Nucleation of Solution-Synthesized ZnO Nanowires," *Acs Omega*, **4**, 8299-8304 (2019).
114. M. Toda, H. Yukawa, J. Yamada, M. Ueno, S. Kinoshita, Y. Baba, J. Hamuro, "In Vivo Fluorescence Visualization of Anterior Chamber Injected Human Corneal Endothelial Cells Labeled With Quantum Dots," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **60**, 4008-4020 (2019).

115. M. Sano, N. Kaji, A. C. Rowat, H. Yasaki, L. Shao, H. Odaka, T. Yasui, T. Higashiyama, Y. Baba, "Microfluidic Mechanotyping of a Single Cell with Two Consecutive Constrictions of Different Sizes and an Electrical Detection System," *Anal. Chem.*, **91**, 12890-12899 (2019).
116. K. C. Ramos, K. Nishiyama, M. Maeki, A. Ishida, H. Tani, T. Kasama, Y. Baba, M. Tokeshi, "Rapid, Sensitive, and Selective Detection of H5 Hemagglutinin from Avian Influenza Virus Using an Immunowall Device," *Acs Omega*, **4**, 16683-16688 (2019).
117. M. Fujiwara, R. Tsukahara, Y. Sera, H. Yukawa, Y. Baba, S. Shikata, H. Hashimoto, "Monitoring spin coherence of single nitrogen-vacancy centers in nanodiamonds during pH changes in aqueous buffer solutions," *RSC Adv.*, **9**, 12606-12614 (2019).
118. K. Nishiyama, T. Kasama, S. Nakamata, K. Ishikawa, D. Onoshima, H. Yukawa, M. Maeki, A. Ishida, H. Tani, Y. Baba, M. Tokeshi, "Ultrasensitive detection of disease biomarkers using an immuno-wall device with enzymatic amplification," *Analyst*, **144**, 4589-4595 (2019).
119. Y. Hattori, T. Shimada, T. Yasui, N. Kaji, Y. Baba, "Micro- and Nanopillar Chips for Continuous Separation of Extracellular Vesicles," *Anal. Chem.*, **91**, 6514-6521 (2019).
120. M. Fujiwara, R. Tsukahara, Y. Sera, H. Yukawa, Y. Baba, S. Shikata, H. Hashimoto, "Monitoring spin coherence of single nitrogen-vacancy centers in nanodiamonds during pH changes in aqueous buffer solutions," *RSC Adv.*, **9**, 12606-12614 (2019).
121. M. F. Serag, A. Aikeremu, R. Tsukamoto, H. Piwonski, M. Abadi, N. Kaji, J. R. Dwyer, Y. Baba, S. Habuchi, "Geometry-Based Self-Assembly of Histone-DNA Nanostructures at Single-Nucleotide Resolution," *ACS Nano*, **13**, 8155-8168 (2019).
122. D. Sakai, K. Nagashima, H. Yoshida, M. Kanai, Y. He, G. Z. Zhang, X. X. Zhao, T. Takahashi, T. Yasui, T. Hosomi, Y. Uchida, S. Takeda, Y. Baba, T. Yanagida, "Substantial Narrowing on the Width of "Concentration Window" of Hydrothermal ZnO Nanowires via Ammonia Addition," *Sci. Rep.*, **9**, 14160 (2019).
123. C. Wang, T. Hosomi, K. Nagashima, T. Takahashi, G. Z. Zhang, M. Kanai, H. Zeng, W. Mizukami, N. Shioya, T. Shimoaka, T. Tamaoka, H. Yoshida, S. Takeda, T. Yasui, Y. Baba, Y. Aoki, J. Terao, T. Hasegawa, T. Yanagida, "Rational Method of Monitoring Molecular Transformations on Metal-Oxide Nanowire Surfaces," *Nano Lett.*, **19**, 2443-2449 (2019).

124. Y. Nagai, T. Jinno, Y. Yoshitake, J. Nasu, Y. Motome, M. Itoh, Y. Shimizu, “Two-step gap opening across the quantum critical point in the Kitaev honeycomb magnet α -RuCl₃,” *Phys. Rev. B*, **101**, 020414 (2020).
125. K. Eguchi, M. M. Matsushita, K. Awaga, “Ionic liquid thin layer-induced memory effects in organic field-effect transistors,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **21**, 18823-18829 (2019).
126. J. Qian, H. Yoshikawa, J. Hu, M. G. Humphrey, J. Zhang, K. Awaga, C. Zhang, “Auxiliary ligand-induced structural diversities of octacyanometalate-based heterobimetallic coordination polymers towards diverse magnetic properties,” *Dalton Trans.*, **48**, 7666-7676 (2019).
127. JY. Shin, Z. Zhang, K. Awaga, H. Shinokubo, “Exploration of Li-Organic Batteries Using Hexaphyrin as an Active Cathode Material,” *Molecules*, **24**, 2433(2019).
128. A. Tomimatsu, S. Yokokura, L. Reissig, S. Dalgleish, M. Matsushita, K. Awaga, “Rate-determining process in MISIM photocells for optoelectronic conversion using photo-induced pure polarization current without carrier transfer across interfaces,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **21**, 13440-13445 (2019).
129. J. Qian, H. Yoshikawa, M. G. Humphrey, J. Zhang, K. Awaga, C. Zhang, “In situ formed [M(CN)(9)] (M = W, Mo) as a building block for the construction of two nona-cyanometalate-bridged heterometallic coordination polymers,” *Cryst. Eng. Commun.*, **21**, 4363-4372 (2019).
130. A. Mizuno, H. Benjamin, Y. Shimizu, Y. Shuku, M. M. Matsushita, N. Robertson, K. Awaga, “High Ambipolar Mobility in a Neutral Radical Gold Dithiolene Complex,” *Adv. Funct. Mater.*, **29**, 1904181 (2019).
131. D. Yan, Y. Wu, R. Kitaura, K. Awaga, “Salt-assisted pyrolysis of covalent organic frameworks to porous heteroatom-doped carbons for supercapacitive energy storage,” *J. Mater. Chem. A*, **7**, 26645-27188 (2019).
132. S. Dalgleish, L. Reissig, Y. Shuku, G. Ligorio, K. Awaga, J. W. Emil, “Potential modulations in flatland: near-infrared sensitization of MoS₂ phototransistors by a solvatochromic dye directly tethered to sulfur vacancies,” *Sci. Rep.*, **9**, 16682 (2019).
133. 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 (2019).

