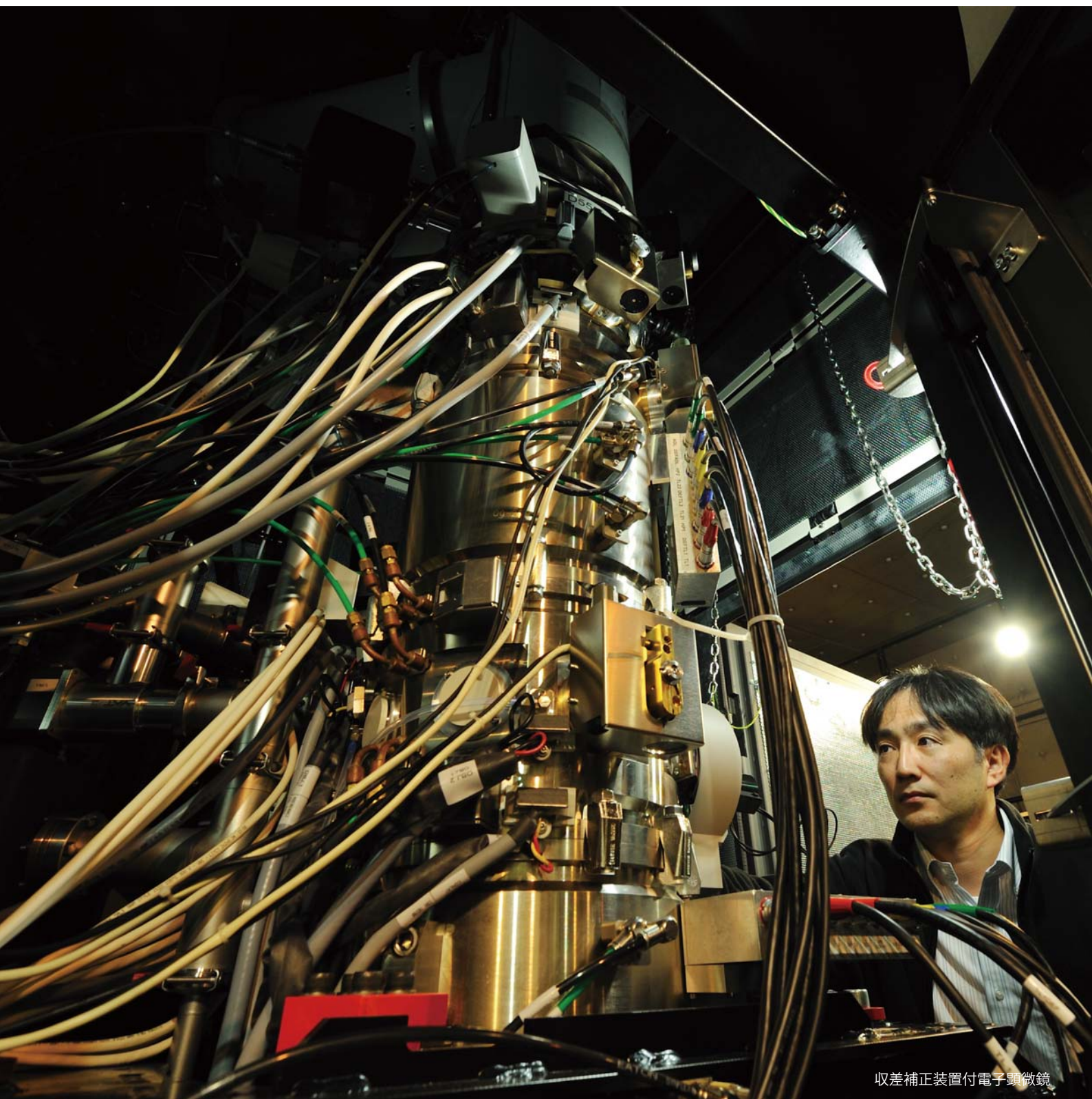


NIMS NOW

2011年 1-2月合併号

研究を加速させる
ナノ・先端計測





新年あけましておめでとう

理事長
潮田資勝



昨年末には、中国政府による突然なレアメタル輸出制限によって、我が国の先端技術産業におけるレアメタルの重要性が急遽一般国民にまで認識されることになりました。NIMSでは以前から希少元素の重要性を認識して、その供給と活用に関する研究を進めていました。これは元素戦略と呼ばれる研究です。今年からはいっそう強力にレアメタル代替材料の開発とリサイクル技術の開発を加速します。このような我が国の産業に危機をもたらす状況に迅速かつ効率的に対応する技術開発を行うことは国の研究機関としてのNIMSの重要な使命だと考えています。

