

<http://lucid.msl.titech.ac.jp/>

**‘世界の潮流を生み出す’**

# 細野・平松研究室

## 材料物理学専攻

©24年度の大学院募集要項は以下のサイトで入手できます。

<http://www.titech.ac.jp/admission/graduate/guideline.html>

募集要項内の総合理工学研究科 材料物理学専攻 (p.73, 74) をご覧ください。

©材料物理学専攻の入学試験情報および過去問は、以下のサイトから入手できます。

入学案内: <http://www.materia.titech.ac.jp/ent/index.html>

過去問: [http://www.materia.titech.ac.jp/ent/ent\\_003.html](http://www.materia.titech.ac.jp/ent/ent_003.html)



住所: 〒226-8503

神奈川県横浜市緑区長津田町 4259

東京工業大学応用セラミックス研究所 R3-1

細野 教授 J1 棟 606 号室 045-924-5359

平松 准教授 COE 棟 102 号室 045-924-5855

松石 助教 S2 棟 5F 東 045-924-5134

# 目次

- 研究室の構成 ……p.2
- 学生の活躍 ……p.3
- 細野・平松研究室へようこそ ……p.5
- 研究紹介 ……p.7
- 研究テーマ ……p.9
- 研究設備 ……p.15
- 著書紹介 ……p.18
- 特集記事(産学官連携ジャーナル)の紹介 ……p.19
- Tokyo Institute of Technology Bulletin 記事の紹介 ……p.25
- 現役博士課程学生による研究テーマ紹介 ……p.26
- 海外渡航記 ……p.33

# 研究室の構成

## ■ スタッフ

- ・ 細野 秀雄 教授(電子メール:hosono@msl.titech.ac.jp)
- ・ 福長 脩 名誉教授
- ・ 黒木 和彦 客員教授(電気通信大学)
- ・ 平野 正浩 客員教授
- ・ 平松 秀典 准教授(電子メール:h-hirama@lucid.msl.titech.ac.jp)
- ・ 松石 聡 助教(電子メール:satoru@lucid.msl.titech.ac.jp)

## ■ 学生

- ・ 博士課程 7 名
- ・ 修士課程 10 名
- ・ 学部 4 年生 1 名

## ■ 大型プロジェクト

現在のところ以下 4 つの大型プロジェクトが走っています。

- ・ 最先端研究開発支援プログラム(期間:2010.3 – 2014.3)  
<http://www.supera.titech.ac.jp/>



↑ 最先端研究開発支援プログラム(First プログラム)のロゴマーク

- ・ NEDO 革新的太陽電池プロジェクト(期間:2008.4 – 2018.3)
- ・ 文部科学省元素戦略プロジェクト(期間:2008.10 – 2013.9)
- ・ 文部科学省光アライアンスプログラム(期間:2008 – 2017)

これらのプロジェクトでは、藤津 悟 特任教授をはじめとする、特任准教授 3 名、博士研究員 5 名が活躍しています。これらのプロジェクトメンバーだけでなく、物質科学創造専攻の神谷利夫 教授のグループとも緊密な連携をして研究を遂行しています。

# 学生の活躍

## ■ 日本学術振興会 特別研究員(DC)実績

難関といわれる学振特別研究員として毎年 1 名以上が選出され、研究費や学費のサポートを受けながら研究しています。

2011 年 1 名 2010 年 1 名 2009 年 1 名 2008 年 1 名 2007 年 2 名  
2006 年 2 名 2005 年 2 名

## ■ 過去 5 年間に於ける学生の受賞歴

国内だけでなく、国際学会においてもその研究と発表が認められ、毎年多くの学生が受賞しています。

2011 年 D2 李君 Gold Poster Award of TOEO-7  
D3 李さん Silver Poster Award of TOEO-7  
2010 年 D2 片瀬君 応用物理学会講演奨励賞  
D2 片瀬君 Oral Presentation Award, Symposium L of MRS Spring  
2009 年 D1 片瀬君 JJAP 論文賞  
M2 李君 The Best Poster Award of TOEO-6  
M2 篠崎君 The Best Poster Award of TOEO-6  
2008 年 D3 小郷君 The Best Poster Award, E-MRS Fall  
2007 年 D3 金君 応用物理学会講演奨励賞  
D3 戸田君 先端技術大賞(特別賞)  
M2 菊池さん 学問のすすめ賞(材料物理学専攻)

## ■ 学生の過去 5 年間に於ける国際学会口頭発表

学生自身が国際学会で口頭発表しています。中には招待講演を依頼されたケースもあります。ここでは口頭発表のみをリストアップしましたが、ポスター発表も含めるともっと多くの学生が国際学会の場で積極的に研究発表を行い活躍しています。

2011 年 D3 片瀬君 MRS Spring(アメリカ サンフランシスコ)※招待講演  
M2 井出君 TOEO-7(東京)  
2010 年 D2 片瀬君 ISS2010(筑波)※招待講演  
M2 村場君 ISS2010(筑波)  
D2 片瀬君 ASC2010(アメリカ ワシントン)

- 2008年 D2 片瀬君 MRS Spring(アメリカ サンフランシスコ)  
D3 松崎君 E-MRS(ポーランド ワルシャワ)  
M2 片瀬君 E-MRS(ポーランド ワルシャワ)  
D2 野村君 MRS Fall(アメリカ ボストン)
- 2007年 D1 野村君 日韓ワークショップ(韓国)  
M2 渡辺君 日韓ワークショップ(韓国)  
M2 志村君 日韓ワークショップ(韓国)  
D2 小郷君 E-MRS(フランス ストラスブルグ)  
D1 西尾君 E-MRS(フランス ストラスブルグ)

# 細野・平松研究室へようこそ

本研究室は川副 博司先生（現名誉教授）が 1990 年に開設し、1999 年までは川副・細野研究室として運営していました。川副先生は 1999 年 3 月 31 日で退職され、細野が研究室を引き継ぎました。2002 年には神谷利夫先生を迎え、細野・神谷研として松石先生と共に昨年度まで運営してきました。2010 年に神谷先生が物質科学創造専攻に異動になり、2011 年の 3 月に平松先生を迎え、細野・平松研として新しくスタートしました。神谷先生とは引き続き連携体制をとって研究を継続します。当研究室は応用セラミックス研究所という学内の研究所に属しておりますが、総合理工学研究科 材料物理科学専攻の協力講座でもあります。従って、当研究室配属希望の学生は材料物理科学専攻を志望してください。

研究室の主テーマは「電子活性材料の創製—電子状態から探る新しい光・電子・磁気および化学機能—」です。固体中の電子の動きを巧く制御して、新しい機能を実現しようとしています。生き物にみられる効率的な電子の伝達系を、文字通り無機物の中に造り込もうと考えています。

身の周りのありふれた物質を細工して、人類は文明を発展させてきました。これからもこの方向は変わらないでしょう。数多くある物質を人類の生活に直接的に役立つ形に工夫したものが「材料」です。いつの時代でもその時代なりの制約があり、材料の研究者はその制約下で革新的なものを創り出す必要があります。今世紀の制約は資源・環境問題と言えます。ありふれた、そして環境調和性の高い物質を使って、これまでに無い新しい機能やより高い性能をもつ材料を創り出すことがこれからの研究の方向でしょう。電子状態から様々な物質を眺めてみると、工夫次第で新しい機能を発現できる場合が数多くあります。要は「アイデアと工夫」と頑張り次第で、石ころを半導体や超伝導体といった材料に変身させようという魂胆です。

最近の成果のうちで国際的にインパクトがあると思っているものを 3 つ挙げます。

1. 鉄を含む高温超伝導体の発見
2. セメント原料が透明半導体、金属、そして超伝導へと変身
3. 透明アモルファス酸化物半導体のトランジスタ応用

研究のやり方としては、「どういった機能を狙うか」、「いかにして作るか」、「どんな物性か」、そして「どんなデバイスができるか」までの一連のことをできる限り研究室内で取り組むようにしています。すなわち、自分たちで設計し、それに合った（または合っていると思われる）物質を探索し、バルクや薄膜試料を合成し、それらの物性を調べ、デバイス特性評価までを一連して行っていきます。当研究室で取り上げる物性は、光・電子・磁気・化学と多岐にわたりますが、共通しているのは電子が主役となることです。人によっては興味や得意分野が違うかと思いますが、個々の興味を活かした研究が一緒にやっていけると考えています。

自分の名前がつくような新機能の発見を志す人、革新的デバイスを創って大儲けしてやろうという野心に満ちた人、自分の感性や個性を活かした機能材料研究をやってみたい人、大学院に入ったら心機一転して研究に集中してみたい人を大歓迎します。

自分たちが源流になって世界的な潮流となる研究をしたいと張り切っています。興味を持っていただいた方は是非研究室を訪問してください。

2011年4月 細野 秀雄

# 研究紹介

## 1. 研究室の目指すもの

膨大な数の「物質」の中で、人間の社会に直接に役に立つものが「材料」です。私たちの研究室は、自分たちが打ちたてた材料設計指針をもとに、以下のような新しい材料を開発しています。

- **物質が持つ特有の結晶構造を利用して新しい機能を創る。**  
層状構造を持つ混合アニオン化合物で、室温励起子発光ダイオードや新しい鉄を含む高温超伝導材料などを開拓しました。特に、鉄系超伝導体は、現在銅酸化物に次ぐ高い転移温度を有し、当研究室は発見した本家として、現在世界中で激しい競争の中、さらなる超伝導新物質を求めて、探索し続けています。また、0.4 nm の大きさのかご構造からできている結晶 C12A7 をベースに、新しい透明導電膜、高輝度電子放出源、有機発光 TV 用高性能電極、反応触媒、超伝導などの機能を開拓しました。
- **材料研究の新しい潮流「ユビキタス元素戦略」**  
私たちは、今までは希少金属を使ってしか実現できていなかった機能を、Ca や Al などの豊富で無害な元素だけを使って実現しようとする「ユビキタス元素戦略」を提唱しています。これは、政府の科学政策の大きな柱の一つとなり、2008 年から新しい国家プロジェクトを始めました。これまで開拓してきた C12A7 や深紫外ファイバーはそのもっとも成功しているユビキタス材料の例です。
- **酸化物でシリコンを凌ぐ半導体デバイスを実現する。**  
私たちは、透明酸化物半導体(Transparent Oxide Semiconductor: TOS)という新しい研究領域を開拓してきたパイオニアです。アモルファス酸化物半導体で、最高の性能を持つフレキシブルトランジスタを開発し、フレキシブル TV、電子ペーパーに有望な新しい材料を提供しました。

