

## 独自に電子顕微鏡を開発 微少領域の構造・物性を追求

これまでの物性物理分野では、高品質でマクロサイズの結晶性試料を作製し、それを、特徴ある各種の実験装置(NMR、SOR、中性子、レーザー、PES、…)で解析するのが一般的でした。今、社会がにわかには省資源・省エネルギー化を加速しようとしています。このためには、従来よりも、コンパクトで高機能なデバイスや新機能物質の開発が必要不可欠となります。

新機能物質開発においては大きな単結晶が得られないことがしばしばあります。とりわけ半導体や新素材開発にかかわる企業研究者の間では、電子顕微鏡を用いた結晶性評価と組成分析は欠かせない解析手法となっています。現在は、さらに進んで、顕微法と一体化した微少領域での精密な結晶構造と物性の解析手法の確立が望まれています。

寺内研究室では、新規材料開発において重要な、顕微鏡法を基盤とした微少領域の精密構造解析や物性解析技術の開発と応用を目指しています。これまでに、世界初の精密構造解析用分光型電子顕微鏡および解析ソフトウェア、汎用型高分解能EELS電子顕微鏡、世界初の価電子状態分析電子顕微鏡、などの新しい構造・物性解析装置の開発と物性物理学分野(機能性ナノ粒子、強誘電相転移物質、強相関電子系物質、高次元結晶、フラレン、ナノチューブなどの構造・物性研究)への適用をスタッフ、学生と一緒にを行い、物性の解明と同時に手法の有用性の実証を行ってきました。

寺内研究室が目指すところは「ナノスケールでの構造・電子状態解析システムの構築」の実現です。

多元物質科学研究所  
附属先端計測開発センター  
電子回折・分光計測研究分野 教授

# 寺内 正己

TERAUCHI, Masami

1960年、埼玉県生まれ。東北大学大学院理学研究科 博士後期課程修了。理学博士。東北大学 科学計測研究所 助手、東北大学 科学計測研究所 講師、東北大学 科学計測研究所 助教授、東北大学 多元物質科学研究所 助教授(改組)、2002年より現職

<http://www.tagen.tohoku.ac.jp/modules/laboratory/index.php?laboid=14>

## FOREFRONT REVIEW

寺内研究室では、従来の電子顕微鏡法を基盤とし、微少領域の精密構造解析や物性解析手法の開発と物性物理学への応用を行っています。さらには、その汎用化により、技術の社会への還元とグリーンサイエンスへの貢献を目指しています。

# 見えないものを見えるように 電子顕微鏡の様々な手法を開拓

## 電子顕微鏡を使って何ができるか？ 微細なものの解析する技術開発

「大学4年生の時に電子顕微鏡が好きになりました。学生時代に撮った原子配列の電子顕微鏡写真が今でもオックスフォード出版社の教科書に載っています」と熱く電子顕微鏡への想いを語る寺内教授。

電子顕微鏡とは、光学顕微鏡では見えない微細な物質の像を見えるようにする機器ですが、現在の高分解能の電子顕

微鏡を用いれば、原子レベルの大きさのものを見ることができます。

直接そのものを見るというよりは、物質に電子をあて、そこから出てくる様々な信号を取り出し、そのデータを解析することにより原子だけでなく物質の性質も見えるようになります。

「微細な構造が見えてくると、では電子状態はどうなっているんだろう、原子のはどうなっているんだろう？ とどんどん探求心はかき立てられていきます。終わりがな

いですね。」

## 顕微法と一体化した 微少領域での物性解析手法の確立

「我々はナノスケール構造・電子状態解析システムの構築を目指しています。半導体や新素材開発にかかわる企業研究者の間では、電子顕微鏡を用いた結晶性評価と組成分析は欠かせない解析手法となっています。現在は、いかに顕微法と一体化させた形で微少領域での物性解析手法を確立するか、がポイントになっています。」

電子線を照射することで得られる物質の構造・電子状態情報にはどのようなものがあるのでしょうか？

「色々ありますが、我々の研究グループで対象としているのは、入射電子が試料を構成する原子と衝突し進行方向を変える(散乱)とき、そのエネルギーを失わずに散乱される『弾性散乱電子』、電子や結晶格子と相互作用をしてそのエネルギーを一部失って散乱される『非弾性散乱電子』、波長が比較的長い電子が照射された領域だけから放出される『軟X線』などがあります。」

