

# 研究室便り

## 鷲尾・川島 研究室

本研究室は、電子工学専攻の物性工学講座固体電子工学分野・薄膜材料工学分野として、半導体デバイスにナノ・オーダーの機能性薄膜材料を加えることによって、情報の蓄積・処理・伝達において複数のメディアを自在に操ることができる機能融合デバイスを創生すべく、IV族系半導体とII-VI系酸化物・蛍光体の機能性薄膜材料の形成法、物性解析、およびデバイス応用に関する研究に取り組んでいます。大規模データ処理、通信ネットワーク、医療、環境、生活基盤などの幅広い分野でパラダイムシフトを起こす芽となる成果を得よう研究を進めています。現在のスタッフは、鷲尾勝由教授、川島知之講師、岡田健助教と、博士前期課程10名、学部学生5名の合計18名が所属しています。

IV族系半導体材料においては、情報化社会の飛躍的な発展に貢献した超高集積Si LSIにおける高速の信号入出力への対応や受発光素子の混載に向けて、主にSi基板上へのGe量子ドット (QD) の形成法を研究しています。カーボン (C) を媒介させることで、自己組織的にQDを形成する2つの手法、表面再構成法 (SR法) と固相成長法 (SPE法) を提案しています。SR法では、C-Si反応によりSi基板表面を $c(4 \times 4)$ に再構成することでGe成長界面エネルギーを低減しています。またSPE法では、固相成長過程でのC-SiとC-Ge結合の形成を堆積時のGe結晶状態と熱処理温度で制御しています。QD成長モードの制御メカニズム、界面ミキシングの抑圧、QD積層における応力の低減など、研究過程で得られた界面数原子層の結合反応制御と面内応力の緩和促進などのヘテロエピタキシャル成長に関する知見を活かして、電子と光の機能を融合したデバイスの創生を進めています。その他にも、青色レーザーなどのGaNデバイスに用いるサファイア基板上に、結晶構造が異なるGe単結晶を菱面体的配置して成長することによる高機能LSIの実現や、バックル構造を持つハニカム型原子配列のGe 2次元シートの形成など、新しい結晶成長法や低次元材料の開発に取り組んでいます。

II-VI系酸化物薄膜においては、主にZnO系薄膜の高機能化に向けて、高効率キャリア生成のための遷移金属添加による自己組織的な配向と酸窒化の促進、特徴的な可視光吸収などの新規な現象を見出し、高品質な結晶成長法の確立と応用展開を進めています。遷移



金属であるバナジウム (V) 添加によって、低抵抗のn型透明導電膜を実現するとともに、Znの不安定核形成の抑制による高配向化効果を見出しています。一方で、高濃度にV添加することで擬似的なアモルファス化が可能であり、酸化物薄膜の結晶性向上に固相成長が適用できることを確認しています。さらに、V添加による低温での高効率キャリア生成を活用した高分子フィルムなどのフレキシブル基板への応用拡大や、ZnO薄膜内への窒素導入による光学的なバンドギャップや光吸収特性の制御など、新しい分野の開拓に向けた研究を進めています。

II-VI族系酸化物半導体デバイスを作製するために必須のp型酸化物として、デラフォサイト型構造の酸化物である $\text{CuCrO}_2$ 薄膜の形成法を研究しています。可視光透過性と低抵抗性の両立に向けて、優れた結晶性を得るために固相成長の有効性を確認し、透明の太陽光発電セルへの適用に向けてpinダイオードの試作を進めています。また、実験検討の過程で発現した特異的な表面改質は、その生成メカニズムの解明によって、エレクトロニクス環境への融和や自然・生物との融合などの新しい学術分野の研究開拓に繋がると期待しています。

紫外励起による黄色と青色の発光合成方式を用いた白色LEDやディスプレイの開発に向けて、レアアースフリーの蛍光体薄膜の合成法を研究しています。黄色と青色の蛍光体薄膜は、それぞれV-Zn-O (VZO) とW-Zn-O (WZO) の低温成膜と短時間酸化処理により形成しています。蛍光スペクトルや組成の分析から、VZOでは $\text{Zn}_3(\text{VO}_4)_2$ 、WZOでは $\text{ZnWO}_4$ と $\text{WO}_3$ の共晶の形成によって、高い量子効率を実現できること