材料研究はしばしば、すでにある材料を発展させるための開発に終始してしまいがちですが、これまでに作り出された画期的な新材料—ナイロン、カーボンファイバーや高温超伝導体など—は、そのような改良研究からは決して生まれません。物質の内部で何が起きているかをしっかり調べ理解すると同時に、他人とは違った発想とアプローチで研究をする必要があります。

私たちが目的としているのは、このような独自のアプローチにより新しい物質と機能を創り出し、それらを人の役に立つ「材料」へと進化させることです。Nature 誌や Science 誌などの世界トップの学術誌に掲載される研究成果をあげ、企業と連携し産業化するとともに、その実践研究の過程で「真の材料研究」のセンスをもつ学生を育てることを理想としています。

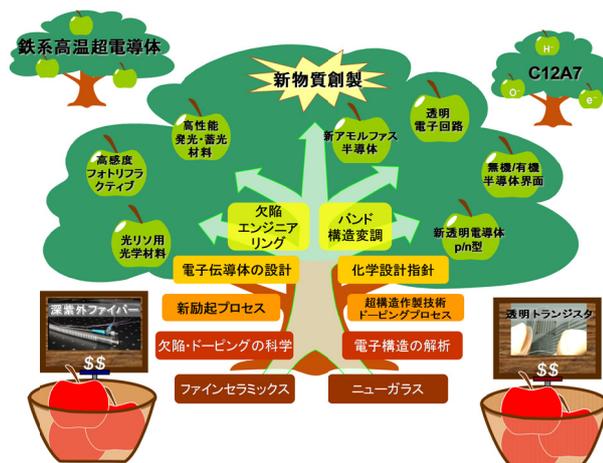


図 1.電子活性の樹（こんな具合に育って欲しいという図）

## 2. アプローチの特徴

構成元素が資源的に豊富で、かつ環境調和性に優れたものが多いことから、当研究室はこれまでは酸化物を主軸として研究を行ってきました。その酸化物は、古くから陶磁器やガラスとして人類の発展を支えてきた材料です。それにもかかわらず、酸化物中で電子が主役を演ずる機能は、以前は殆ど見出されていませんでした。これはその物質の本質によるものではありません。私たちは、物質に内在する特徴的なナノ構造に着目し、その電子状態や欠陥構造を制御・活用することで、新しい光・電子・磁気および化学機能をもつ材料を創り出すことを目指しています。



そしてこれからは酸化物だけにこだわらず、周期律表にのっているあらゆる元素を対象とすることによって探索範囲を拡げ、その物質の持つ結晶構造から電子状態を予測しながら、材料・機能探索研究を行っていきます。ただ試料を作るだけではなく、計算と実験の両面から電子状態を調べて物質のイメージを作り、研究方法を考えています。独自の視点からのアイデアに基づいたアプローチで、世界で「初めての」、「最高の」、あるいは「唯一の」結果を出せるよう、研究を進めています。

# 研究テーマ

## (1) 独自の攻め方で新材料を探す:新しい高温超伝導体の探索と薄膜・デバイス化

材料の結晶構造を観、電子構造に思いを馳せ、物性との関係について考えると、どのようなアプローチで新しい特性を持つ材料を作ったらよいか、アイデアがでてきます。

超伝導は数ある固体物性の中でも最も劇的でかつ明快な現象です。また、超伝導転移温度 ( $T_c$ ) の高い新物質が見つければ、その社会的インパクトの大きさは比類ないほど大きなものです。当研究室では、2006年にこれまで磁性原子である鉄の化合物は超伝導にならないという常識を覆し、2008年2月には  $T_c = 26\text{K}$  の LaFeAsO を報告し、世界的ブームを巻き起こしました (図1)。現在、最高の  $T_c$  は 56K に達し、銅系材料以外では一番高くなっています。どこまで  $T_c$  があがるか世界中で競争になっています (図2)。

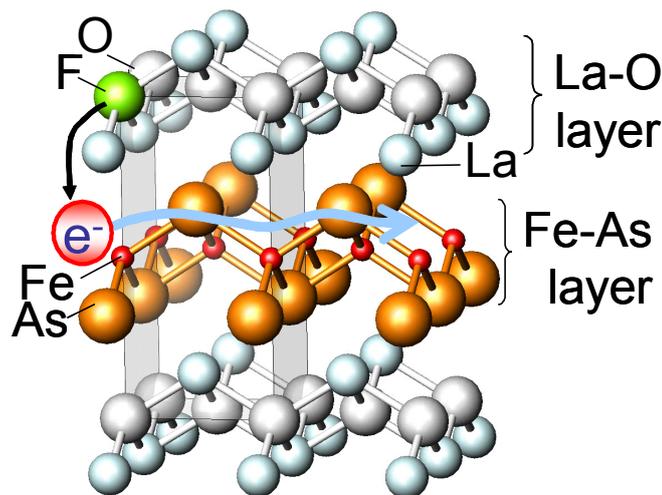


図1. 鉄系高温超伝導体 LaFeAsO の結晶構造。磁性を持つ鉄を含むにもかかわらず超伝導を示すことから、「鉄化合物は超伝導にならない」という常識を覆しました。

本家である当研究室も秘策を持って新規物質探索を頑張っており、つい最近では、LaFeAsO と同型構造で、重い電子と軽い電子が共存し、それぞれが反強磁性と超伝導を示す新しいタイプの超伝導体  $\text{CeNi}_{0.8}\text{Bi}_2$  を発見しました (Physical Review Letters 誌)。

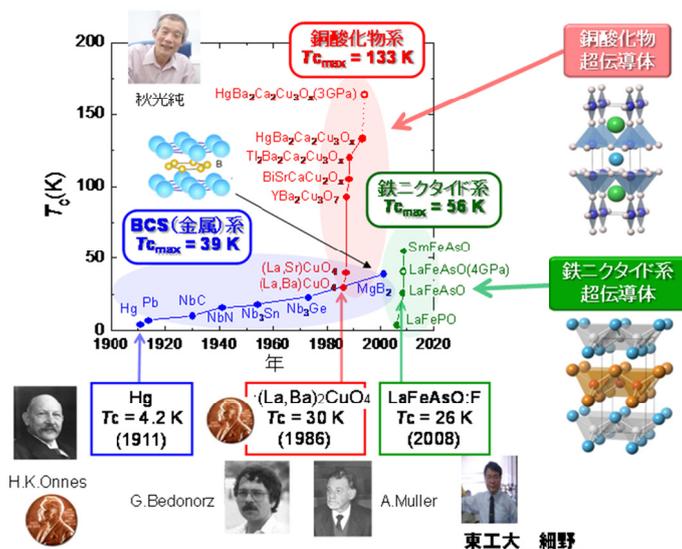


図 2. 超伝導の歴史。当研究室が発見した鉄系がどこまで超伝導転移温度があがるか、世界中が注目しています。

さらに、鉄系超伝導体の物性研究だけでなく、送電線などへの応用面で特に重要となる薄膜作製・デバイス化にも注力しています。図 2 は、当研究室が、鉄系超伝導体薄膜分野ではすべて世界に先駆けて実現してきたエピタキシャル薄膜と超伝導量子干渉素子 (SQUID) の例です。

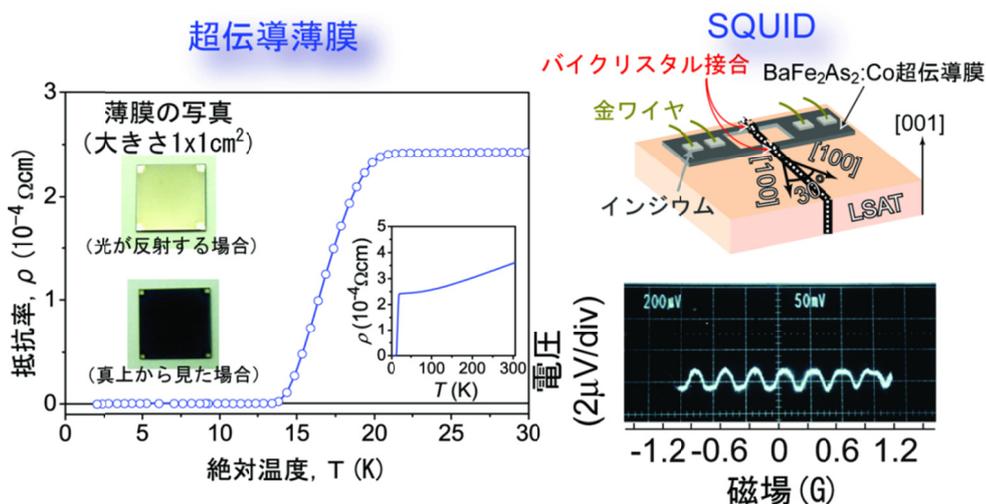


図 3. 世界初の鉄系超伝導薄膜 Co 添加  $SrFe_2As_2$  の超伝導特性と試料の写真 (左)。それをさらに高品質化した  $BaFe_2As_2$  薄膜を利用して作製した超伝導量子干渉素子 (SQUID, 右)。SQUID は磁場を加えることによって周期的な電圧の変調が見える。