一国の科学技術のレベルは出口指向の研究だけに頼って維持も発展もできません。出口が何かかわからない好奇心によって追求される純粋な科学研究も常に進めておく必要があります。NIMSでは国策の遂行を目的とする研究だけでなく、いわゆる“curiosity driven research”にも十分な努力を傾ける所存です。

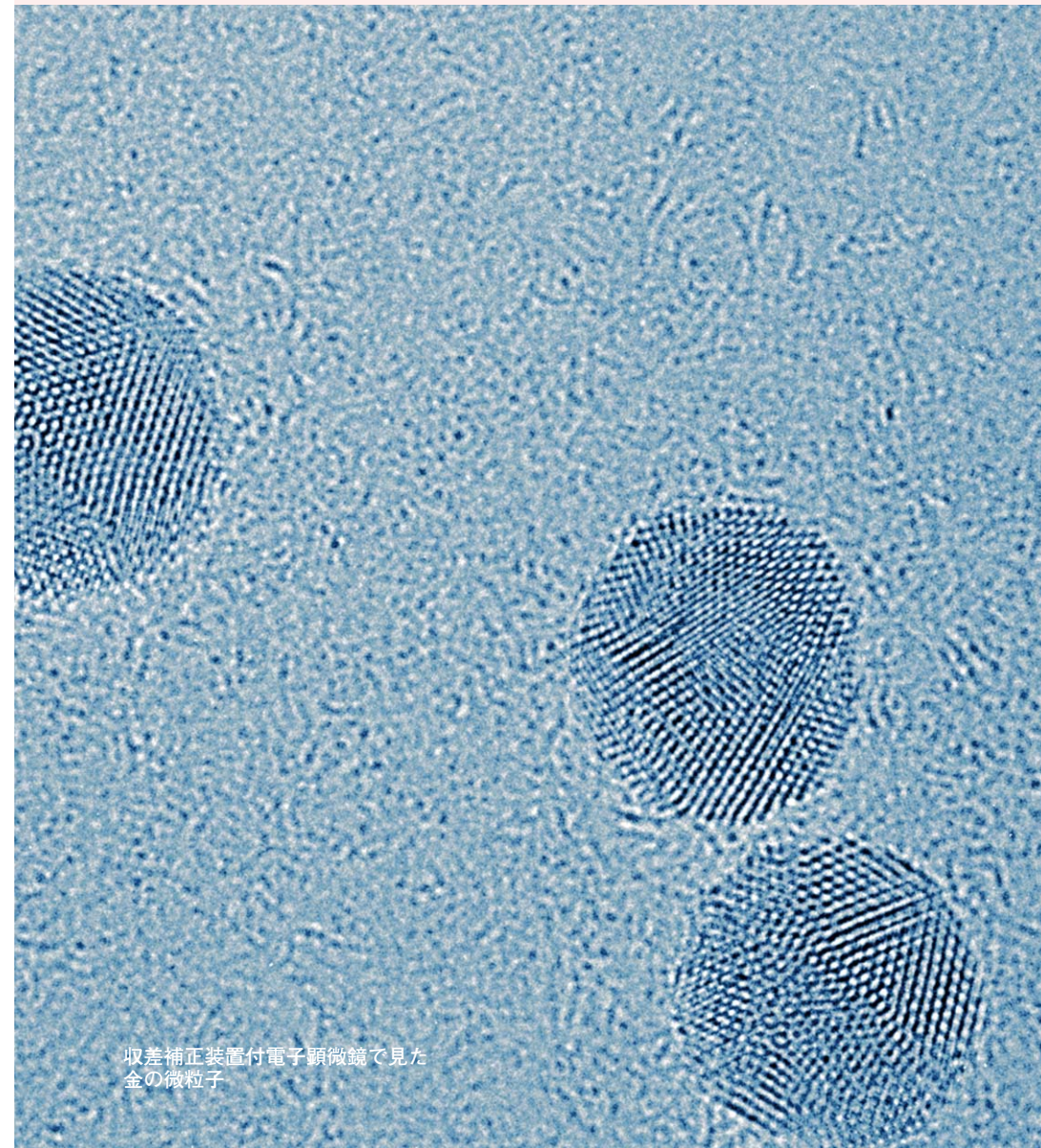
我々は社会のニーズに柔軟かつ機動的に対応できる研究体制を確立したいと考えています。そのためにはスタッフ全員がいつでも必要な方向に自身の専門知識と技術を対応させうる適応能力を持つことが必要です。柔軟な思考でinteractiveな人材の育成、機動的な人材と資源の投入、本年はこのような点を強調して機構を運営したいと考えております。