が分かっています。今後は、それらの発光スペクトルの合成により、演色性に優れた白色発光の実現に向けて検討を進めています。

本研究室は「元気澆刺」をモットーとしており、学業や研究だけではなく研究室対抗の駅伝大会（昨年度準優勝）やサッカー大会などのスポーツ活動にも積極

的に参加し、研究室間の繋がりが強くなるようにしています。新しい機能性薄膜材料の創生に夢を馳せ、明るく元気な学生の自主性を尊重しつつ教育・研究を進め、将来の人材育成と成果の達成に邁進していきます。同窓会の諸先輩方から今後とも温かいご指導とご支援を賜れたら幸いと存じます。

## 松浦・片桐 研究室

本研究室は、工学研究科では通信工学専攻・通信情報計測学分野、医工学研究科では医工学専攻医用光工学分野を担当しており、さらに片桐崇史准教授は工学研究科技術社会システム専攻にも所属しています。平成30年10月現在で、学生は学部生5名、修士11名、博士2名の計18名、スタッフは松浦祐司教授、片桐崇史准教授と研究をサポートする学術研究員の計3名で構成されています。

メインとなる研究分野は、光を使った診断・治療機器の研究です。医療機器に光を使う主なメリットは、非侵襲もしくは低侵襲、つまり体に傷をつけずにさまざまな診断や治療が行えるということにあります。本研究室ではその中でも、従来あまり実用化されてきていなかった「中赤外光」と呼ばれる波長域の利用を展開しています。目に見えない赤外光はその性質から、光通信などに用いられている可視光に近く比較的波長の短い近赤外光、テラヘルツ波とも呼ばれる非常に波長の大きい遠赤外光、そしてその中間域に位置するの中赤外光の3領域に分類できます。

中赤外光を診断や治療に使うメリットは、生体を構成するタンパク質、脂質、糖質といったさまざまな要素を見わけることができるという点です。これは要素を構成する分子がそれぞれ異なった運動エネルギーを持っていて、そのエネルギーが中赤外光のエネルギーに合致するからです。いろいろなエネルギー（波長）を含む白色光を生体組織にあてると、分子のエネルギーにぴったり合ったものだけが分子に吸収されて熱に変わるため、反射してきた光を見るとそのエネルギーのところだけが弱くなります。そしてこのエネルギー分布を分析することで、光をあてた組織がどのような分子で構成されているかを判別できます。

この原理を応用して、当研究室で最近力を入れているのは血糖値測定です。これまで血糖値を測定するためには、指先などから採血を行う必要があり、この方法は苦痛や感染の恐れを伴うものでした。一方、光を



利用した方法では採血なしで、体の一部に光をあてるだけで簡単に血糖値を測定することが可能になります。そして先ほどの中赤外光をくちびるの粘膜にあてると、体液中のブドウ糖の成分を検出できることがわかり、この結果から血糖値を正確に求めることができるようになりました。くちびるを測る理由は、中赤外光は体表から数ミクロンしか浸透しないため、指などの皮膚では十ミクロンほどの厚さを持つ角質層が邪魔をして測定できませんが、粘膜であればその角質がほとんどなく容易に測定できるためです。

当研究室では長年にわたり、中赤外光を通すための中空光ファイバという特殊な光ファイバを開発してきました。これを使えば、体のいろいろな部分へ容易に光を導くことができ、くちびるの測定も可能になったのです。また、これまでは中赤外光を使った分析装置は実験室でしか利用できない大型のものがほとんどでしたが、最近新しいレーザーや光検出器なども登場し、これらと中空光ファイバを組み合わせれば、小型で安価なシステムも実現可能となってきています。現在はいくつかの企業との共同研究により、早期の実用化を目指して研究を進めています。そして血糖値だけでなく、血中のコレステロールやタンパク質も測定できることがわかってきており、近い将来は採血なしで毎日人間ドックのような健康状態チェックができるような装置の開発を目指しています。