## (2) ユビキタス(ありふれた)元素戦略: ナノかご構造と包接イオンが多彩な機能を創る

これまで、酸化物の多様な機能は遷移金属や希土類イオンなど陽イオンを変えることで実現してきました。私たちは発想を変え、陰イオンの状態を制御することで新しい可能性が拓けないか、という視点からアプローチをしています。

$12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  (C12A7)は、酸化カルシウムと酸化アルミニウムというありふれた酸化物から構成されている、何の変哲もない物質と考えられてきました。ところが、原子レベルで結晶構造を見直してみると、陰イオン(通常は $\text{O}^{2-}$ イオン)を包接できるナノかご構造を持っています。合成法を工夫することで、ナノかご構造中に様々なイオンを包接させることができます。例えば、空気中では不安定ですが最強の酸化力を持つことで知られる $\text{O}^-$ イオンを、 $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度で安定に含有させて、最も安定な白金さえ容易に酸化できました。また、C12A7は典型的な絶縁体であると信じられていましたが、 $\text{H}^+$ イオンを包接させて紫外光や電子線を照射することで、透明で電子がよく流れる状態に変えることに成功しました(図4)。さらには、電子を包接させることで、世界初の室温で安定なエレクトライド $\text{C12A7:e}^-$ を実現し、電界放射型ディスプレイ(図5右下)、電界効果型トランジスタや有機発光ディスプレイなどへ応用できることを実証し、その低仕事関数はディスプレイや蛍光灯の消費電力を半減させられる電極材料として応用できること最近見いだしました。さらにこの材料は、超伝導をも示します。



図4. (左) 未処理  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  (C12A7)粉末。普通のセメント材料と同じ白色。(右) は $\text{H}^+$ イオンを包接させて紫外光を照射したC12A7に抵抗テスターを当てたときの写真。普通のC12A7は絶縁体にもかかわらずこの試料は電気が流れる。

このように、ありふれた原料だけから構成される材料でも、ナノ構造を巧く利用することにより、多彩な電子・光・化学機能をひきだすことができます。このアイデアを追及していくことで、深刻化している環境・エネルギー問題の解決に大きく寄与できるスーパーセラミックスが誕生すると期待しています。

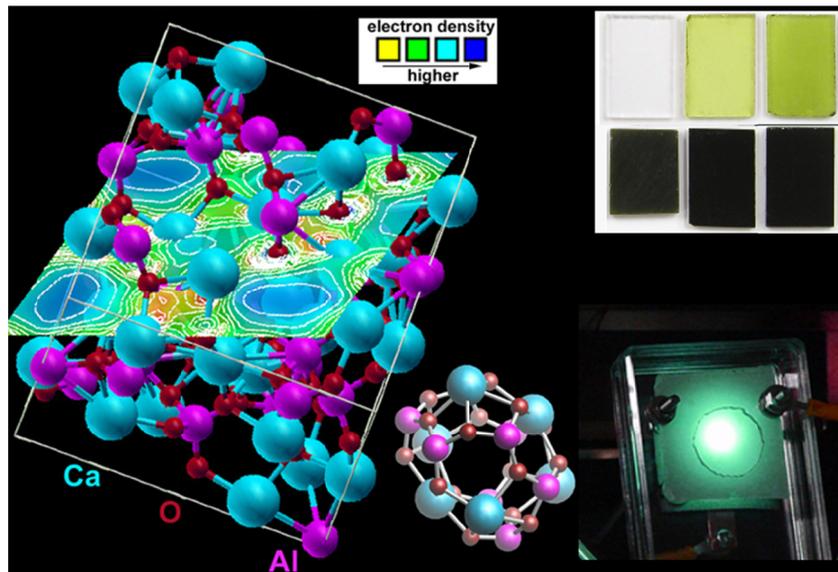


図 5. (左) エレクトライド C12A7:e<sup>-</sup> の結晶構造と電子分布。(中央) ナノかご構造 (かごの内径は約 4Å)。(右上) 電子が生成する様子が色の变化でわかる。(右下) 電界放射型発光デバイス。

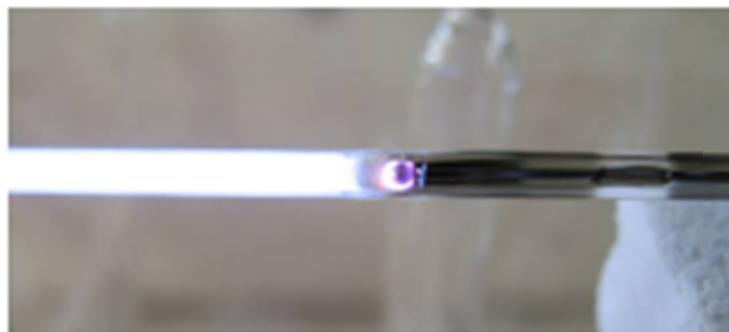


図 6. C12A7 エレクトライドの特徴である低仕事関数は、ディスプレイのバックライトや蛍光灯の消費電力を半減できる性能を発揮する。

### (3) 曲がる高性能透明トランジスタ:透明酸化物半導体

私たちは、1995年に透明アモルファス半導体の電子構造とその優位性をすでに提唱していました(図7)。さらには1997年に世界で初めて、P型透明酸化物半導体の設計法と具体例をNature誌に報告し、透明酸化物エレクトロニクスという新分野を開拓しました。2004年には、酸化物半導体の特長を活かして、フレキシブル透明トランジスタ(TFT)を実現しました(図8左・中央)。このトランジスタは世界でトップの性能を示し、Nature誌にも掲載され、世界中の大学や企業が研究を開始しました。その僅か4年後には、曲がる電子ペーパーや12インチの有機ELディスプレイなどが試作されるなど、大きな反響を呼んでおり、今では70インチの大型3D-LCDが試作されるまでに至っています(図8右)。自分たちの創った材料で世界を席卷する例になりつつあります。

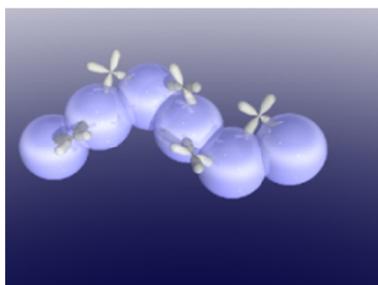


図7. 1995年に提唱した透明アモルファス半導体の電子構造イメージ。球対称で広がり大きなs軌道が伝導帯下端を主として形成するのがアモルファス酸化物半導体の特徴であり、これがアモルファスシリコンをものぐ現在のアモルファス酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタ実現へとつながった。

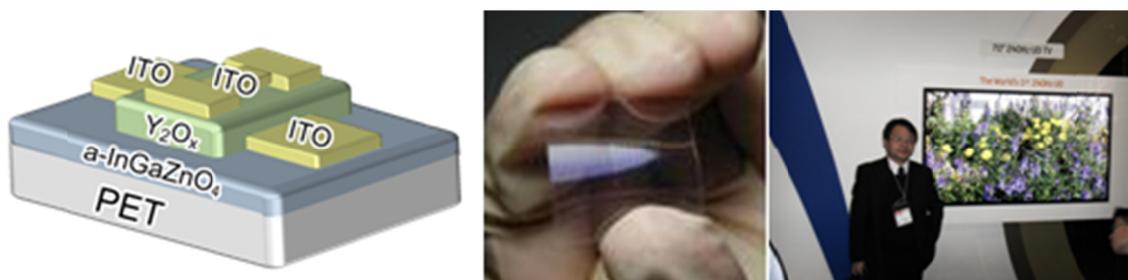


図8. 2004年に達成した当研究室オリジナルの透明アモルファス酸化物半導体を用いた薄膜トランジスタ(TFT)は、現在まで使われているアモルファスシリコンよりも20倍の移動度など多くの優れた性能を示し、作製も容易なことから次世代の薄型TVを駆動するTFTの本命と目されている(左はTFTの構造、中央はプラスチック基板上に作製したTFTの写真)。右の写真は、これを使うことで実現した70インチ、超高解像、3D-LCD。

#### (4) 新材料・機能を創るために：理論と実験による電子状態の解析

やみくもに実験をしても、新しい機能・材料を見つけることはほとんど不可能です。私たちは、光電子分光法、パルス電子スピン共鳴法やX線回折法などを用いて、物質や欠陥の電子状態を直接的に実験で観察しています。さらに第一原理計算を併用することで物質のイメージを作り、物質探索や材料設計の指針をたてて開拓研究を進めています。図9は、C12A7の中でかご構造のひずみをX線構造解析と第一原理計算で調べた結果です。C12A7中の電子数が増えるにしたがってかごの形がきれいになり、電子の通り道である波動関数が広がっていく様子が見えます。

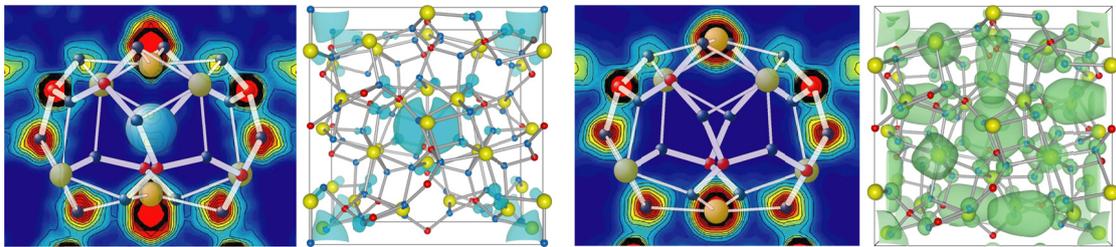


図9. (左から1番目、3番目の図) MEM/Rietveld解析で観測した電子密度。左のかご構造は酸素イオンが入っているためにひずんでいる。(左から2番目、4番目の図) 第一原理計算で求めたかご構造のひずみと電子密度。電子数が多くなるとかごの形がきれいになると、波動関数が結晶全体に広がる(右図)。

