



# IMaSS

未来材料・システム研究所  
Institute of Materials and Systems for Sustainability

研究報告 1

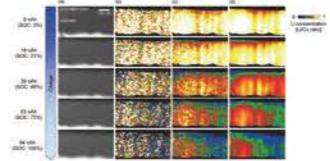
高性能な全固体電池内部のリチウムイオンの動きをリアルタイムで観察する技術を開発  
~全固体電池の設計に貢献~

未来材料・システム研究所(斎藤 晃教授の研究グループ)は、パナソニック株式会社および一般財団法人ファインセラミックスセンターと共同で、透過電子顕微鏡法と機械学習を用いて、バルク型および薄膜型全固体電池内部のリチウムイオンの動きをナノメートルスケールでリアルタイム観察する技術を開発しました。

本技術によってリチウムイオン移動抵抗の可視化が可能になり、正極物質内部の結晶粒界の影響で、リチウムイオンが複雑な拡散過程をともなって充放電していることが解明されました。これにより、高性能な全固体電池の設計指針が明確化になり、今後の全固体電池の開発に大きく貢献します。

本成果は、2020年5月27日(水)掲載の米国科学雑誌「ACS Energy Letters」の電子版と2020年6月4日(木)掲載の英国科学雑誌「Nature Communications」の電子版に掲載されました。

なお、本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金(JP 17H02792)の支援を受けて行われました。

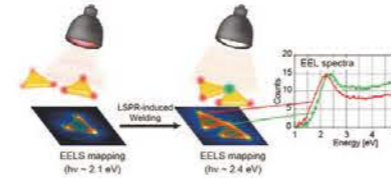


研究報告 2

金ナノ粒子を光により繋ぎ  
新たな光学特性を発現

東邦大学理学部の森原彰太准教授と名古屋大学未来材料・システム研究所の桑原真人准教授らの研究グループは、白色光源と光学フィルターを用いて、金ナノ粒子を位置選択的に融合させる技術を開発しました。金ナノ粒子に特徴的な光学特性を利用して金ナノ粒子同士を融合させることで、融合した部分に新たなプラズモンモードを発現させることに成功しました。これにより、金ナノ粒子を用いた高感度のマルチカラーセンサーなどの技術開発に繋がること期待されます。

この成果は2020年6月26日に米国科学誌「ACS Applied Nano Materials」にて発表されました。

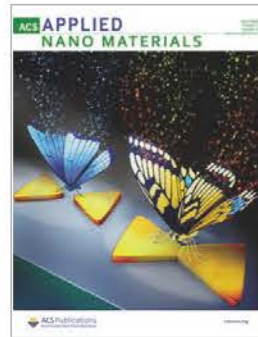


研究成果が学術誌のカバーピクチャーに採用されました

上記「研究報告2」の成果が、学術雑誌「ACS Applied Nano Materials」のSupplementary Coverに採用されました。掲載される数十種の論文の中から、編集者が特に注目すべき成果として選定した論文が、雑誌の表紙を飾ることができます。

DOI: 10.1021/acsnm.0c00608

適切な励起波長の光を用いて、三角形ナノプレート型の金ナノ粒子の頂点を繋ぐ過程を左から右への動線で見ると、この変化により、単色でしか動作しなかったセンサーがマルチカラーセンサーとして動作し始める様子を、(粒子が繋がった形から連想される)蝶の色彩の変化により表しています。



名古屋大学  
IMaSS

未来材料・システム研究所  
Institute of Materials and Systems for Sustainability



未来エレクトロニクス集積研究センター

- 先端的エネルギーの研究
- 世界的に見ても試みのない省エネデバイス研究を通じて、21世紀のものづくりを主導する高度な人材を育成

高度計測技術実践センター

- 電子、電磁波、素粒子、X線などを使う独自で高度な計測技術の実践および人材育成
- 知の拠点あいち、被融合ほか、学内関係研究科と連携

材料創製部門

- 省エネルギー、創エネルギーや環境保全に貢献する新規材料の研究・開発および人材育成

システム創成部門

- 環境調和型のエネルギー変換システム、電力や交通のネットワーク、物質循環・リサイクルシステム等の研究および人材育成



センター長 天野 勇 教授  
(2014年 ノーベル物理学賞受賞)