134. K. Ebata, Y. Hashimoto, K. Ebara, M. Tsukamoto, S. Yamamoto, M. Mitsuishi, S. Nagano, J. Matsui, “Molecular-weight dependence of the formation of highly ordered lamellar structures of poly (N-dodecyl acrylamide) by humid annealing,” *Polym. Chem.*, **10**, 835-842 (2019).
135. I. Kitamura, K. Oishi, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Photoinitiated Marangoni flow morphing in a liquid crystalline polymer film directed by super-inkjet printing patterns,” *Sci. Rep.*, **9**, 2556 (2019).
136. Y. Nagao, T. Tanaka, Y. Ono, K. Suetsugu, M. Hara, G. Wang, S. Nagano, T. Abe, “Introducing planar hydrophobic groups into an alkyl-sulfonated rigid polyimide and how this affects morphology and proton conductivity,” *Electrochimica Acta*, **300**, 333-340 (2019).
137. T. Kitagawa, M. Fujisaki, S. Nagano, N. Tohnai, A. Fujii, M. Ozaki, “Homo/hetero-epitaxial growth in tetrabenzotriazaporphyrin derivative thin film fabricated by contact freezing method with seed crystal,” *Appl. Phys. Express*, **12**, 051011 (2019).
138. K. Mukai, K. Imai, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “A High - Density Azobenzene Side Chain Polymer Brush for Azimuthal and Zenithal Orientational Photoswitching of a Nematic Liquid Crystal,” *ChemPhotoChem*, **3**, 495-500 (2019).
139. Y. Nagao, K. Ohno, S. Tsuyuki, K. Suetsugu, M. Hara, S. Nagano, “Effect of Molecular Orientation to Proton Conductivity in Sulfonated Polyimides with bent backbones,” *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **686**, 84-91 (2019).
140. K. Suetsugu, M. Hara, S. Nagano, K. Shito, T. Sato, A. Masuhara, T. Seki, “Thermochromic Behaviors and crystallinity estimations of poly (3-hexylthiophene) in fine nanoparticles prepared by reprecipitation method,” *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **686**, 104-111 (2019).
141. K. Tsukamoto, K. Takagi, S. Nagano, M. Hara, Y. Ie, K. Osakada, D. Takeuchi, “ π -Extension of electron-accepting dithiarubicene with a cyano-substituted electron-withdrawing group and application in air-stable n-channel organic field effect transistors,” *J. Mater. Chem. C*, **7**, 12610-12618 (2019).

142. K. Mukai, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Formation of High-Density Brush of Liquid Crystalline Polymer Block Associated with Dewetting Process on Amorphous Polymer Film,” *Langmuir*, **35**, 10397-10404 (2019).
143. Y. Tsujimoto, T. Sakurai, Y. Ono, S. Nagano, S. Seki, “Cold Crystallization of Ferrocene-Hinged π -Conjugated Molecule Induced by the Limited Conformational Freedom of Ferrocene,” *J. Phys. Chem. B*, **123**, 8325-8332 (2019)
144. G. Uzurano, Y. Yabuuchi, R. Ishiura, M. Yoneya, S. Nagano, A. Fujii, M. Ozaki, “Solution processed uniaxially oriented thin film of tert-butyl-substituted phthalocyanine,” *Jpn. J. Appl. Phys. SDDA05* (2019).
145. Y. Yabuuchi, G. Uzurano, R. Ishiura, M. Nakatani, S. Nagano, A. Fujii, M. Ozaki, “Coating speed dependence of main chain orientation and aggregation of PBTTC-C16 in the bar-coated thin film,” *Jpn. J. Appl. Phys. SDDA04* (2019).
146. K. Ebata, Y. Hashimoto, S. Yamamoto, M. Mitsuishi, S. Nagano, J. Matsui, “Nanophase Separation of Poly (N-alkyl acrylamides): The Dependence of the Formation of Lamellar Structures on Their Alkyl Side Chains,” *Macromolecules*, **52**, 24, 9773–9780 (2019).
147. U. N. Shrivastava, K. Suetsugu, S. Nagano, H. Fritzsche, Y. Nagao, K. Karan, “Cross-correlated humidity-dependent structural evolution of Nafion thin films confined on a platinum substrate,” *Soft Matter*, **16**, 1190-1200 (2020).
148. R. Imanishi, Y. Nagashima, K. Takishima, M. Hara, S. Nagano, T. Seki, “Induction of Highly Ordered Smectic Phases in Side Chain Liquid Crystalline Polymers by Means of Random Copolymerization,” *Macromolecules*, **53**, 1942-1949 (2020).

9.2 総説

1. 宇治原 徹, “高熱伝導樹脂を実現するAlNウィスカーフィラーの開発と起業,” *高分子*, **68**, 164-165 (2019).
2. K. Kanahashi, J. Pu, T. Takenobu, "2D Materials for Large - Area Flexible Thermoelectric Devices", *Adv. Energy Mater.*, 1902842 (2019).
3. 上垣外正己, 佐藤浩太郎, 内山峰人, "交換連鎖移動機構による精密高分子合成," *触媒*, **61**, 118-123 (2019).
4. 内山峰人, 佐藤浩太郎, 上垣外正己, "可逆的連鎖移動機構に基づくリビングカチオン重合による精密高分子合成," *材料の科学と工学*, **56** (4), 14-17 (2019).
5. 鳥本司, 龜山達也, 上松太郎, 桑畠進, “高性能な“低毒性”量子ドットを開発！”, *化学*, 74(8), 44-48 (2019).
6. Piyawan PAISRISARN, Takao Yasui, Yoshinobu BABA, “A Method to Analyze Urinary Extracellular Vesicles,” *Anal. Sci.*, in-press (2020).
7. 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).
8. 湯川博, 馬場嘉信, “量子ナノ材料による移植幹細胞*in vivo*蛍光イメージングと再生医療,” *化学工業*, 70, 234-240 (2019).
9. 湯川博, 馬場嘉信, “分子夾雜生命化学に基づく新規計測技術のがん診断への展開-ナノバイオ夾雜環境デバイスによる肝がん細胞由来エクソソームの血管新生評価-,” *化学と工業*, **72**, 410-412 (2019).
10. 水巻登志樹, 湯川博, 洲崎悦生, 上田泰己, 馬場嘉信, “量子ドットによる完全透明化組織内移植幹細胞イメージング,” *Organ Biology*, **26**, 2, 109-114 (2019).
11. 小野島大介、馬場嘉信, “分子夾雜と診断　がん医療への展開,” *現代化学*, **576**, 37-39 (2019).

12. 安井隆雄, “ナノワイヤデバイスによるがん診断技術の開発, 公益社団法人 精密工学会, 精密工学会誌”, **85**, 9, 757-760 (2019).
13. 安井隆雄, “リキッドバイオプシーの最新動向,” 化学と工業, 72, 34 (2019).
14. S. Nagano, “Orientational behavior of side-chain liquid-crystalline block copolymers in surface segregation”, *Langmuir*, **35**, 5673-5683 (2019).
15. 永野修作, “表面偏析による側鎖型液晶高分子鎖のランダムプレーナー配向誘起,” *C & I Commun*, 44 (2019).