# 研究設備

世界最先端の最新設備を駆使して、世界一の結果が出せるよう日々精進しています。ここでは HP に公開していないつい最近買った代表設備を紹介します。

## PPMS, SQUID-VSM

抵抗率・磁化率・比熱といった超伝導研究には欠かせない物性を測定する装置です。液体 He 代を抑えるために気化した He を再生するための再凝縮装置を取り付けています。



## グローブボックス

1ppm 以下の酸素濃度・露点マイナス 90°C 以下の不活性でドライな環境下で、たとえ大気中で取り扱えない試薬であってもそれを使って試料合成ができます。



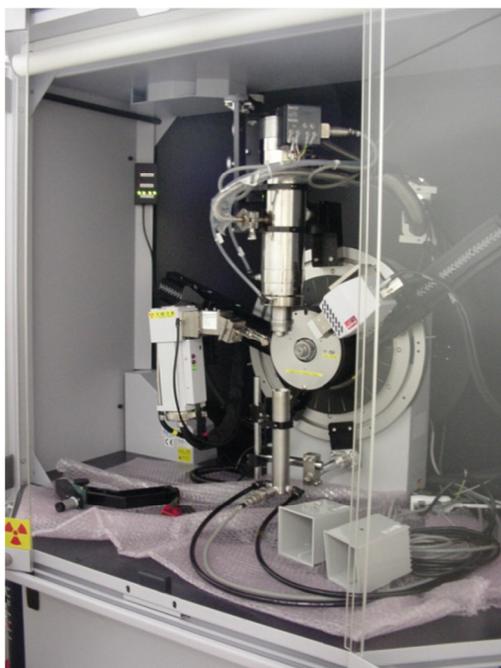
## 高圧合成装置

現在立ち上げ中を含めると 4 台の高圧装置を使って新しい試料合成に取り組んでいます。



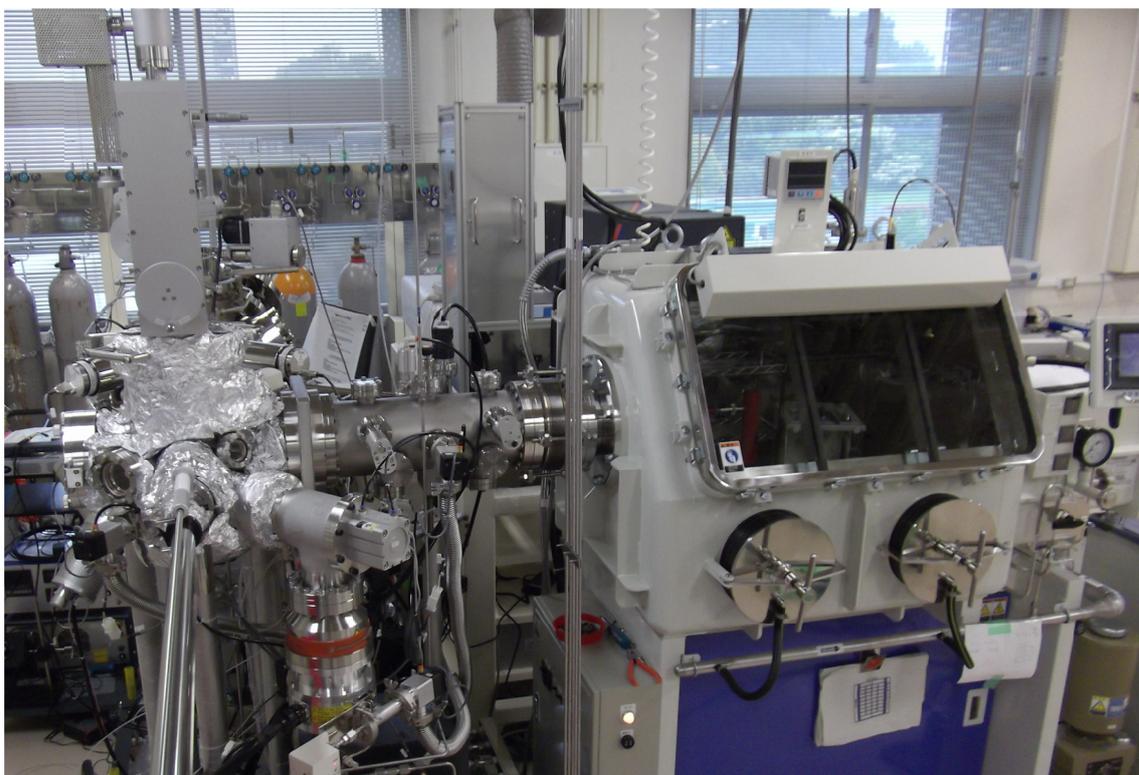
## 低温 XRD

キャピラリー式透過型 X 線回折装置です。液体 He を吹き付けることによって、およそ 20K ほどまでの低温測定が可能です。



## PLD-MBE 複合成膜装置

パルスレーザー堆積法(PLD)としては5種類の励起源を、そして分子線エピタキシー(MBE)としては3つのKセルと1つのクラッキングセルを併せ持つ複合成膜装置で、試料準備室はグローブボックスとも連結させています。現在立ち上げ中です。



## 著書紹介



担当編集者よりひと言

もう、話し出したら止まらない！しかも内容が難しくついていけない... (涙)。それが、最初にお会いしたときの、細野先生の印象でした。しかし、取材を重ねるごとに、先生は文系出身の私でも理解できるレベルで話をしてくださるようになりました。話し出したら止まらないのは相変わらずですが、その主張するメッセージは一貫していて、ブレのないもの！また、先生は写真集を購入するほどの大のネコ好きで、時折触れるネコの話に癒されました(笑)。先生ご自身が、「これまでの研究人生の区切り」とおっしゃる珠玉の一冊。ぜひご覧ください。世界的発見の舞台裏と、発見にいたるまでの思考法が書かれた本書は、間違いなく読みごたえ十分です！

著者 細野秀雄  
Hideo Hosono

好きなことに、  
バカになる

NHK「プロフェッショナル 仕事の流儀」「爆笑問題のニッポンの教養」に出演、科学誌『Science』のブレークスルー・オブ・ザ・イヤーにも選出!



「論文の引用件数」  
世界一の学者  
が編み出した  
ものごとの本質をつかむ思考法と、  
世界的発見の舞台裏。

サンマーク出版 定価=本体1400円+税

サンマーク出版 (1400 円)

研究室の成果をわかりやすい

本として出版

ソフトバンククリエイティブ (900 円)

# 透明金属が拓く 驚異の世界

不可能に挑む  
ナノテクノロジーの錬金術

細野秀雄・神谷利夫

サイエンス・アイ新書      SoftBank Creative

話題の高温超伝導の発見につながった

電子ペーパー  
(凸版印刷)

有機ELディスプレイ(サムスン)

## 透明電導性酸化物と 半導体の すべてがわかる!

## 産学官連携ジャーナル特集記事

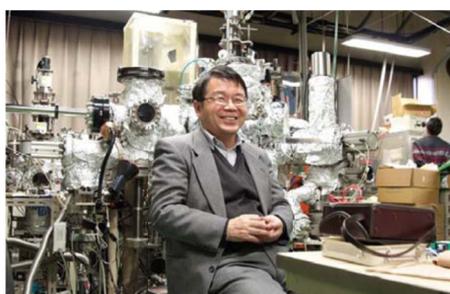
### 産学官連携の新たな挑戦

細野秀雄・東京工業大学教授

#### 材料科学の“新大陸”を発見

#### 研究にオール・オア・ナッシングはあり得ない

材料科学の分野で、世界中をあっと言わせるホームランを次々とスタンドにたたき込んでいるのが細野秀雄・東京工業大学教授だ。科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業のプロジェクトリーダーを務め（ERATO：1999－2004、発展研究 SORST：2004－2009）、常識を覆す大成果を挙げた。細野教授の研究テーマは透明な酸化

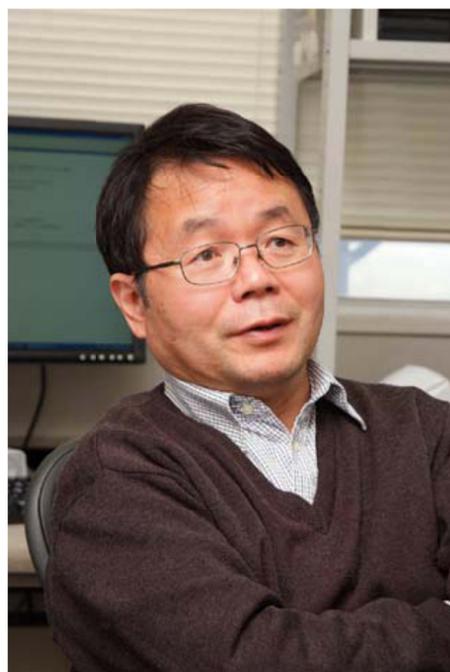


物。かつては絶縁体、つまり電気を通さない物質というのが一般的だった。ところが細野教授は、教科書に「絶縁体の代表」と記載されていた酸化物でも優れた導電性材料ができることを実証し、科学技術の“新大陸”を発見・開拓してきた。1本目のホームランは、PETボトルでおなじみのPETの上に、IGZOという酸化物（アモルファス酸化物）で、透明の高性能薄膜トランジスタ（TFT）を作り上げたこと。曲げても機能するTFTで、2004年の成果だ。透明TFTと言えば液晶ディスプレイに使われているのが有名。現在はアモルファスシリコンによるTFTが最も多いが、これに置き換わる新材料の登場だ。2本目は、セメントの酸化物（ $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ）。何のこともない普通の材料だが、この物質構造の特殊性（ナノポーラス）を解明し、それを操作することで、半導体（2002年）、金属（2007年）、超伝導（2007年）に変身することを実証した。3本目のホームランは、2008年2月に発見した鉄系超伝導の発見だ。86年の高温超伝導以来、初めての新系統の物質で、狂騒曲の再現が始まっている。10年前には想像もつかなかった新しい世界をいかに切り開いてきたのか、細野教授にお聞きした（松尾義之）。