ガス中での分子や原子の反応を見ることもできる、高圧100Mの反応科学館有圧定常透過電子顕微鏡



【特集】五十嵐研究室インタビュー  
技術革新の突破口になる  
未来を切り拓くのは謎の発見から

未来材料・システム研究所(IMaSS)は、未来社会で革新的な省エネルギーを実現させるため、先進的な材料・デバイスそのものの根幹をなす要素技術に関する基礎研究から、それらを社会実装するための高度なエネルギー変換技術・システム、環境負荷低減技術、エネルギーインフラの制御技術等のシステム構築に至る、幅広い研究課題を一貫連続する研究拠点として、平成27年10月に前身のエコトピア科学研究所から改組する形で誕生しました。

改組とともに新設された未来エレクトロニクス集積研究センター(CIRFE)では、次世代の半導体パワーデバイスの実用化までのプロセスを実施できる、世界に先駆けた研究を行っています。また、若手研究者の育成への取り組み、産業界との共同研究も活発に行っています。

(写真) 透過電子顕微鏡を用いた研究発表風景 ©-TECs ナレッジコムズにて

名古屋大学IMaSS NEWSリーフレット版(2020年秋号)

編集・発行: 未来材料・システム研究所 広報委員会  
連絡先: public-relations@imass.nagoya-u.ac.jp

QRコードを  
読み込んで

アンケートにお答えください

アンケート締め切りは  
令和3年2月28日





准教授 長尾 全寛 NAGAO, Masahiro

2008年 早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。同年(独)物質・材料研究機構 博士研究員。2012年 早稲田大学大学院理工学研究科 助教を経て、2016年 名古屋大学 未来材料・システム研究所 准教授(工学部電気電子情報工学科)。現在は主に、透過型電子顕微鏡によるトポロジカル物質の物性開拓と応用の研究に従事。趣味:学生に猫の癒し動画を送り付けること。

教授 五十嵐 信行 IKARASHI, Nobuyuki

1988年 東京工業大学大学院理工学研究科物理学修士課程修了後、日本電気株式会社、ルネサスエレクトロニクスを経て、2015年より名古屋大学 エコトピア科学研究所(現 未来材料・システム研究所)教授(工学部電気電子情報工学科)。【好きなこと】料理(食べるのも作るのも)。「擅流クッキング」(作者/権一雄)の中でも「この地球上で、私は買い物しただけ、好きな仕事はない」に共感。山歩き(全然出がけられていないけれど)、サッカー(見るのもやるのも。全然練習をしていないけれど)。

助教 狩野 絵美 KANO, Emi

2008年 筑波大学理工学群入学、2017年 筑波大学数理物質研究科博士課程修了。2017年からカナダのアルバータ大学ポストドク研究員を経て、2019年 物質・材料研究機構 ポストドク研究員として、GaNの研究に着手。2020年 名古屋大学未来材料・システム研究所に助教として着任(工学部電気電子情報工学科)。現在は主に、透過型電子顕微鏡によるGaNを含む窒化物半導体の物性解析の研究に従事。趣味は歌うこと。中学からコース部に所属して以来、就職後も合唱を継続。

### ナノスケール※1で

### 物質の構造や性質を解析する

まず、五十嵐研究室はどんな研究をしているところかを教えてください。

五十嵐 我々の目指しているのは、cutting edge science for innovation。先端的かつ基礎的な科学の知見に基づいて、主な研究ツールである電子顕微鏡を使って、ナノスケールで、半導体などの物質の構造や性質を解析しています。