本年も変わらぬご指導、ご支援をお願いし、皆さまの一層のご発展をお祈り申し上げて新年のご挨拶とさせていただきます。

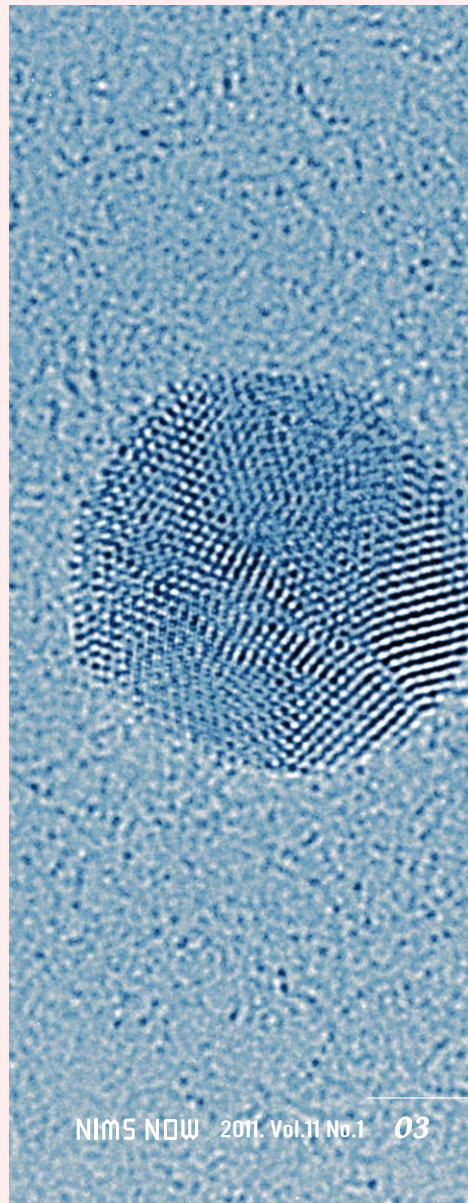
独立行政法人 物質・材料研究機構 理事長
潮田資勝

研究を加速させる ナノ・先端計測

NIMSには、さまざまな先端計測装置がある。それらは研究者自らが独自に開発したのも多い。なぜか。最先端の技術を用いて、今まで見なかったものを見、今まで計測できなかったものを計測する。それにより、研究者は現在の地点を知り、次の未知へと踏み出していく。ナノ物質・材料研究を今よりも先へと運ぶ推進力となるのが、NIMSのナノ・先端計測技術とその研究者たちだ。



収差補正装置付電子顕微鏡で見た金の微粒子



ナノ・先端計測技術による材料イノベーション

ナノ計測センター長
藤田 大介

重要性を増す計測技術

資源やエネルギーを海外に依存する我が国の戦略は、高度な科学技術によるイノベーション立国です。我が国の科学技術戦略において、True Nano*や革新的材料技術によるイノベーションの創出を加速し、国際競争の優位を確保する推進基盤の具体的な課題の一つとして「ナノ領域最先端計測・加工技術」が選定されています。一方、海外においても計測技術の重要性に関する認識は高まっています。例えば米国では、計測により得られる知識が技術の継続的な進歩、イノベーション、さらに自国の経済的安全保障にとってキーであると宣言し、イノベーションにおける計測の果たす役割の重要性を指摘しています。