9.3 著書

1. Adha Sukma Aji, 大野雄高, “第6節 電解液流体による起電力の発生と応用, 二次元物質の新技術と応用（監修者吾郷浩樹、齋藤理一郎）第3章,” NTS出版 (2020).
2. 田中 久暁, 竹延 大志, “導電性高分子の熱電物性, 次世代熱電変換材料・モジュールの開発—熱電発電の黎明—, 第II編第2章5節,” 120-130 シーエムシー出版 (2020).
3. 蒲 江, 竹延 大志, “イオングルによるトランジスタと発光・受光素子, グラフェンから広がる二次元物質の新技術と応用, 第3章, 第4節,” 203-210 (株)エヌ・ティー・エス (2020).
4. 上垣外正己, “ラジカル重合 基礎高分子科学第2版, 高分子学会編,” 58-68 東京化学同人 (2020).
5. 上垣外正己, "ラジカル共重合" 基礎高分子科学第2版, 高分子学会編," 69-73 東京化学同人 (2020).
6. D. Onoshima, H. Yukawa, Y. Baba., “Nanobiodevices for Cancer Diagnosis and Stem Cell Therapeutics, Applications of Microfluidic Systems in Biology and Medicine,” Springer Nature Singapore (2019).
7. O. Daisuke, Y. Hiroshi and B. Yoshinobu, “Nanobiodevices for Cancer Diagnostics and Stem Cell Therapeutics, Applications of Microfluidic Systems in Biology and Medicine,” Springer Nature Singapore (2019).
8. 永野修作, “液晶ブロック共重合体薄膜におけるミクロ相分離構造の動的光配向制御”, 光機能性有機・高分子材料における新たな息吹 (市村國宏監修), シーエムシー出版 (2019).

10. 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：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
3. 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(パワーデバイス・システム領域)
科学技術試験研究委託事業, 受託研究
4. 宇治原徹：AIN 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, 補助金
5. 宇治原徹：NEDO 研究開発型ベンチャー支援事業における共同研究
株式会社 U-Map, 民間との共同研究
6. 宇治原徹：溶液成長法による SiC バルク基板技術の開発
三菱電機株式会社, 民間との共同研究
7. 宇治原徹：インキュベーション研究開発／高熱伝導高強度高韌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)
8. 宇治原徹：スポット溶接電極用銅基傾斜機能材料の研究
株式会社ナ・デックスプロダクツ, 民間との共同研究
9. 宇治原徹：SiC 溶液法基板・エピ特性の相関に関する研究 2
株式会社日立製作所, 民間との共同研究
10. 宇治原徹：溶液法を用いた SiC 単結晶の育成
日立金属株式会社, 民間との共同研究
11. 宇治原徹：回路基板の温度分布シミュレーションへの AI の適用と可視化
パナソニック株式会社 コネクティッドソリューションズ社, 民間との共同研究

12. 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, 民間との共同研究
13. 宇治原徹：窒化アルミニウムに関する研究
株式会社 U-Map, 民間との共同研究
14. 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
15. 宇治原徹：パワー半導体デバイス用パッケージ樹脂解析に適用する熱応力シミュレーションへの機械学習適用技術の研究
富士電機株式会社, 民間との共同研究
16. 宇治原徹：シリコンウェーハ中の不純物プロファイルの高速予測によるデバイスモデリングに関する研究
ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社, 民間との共同研究
17. 宇治原徹：ポリシリコン析出反応器の回帰モデルの構築と最適化
株式会社トクヤマ, 民間との共同研究
18. 宇治原徹：機械学習を用いた結晶成長炉内部品の物性値の高温領域におけるその場推定法に関する研究
株式会社 SUMCO, 民間との共同研究
19. 富田大輔：アモノサーマル法による窒化物結晶作製プロセスに関わる熱力学性質の解明
日本学術振興会 科学研究費補助金, 基盤研究(C)
20. 西谷智博：実環境下の損傷敏感試料に微細領域の動態観測技術をもたらす半導体電子ビーム源
日本学術振興会 科学研究費補助金, 基盤研究(A)
21. 田中敦之：GaN パワーデバイスの実用化に向けた、転位のデバイスに与える影響及び原理の解明
日本学術振興会 科学研究費補助金, 若手研究(B)

22. 久志本真希：半極性面 InGaN を用いた長波長発光素子の作製
日本学術振興会 科学研究費補助金, 若手研究(B)
23. 天野 浩 (Geoffrey Avit) : InGaN ナノロッド創・省エネルギーデバイス
日本学術振興会 科学研究費補助金, 特別研究員奨励費
24. 天野 浩 (Saskia Carola Schimmel) : アンモノサーマル法による高品質 GaN 基板成長
日本学術振興会 科学研究費補助金, 特別研究員奨励費
25. 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
26. 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
27. 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
28. 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 戰略的イノベーション創造プログラム(SIP)
29. 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 戰略的イノベーション創造プログラム(SIP)
30. 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
日本学術振興会 科学研究費補助金, 新学術領域研究（研究領域提案型）（分担者）
31. 出来真斗 : 量子センサーの電気的制御を低温で実現する
日本学術振興会 科学研究費補助金, 基盤研究(B)（分担者）

32. 本田善央：実環境下の損傷敏感試料に微細領域の動態観測技術をもたらす半導体電子ビーム源
日本学術振興会 科学研究費補助金, 基盤研究(A) (分担者)
33. 本田善央：BGaN 半導体検出器を用いた熱中性子イメージングセンサーの開発
日本学術振興会 科学研究費補助金, 基盤研究(B) (分担者)
34. 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 (分担者)
35. 天野 浩：高効率かつ高出力電動推進システム
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 (分担者)
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 (分担者)
37. 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 (分担者)
38. 大野雄高：電荷・スピンド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)
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 戰略的創造研究推進事業 CREST
40. 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)
41. 岸田英夫：キャリアエンベロープ位相制御による対称性の破れと光機能発現（光機能の解析と可視化）
受託研究費 JST CREST (主たる共同研究者)
42. 竹延大志：ファンデルワールス材料を用いた革新的熱電変換デバイス

文部科学省科学研究費補助金、基盤研究(A)

43. 竹延大志：ファンデルワールス材料を用いた革新的熱電変換デバイス
文部科学省科学研究費補助金、挑戦的研究(萌芽)
44. 上垣外正己：ビニルモノマーの反復的1分子付加と高効率連結反応による周期配列高分子の構築
科学研究費補助金 基盤研究(A)
45. 上垣外正己：ラジカル共重合における選択的ドミノ型連鎖生長反応による精密構造制御
科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）
46. 上垣外正己：植物由来モノマーとフッ素系モノマーの精密重合による機能性高分子材料の創製
二国間交流事業（フランス(CNRS)との共同研究）
47. 上垣外正己、内山峰人：エネルギー・マネジメント展開に関する共同研究
民間との共同研究
48. 上垣外正己、内山峰人：酢酸ビニル系ブロックポリマーの研究
民間との共同研究
49. 上垣外正己、内山峰人：ビニルポリマーへの異種結合導入検討
民間との共同研究
50. 上垣外正己：カテコールモノマー共重合体の応用研究について
民間との共同研究
51. 上垣外正己、内山峰人：フォト変換マルチアクティブ種による自在な高分子精密合成法の開発
科学研究費補助金 国際共同研究加速基金（国際共同研究強化（B））
52. 上垣外正己：Sustainable, synthetic polymer chemistry
JSPS サマープログラム調査研究費