研究内容をイメージするために、ナノスケール、半導体といった言葉について、少し説明していただけますか？

五十嵐 今、世の中で作られているテレビやパソコン、スマホ、エアコンなどの電化製品、自動車、ICカードもちろん、日常生活のあらゆるところで半導体素子や集積回路などの半導体デバイスが使われているんですが(半導体デバイスについては後述)、それらは大体、20世紀終盤に入った頃からナノサイズとなり、材料自体の分子や原子の並び(結晶)のわずかなズレや違いで、大きく性能が変わることがわかっています。

それはつまり、世界中が競い合っている「半導体産業」というのは、人間の目では見えないほど小さい部品の材料や設計なんです。

五十嵐 小さければ小さいほど材料が少なくて安く済みますし、電子が走る距離も短くなるので、処理スピードが上がるし消費電力は少ないわけです。でも今は、さらに集積(集めて重ねること)するために、放熱(エネルギーロス)をどうやったら少なくできるか、材料そのものの結晶の並びの乱れをどうなくすか、といった研究が重要になっています。

五十嵐 研究室では、そういった問題を解決するために、原因となっているところを見つけ出すということですが、どうやって？

五十嵐 肉眼では判別できないほど小さいので、イメージ通りに電気が流れないなどの不具合が起きた時、どこに原因があるのかを示せるのは電子顕微鏡だけだと言っても過言ではないでしょう。電子顕微鏡なら「ここが原因です」って、ピンポイントで課題を示せる訳です。

### 「半導体デバイス」って？

ところで先ほどの「半導体デバイス」について、もう少し教えてください。

五十嵐 まず「デバイス」を直訳すると「装置」ですが、ある一定の機能を持った電子部品や機器の塊という感じでしょうか。多種多様で、パソコンやマウス、キーボードもプリンターもデバイスですし、CPUやメモリ、ハードディスクやディスクドライブも「デバイス」です。その材料に半導体を使うと、いろいろなことが実現できるんです。

「半導体」っていうのは、ある条件で電気が流れなかったりするもので、金属みたいにどンドン電気が流れるのは「導体」、全然流れないものは「絶縁体」と学びました。

五十嵐 そうです。昔は、あるものに電気を流すために、金属の銅線などをつなぎ、人の手でスイッチをON、OFFしました。今はそこに半導体を使うことで、何もしなければ電気は流れないけど、電界や磁界の力が及ぶエリアに入ると瞬時に電気が流れる半導体を回路や基板に使うことにより、手を使わずとも情報の伝達や電子媒体への書き込みが一瞬できたり、逆にストップしたりができるんです。

それで、半導体としての新しい可能性を秘めたGaN(窒化ガリウム)※2を使って作るパワーデバイスなどの開発に挑んでいらっしゃるんですね。

五十嵐 我々には、GaNを使って大電流・高電圧に耐えられるようなデバイスを作り、社会にもっと貢献したいという夢があります。その中で、デバイスとし



顕微鏡を覗きながら原子を見るための試料作り

て利用するために必要な混ぜ材料は何かいいのか、どんな方法がいいのかといった物性の研究を、主に電子顕微鏡を使って解明し、新しい技術の開発に寄与できたらと思っています。

### 超省エネの世界が広がる

### 「磁気スキルミオン」を解明中

長尾准教授も半導体の解明がメインですか？

長尾 僕は主に磁性材料、磁石の材料ですね。今は特に、スキルミオンの解析をしています。スキルミオンっていうのは、イギリス人の物理学者トニー・スカームが考案した、元々原子核の物理の概念なんです。粒子のように見える特徴のある小さな渦のことです。2010年にその渦の粒は磁石にもあることが見つかって、しかも電流を掛けると粒子が動くんですよ。トポロジー※3っていう数学があって、そこに関連した話だったんです。