この3つはそれぞれに解析する手法が異なってきて、さらにそこから得られる情報も違います。ですから、スタッフ3人がそれぞれ担当を決め、独自に開発応用に



電子顕微鏡とは、光学顕微鏡では見えない微細な物質の像を見えるようにする機器。直接そのものを見るというよりは、物質に電子をあて、そこから出てくる様々な信号を取り出し、そのデータを解析することによりそれまで見えなかったものを見えるようになります。

取り組んでいます。

「弾性散乱電子」は電子回折法により、結晶構造、価電子分布の情報が得られます。「非弾性散乱電子」は電子エネルギー損失分光法により、電子励起、伝導帯状態密度の情報。「軟X線発光」は軟X線発光分光法により価電子帯(結合電子)のエネルギー・状態密度分布の情報が分かります。

「非弾性散乱電子は電子エネルギー損失分光法で解析します。電子が薄片試料を透過する際に原子との相互作用により失うエネルギーを測定することによって、物質の構成元素や電子構造を分析する手法です。高輝度なシンクロトロン放射光を励起線として用いた軟X線発光分光法からは元素および電子軌道を選択した詳細な電子構造情報を得ることができます。」

## 見たいものを見えるようにする そのために独自の電子顕微鏡を手作りで

「今まで誰も見たいことがないものを見えるようにする。そのために今までにはなかった発想の電子顕微鏡を自分たちの手で作りだすことが必要です。」

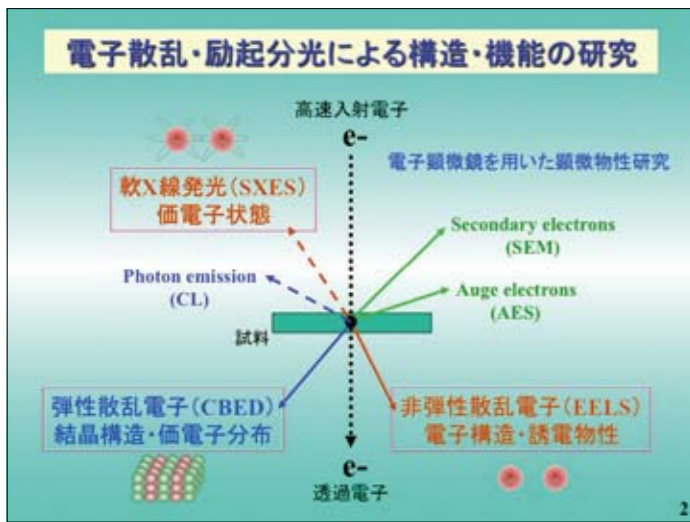
現在、研究室では独自の手法により様々な特色ある計測機器を開発しています。

- トンネル電流電子源、収差補正、sub-Åプローブにより構造研究、吸収分光により光学特性、伝導帯研究、発光分光により価電子帯研究が行える「総合分析電子顕微鏡」
  - リチウム分析を実現する「発光分光電子顕微鏡」
  - ナノプローブで近赤外分光を実現する「高分解能EELS電子顕微鏡」
  - 計算システムと一体で定量解析を実現する「結晶ポテンシャル解析用分光顕微鏡」
- などの独自の機器を開発しています。

「今、社会は省資源・省エネルギー化に向かっていています。これを実現するためには、従来よりもコンパクトで高機能なデバイスや新機能物質の開発が必要不可欠となります。現在、新規機能材料解析用として非常にコンパクトな『形態観察-分光電子顕微鏡』を鋭意開発中です。」



今まで誰も見たいことがないものを見えるようにする。そのために今までにはなかった発想の電子顕微鏡を自分たちの手で作りだしています。汎用型高分解能EELS電子顕微鏡、世界初の価電子状態分析電子顕微鏡、などの新しい構造・物性解析装置の開発を行っています。