53. 内山峰人：多様な機構に基づく炭素-硫黄結合の可逆的活性化を鍵とする特殊構造高分子の合成
科学研究費補助金 若手研究
54. 内山峰人：可逆的連鎖移動機構に基づくメタルフリーリビングカチオン重合
矢崎科学技術振興記念財団 2019年度国際交流援助
55. 内山峰人：可逆的連鎖移動機構に基づくメタルフリーリビングカチオン重合系の開発
立松財団 2019年度海外調査研究助成
56. 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
57. 井改 知幸：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（分担）
58. 井改 知幸：不斉増幅を基軸とする微量不斉源から創製可能ならせん高分子型キラル材料に関する研究
学術研究助成基金助成金 基盤研究(C)
59. 田浦 大輔：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
学術研究助成基金助成金 基盤研究(C)
60. 鈴木 望：キラルミセル界面における相互作用の解析
学術研究助成基金助成金 若手研究(B)
61. 鈴木 望：ねじれたセルロースナノファイバーにおける力学的特質の解明
学術研究助成基金助成金 挑戦的研究(萌芽) (分担)
62. 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）
63. 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) (代表)

64. 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）
65. 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)
66. 馬場嘉信：がん病態環境の分子夾雜マッピングデバイス
新学術領域研究（研究領域提案型）
67. 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
68. 伊藤正行：多軌道電子系を持つ量子物質で発現する新奇物性の探究
日本学術振興会科学研究費補助金 基盤研究(B)
69. 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) (H28～H32)
70. 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」
71. 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(H30～H32)
72. 阿波賀邦夫：フラットバンドの化学構築とバンドフィリン
挑戦的研究（萌芽）
73. 永野修作：液晶性高分子ラメラ構造に基づく光配向性機能材料の創出とナノデバイスへの展開
文部科学省科学研究費補助金 基盤研究 (B)
74. 永野修作：自由界面のトリガー効果に基づく高分子膜の增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)
75. 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）

76. 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

77. 永野修作：液晶配向膜に関する研究
民間との共同研究

11. 特許 (Patents)

1. 発明者：原田俊太, 高石将輝, 小山幸典, 宇治原徹
発明の名称：熱流体状態演算装置
出願番号：特許 2019-160600

2. 発明者：竹内幸久, 宇治原徹, 中村亮仁
発明の名称：AIN ウィスカーおよび樹脂成形体
出願番号：特許 2020-064429

3. 発明者：田川美穂, 横森真麻
発明の名称：ナノ粒子結晶およびその製造方法
出願番号：特許 2019-169737.

4. 発明者：宇治原徹, 原田俊太, 関和明, 朱燦, 長岡美津也
発明の名称：結晶製造装置、SiC単結晶の製造方法およびSiC単結晶
登録：特許 2889397

5. 発明者：棄原真人, 田中信夫, 宇治原徹, 斎藤晃
発明の名称：反射電子を検出する走査電子顕微鏡
登録：特許 6516327

6. 発明者：宇治原徹, 永治仁, 渡邊将太, 陳鳴宇, 竹内幸久
発明の名称：AlN単結晶の作製方法
登録：特許 6534030

7. 発明者：宇治原徹, 市橋史朗, 川口昂彦, 伊藤孝寛, 弃原真人, バルツェル・ペーテル, 竹内幸雄
発明の名称：電子が持つエネルギーの計測装置と計測方法
登録：特許 10386314

8. 発明者：宇治原徹, 原田俊太, 古池大輝, 梅崎智典
発明の名称：炭化ケイ素の結晶の製造方法及び結晶製造装置,
登録：特許 3192898

9. 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
登録：特許 ZL201580048948.7

10. 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
登録：特許 I679319
11. 発明者：宇治原徹，市橋史朗，川口昂彦，伊藤孝寛，棄原真人，バルツェル・ペーテル，竹内幸雄
発明の名称：電子が持つエネルギーの計測装置と計測方法
登録：特許 6640531
12. 発明者：宇治原徹，竹内幸久，陳鳴宇，永治仁
発明の名称：AIN結晶の作製方法、AIN結晶、及びAIN結晶を含む有機化合物
登録：特許 6653888
13. 発明者：宇治原徹，中村彩乃，原田俊太，青柳健大
発明の名称：熱伝導率可変デバイス
登録：特許 6671716
14. 発明者：新田州吾、本田善央、永松謙太郎、天野浩
発明の名称：気相成長装置
出願番号：特願 2017-183987
15. 発明者：新田州吾、藤元直樹、天野浩
発明の名称：気相成長装置
出願番号：特願 2018-92435
16. 発明者：新田州吾、藤元直樹、天野浩、本田善央
発明の名称：気相成長装置
出願番号：特願 2018-92438
17. 発明者：新田州吾、本田善央、永松謙太郎、天野浩、藤元直樹
発明の名称：気相成長装置
国際出願：PCT/JP2018/033324
18. 発明者：鳥本 司，亀山達矢，山口奈緒子，竹岡敬和，坪井泰之，石原 一
発明の名称：分離装置および固定相部材およびナノ粒子の分離方法

出願番号：特願 2019-84653（2019年4月25日）国立大学法人名古屋大学、公立大学法人大阪

19. 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：2019-086354、名古屋大学

20. 発明者：安井隆雄、馬場嘉信

発明の名称：生体分子を分離するための流体デバイス及び方法

出願番号：2019-125884、名古屋大学

21. 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：16/503,849、名古屋大学

22. 発明者：安井隆雄、馬場嘉信、市川裕樹

発明の名称：マイクロRNAを含む体液抽出物

出願番号：2019-193847、名古屋大学

23. 発明者：安井隆雄、馬場嘉信

発明の名称：生体分子分離用デバイス、およびその作動方法

国際出願：PCT/JP2019/035733、名古屋大学

24. 発明者：安井隆雄、馬場嘉信、夏目敦至

発明の名称：脳腫瘍を検査する方法

出願番号：2019-177615、名古屋大学

25. 発明者：馬場嘉信、加地範匡、安井隆雄

発明の名称：生体分子抽出用チップ、及び生体分子抽出用チップの製造方法

出願番号：2019-182303、名古屋大学

26. 発明者：安井隆雄、馬場嘉信

発明の名称：miRNAの抽出方法、および、miRNAの解析方法

国際出願：PCT/JP2019/042499、名古屋大学

27. 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

国際出願番号：PCT/JP2019/042498, 名古屋大学

28. 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：16/709,780,名古屋大学

29. 発明者：馬場嘉信、加地範匡, 安井隆雄

発明の名称：電気測定用チップ、及びサンプルの測定方法

出願番号：2019-235981, 名古屋大学

30. 発明者名：加地範匡, 安井隆雄, 馬場嘉信,

発明の名称：サンプル分離方法およびサンプル分離用デバイス

出願番号：2019-239849, 名古屋大学

31. 発明者名：安井隆雄, 夏目敦至, 馬場嘉信,

発明の名称：細胞の機能を変化させる方法

出願番号：2020-036925, 名古屋大学

12. VBL 関連講座の博士・修士論文リスト
(List of Doctor and Master-Degree Theses)

12.1 博士論文

1. 叶 正（工学研究科 電子情報システム専攻）
「高分解能質量分析によるⅢ族窒化物半導体気相成長の解析」
2. 胡 楠（工学研究科 電子工学専攻）
「Study on Ga-polar untwinned (10-13) semi-polar GaN by metalorganic chemical vapor deposition and (10-13) InGaN/GaN quantum wells」
3. 水越和志（工学研究科 マテリアル理工学専攻）
「光学応答からみた κ 型 BEDT-TTF 化合物の異方性と電荷不均化状態」
4. 堀江 美記（工学研究科 物質制御工学専攻）
「キラルな非共有結合性相互作用を介したフォルダマーおよび二重らせんへのらせんの巻き方向の制御とらせん反転に関する研究」