材料ニーズに応えるナノ・先端計測へ

材料の多様なニーズに応えるナノ計測技術がイノベーション加速にとって不可欠であり、世界最高水準のナノ・先端計測技術を先導することがNIMSに強く求められています。わたしたちが指向すべきは、物質

や材料がどのような元素により構成され、どのような形状や原子構造を有し、どのような性質や機能を有しているかを明らかにするためのナノ・先端計測です。

今日の材料科学はナノスケールでの計測と理論計算モデリングに基づいた学問体系へと進化しつつあります。そのため、原子レベル～ナノスケールの空間分解能を有するイメージング計測や単原子レベルの結合状態／電子状態を識別する高度な分光計測が求められています。

また、材料の創製や機能は環境場との様々な相互作用に由来しています。それゆえ、創製や機能に関する環境場における計測が重要となります。このような計測は「本来の場所で」という意味のラテン語から *in situ* 計測と呼ばれます。材料にとって「本来の活かしている環境」を実現しながらナノレベルの計測をおこない、材料の機能や創製のメカニズムを解析することが目標です。

ナノ・先端計測の推進

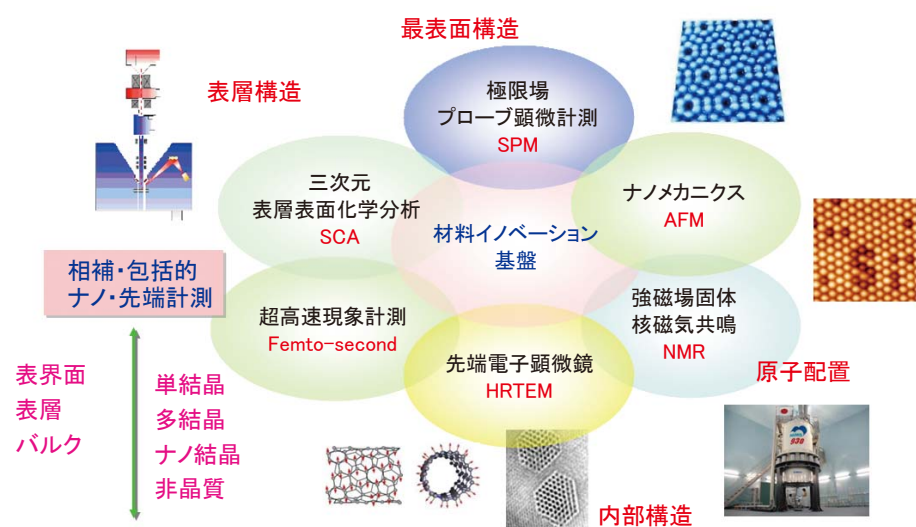
NIMSナノ計測センター(2006年度よ

り発足)のミッションは、新規の物質や先進的な材料の基礎・基盤研究に資するナノ・先端計測技術を開発し、先進材料に応用することにより材料イノベーションに寄与することです。非晶質～単結晶、表面・表層から固体界面に至るまでの包括的な先端計測技術を開発し、ナノスケールでの物質・材料研究に役立つ手法やデータの提供を目指しています。

NIMSのコアコンピタンス技術を基盤として、ナノ創製と機能探索のための極限場走査型プローブ顕微鏡、超高分解能かつ高感度の透過型電子顕微鏡、強磁場を利用した高分解能の固体核磁気共鳴法、フェムト秒の超高速時間分解計測技術、広域かつ表層の3次元ナノ解析技術などの先端的なナノ計測を推進しています。

ふじた だいすけ 博士(工学)。東京大学大学院工学系研究科金属工学専攻修士課程修了。東京大学生産技術研究所助手、金属材料技術研究所研究員を経て、NIMSナノテクノロジー基盤領域コーディネーターに就任。

図 表面・表層・固体内部にいたる世界最高水準のナノ・先端計測基盤技術の開発



* True Nano:単に観察をするだけでなく、ナノの特性を活かし、新しい産業分野を興したり、従来の延長線上にない研究開発をおこなうこと。

先端電子顕微鏡手法の開発と材料評価への応用

ナノ計測センター
先端電子顕微鏡グループ
グループリーダー

木本 浩司

電子顕微鏡による材料評価の重要性

最先端材料の特異な物性や優れた特性は、材料の微小領域の結晶構造や添加元素などにより大きく変化します。材料のミクロな部分が、マクロな特性を決めていると言えます。そのため、微小領域を観察できる透過電子顕微鏡 (transmission electron microscopy; TEM) は、材料開発に必要不可欠なツールとなっています。