また当研究室では最近、スポーツに熱心な学生が増え、電気・情報系内で開催される、バレー、バスケットボール、野球、サッカーなどの大会に参加して、良好な成績を収め、駅伝大会でも最近では一ケタ入賞を続けています。最近はずこし「ぬるく」になりましたが、数年前のピーク時には、駅伝前の研究室にピリピリした空気が漂い、指導教員も練習せざるを得ない雰囲気。。。。ここからは指導教員の独り言です。運動が得意な学生が最初は偶然に数名集まることによりスポーツが活発化しますが、なぜかその後は同じように運動好きな学生が集まってくるようです。これは学生が研究

室配属の際の説明をする際に、研究室のスポーツ活動について熱弁をふるうせいなのかもしれません。ただしあまり活発化すると、最近学生たちが話しているように「スポーツブラック研究室」化してしまうので、注意が必要です。スポーツもいいけど研究も頑張って、と言いたいところをぐっと抑えて、若者たちのエネルギーが熱く燃えるのを見守るのでした。

最後はとりとめのない話になってしまいましたが、今後も研究・教育により一層精進して参りますので、引き続き温かいご指導ご支援を頂けましたら幸いです。

## 上原・片野 研究室

本研究室（電気通信研究所情報デバイス研究部門ナノフォトエレクトロニクス研究室）では、ナノメートル領域における半導体材料や有機材料の光電子物性を明らかにする実験や計測手法の開発を通して、高性能な情報デバイス材料を創製する研究を行っています。とりわけ、光と電子の作用場としてのナノ構造体に着目し、走査トンネル顕微鏡（STM）を用いた局所発光分光（STM発光分光）やレーザー分光などの測定手法と、分子蒸着やレーザー・アブレーションなどのナノ構造作製手法を組み合わせ、単一原子・分子やナノ構造体の有する電子物性の解明に日夜取り組んでいます。研究室には、上原洋一教授と片野諭准教授の研究スタッフと、工学研究科電子工学専攻の大学院生および工学部電気情報物理工学科の学部生が在籍しています。2011年の大震災では、研究室内の実験装置が破損し、実験室の壁が崩落するなど大きなダメージを負いましたが、幸い人的被害はありませんでした。現在、装置と建物の復旧作業は完了し、電気通信研究所1号館の実験室と居室で研究活動に専念できる状況となっております。以下、我々のグループにて現在進行している研究プロジェクトを簡単に紹介します。

### 高い時間分解能と原子位置分解能を有する分光法の開発

原子スケールで収束された電子トンネリングで励起されるSTM発光は高い位置分解能を有します。しかしながら、STM発光計測の時間分解能は貧弱であり、高速な光電子応答をナノスケール空間で直接観察することが難しいとされています。一方、パルスレーザーを光源として用いたポンプ・プローブ分光法に代表されるレーザー分光法は、高い時間分解能を有しますが、位置分解能は光の回折限界で制限されてしまいます。我々のグループでは、両者の長を組み合わせるため



の研究開発をここ数年行ってきました。その結果、STM発光スペクトルをピコ秒の時間分解能で計測することに成功しました。具体的には、ナローバンドギャップ半導体である $Sb_2Te_3$ のSTM発光計測において外部からレーザー光を照射すると、レーザー光と同期したSTM発光が誘起されることを見出し、高速な発光現象を高い位置分解能で明らかにすることに成功しました。

### 単一原子・分子の振動分光と分子エレクトロニクス

振動分光法は固体物性評価に極めて有用ですがその空間分解能は光の回折限界で制限されます。すなわち、ナノスケールの構造解析に適用できる振動分光方法がほとんど存在しないのが現状です。近年、我々のグループでは、振動励起に伴う微細構造がSTM発光スペクトルに重畳されることを見出し、探針直下に存在するナノ構造体の振動分光がSTM発光を利用して可能になることを提案しました。このようなSTM発光-振動分光法により、半導体基板表面のナノスケール材料評価や単一分子の官能基検出が可能になると期待されます。我々は、これまでに金属表面に吸着した単