12.2 修士論文

1. 蔡 文トウ (工学研究科 電子工学専攻)
「Simultaneous Growth of Multi-Color Micro LEDs Based on Super Thin Micro-Platelets with Various Surface Area」
2. 三浦 史也 (工学研究科 電子工学専攻)
「窒化ガリウム縦型 MOSFET の作製プロセスに関する研究」
3. 酒井忠慶 (工学研究科 電子工学専攻)
「窒化アルミニウム基板上深紫外レーザーダイオードに関する研究」
4. 高橋昌大 (工学研究科 電子工学専攻)
「窒化ガリウムへの Mg イオンの高温注入及び他元素イオンを用いた空孔欠陥抑制に関する研究」
5. 安藤優月 (工学研究科 電子工学専攻)
「環境発電を目指した電気化学的流体発電現象の理解と出力向上に関する研究」
6. 大崎 朗 (工学研究科 電子工学専攻)
「イオン注入によるダイヤモンド表面への浅い窒素ー空孔中心の形成と表面処理による電荷状態制御に関する研究」
7. 嶋崎悠斗 (工学研究科 電子工学専攻)
「カーボンナノチューブ薄膜トランジスタにおけるヒステリシス抑制に関する研究」
8. 犬飼大樹 (工学研究科 応用物理学専攻)
「単層グラフェンの特異な電子構造に起因した種々の光学応答」
9. 打田敦子 (工学研究科 応用物理学専攻)
「有機電界発光素子の電圧印加下の変調吸収分光」
10. 磯 智成 (工学研究科 応用物理学専攻)
「ポルフィリン内包カーボンナノチューブにおける光誘起電荷移動に関する研究」

11. 市村 凌 (工学研究科 応用物理学専攻)
「イオン液体ゲートトランジスタにおけるドナー・アクセプタ型高分子の電気伝導特性」
12. 小椋友寛 (工学研究科 応用物理学専攻)
「単層 WS₂における電解質を用いた励起子ポラリトン発光素子」
13. 南石智紀 (工学研究科 応用物理学専攻)
「電解質を利用したホスト - ゲート系有機発光素子」
14. 山田知之 (工学研究科 応用物理学専攻)
「原子層材料を用いた波長可変発光素子」
15. 有津 拓 (工学研究科、有機・高分子化学専攻)
「ドミノ型連鎖生長反応に基づく植物由来サビネンの1:2ラジカル共重合」
16. 後藤美咲 (工学研究科、有機・高分子化学専攻)
「1,5-シフトを伴うラジカル異性化重合による配列制御ビニルポリマーの合成」
17. 杉原 静 (工学研究科、有機・高分子化学専攻)
「種々の桂皮酸誘導体の制御ラジカル共重合による新規バイオベースポリマーの合成」
18. 横田知暉 (工学研究科、有機・高分子化学専攻)
「植物由来フルルラールを原料としたフラン環骨格を有するビニル化合物の精密重合による新規バイオベースポリマーの開発」
19. 渡辺大智 (工学研究科、有機・高分子化学専攻)
「可逆的連鎖移動機構に基づくベンゾフランの不斉リビングカチオン重合」
20. 安藤光香 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)
「主鎖近傍に触媒活性部位を有する新規ポリアセチレン誘導体の合成、らせん構造制御および不斉有機触媒への応用」
21. 伊藤正樹 (工学研究科 有機・高分子化学専攻)
「ビスピルフィリン部位を有する二重らせんホウ素ヘリケートの酸を用いた効率的なデラセミ化反応」

22. 奥津陽奈子（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「側鎖に官能基を有するビフェニルイルアセチレン誘導体の水中でのらせん選択記憶重合系の開発」
23. 倉家朋之（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「ラセミ体からなるポリ（ビフェニルイルアセチレン）誘導体へのらせん構造の誘起と記憶、キラル固定相への応用」
24. 水本幸助（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「光学活性なポリエチレングリコール鎖を側鎖に導入したポリ（ビフェニルイルアセチレン）誘導体の合成とらせん構造制御」
25. 笹本康介（工学研究科 応用物質化学専攻）
「サイズと組成による金・銀ナノリングのプラズモン特性制御と光照射による電極触媒活性の向上」
26. 中島光俊（工学研究科 応用物質化学専攻）
「イオン液体／スパッタリング法により作製した PtRu 合金ナノ粒子の電極触媒活性」
27. 平根達也（工学研究科 応用物質化学専攻）
「メソポーラス有機シリカ細孔内での ZnS-AgInS₂ 固溶体ナノ粒子の合成と光触媒活性」
28. 増岡 輝（工学研究科 応用物質化学専攻）
「形状異方性を持つ ZnSe-AgInSe₂ 固溶体量子ドットの作製と光触媒活性」
29. 森 優貴（工学研究科 応用物質化学専攻）
「Li ドープによる I -III-VI 族半導体量子ドットの新規合成と光化学特性制御」
30. 公文優花（工学研究科 生命分子工学専攻）
「量子ドットを用いた幹細胞由来エクソソームイメージング及び再生医療への展開」
31. 内藤寛貴（工学研究科 生命分子工学専攻）
「単結晶ナノワイヤによるペプチドの配向吸着とその機能開拓」
32. 堀内雅文（工学研究科 生命分子工学専攻）

「酸化物鋳型の凹凸による分子認識手法の創出」

33. 水上直哉（工学研究科 生命分子工学専攻）
「ナノセルロースを基盤とするエクソソームコンテナシステムの創出」
34. 水巻登志樹（工学研究科 生命分子工学専攻）
「量子ドットによる透明化組織・臓器内移植幹細胞の網羅的イメージング技術の構築」
35. 岡本晟太朗（理学研究科 物質理学専攻(物理系)）
「V ドープした励起子絶縁体候補物質 Ta_2NiSe_5 および鉄系超伝導体 $KCa_2Fe_4As_4F_2$ の微視的測定」
36. 中村光佑（理学研究科 物質理学専攻(物理系)）
「 ^{59}Co -NMR によるペロブスカイト型 Pr 系コバルト酸化物の磁性」
37. 村瀬美奈（理学研究科 物質理学専攻(物理系)）
「梯子型鉄系化合物 $CsFe_2Se_3$ の磁気構造の研究及びレニウム酸化物の物性開拓」
38. 三角勇氣（理学研究科物質理学専攻）
「導電性 2D MOF Cu-CAT-1 の超低温物性」
39. 富松明宏（理学研究科物質理学専攻）
「有機半導体と絶縁体の相乗効果により生じる分極電流の特性」
40. 飯島雄太（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「吸湿性ポリシロキサンの可逆的熱硬化挙動」
41. 滝島啓介（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「異種メソゲン間相互作用によって誘起される高秩序高分子構造体」
42. 東 瞭太（工学研究科 有機・高分子化学専攻）
「二段階のリビングラジカル重合に基づく光応答性液晶高分子の構造設計と配向制御」

13. その他

(Misc.)