電子線を照射することで得られる物質の構造・電子状態情報には「弾性散乱電子」「非弾性散乱電子」「軟X線発光」の3つがあります。この3つはそれぞれに解析する手法が異なってきて、さらにそこから得られる情報も違います。

## 妻の影響で、蘭を育てています

研究室で蘭を育てています。とても優雅な気分になっていいですね。それ以外に家を建てた時に知り合いからいただいたポトス(観葉植物)を、家には置けないくらい成長したので、研究室に持ってきて育てています。

小さい頃から草花はスキだったのかも知れませんが。地元の祭りの時とかに花を買って帰った記憶があります。そして、普通に庭に水仙や他の花があった環境で育ったのですが、学生の頃はあまり意識しなかったですね。それが最近「やっぱり花はいいな」と思うようになってきました。

ポトスは、3年に1回、挿し木をして増やしています。これからも大切に育てていきたいと思っています。



## MY FAVORITE

# 最先端の顕微物性研究から モノづくりの基盤技術の確立へ

## 独自の電子顕微鏡開発から 様々な具現化した研究成果

研究室では電子顕微鏡に関わる様々なブレイクスルーを実現してきました。例えば、電子エネルギー損失分光法 (EELS) によるエネルギー分解能の向上。これは、電子顕微鏡用に「モノクロメータ」を搭載



研究室では電子顕微鏡に関わる様々なブレイクスルーを実現。さらに、電子顕微鏡そのものだけでなく、解析ソフトの開発も行っています。

することにより、電子ビームを単色化させ、分解能を高めるという方向性で実現したものです。最高で12meVのエネルギー分解能を記録しています。

そして、実現した超高分解能EELS電子顕微鏡を用い、単結晶の電子状態や、キャリアドープに伴う電子状態変化を解明にも成功しています。

「物質が安定して存在しているかどうかは価電子(結合電子)の状態によります。この価電子の状態を解明するための電子顕微鏡用の軟X線発光分光装置の開発に世界で初めて成功しています。」現在は、ユビキタス元素からなるクラスター物質群の物性解明に取り組み、より汎用性の高い装置の開発を目指しています。

電子顕微鏡そのものだけでなく、解析ソフトの開発も行っています。結晶構造解析用エネルギーフィルター電子顕微鏡

で利用できる動力的回折理論に基づく解析ソフトウェアの開発にも手がけています。

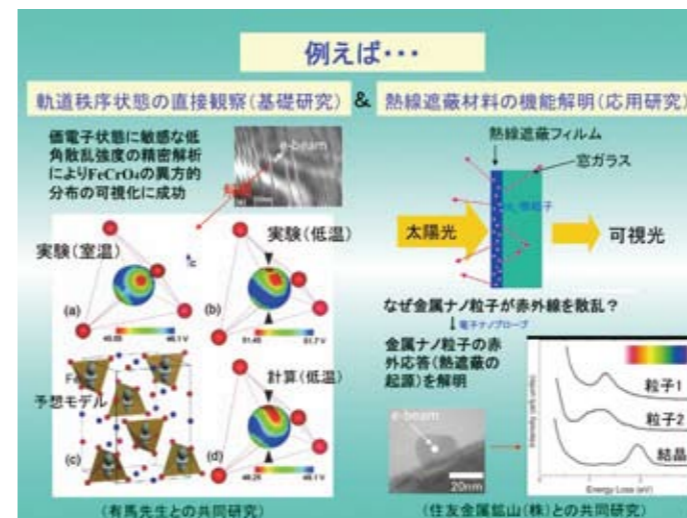
「この解析ソフトにより、ナノスケール領域から得た電子回折データだけからの結晶構造・電子密度分布解析を世界で初めて実現しました。開発したソフトは、海外などの研究者に使用され始めています。」

## 顕微物性技術を産業化まで 広がる企業との共同研究

「フロントガラスに青色がかった車を見たことはありませんか?これは、ガラスに小さな金属ナノ粒子をちりばめたフィルムをはっているのです。これにより、熱線が遮蔽されるわけですが、この仕組みの解明を企業との共同研究で行いました。」

主に赤外線を反射する熱線反射板フィルム。なぜ金属ナノ粒子が赤外線を散乱するのでしょうか?