その「スキルミオン」にはどんな期待があるんですか？

長尾 トポロジーを持っていると、ほんの僅かな電流で動くんです。だから、スキルミオンのあるなしを0、1で割り当てることができ、省エネルギーで電子デバイスやメモリが作れるんじゃないかとか、最近

は脳を模倣したようなデバイスを作ろうとする研究が発表されたりと、世界中で非常に注目されているんです。電子顕微鏡だとそれを直接見ることができるというのが一つの強みでもあり、非常に面白いと思います。2013年から研究しています。

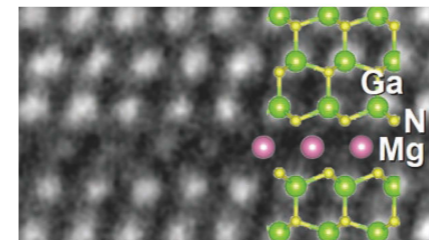
子供のころから研究者になりたかったんですか？

長尾 全然ですよ。何となく大学へ行こうかなと思って浪人してがんばって、たまたま早稲田に入りましたが、だから、学科はどこでもよかったっていう感じなんです。大学に入った時、大学院っていうものを知らなかったくらいで。ピアノは子供の頃からずっとやってきましたね。高校の途中までは、ジャズピアニストになりたいと思ってました。

音楽と研究で通ずるものはあるんでしょうか？

長尾 音楽って同じ曲でも表現の仕方で全然違うように聞こえるじゃないですか。そういうところは研究も共通していて、同じ研究で同じ結果だったとしても、そこから得る情報も違えば、伝える表現の仕方も違うし、それは受け取り手によっても違います。研究論文って一つの作品で、その人の思いや伝えたいことが含まれるっていう部分が音楽とも共通しているかなと思います。

### 「これを見るのは私が世界で初めて!？」という場面に遭遇する魅力



電子顕微鏡で見た窒化ガリウム(GaN)結晶の原子配列

狩野助教は、この4月から着任されたそうですが、主にどんな研究をやってきましたか？

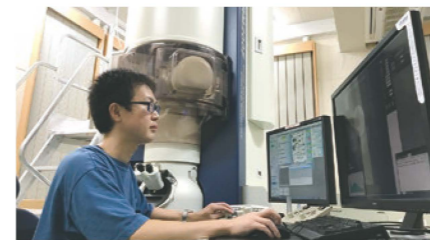
狩野 はい、私は筑波大で学部4年生になった時に、透過型電子顕微鏡(TEM)を持っている研究室に入りつつ、未来研とも関わりのある物質材料研究機構(NIMS)という研究機関に、アルバイトとして入りました。研究していたのは、グラフェン※4です。博士課程修了後は、2年間カナダのアルバータ大学でポストドクをしていて、そこでもTEMを使って、究極の2次元材料 グラフェンを研究していたんです。その後、去年1年間は、NIMSで未来研の小出先生と天野先生のGaNのプロジェクトで働き、今年4月から助教として新任で名古屋に来ました。

電子顕微鏡の魅力はどんなところですか？

狩野 見るものによって倍率は1000倍だったり、100万倍だったりしますが、いずれにしても人間の目では、そこにあるのに全然見えないのがTEMを通すと目の前に現れるんです。今まで全く見えていなかったものが、2nmのカーボンナノチューブの中の原子1個1個までがきれいにくっきり見えるんですよ!それは感動します。しかも「これを見ているのは、世界で私が初めて?」という場面があるので、それが魅力かな?