13.1 受賞リスト

1. 受賞者名：久志本 真希（工学研究科 電子工学専攻 天野研）
賞名：令和元年度赤崎賞
授賞団体名：名古屋大学
受賞日：令和2年3月
2. 受賞者：大野雄高
賞名：Lee Hsun Research Award
授賞団体名：Institute of Metal Research, Chinese Academy of Science
受賞日：2019年7月14日
3. 受賞者：Yuto Nakamura, Hideo Kishida（工学研究科応用物理学専攻）
題目：Akihiro Otsuka, Yasuhiro Shimizu, Gunzi Saito, Mitsuhiro Maesato, Andhika Kiswandhi, Takaaki Hiramatsu, Yukihiko Yoshida, Hideki Yamochi, Masahisa Tsuchiizu, Yuto Nakamura, Hideo Kishida, and Hiroshi Ito, “Canting Antiferromagnetic Spin-Order ($T_N = 102$ K) in a Monomer Mott Insulator (ET) $\text{Ag}_4(\text{CN})_5$ with a Diamond Spin-Lattice,” *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, **93** (2), 260 – 272 (2020).
賞名：BCSJ Award Article
授賞団体名：The Chemical Society of Japan
受賞日：2020年2月15日
4. 受賞者：後藤美咲（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：高分子学会優秀ポスター賞
題目：1,5-シフトを伴う種々の定序配列ビニルモノマーのラジカル重合
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2019年5月31日
5. 受賞者：横田知暉（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）
賞名：高分子学会優秀ポスター賞
題目：フルフラール由来環状ビニルエーテルのリビングカチオン重合および共重合
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会
受賞日：2019年5月31日
6. 受賞者：西田竹徳（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研究奨励賞

題目：テルペノイド由来 exo-メチレン型脂環式共役ジエンの制御カチオン重合およびラジカル重合

授賞団体名：公益社団法人 高分子学会 東海支部

受賞日：2019年8月31日

7. 受賞者：横田知瞭（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研究奨励賞

題目：植物由来フルフラールを原料としたフラン環骨格を有するビニルモノマーの精密重合による新規バイオベースポリマーの開発

授賞団体名：公益社団法人 高分子学会 東海支部

受賞日：2019年8月31日

8. 受賞者：Zhihong Sun（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）

賞名：Best Poster on IP2019

題目：Photo-Switchable Cationic/PET-RAFT Copolymerization Using Photoredox Catalyst and Lewis Acid

授賞団体名：13th IUPAC International Symposium on Ionic Polymerization

受賞日：2019年9月12日

9. 受賞者：有津 拓（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）

賞名：高分子学会優秀ポスター賞

題目：ドミノ型連鎖生長反応に基づく植物由来サビネンの1:2ラジカル共重合

授賞団体名：公益社団法人 高分子学会

受賞日：2019年9月27日

10. 受賞者：YOON Dasom（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）

賞名：高分子学会優秀ポスター賞

題目：種々の α -トリフルオロメチルアクリル酸エステルとビニルエーテルのラジカル共重合におけるモノマー連鎖制御授賞団体名：公益社団法人 高分子学会

受賞日：2019年9月27日

11. 受賞者：西田竹徳（工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研）

賞名：ICBP2019 Best Poster Award GOLD

題目 : Controlled Cationic and Radical Polymerization of exo-Methylene Conjugated Dienes Derived from Terpenoids for Novel Bio-Based Polymers 授賞団体名 : The 7th International Conference on Bio-based Polymers

受賞日 : 2019 年 11 月 13 日

12. 受賞者 : 吉田捷人 (工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研)
賞名 : 第 9 回 CSJ 化学フェスタ 2019 優秀ポスター発表賞
題目 : イソソルバイドを原料とした環状ジエンの合成とラジカル共重合
授賞団体名 : 公益社団法人 日本化学会
受賞日 : 2019 年 11 月 20 日
13. 受賞者 : 後藤美咲 (工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研)
賞名 : 東海高分子優秀学生発表賞
題目 : 1,5-シフトを伴うラジカル異性化重合による配列制御ビニルポリマーの合成
授賞団体名 : 公益社団法人 高分子学会 東海支部
受賞日 : 2019 年 12 月 9 日
14. 受賞者 : 渡辺大智 (工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研)
賞名 : 鏡友会賞
2020 年名大鏡友会
受賞日 : 3 月 25 日
15. 受賞者 : 松田真里那 (工学研究科 有機・高分子化学専攻 上垣外研)
賞名 : 日本化学会東海支部長賞
授賞団体名 : 公益社団法人 日本化学会 東海支部
受賞日 : 2020 年 3 月 25 日
16. 受賞者 : 川端 賢 (工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研)
賞名 : The Gordon Research Conference on Artificial Molecular Switches and Motors: From Molecular Switches to Macroscopic Properties, Poster Prize, Chairs • Ivan Aprahamian and Steve Goldup
授賞団体名 : The Gordon Research Conference
受賞日 : 2019 年 6 月 13 日
17. 受賞者 : 安藤 光香 (工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研)
賞名 : Symposium on Molecular Chirality 2019 (MC 2019)、ポスター賞、

授賞団体名：MC 2019 実行委員会・前田 勝浩

受賞日：2019年6月15日

18. 受賞者：倉家 朋之（工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研）
賞名：The 10th International Symposium on Integrated Molecular/Materials Science and Engineering (IMSE-10), Excellent Poster Award
授賞団体名：Organizing Committee of IMSE
受賞日：2019年7月5日
19. 受賞者：奥津 陽奈子（工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研）
賞名：The 31st International Symposium on Chirality (Chirality 2019, ISCD-31), Poster Award
授賞団体名：ISCD-31 BioTools President・Rina Dukor, Conference Chair・Reiko Oda, Co Chair・Jeanne Crassous
受賞日：2019年7月17日
20. 受賞者：奥田 省吾（工学研究科 有機・高分子化学専攻 八島研）
賞名：第169回東海高分子研究会講演会（2019年夏期合宿） 東海高分子研究会学生研究奨励賞
授賞団体名：公益社団法人 高分子学会 東海支部 支部長・河合 道弘、
受賞日：2019年8月31日
21. 受賞者：八島 栄次
賞名：Honorary Chair Professor at College of Engineering, National Tsing Hua University
授賞団体名：National Tsing Hua University, Taiwan Taiwan
受賞日：2019年9月5日
22. 受賞者：坂部 直人（工学研究科 応用物質化学専攻 鳥本研）
賞名：優秀学生発表賞
題目：八面体 Au コア-Ag-Pt 合金シェルからなる中空ナノ粒子電極触媒の作製と光照射による活性向上
授賞団体名：電気化学会第 87 回大会
受賞日：2020 年 3 月 19 日
23. 受賞者：渡辺 夢三（工学研究科 応用物質化学専攻、鳥本研）
賞名：優秀学生発表賞
題目：イオン液体への金属同時スパッタ蒸着による AuRh 合金ナノ粒子の作製と電極触