#### 材料研究は10年

「成果を挙げ続ける戦略は何ですか」と聞かれるのですが、それほどの戦略があるわけではないんです。1つ言えることは、この分野が、それだけ肥沃（ひよく）な土地だということ。少なくとも僕はそう思っているから、新しいことを見つけようと探していると、

無理せずに自然にいろいろな成果が出てくるんですよ。セメントの化合物、アモルファス酸化物、鉄系超伝導体と、一見何の脈絡もないように見えるかもしれませんが。でもやってる本人には筋道はあるんです。すべて、固体酸化物をベースにした材料で、その構造をうまく見ながら、新しい機能を探している。すべてはその結果出てきたことなんです。材料や物質の研究では、10年ぐらい食らいつかないと、新しいことには結び付かない。僕の場合も、ERATOとSORSTの合計10年のプロジェクトで、フレキシブルTFTと30Kの鉄系超伝導は、後期に入ってから出たのです。「継続して頑張る」ことが重要ですね。そういう意味では、材料科学は、長期にわたる支援が生きる分野です。一遍に10億円もらうより、1年に1億円ずつ10年もらう方がはるかに成果が挙げられます。鉄系超伝導を発見して、あらためて「最初にゴールを切るのは気楽だなあ」と感じます。転移温度が上がったり、ほかから次々と成果がもたらされますが、結局、ルーツは僕らにあるからです。1番だから焦る必要がない。開拓者の特権ですね、当たったときは。



## ガラス屋の来るところじゃない

高い電子移動度をもつアモルファス酸化物半導体の物質設計というコンセプトは、1995年のアモルファス半導体国際会議で初めて発表しましたが、「ガラス屋の来るところじゃない」と嫌み(?)を言われました。そもそも当時は、アモルファスの酸化物でまともな半導体ができるなんて信じられていませんでしたから。

アモルファス半導体の話を耳にしたのは東京都立大学の学生のと看で、現在JST 研究開発戦略センター上席フェロー（当時は電子技術総合研究所）の田中一宣さんの情熱にあふれた講演を聞いたのです。いずれ取り組んでみたいと思ひ続け、1993年に名古屋工大から東工大に移ったとき研究テーマに上げました。アモルファス半導体の会議で発表したのは、そういう因縁があったのです。

この会議は2000年ぐらいから風向きが変わり、アモルファスシリコンに代わる新しい半導体が必要で、有力なのは有機物質だと言われている中で、僕らが2003年に酸化物で高性能なTFTを作って見せたわけです。大きく注目されたのは、2004年にフレキシブルなTFTを作ったときです。1995年の発表を覚えていた人がそれなりにいて、10年前の仕事が出发点であることがよく理解されました。

そしたら、産業界が飛び付き、一気に酸化物の方に傾いてきました。これは想定外でし

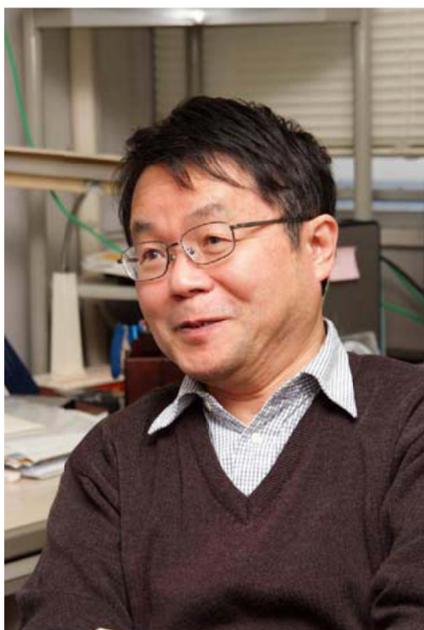
た。2005年の国際会議に分科会ができ、いきなりプレナリー講演をすることになったのです。そして2007年の会議では、ついにアモルファス酸化物の発表件数が、アモルファスシリコンを抜いちゃったんですよ。ガラス屋の来るところじゃなかった国際会議が、です。2009年の会議でもプレナリー講演を依頼されていますが「あいつが15年前にこの分野の発端を作ったんだから」ということだと思えます。

世界最大のディスプレイ学会（The Society for Information Display）が、特別功績賞を出してくれました。アモルファス酸化物で高性能なTFTを作り、ディスプレイへの応用に貢献したことが理由。うれしいのは、ディスプレイの専門家でもなく、ただ新しい酸化物のアモルファス半導体を作りたいと思って始めた仕事の実を結んだことですね。

この仕事は、実は別の見方ができるんです。半導体の基本はシリコンです。アモルファスシリコンは、シリコンという名前があったから注目された。そして「アモルファスシリコンで成立している理屈は、すべてのアモルファス半導体に成立する」とみんなが勘違いし、酸化物なんてゲテモノが使えるわけがないと思ったんです。しかし、酸化物ではアモルファスでも大きな電子移動度が見られるのには、きちんとした理屈があるのです。

アモルファス半導体一般の中で、共有結合性の半導体は、半分なのです。日本全体を見たとき、結晶シリコンは東京で、銀座通りもあるし地図もよくできているけど、非常に狭い領域にすぎません。名古屋には名古屋の、九州には九州の良さがある。僕らはそういう広い視点で仕事をしてきたから、新世界を開くことにつながったのでしょう。物質を広く眺めるのは大事だと思います。

## オリジナリティーの系譜から



1993年に東工大にくるまでは、名工大にいました。ガラスのエキスパートである阿部良弘先生（研究室のボス）は、オリジナリティーの高い人です。あんなにオリジナリティーのある先生、そうはいません。学生時代の恩師でした都立大（後に東工大）の川副博司先生もまた、すさまじくオリジナリティーのある人でした。共に、ある意味で、研究の実績だけで生きてきた方です。逆に言うと、オリジナルな研究をやらなかったら、競争にならないわけですね。彼らの基準ははっきりしていて、日本の中の評価なんかどうでもいいから、世界が認める研究をすること。そういう点では、両先生とも非常に厳しい方でした。

世界が認めて、明らかにその人がいなかったらできない仕事はオリジナリティー。研究とは、人と違ったこ

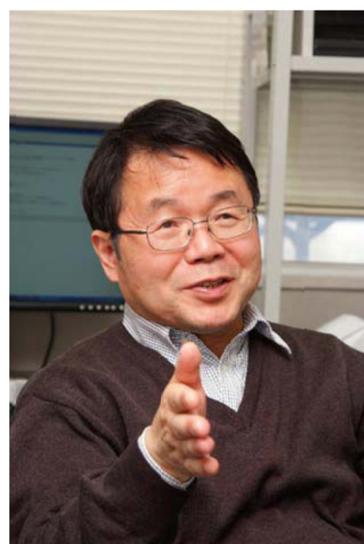
とをやる孤独な仕事なんだと肌身に感じました。

ERATOのプロジェクトリーダーに推薦された経緯は正確には知りません。ERATO担当のJST職員が、いろいろな人に聞き取りをして候補に挙げてくれたのだと思います。取り上げられた業績は、たぶん、ガラスの点欠陥の研究とアモルファスの酸化物半導体でしょう。この段階で、よく推薦してくれたと思います。そういう意味では、僕にとっては本当に偶然に近いのです。でも結果として、JSTには「目利き」の職員がおられたということですね。ERATO に拾ってもらわなかったら、短期間でここまでの成果は得られなかったでしょう。

ERATOのリーダーはやっぱり厳しいです。人のまねなんかしたら、すぐばれてしまう。「あんなに金もらって、ろくな仕事やってない」と研究者の評価は厳しいです。成功したか失敗したか、自然にわかってしまう「針のむしろ」です。

## セメント材料のヒントは学生実験だった

ERATOの研究構想を出すとき、自分のやってきた仕事を振り返りました。そして、自分のやってきた中から、小さくてもいいから、今なお不思議で、どうしてもやりたいテーマを選ぼうと考えました。その1つがセメントの化合物だったのです。セメントの材料は、何か出てきそうな気がして仕方なかったんですよ。このテーマは僕にとって歴史が古く、1986年にそのガラスが感光する現象を見つけて、ドイツの第1回オットー・ショット研究賞を頂いています。何も加えていないセメントのガラスに紫外光を当てただけで感光する、という非常に不思議な現象で、そのメカニズムを解明したのです。



きっかけは、名工大で石灰とアルミナを混ぜてセメントを作る学生実験を見ていた時でした。早く済ませるために、いったん溶かすんですが、それを流し出すと、赤い色になって、冷めても黄色い。「あれっ」と思いました。石灰とアルミナで色がつくはずがないからです。

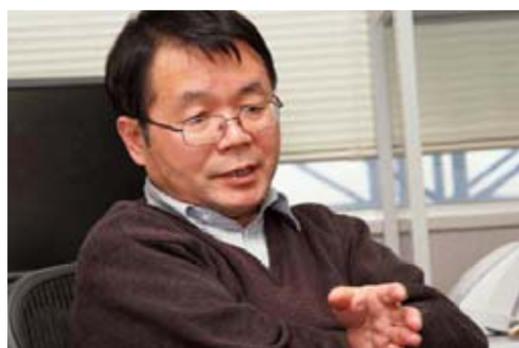
何か、面白い現象があるに違いないと直観しました。そこで高純度の試薬をもらって作ってみても、同じことが起こる。こうして作った感光性ガラスは、光を当てると褐色に着色し、光を切っても消えない。ところが、ガラスを溶かす条件を還元性雰囲気になると、光が当たったときだけ青くなって、その後消えるガラスができた。成分がまったく同じなのに、溶かす条件を酸化性の雰囲気と還元性の雰囲気に変えるだけで、2つのフォトクロミック・ガラスができてしまったんです。