一原子や分子の同定、金属微粒子のナノギャップに存在する有機分子の同定、基板のフォノン検出に成功しました。現在、このような個々の原子や分子を同定する技術とSTMの有する分子マニピュレーション技術を融合して、単一分子やナノカーボン材料を能動的なデバイス素子として利用する分子エレクトロニクスの研究に取り組んでいます。

### テラヘルツ (THz) STM発光分光

THz分光はその有用性から非常に注目されていますが、波長が長い分だけその位置分解能は可視分光にも劣ると考えられています。STM発光分光法も光学分光の一種ですが、位置分解能は、光の回折限界の制約を受けない特徴を持ち合わせています。我々は、理論予測に基づいた試料系の適切な選択と長波長光検出に適したSTM発光計測システムの改良により、THz領域におけるSTM発光の検出に成功しました。

研究室では研究活動だけでなく、少人数グループの

メリットを生かして教員と学生共に和気あいあいと楽しく研究室生活を送っています。2018年の通研公開では、公開実験を担当しました。



「ふしぎ!光と色の世界」のタイトルで、我々のグループの研究テーマである光を題材とした一般公開実験を行いました。具体的には、LEDを使った光の合成を通して光の3原色を学ぶ実験、手作り分光器による光の分解実験などを実施し、小さいお子さんのみならず大人を含めた一般の方々にも大変好評でした。研究室一同、これからもより一層研究教育活動に邁進していきたいと思っております。今後とも電気・情報系同窓会の諸先輩方から暖かいご指導ご支援を賜れたら幸いです。どうぞよろしくお願い致します。

## 同窓生の近況



### 廣井 慧

名古屋大学大学院工学研究科  
平成16年工学部電子工学科卒業

平成16年に工学部電子工学科を卒業した廣井と申します。在学中は庭野研究室に所属し、シリコン基板表面に薄膜を形成、DNA分子を固定化し、DNAハイブリダイゼーションを検出するという研究に取り組んでいました。DNA分子の固定化にはLB法という手法を使うのですが、この固定化に非常に苦労しまして、当時の先輩方に何度もアドバイスをいただきに伺いました。先輩方は皆、ご自分が忙しい時も嫌な顔をせず、じっくりと時間をかけて一緒に次の手段を考えてくださり、申し訳なく思いつつも遠慮なく頼らせていただいていたことが今でも鮮明に思い出されます。

仙台での思い出は、毎日遅くまで研究室で過ごしたことはもちろん、花見会、芋煮会、駅伝大会、研究室合宿と研究以外の時間も、いつも先輩や仲間たちと過ごしていました。濃密な日々のなかで、いつも目にしてきた当時の先輩方の研究に取り組む姿勢、特に日々の研究の進め方、思った結果が出なくても諦めず挑戦し続ける背中、本当に印象的で、今の自分の研究活

動の根底となっています。

東北大学卒業後は、NTT東日本に5年勤務したのち、また研究に携わりたいと一念発起して慶應義塾大学大学院に入学し、修士・博士の学位を取得しました。現在は名古屋大学大学院工学研究科で助教として日々研究・教育に励んでおります。今の研究は、東北大学所属時とは違う分野でして、IoTを利用した水害時の被害情報収集システムの開発や空間統計を使った被害予測などに取り組んでいます。名古屋大学は、とても活気がある大学で、充実した日々を過ごしておりますが、思ったような結果が出ないときには、東北大学でいつも見ていた諸先生方・諸先輩方の研究への姿勢を思い出し、研究・教育活動への意欲を再燃させています。

最近では、研究活動を通して、年に何度か東北大学に伺う機会をいただいています。当時の雰囲気を残しつつ、新たな建物とともに活気のあるキャンパスを歩いていると、懐かしくも思いつつ、学生時代に受けた数々の刺激を思い出し、やる気を取り戻す思いです。先輩方もいつも暖かく迎えてくださり、東北大学卒業生のつながりの深さを感じます。

最後に、庭野先生をはじめ在学中にご指導くださった諸先生方・諸先輩方に改めて深く感謝申し上げるとともに、卒業生の皆様のご健勝、ご活躍を心よりお祈り申し上げます。