媒活性

授賞団体名：電気化学会第 87 回大会

受賞日：2020 年 3 月 19 日

24. 受賞者：秋吉 一孝 (ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー (VBL) 鳥本研)
賞名：ポスター賞
題目：Fabrication and Optical Modulation of MoO_x Nanoparticles Prepared with an Ionic Liquid/Metal Sputtering Technique
授賞団体名：電気化学会関西支部・東海支部合同シンポジウム
受賞日：2019 年 9 月 20 日
25. 受賞者：坂部 直人 (工学研究科 応用物質化学専攻 鳥本研)
賞名：ポスター賞
題目：八面体 Au 粒子を内包するプラズモニッケン構造体の作製とその電極触媒活性
授賞団体名：電気化学会関西支部・東海支部合同シンポジウム
受賞日：2019 年 9 月 20 日
26. 受賞者：森 優貴 (工学研究科 応用物質化学専攻、鳥本研)
賞名：Excellent Poster Award
題目：Synthesis of Li-doped AgInSe₂ Semiconductor Nanocrystals and Their Composition-Dependent Photochemical Properties
授賞団体名：The 10th Integrated Molecular/Materials Science & Engineering(IMSE-10)
受賞日：2019 年 7 月 5 日
27. 受賞者：宮地 冬 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名：量子生命科学会第 1 回大会 最優秀賞
授賞団体名：一般社団法人量子生命科学会
受賞日：2019 年 5 月 23 日
28. 受賞者：Quanli Liu (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名：日本化学会第 99 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：2019 年 6 月 25 日
29. 受賞者：嶋田 泰佑 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名：Analytical Sciences Best Paper Award in 2018

授賞団体名 : Analytical Sciences

受賞日 : 2019 年 7 月 1 日

30. 受賞者 : 安井 隆雄 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名 : 大学発ベンチャー表彰 2019 理事長賞
授賞団体名 : 新エネルギー・産業技術総合開発機構
受賞日 : 2019 年 7 月 29 日
31. 受賞者 : 安井 隆雄 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名 : 第 3 回バイオインダストリー奨励賞
授賞団体名 : 一般財団法人 バイオインダストリー協会
受賞日 : 2019 年 7 月 9 日
32. 受賞者 : 公文 優花 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名 : in vivo イメージングフォーラム 2019 優秀賞
授賞団体名 : 住商ファーマインターナショナル 株式会社
受賞日 : 2019 年 9 月 13 日
33. 受賞者 : 水巻登志樹 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名 : in vivo イメージングフォーラム 2019 SPI 大賞
授賞団体名 : 住商ファーマインターナショナル 株式会社
受賞日 : 2019 年 9 月 13 日
34. 受賞者 : 宮地 冬 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名 : in vivo イメージングフォーラム 2019 優秀賞
授賞団体名 : 住商ファーマインターナショナル 株式会社
受賞日 : 2019 年 9 月 13 日
35. 受賞者 : 服部 亮佑 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名 : in vivo イメージングフォーラム 2019 優秀賞
授賞団体名 : 住商ファーマインターナショナル 株式会社
受賞日 : 2019 年 9 月 13 日
36. 受賞者 : 公文 優花 (工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研)
賞名 : 第 6 回国際バイオイメージングシンポジウム及び第 28 回日本バイオイメージング学会学術集会 ベストイメージング賞

授賞団体名：日本バイオイメージング学会

受賞日：2019年9月23日

37. 受賞者：堀内 雅文（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：第56回フローインジェクション分析講演会 ポスター賞
授賞団体名：公益社団法人 日本分析化学会フローインジェクション分析研究懇談会
受賞日：2019年10月11日
38. 受賞者：馬場 嘉信
賞名：中国科学院大連化学物理研究所 70周年記念 Lecture
授賞団体名：中国科学院大連化学物理研究所
受賞日：2019年10月21日
39. 受賞者：公文 優花（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：第3回QST国際シンポジウム 最優秀賞
授賞団体名：国立研究開発機構 量子科学技術研究開発機構
受賞日：2019年12月4日
40. 受賞者：堀内 雅文（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：第3回QST国際シンポジウム 優秀発表賞
授賞団体名：国立研究開発機構 量子科学技術研究開発機構
受賞日：2019年12月4日
41. 受賞者：有馬 彰秀（工学研究科 生命分子工学専攻 馬場研）
賞名：第14回わかしゃち奨励賞 優秀賞を受賞
授賞団体名：愛知県
受賞日：2019年12月13日
42. 受賞者：Yan Dong Wan（理学研究科 物質理学専攻 阿波賀研）
賞名：Nakamura・Usui Prize
授賞団体名：名古屋大学理学部
受賞日：2020年3月9日
43. 受賞者：北村一晟（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）
賞名：第29回日本MRS学術シンポジウム 奨励賞
題目：Photoinduced Mass Transfer Propagated From a Topmost Photoresponsive Skin Layer

授賞団体名：日本 MRS

受賞日：2019 年 11 月 29 日

44. 受賞者：滝島啓介（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

受賞名：2019 年度日本液晶学会 若葉賞

題目：液晶－アルキル側鎖をもつランダム共重合体が構築する長距離秩序へテロスメクチック構造

授賞団体名：日本液晶学会

受賞日：2019 年 9 月 5 日

45. 受賞者：瀬田 蒼（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

受賞名：2019 年度日本液晶学会 若葉賞

題目：ヘテロスメクチックラメラ構造の層内メソゲン配列と長距離秩序

授賞団体名：日本液晶学会

受賞日：2019 年 9 月 5 日

46. 受賞者：渡邊隼人（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

受賞名：2019 年度日本液晶学会 虹彩賞

題目：液晶共展開法を用いた PVDF 薄膜の調製と構造解析

授賞団体名：日本液晶学会

受賞日：2019 年 9 月 5 日

47. 受賞者：瀬田 蒼（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

受賞名：第 169 回東海高分子研究会 学生研究奨励賞

題目：ヘテロスメクチックラメラ構造におけるメソゲンの面内配列と長距離秩序

授賞団体名：公益社団法人 高分子学会 東海支部

受賞日：2019 年 8 月 31 日

48. 受賞者：渡邊隼人（工学研究科 有機・高分子化学専攻 関研）

受賞名：第 23 回液晶化学研究会シンポジウム 学生ポスター賞

題目：「水面への液晶 assist 法を用いたポリフッ化ビニリデン薄膜の調製と配向制御」

授賞団体名：液晶化学研究会

受賞日：2019 年 7 月 2

49. 受賞者：瀬田 蒼

受賞名：ADMD2019 Outstanding Poster Award

題目：Liquid crystallinity and long-range order of hetero smectic lamellar structures consisting of mesogenic and POSS side chains

授賞団体名：ADMD2019 Organized Committee

受賞日：2019年7月25日

50. 受賞者：古市真梨

受賞名：ADMD2019 Poster Award

題目：Mesogenic Aggregation Properties in Hetero Smectic Lamellar Structure Influenced by Side-chain Liquid Crystalline Polymer Structure