## セメントに電気が流れた！

ERATOを始めるときに、何であんなことが起きたのか、不思議だと思い返しました。もしかしたら、結晶に秘密があるのかもしれない。そこで、粉末、薄膜、単結晶の全部をそろえて、材料研究の理想型として研究してみようと始めました。それがうまくいった。単結晶がなかったら、わからなかった。

まず当時のガラスを再現するため、酸素のある雰囲気で作ってみた。言われた学生はまじめだから、ボンベからきちんと酸素を流して作った。そしたら、名工大の時とは全然違うものができてしまったのです。分子構造の籠の中に入っていたのは、 $O^-$ （オー・マイナス）といって、こんなにすごい見たことない、というぐらい強い酸化力のイオンでした。この発見は偶然です。

次に、今、東工大の別の部門の准教授をしている林克郎君（当時は博士研究員）に「これを還元して」と頼んだ。彼は水素を流したのですが、できたもののエックス線回折の測定をした後の試料には、エックス線が当たった位置が着色していたんですよ。「これ、先生が昔見つけたやつですよ」と持ってきた。「いや、色が違う」。昔は黄色だったのに今度は緑だったのです。



結晶で緑になるはずがないので、もう1回やってもらいましたが、間違いない。そして光吸収をはかってみたら、可視域は通るのですが、赤外域が通らないんです。赤外域が通らない（自由電子による吸収）と電気が流れる現象があるので、あるいは……。実験してみたら、やっぱり電気が流れていたんです。あんなにびっくりしたこと、いままでないなあ。セメントに本当に電気が流れちゃったのです。キツネに化かされているんじゃないかと、まず林君が僕のほっぺたをつねる。僕もつねったんですよ。

この仕事はNatureに出たけれど、その発表がされる前に、新聞社の方が北澤宏一先生（現在、科学技術振興機構理事長）のところにコメントをいただきに行ったんです。北澤先生はMITでアルミナの研究で学位を取った専門家で、アルミナがどのぐらい電気を流さないか1番よく知っている。第一声は「ガセネタじゃないの」。かくかくしかじか、こういう理由らしいと説明を聞いたら「それならありうるかな」。この反応は1番うれしかった。アルミナを1番知っている人が「もしかしたら」と思ってくれたからです。

その後この物質は、金属になって、超伝導になりました。でも、超伝導になった時よりは、電気が流れた時の方がうれしかった。学生実験だって、よく目を凝らしてみると、ネタがたくさんあるんですよ。

## 材料科学の条件は、社会に役立つこと

よく「挑戦的なテーマはオール・オア・ナッシング」と言う人がいますが、それを聞くと「ああ、この人は本当の研究をやっていないな」って思います。そんな研究などあり得ないからです。一生懸命やっていると、必ず新しい考え方やヒントが出てくる。物質は多面的だから、ある面で切ったら見えないかもしれないけど、別の視点で切れば、必ず新しい顔を見せてくれるんですよ。

材料科学を縛るのは、世の中のために役に立つ、それを目指すことだけです。すぐに役立たなくても構わないけれども、いずれ必ず社会の役に立つことをする、それを目指すのが材料科学の最低条件なんですね。

聞き手・本文構成：松尾 義之  
株式会社白日社 編集長

## インタビューを終えて

東京電力科学誌「イリューム」編集長

あまり伝えられないが、日本の科学技術の本当の強さは「本物の研究」がきちんと存続・支援されているところにある。正式な組織があるわけではないが、きちんとわかっている人々がいて「あの人の仕事はいい」と評価している（としか考えられない）。当の研究者を含む彼らを、私は「豊かな地下水脈」と呼んできた。細野先生もまたその1人、ピカピカの一級品としか言いようがない。

1986年の超伝導騒動の折、後にノーベル賞を受賞するミュラー博士にロンドンで失礼な質問したことがある。「あなたが発見の根拠としたヤン・テラー・ポーラロンを信じている科学者は皆無のようだが……」。博士は壇上から私の席までやって来て、持論をまくし立てた。こっちも「なら、どういう実験で証明するのか」と反論すると、最後は「I will do」だった。クリスマス講演会で有名な講堂での出来事である。卓越した科学者に共通するのは、深い知識と合理性に基づきつつ「極端にバイアスをかけた論理」を展開することだ。細野先生にこの話をしたら、「それが“信念”なんです」と切り返された。「ただ、女房に言わせると“僕の勝手な思い込み”になる」。一級の科学者は話術も1つ抜けている。

2011年3月に掲載された

Tokyo Institute of Technology Bulletin 記事

掲載URL : <http://www.titech.ac.jp/bulletin/index.html>

このページにアクセスすると以下記事のインタビューがご覧になれます。



## Feature

### **In search of new functional materials**

An interview with Hideo Hosono of the Frontier Research Center to hear more about his research on new functional materials.



## 鉄系超伝導体薄膜を用いたデバイス応用

D3 片瀬貴義

2008年2月、私たちの研究グループにより、F添加LaFeAsO ( $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ ) が26Kと高い温度で超伝導現象を示すということを発見されて以来、「鉄」を含む超伝導体「鉄系超伝導体」が新しい高温超伝導体として認識され、世界中で集中的な研究が立ち上がり、現在その最高 $T_c$  (超伝導に転移する温度) は、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ に代表される銅系酸化物系超伝導体を除けば最高の56Kにまで達しています。この鉄系超伝導体は、第2種超伝導体に属していて、銅酸化物並に高磁場中でも超伝導現象を維持することが可能で、さらに、銅酸化物とは異なった利点も有するために、実用上非常に期待できる新材料です。

超伝導体は、電気抵抗が完全にゼロである (完全導電性)、外部磁場を内部から排除する (完全反磁性)、ごく薄いバリア層を通して電圧をかけずに電気が流れる (ジョセフソン効果) といった特異な現象を示します。私はこれまで、鉄系超伝導体のCo添加 $\text{BaFe}_2\text{As}_2$ において、ジョセフソン効果を用いた超伝導デバイスの作製を行ってきました。図1に作製したジョセフソン接合素子の構造を示します。面内の[100]の結晶方位が対称的になるように接合させたバイクリスタル基板上に、エピタキシャル薄膜を形成し、傾角粒界を含んだブリッジ構造に加工しています。図2にマイクロブリッジの $I-V$ 特性を示します。非線形型のジョセフソン接合に特有な $I-V$ 特性が得られ、傾角粒界がバリア層の役割を担い、ジョセフソン接合として動作しました。さらに、そのジョセフソン接合を応用して超伝導量子干渉素子(SQUID)を試作しました。SQUID素子はジョセフソン接合素子を含んだ超伝導ループでの磁束の量子化現象を利用したデバイスで、超微弱な磁場の検出器として認識されています。実際に、外部から磁場を印加すると、周期的な電圧変調が観察され、SQUIDとして動作しました (図3はノイズ特性)。これらは、鉄系超伝導体薄膜を用いたデバイス動作の最初の実証の成果です。今後は、薄膜オリジナルな特徴を生かして、さらに新しい研究成果を目指していきたいと思っています。

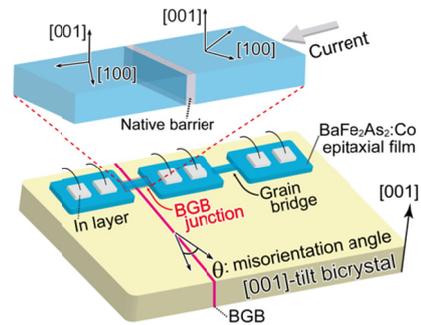


図1:粒界ジョセフソン接合の構造

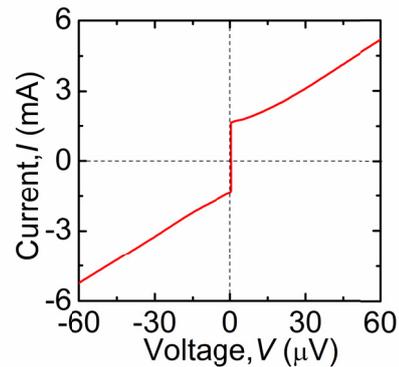


図2:ジョセフソン接合の  $I-V$ 特性

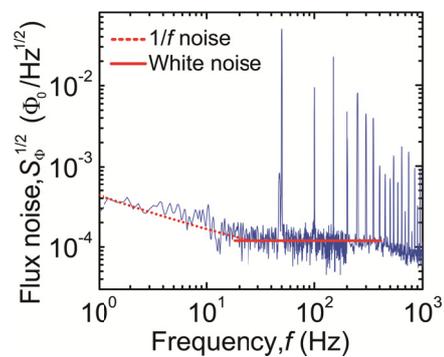


図3:SQUID のノイズ特性

## The solar cell absorbing energy of UV light

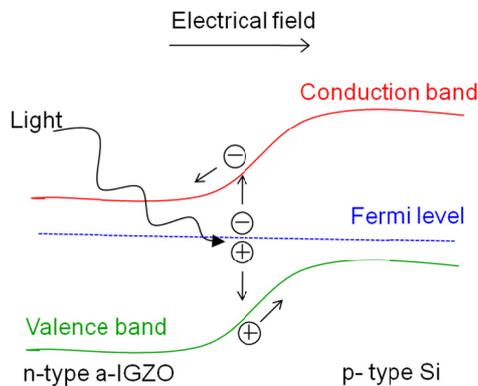
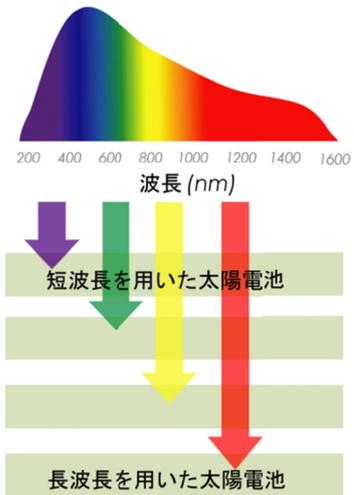
D3 李 敬美

Recently, black or blue solar cell panels have been seen in our environment such as on the roofs or light stands on the street. They absorb only limited range of light among solar radiation (the bottom solar cell in Figure 1), and it means that the rest of them is converted into heat or reflection loss. Therefore, many researchers have studied the solar cells reducing energy loss by applying various materials which can capture all the energy from sun, as shown Figure 1.