### 「やっぱり、電子顕微鏡の前に座っているときが一番楽しい。」

五十嵐教授は、子供のころから研究者になるこ



収差補正電子顕微鏡(JEM-ARM 200F Cold)で原子を観測中

とをイメージされていましたが？

五十嵐 高校の時に一番成績がよかったのは国語で、社会が一番好きでしたが、飯を食うには手に職があった方がいいだろうと思って工業大学へ進みました。

研究も含めて、何をやっているときが一番楽しいですか？

五十嵐 やっぱ、電子顕微鏡の前に座っているときが一番楽しいですね。緊張するからアドレナリンが出て、血圧が上がってるかもしれないけど(笑)。あと、顕微鏡で見るための試料作り。今の学生は「修行だ」と言って嫌がりますが、私はあの試料を薄片化するためにコロコロコロ削るのが好きでした。「何が見えるかな?」って思いながら。電子顕微鏡は、実はそこに座る前に勝負がついているんです。試料がきれいに薄く削れていれば勝ちなんです。

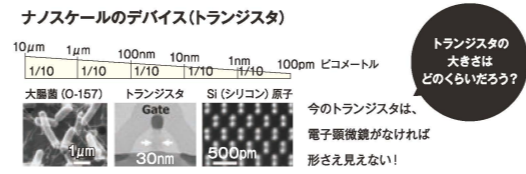
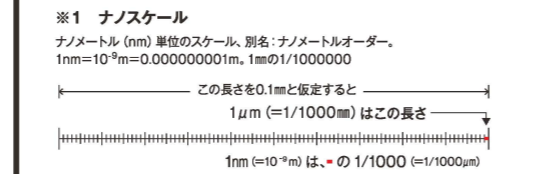
### 高校生に伝えたいことは？

五十嵐 自分の好きなことは何か?ってことを考え続けて欲しい気がします。大学では、やることだけやれば免許をもらって卒業できるんですけど、好きなことがないままではつまらないと思います。いろいろやるうちには、無駄だったなっていうこともたくさんあると思うんですが、大学は無駄な経験してもいい時。その中で「こうやったらもっと面白いんじゃないかな?」って、興味を持てる好きな分野を持って欲しいなと思います。



学生交流会で研究室の垣根を超えた研究発表

**半導体の歴史** ●1946年に米国で開発された真空管を利用したコンピュータ「ENIAC」は、総重量約30トン、約18,000本の真空管を使った史上最大の電子機械で、約160m<sup>2</sup>の建物(電気を増幅させる目的)の真空管で一杯になるほど大きく、使用電力も発熱も膨大だった。回路素数は合計約11万個。●その後、半導体の研究と、トランジスタ(電気を増幅させる)の開発でエレクトロニクス産業が変革を始める。●1959年 IC(集積回路)が発明され、日本も含め、70年代終わりまで熾烈な「半導体競争」が展開された。●1965年インテル社の創業者のひとりG.ムーアが提唱した「ムーアの法則」=LSI(ICの一種)の集積密度は1.5年で2倍、3年で4倍、15年で千倍に高まる」は、実際にほぼこの法則通りの経過を辿り、今も継続している。●その後もICは飛躍を続け、LSI(大規模集積回路)、さらに1980年代にはVLSI(素子集積度が10万~1000万個)、1990年代のULSI(素子集積度が1000万個超)へと技術革新が進んだ。●2000年代に入ると、システムLSI(多数の機能を1個のチップ上に集積した超多機能LSI)の生産が本格化。一方、応用の分野は多岐にわたる。半導体は社会の隅々で使われ、私たちの生活を支えている。



**※2 GaN** (窒化ガリウム, gallium nitride) ガリウムの窒化物であり、未来研の天野教授がノーベル賞を受賞されるに至った青色発光ダイオード(青色LED)の材料として用いられている半導体。近年ではパワー半導体やレーザーへの応用も期待されている。

**※4 グラフェン** C(炭素)原子同士がハチの巣のように六角形に結合した、原子1個分の厚さしかない物質。軽い上、引っ張り強度や、熱伝導の良さは何よりも優れており、室温でほかのいかなる物質よりも速く電気を流す、究極の2次元材料。ほぼ完全に透明であるという性質をもち、タッチ式画面や太陽電池に理想的な素材で、新世代半導体形成するものと期待されている。