授賞団体名：ADMD2019 Organized Committee

受賞日：2019年7月25日

13.2 報道リスト

1. 宇治原 徹（未来材料システム研究所）
朝日新聞、5月19日
「先端人／粒子構造を探り新材料開発」
2. 宇治原 徹（未来材料システム研究所）
Forbes Japan、8月5日
「名古屋の大学研究室から世界の「熱問題」を解決する。素材ベンチャー「U-MAP」」
3. 宇治原 徹（未来材料システム研究所）
i☆Space MID-FM761、2019年8月7日、8月23日、9月13日
4. 田川美穂（未来材料システム研究所）
TBS系列、2019年3月16日
「SDGs2030年の世界へ」
5. 天野 浩（未来材料システム研究所）
日経新聞、2019年4月3日
「一歩踏み出すあなたに②欲することを見つめよう」
6. 天野 浩（未来材料システム研究所）
日刊工業新聞、2019年4月11日
「窒化ガリウム拠点 名大が新拠点 省エネイノベ創出」
7. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞、2019年4月26日
「平成のノーベル街道受賞者 世界に誇れる日本の研究力」
8. 天野 浩（未来材料システム研究所）
日経新聞、2019年5月27日
「次世代パワー半導体 名大が試作ライン」
9. 天野 浩（未来材料システム研究所）
日経新聞、2019年6月7日
「私見卓見 再生エネで自給率高めよ」

10. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞、2019年7月19日
「2019参院選現場から「科学立国」研究者の苦悩 交付金削減、不安定な雇用」
11. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞、2019年8月6日
「名大最新研究棟に「未来の青空」自由な発想ここから」
12. 天野 浩（未来材料システム研究所）
日経新聞、2019年8月26日
「無線給電 室内全域で 産官学で基盤技術開発 国際標準を目指す」
13. 天野 浩（未来材料システム研究所）
読売新聞、2019年10月12日
「ノーベル賞受賞者を囲むフォーラム 次世代へのメッセージ」
14. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞、2019年10月22日
「未来のクルマ開発「楽しみ」が原動力 名大、天野教授ら座談会」
15. 天野 浩（未来材料システム研究所）
日経新聞、2019年10月23日
「EVに省エネ半導体、消費電力2割減 名大など」
16. 天野 浩（未来材料システム研究所）
朝日新聞、2019年10月23日
「省エネ&エコな電気自動車 ノーベル賞天野さんら開発」
17. 天野 浩（未来材料システム研究所）
読売新聞、2019年10月23日
「青色LED材料で世界初の省エネ車・・・ノーベル賞・天野教授モーターショーで披露」
18. 天野 浩（未来材料システム研究所）
中日新聞、2019年10月24日

「天野教授 東京モーターショーに新型 EV」

19. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日刊工業新聞、2019年10月25日
「小泉環境相“未来のクルマ”試乗 東京モーターショー」
20. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日経産業新聞、2019年10月30日
「窒化ガリウムでEV消費電力2割減」
21. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
中日新聞、2019年11月9日
「半導体レーザー開発 名大・天野教授らがん治療に応用へ」
22. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
読売新聞、2019年11月9日
「半導体レーザー最短波長 紫外線 天野名大教授ら成功」
23. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日刊工業新聞、2019年11月12日
「最短波長深紫外レーザー発振 パルス電流注入で成功 名大」
24. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
朝日新聞、2019年11月26日
「最短波長の半導体レーザー装置 指でつまめる！ 名大・旭化成開発」
25. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
読売新聞、2019年12月11日
「ノーベル賞対談 吉野彰さん 天野浩さん」
26. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
日刊工業新聞、2019年12月27日
「“未来のクルマ”東京モーターショー」
27. 天野 浩 (未来材料システム研究所)
中日新聞、2020年1月1日

「名大・天野教授ら開発 ドローン 10cm 空中送電成功 走行 EV 給電へ一歩」

28. 天野 浩 (未来材料システム研究所)

中日新聞、2020年1月11日

「無線給電への期待語る 名大・天野教授」

29. 天野 浩 (未来材料システム研究所)

日経新聞、2020年1月22日

「理系博士にビジネス感覚を 天野浩名古屋大教授」

30. 天野 浩 (未来材料システム研究所)

日経新聞、2020年2月5日

「UPDATE 知の現場 名古屋大DII大学院プログラム ビジネスわかる博士育成」

31. 大野雄高 (未来材料システム研究所)

中部経済新聞、2019年11月23日

「人の動きで発電できる薄膜伸縮シート開発」

32. 大野雄高 (未来材料システム研究所)

日経産業新聞、2019年11月29日

「名大、摩擦で発電するシート」

33. 大野雄高 (未来材料システム研究所)

日刊工業新聞、2019年12月26日

「人の動きから発電」

34. 大野雄高 (未来材料システム研究所)

日経新聞、2019年12月29日

「1滴の水で5ボルト超の発電」

35. 大野雄高 (未来材料システム研究所)

科学新聞、2020年01月10日

「しづく1滴から5ボルト発電」

36. 大野雄高 (未来材料システム研究所)

電波新聞、2019年12月5日

「人の動きから発電する発電シート 名古屋大が開発、透明で伸縮性持つ」

37. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）

Yahoo!ニュース、2020.2.18

「導電性高分子、半導体と金属の境で熱電変換性能が最大に フレキシブルな IoT 電源に道」

38. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）

OPTRONICS ONLINE、2020.2.17

「名大ら、導電性高分子における熱電変換機構を解明」

39. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）

日本経済新聞、2020.2.17

「名大と北大、電気を流すプラスチックで熱電変換性能の上限を決めるメカニズムの解明に成功」

40. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）

fabcross エンジニア、2020.2.18

「導電性高分子の熱電変換性能を決定するメカニズムを解明——フレキシブルな電池の開発へ前進 名大ら」

41. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）

マイナビニュース、2020.2.18

「導電性高分子、半導体と金属の境で熱電変換性能が最大に フレキシブルな IoT 電源に道」

42. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）

ITmedia、2020.2.19

「温度差で発電する“やわらかい電池”の実現へ前進、性能上限の仕組みを解明」

43. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）

TechEyesOnline、2020.2.19

「温度差で発電する“やわらかい電池”の実現へ前進、性能上限の仕組みを解明「

44. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）

JPubb、2020.2.19

「温度差で発電する柔らかい電池の開発へ前進～IoT社会を支えるウェアラブルな電源～」

45. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）
財経新聞、2020.2.21
「温度差で発電するウェアラブルな電池 名大などが高性能化の条件を導出」
46. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）
BIGLOBE ニュース、2020.2.21
「温度差で発電するウェアラブルな電池 名大などが高性能化の条件を導出」
47. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）
電波新聞、2020.2.21
「名大と北大、産総研導電性高分子の熱電変換性能上限を決めるメカニズム解明」
48. 竹延大志（工学研究科 応用物理学専攻）
Yahoo!ニュース、2020.2.21
「温度差で発電する「やわらかい電池」の実現へ前進、性能上限の仕組みを解明」
49. 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」
50. 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」
51. 阿波賀邦夫（理学研究科 物質理学専攻）
日刊工業新聞、2019年12月20日
「変調光から交流電流、名大 電気2重層で高効率変換 劣化抑え長寿命」