Semiconductor has the band gap which is the gap between the band bound electrons (valence band) and the empty band (conduction band). Electrons in valence band can move to conduction band when it gets energy enough to release from the valence band. Solar cells, composed of p and n type semiconductors, use this characteristic and make a depletion region when conjunct them. When solar light with greater energy than the band gap of the semiconductor passes

through the solar cell, it may be absorbed by the material. This absorption takes the form of a band-to-band electronic transition, so an electron/hole pair is produced. If these carriers can diffuse to the depletion region before they recombine, then they are separated by the electric field, as shown in Figure 2.

My study is to apply transparent amorphous In-Ga-Zn-O (a-IGZO) semiconductor into the solar cell able to absorb the energy of UV light. a-IGZO based solar cell can absorb short wavelength of 400 nm corresponding band gap of 3 eV among the solar radiation and a-IGZO based solar cell can expect to increase open circuit voltage and may lead to increase in the efficiency (a-IGZO based solar cell is categorized to the top solar cell in Figure 1.)



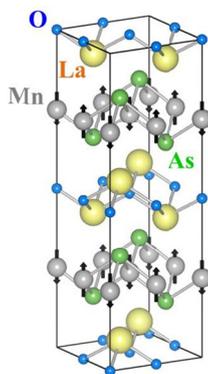
ar cell

## 新しい高温超伝導体を目指して

D3 柳基勲

私は鉄系超伝導体に関する研究と共に、新しい高温超伝導体を目指して新物質の探索を行っています。具体的には、鉄系超伝導体の代表物質である1111系と呼ばれるZrCuSiAs型層状化合物の中でも、特に3d遷移金属を含む伝導層をもつ層状構造に着目しています。そのZrCuSiAs型構造は、下図のように絶縁層と呼ばれるLnO層(Lnは希土類)と伝導層と呼ばれるMAs(MはMn, Fe, Co, Niなどの3d遷移金属)層から構成されている。Mサイトは鉄のほか様々な3d遷移金属に置換が可能であり、Mnの場合は反強磁性の半導体、Coの場合は強磁性金属、Niの場合はFeと同様の超伝導、と様々な物性を示す。

高い反強磁性の転移温度を示す銅系超伝導体や鉄系超伝導の場合には、電子や正孔を添加することによりその反強磁性配列を崩すことによって、高い温度で超伝導が発現しています。そこで本研究では、高い反強磁性の転移温度を示すMn系1111化合物に注目しました(下表)。これまで知られたLnMnPnO(Pn = P, As, Sb)に加え、Lnをアルカリ土類金属(Sr, Ba)に置換すると同時にOをFに置換したAeMnAsF(Ae = Sr, Eu, Ba)を新たに合成し、電子や正孔のドーピング効果を検討しています。現在のところ、これら一連のMn系化合物から新しい超伝導体は得られておりません。しかしながら、Fe系化合物とは異なって、第一近接の面内Mn間に強い相互作用があり反強磁性の転移温度が面内の距離に依存する傾向を示すことを明らかにしました。この後この強靱な反強磁性配列を何らかの方法で消すことができればより高い転移温度の新超伝導体として有望であると信じて日々研究しています。



図：ZrCuSiAs型構造を有するMn系1111化合物

交

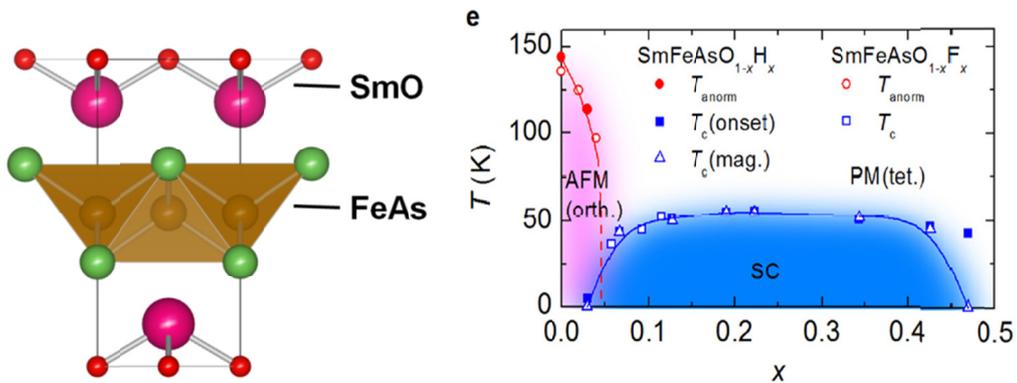
	銅酸化物系	鉄ニクタイト系	マンガニクタイト系
$T_N$	~300 K	~150 K	>300 K
最高 $T_c$	120 K	56 K	?
母物質	モット絶縁体, 反強磁性	金属, 反強磁性	半導体, 反強磁性

## 鉄系超伝導体における水素ドーピングの効果

D2 半那 拓

2008年に本研究室にて発見された鉄系超伝導体 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ を皮切りに数多くの鉄系超伝導物質が急速に研究、発見されてきました。その中でも希土類酸化物層をブロック層、鉄砒素層を伝導層とした1111系と呼ばれる構造を持つ物質 $Rn\text{FeAsO}$ ( $Rn$ =希土類)は酸素サイトをフッ素で置換または、酸素サイトに欠損を意図的に入れることによって電子ドーピングを行い最大で55Kという高い超伝導転移温度 $T_c$ を持つことが知られています。

超伝導研究における醍醐味の一つに高い $T_c$ を目指すという事があります。 $T_c$ が77Kを超えれば液体窒素下での使用が可能となり実用化に向けての大きな一歩を踏み出すことができます。残念ながら現在のところ鉄系超伝導体の $T_c$ は55Kで頭打ちとなっています。一般的に、鉄系及び銅系超伝導体では電子または正孔ドーピング量に対して $T_c$ が上昇し最適値を頂点としてドームを描くことが報告されていますが、鉄系超伝導物質で最も高い $T_c$ を持つ1111系においてはオーバードープ側の挙動が見えておらず、ドーピングが可能な固溶限界も約20%程度で現在の $T_c$ が本当に最適値であるのかを判断することができません。これらの問題を解決するために本研究ではフッ素の代わりに水素をHとしてドーピングする方法を発見しました。そして、水素は1111系化合物に対して先述のフッ素や酸素欠損よりも固溶限界が広く、40%以上のドーピングが可能で有ることが分かってきました。これらの結果から一部の1111物質の $T_c$ が上昇することも明らかになってきています。さらに、水素は加熱することで気化し試料内の水素の含有量を容易に決めることが可能です。これらの水素の特性を生かして鉄系超伝導体におけるドーピング依存性を系統的にまとめ、明確にすることで、なぜ $T_c$ が55Kで止まっているのか、より高い $T_c$ を得るにはどのようなアプローチが必要かを知る手掛かりが得られると考えています。また従来超伝導を示さない類似物質に対しても、もっと高濃度のドーピングが出来れば超伝導を発現する可能性があります。“新しい”、“77Kを超えた”といった魅力的なキーワードを実現することを意識して日々研究を行っています。



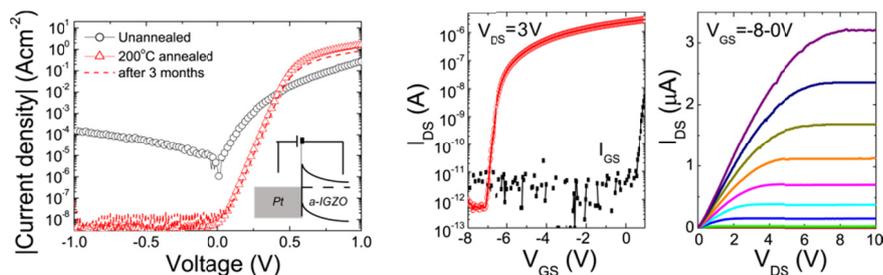
## アモルファス酸化物／金属のショットキー接合

D2 李 棟熙

毎年日本で開かれる「フラットパネルディスプレイ(FPD)の総合技術展」では、世界中の企業からの試作品も展示され、高解像・大画面3Dテレビや透明で曲がるディスプレイなど次世代に向けたディスプレイが見学できます。その次世代ディスプレイの性能は、特にディスプレイに欠かせないスイッチング素子(薄膜トランジスタ、TFT)など個々のデバイス特性に大きく影響を受けますが、2004年当研究室が発見した新しい半導体材料TAOS(透明アモルファス酸化物半導体)を用いたTFTが、従来のアモルファスSiをベースとしたTFTでは実現できない優れた特性を持つことから、ディスプレイ応用を目指して猛烈な研究開発が進められてきました。たった数年間ですでにTAOS TFTを用いたLCDが実用化されようとしてきており、使える新材料発見の威力を実感しています。

TAOSの半導体材料としての歴史は他の半導体に比べまだ浅いため、これからTAOSをベースとしたオプトエレクトロニクス展開のためには、より優れた特性のTAOS材料やまだ実現されていない高性能p型半導体の開発はもちろん、TFT以外のオプトエレクトロニクスデバイス作製とともにそれらの物理的な特性をきちんと調べる必要があります。そこで私はTAOSと金属のショットキー接合によるデバイスに着目しています。簡単な構造を持つショットキー接合は半導体側の電子状態評価に有用であるとともに、別の誘電材料層を必要としないMESFETや太陽電池などの光センサーに応用ができる長所を持ちます。半導体とそれより大きな仕事関数をもつ金属を接触させると、通常は整流性を示すショットキー接合ができます。しかし、酸化物半導体の場合はショットキー特性のバラツキが大きく(作製条件によっては極端な場合オーミック特性を示すこともある)、理想的なショットキー接合を得るのは難しいことが知られています。しかし、Ptを用いて半導体との界面に与えられる悪影響をできるだけ抑えることで、TAOS/Ptの良好なショットキーダイオードを作製することができました。