先端電子顕微鏡グループでは、電子顕微鏡計測手法の開発・改良と、各種材料への応用という観点から研究をすすめています。電子顕微鏡は今から80年ほど前に発明されたものですが、現在も新しい技術開発がおこなわれています。特にこの10年はさまざまな新技術により、原子レベルの観察や分析が可能になってきました。現在も、新しい計測手法の開発・改良が国内外ですすめられています。

最近の研究成果

当グループで最近得られた研究例の

ごく一部を紹介すると、(a) 試料走査型共焦点電子顕微鏡の開発^{1,2)} (図1)、(b) 走査透過電子顕微鏡 (Scanning Transmission Electron Microscopy; STEM) による原子コラム/ドープの可視化^{3,4)} (図2)、(c) マイクロカロリメーターによるTEM用高エネルギー分解能X線検出器の開発⁵⁾ (図3)、などがあげられます。

共焦点電子顕微鏡は3次元観察を目指したものの、STEMは高感度・高精度化を目指したものの、マイクロカロリメーターは元素識別能の向上をはかったものです。

ローレンツ顕微鏡法による磁区構造の観察などもおこなっています。3次元観察は小さな粒子が多数分散した触媒材料へ適用できますし、高分解能高感度計測は半導体素子や金属材料の評価へ、磁区の観察はスピントロニクスデバイスの評価へと応用できます。詳細は、それぞれの研究者による論文やホームページをご参照下さい。

今後の研究

今後は環境・エネルギー材料の開発の重要性が増すことに対応し、これまでグループで開発した手法をそれらの材料評価へと展開していくとともに、計測対象に対応した手法の改良もあわせてすすめていきます。

さらに計測技術の最先端を目指し、単原子が分析可能な電子顕微鏡法の研究にも着手しました。焦点ボケを生む収差を補正して原子の大きさまで電子を収束する装置や、エネルギーのそろった電子だけを選別して使って電子顕微鏡で観察するためのモノクロメーターなど、世界最先端の装置を用いた研究もはじめています。

きもと こうじ 名古屋大学大学院工学研究科応用物理学専攻修士課程修了。博士(理学)・東北大学。(株)日立製作所日立研究所研究員を経て、1999年無機材質研究所入所、2010年より現職。九州大学大学院工学府連携教授。