「太陽光熱線遮蔽フィルターに用いられているLaBeナノ微粒子の光学特性を明らかにするためには、これまで測定が困難だった金属ナノ粒子の一つ一つに対して近赤外領域(NIR)の測定を行う必要があります。これに対して微粒子一つ一つから電子エネルギー損失分光(EELS)測定を行ったことにより、赤外光吸収ピークが表面プラズモンに対応していることが明らかになりました。」



企業との共同研究も盛んに行われています。例えば、「なぜ金属ナノ粒子が赤外線を散乱するのか?」という企業が考える商品の特性を実際にナノレベルで測定してあげることにより、その理論が解明を行い、新たな商品開発に活かしていきます。

かなり、熱線の遮蔽の仕組みの解明に大きな前進を遂げることができました。」

企業が考える商品の特性、それを実際にナノレベルで測定してあげることにより、その理論が解明されるわけです。そしてまた、新たな商品づくりや産業化が生まれるというスパイラルがあります。「この基盤となる解析を行うための装置が日本に1台しかないために、我が研究室と共同研究をしようという声かけがあるわけです。」

## 見えないものを 不屈の精神で見えるようにする

「あるものが見えてくると、また次のものを見たくなる。電子顕微鏡の高性能化は際限がありませんね。理論上見えるはずという想定をして設計するのですが、なぜか見えない。でもちよっとしたことを改善すると見えるようになる。これらの1個1個の現象を積み重ね、理論として確立していくのです。現在、トライ&エラーで新しい理想の電子顕微鏡を目指しています。」

あるものが見えてくると、また次のものを見たくなる。今も新しい顕微鏡を作りながら、次はこうしたいと思って目の前のことをやっているといえます。トライ&エラーで新しい理想の電子顕微鏡を設計しています。



## TERM INFORMATION

### モノクロメータ

物質の性質を詳細に調べる時は、速さの揃った電子を使う必要があります。しかし、通常の電子顕微鏡で使用する電子の速さの揃い方が十分でなくばらついているため、速さの揃った電子ビームを作り出すための装置です。

### キャリアドープ

電気を流さない物質に、不純物を少し混ぜて電気を運ぶ粒子(これをキャリアと言います)を生じさせ、電気の流れる量をコントロールした物質開発が行われています。このやり方を、キャリアをドープすると言います。

### ユビキタス元素

ユビキタスとは「ありふれた」という意味の造語です。ユビキタス元素(原子)はありふれた元素(酸素、ケイ素、アルミニウム、...)を指し、この元素を使った(原材料が入手しやすく安い)新しい材料開発研究が盛んに行われています。

### クラスター物質群

物質は原子の集合体ですが、個々の原子が集まったというよりも、強く結合した少数の原子からなる集団(クラスター)が基本単位となっていると考えた方が物質の原子配置や性質を理解しやすい場合があります。そのような物質の総称です。

### 熱線反射板ガラス

近赤外線という光は、人の目では見えませんが、物質の温度を上げる性質があり熱線と言われます。この熱線を反射するような特殊加工したガラス板を窓に使うと、夏でも室内の温度が上がりにくく、電気の節約ができます。

### 表面プラズモン

物質を構成する原子は、+電気の原子核と-電気の電子から成り、+と-は互いに引き合います。この引力が原因となり、+と-の集団に特有な振動が発生します。これをプラズモンと呼び、物質の表面だけで生じるものを表面プラズモンと呼びます。これを利用して熱線遮蔽ガラスが作られています。

## プラモデルを作るのが好きで、今ガンプラにはまっています

小さいころからプラモデルを作ることが好きでした。ただ、最近は塗装とかシンナーが使えないので、ちょっと困ってました。

そんな時、「ガンプラ(ガンダムのプラモデル)」を知ってこれはいいな、と思いましたが。ガンプラだと、最初から色がついて塗装もいらぬし、接着剤をいわずに組み立てられるのでとても便利です。どんどんガンプラが増えてしまっていて困っていますが...

あと気合いを入れてつくった宇宙戦艦大和や、F1の車が3台、そして、ワンピースの「ゴーイングメリー号」のフィギュア。これらもとても気に入っていて、家に完成品を飾っています。