本研究室の長所としては、研究に集中できる環境はもちろん、先生方や先輩皆さんからのアドバイスや蓄積されたノウハウが多いことと思います。また様々なバックグラウンドを持った人々が集まっているため、互いに刺激し合い学び考えることで研究生活以外にも一層広がった視野を持つことができると思います。



をもちい  
特性

## 層状構造を持つ新規超伝導体 $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$

D1 村場 善行

層状構造を持つ $\text{AeFe}_2\text{As}_2$  ( $\text{Ae} = \text{Ca, Sr, Ba, Eu}$ )は $\text{Ae}$ 原子層と $\text{Fe-As}$ 層が積層した結晶構造を取っています。これらの物質群は $\text{FeAs}$ 層が電気伝導層となっており、構成元素の一部を置換して $\text{FeAs}$ 層にキャリアを注入する事によって超伝導が発現します。例えば、①2価の $\text{Ae}$ サイトを1価の $\text{K}$ で部分置換して間接的に $\text{FeAs}$ 層に正孔を注入、② $\text{Fe}$ を $d$ 電子が1つ多い $\text{Co}$ で部分置換して直接的に $\text{FeAs}$ 層に電子を注入する事で超伝導が誘起され、 $\text{FeAs}$ 層に間接的にキャリアを注入した方が超伝導転移温度が高い傾向があります。しかし、間接的にキャリアを注入した例は、正孔を注入した例 ( $\text{Ae}$ サイトを $\text{K}$ で部分置換)しか無く、電子を注入した報告例は無い為、正孔と電子どちらを間接的に注入した方が高い超伝導転移温度をもたらすのか興味を持たれていました。そこで、 $\text{Ae}$ サイトを3価の $\text{La}$ で置換する事で間接的に電子を注入した物質の合成を試みました。

その結果、2万気圧程度の高圧下で $\text{AeFe}_2\text{As}_2$ に $\text{La}$ を部分置換した物質を合成する事ができ、そのうち $\text{SrFe}_2\text{As}_2$ に $\text{La}$ を部分置換した物質が22Kで超伝導になる事が明らかになりました。正孔を注入した場合( $\text{K}$ 置換:38K)と比較して超伝導転移温度は低くなる事が実験的に分かりましたが、①なぜ正孔を注入した方が、超伝導転移温度が高くなるのか?② $\text{AeFe}_2\text{As}_2$ の中でなぜ $\text{SrFe}_2\text{As}_2$ だけが $\text{La}$ を部分置換すると超伝導を引き起こすのか?③バンド計算では $\text{La}$ で置換すると電子的な不安定があるとされているが、電子構造は実際にどのようなになっているのか?といった疑問が出てきます。

今後はそれらの疑問を解明していこうと思っています。

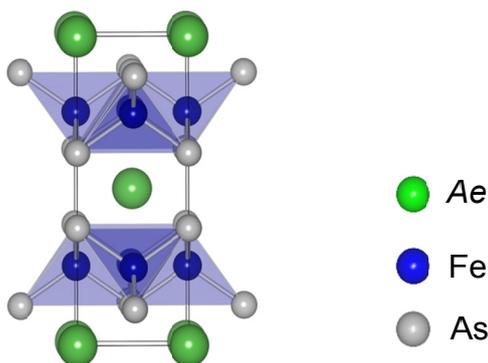


図 1:  $\text{AeFe}_2\text{As}_2$  の結晶構造.  $\text{Ae}$  は ( $\text{Ae} = \text{Ca, Sr, Ba, Eu}$ ).

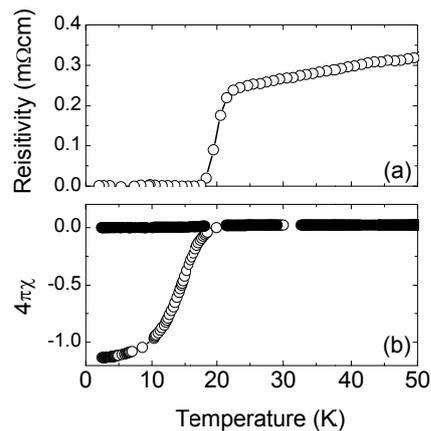


図 2:  $\text{Sr}_{0.6}\text{La}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$  の(a)電気抵抗率 (b)磁化率の温度依存性

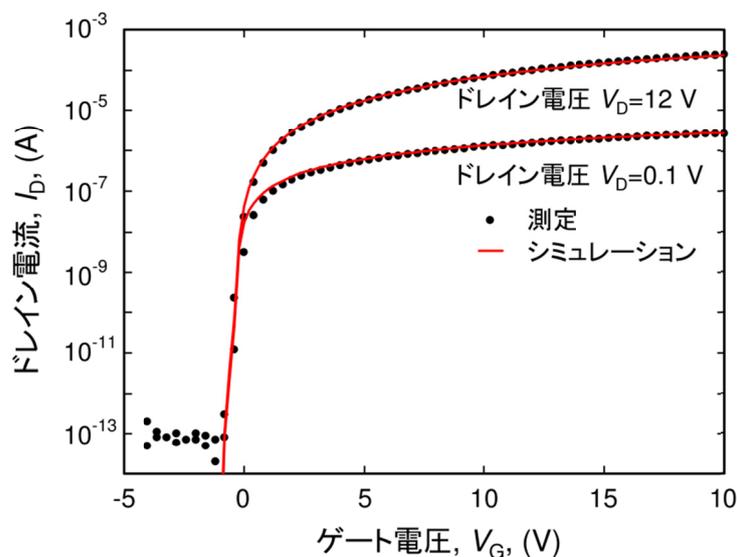
## 透明アモルファス酸化物TFTの動作モデル

D1 安部勝美

本研究室で発見された透明アモルファス酸化物半導体In-Ga-Zn-O (a-IGZO) は、その電子構造に由来する高い電流能力（移動度）から、従来のアモルファスSi (a-Si) に変わる薄膜トランジスタ（Thin-Film-Transistor, TFT）の半導体材料として注目されています。2011年現在、最初の報告（2004年）から数年で、a-IGZO TFTを用いた製品（液晶ディスプレイ）がまもなく市場に出る、という状況になっています。私は、2010年まで、企業においてa-IGZO TFTの研究開発を行っていました。その企業は、a-IGZO TFTの発見後すぐに本研究室と共同研究を始めており、幸運にも、このa-IGZO TFT技術の急速な発展に、初期から携わることができました。

企業での私の研究テーマは、a-IGZO TFTの動作モデルの構築でした。a-IGZO TFTの特性を詳細に検討すると、既存のa-Si TFTのモデルでは説明できない点があることがわかりました。このため、キャリア密度に依存する移動度を用いた動作モデルを構築し、その妥当性をシミュレーションにて検証しました。図は、測定とシミュレーションによるa-IGZO TFTの電気的特性です。本動作モデルを用いたシミュレーションは、測定された特性を再現しており、モデルが妥当であることを示しています。本モデルを用いれば、a-IGZO TFT特性を予測できるので、デバイスの設計・開発が容易になります。

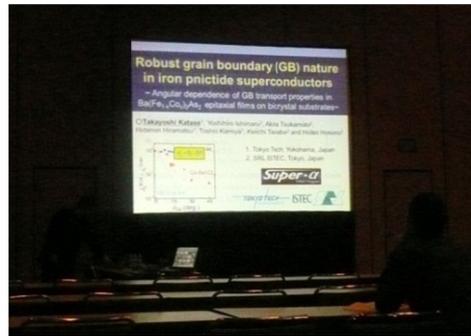
現在は、本研究室の学生として、透明アモルファス酸化物半導体を用いた機能デバイスの研究を行っています。その電子構造に基づく新たな特長を持った機能デバイスを獲得することが目標です。



## 海外渡航記

### D3 片瀬貴義

2011年4月25日から、アメリカのサンフランシスコで開催された Material Research Society (MRS) Spring meeting に参加しました。私は超伝導のセッションで、“Robust grain boundary nature in iron pnictide superconductors”というタイトルで招待講演を行いました。超伝導の分野は特に競争が激しく、ライバルも多い中で、招待講演をさせて頂けたのは、名誉なことだと思っています。学会後、アメリカニューメキシコ州のロスアラモス国立研究所 (LANL) に招待していただき、私が行ってきた研究に関してセミナーも行ってきました。セミナーに参加して頂いた LANL の職員・ポスドクの方たちから有意義な質問、アドバイス等も頂けてよい経験になりました。その後、これまでのそして今後の共同研究について夕方まで議論を行いました。LANL では、多種多様な研究所と豊富な研究設備があり、とても良い環境でした (周りは広大な自然に恵まれ、穏やかな気分になれる場所です)。今回このような機会をアレンジしてくれた Boris Maiorov 氏には感謝しています。



### D3 李 敬美

2010年9月6日から10日まで、スペインのバレンシアで開催された国際学会 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (EU-PVSEC) and 5<sup>th</sup> World Conference on Photovoltaic Energy Conversion に参加しました。

EU-PVSEC は 10 以上のセッションからなり、シリコン・CIGS を中心に、ワイドギャップの太陽電池から有機物太陽電池まで研究発表と Exhibition が行われるという大きな学会でした。私は“Photovoltaic properties of n-type a-In-Ga-Zn-O / p-type c-Si heterojunction solar cells”という題名でポスター発表を行いました。発表以外の時間は、他のポスター発表や講演などを聞いて大変勉強になりました。また、このような大きな国際学会に参加することで、自分の研究分野に限定されず、幅広い最新の研究動向や産業界におけるニーズなどをよく知る事が出来ました。今後は、この経験を自分の研究に活かすと共に次の学会では口頭発表で行きたいと思っています。