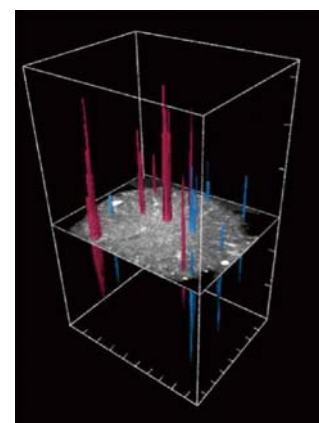


図1 試料走査型共焦点電子顕微鏡によるPt分散カーボンナノホーン集合体の観察例

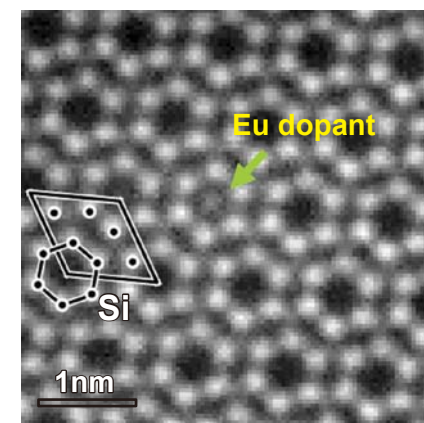


図2 β -SiAlON中のEuドープメントの観察例

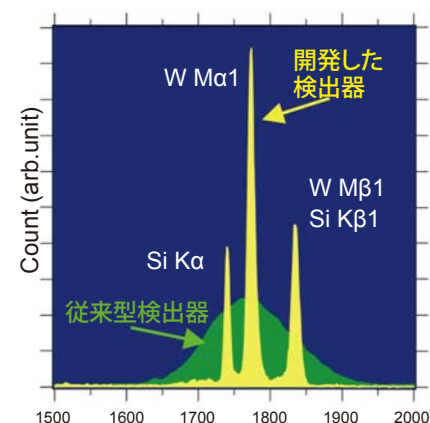


図3 マイクロカロリメーターによる計測結果

参考文献

- 1) A. Hashimoto(橋本綾子), et al. J. Appl. Phys. 106 (2009) 0861011.
- 2) M. Takeguchi(竹口雅樹), et al., J. Electron Microsc. 57 (2008) 123.
- 3) K. Kimoto(木本浩司), et al., Nature 450 (2007) 702.
- 4) K. Kimoto, et al., Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 041908.
- 5) T. Hara(原徹) et al., J. Electron Microsc. 59(2010) 17. <http://www.nims.go.jp/AEMG/index-j.html> http://www.nims.go.jp/hvemv/AEMG_sakura/

物質・材料研究のための ナノプローブ顕微計測

ナノ計測センター長
先端プローブ顕微鏡グループ
グループリーダー

藤田 大介

SPMを用いたナノプローブ技術の特徴

高度情報化サステイナブル社会を牽引する革新的材料、例えば、ナノエレクトロニクスや太陽電池などに用いられる材料は、歪効果や量子効果などの極微サイズに起因した材料機能を利用する可能性が高く、そのためのナノスケール解析法が望まれています。

走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は、ナノスケールの尖端を有する探針を走査することにより表面の構造、物性、機能を分析するナノプローブ顕微計測であり、最表面に敏感です。SPMを用いたナノプローブ技術の特徴は、計測手法でありながら、ナノスケールでの創製加工機能を持っていることです。SPMは表面構造を原子分解能で計測する手法であると同時に、ナノスケールで表界面を加工 (リソグラフィー)・創製 (ドット成長)・操作 (原子マニピュレーション) する手法としても用いることができます。

新たに求められる

環境制御ナノプローブ技術

従来、ナノ計測は装置固有の“計測環

境”でおこなわれました。一方、環境・エネルギー材料は多様な環境場で機能を発現させる材料であり、例えば、太陽光発電や光触媒材料の研究者からは、制御された照射場における構造と機能発現メカニズムの解明に資する計測が求められます。

このように、ナノスケールで材料を開発する立場からは、①創製と計測の融合、②機能が発現する環境での計測が求められています。さらに、表界面の構造・形状のみならず物性や機能を明らかにすることが求められており、③計測機能の多元化が要請されています。“計測機能の多元化”とは、材料の機能や物性を特徴付ける複数の情報を同一対象から計測することです。

このような要請を実現するナノ計測として“制御された場における表面多機能ナノプローブ技術 (環境制御ナノプローブ技術)”の開発を推進しています。環境制御ナノプローブ技術では、創製や使用に近い環境もしくは機能や物性が発現する場を計測空間に実現し、これにより材料の機能発現や創製メカニズムの解明に資することを目指しています (図1)。

ナノプローブ計測技術の

標準化を牽引する

ナノマテリアルが社会受容されるためには、ナノ製品の安全性を検証することが不可欠です。そのためにはナノマテリアル計測が定量的におこなわれることが必須であり、計測結果を相互比較できることが必要です。ナノプローブ計測においても、国際的な合意に基づく標準化の確立が望まれる所以です。

ナノプローブ計測の定量性を高め、信頼性のある計測法とするためにはプレ標準化研究が欠かせません。国際的なスキームに則った中長期的な取組が必要であり、私たちはナノプローブ計測技術の標準化を先導する役割も担っています。

プロフィールはp4に掲載。

角度分解反射電子スペクトル 因子分析法を用いて、 光学的エネルギー損失関数を計測する

ナノ計測センター
先端表面化学分析グループ

吉川 英樹

ナノ計測センター
先端表面化学分析グループ

Hua Jin

分析支援ステーション

岩井 秀夫

ナノ計測センター
先端表面化学分析グループ

グループリーダー
分析支援ステーション

ステーション長
田沼 繁夫

物質の誘電応答ライブラリーを求める

物質の誘電応答に関する情報は、電子分光法における電子の非弾性平均自由行程や非弾性散乱バックグラウンドの定量的な解析に不可欠であると同時に、電子輸送シミュレータの基本的な物理量です。通常、エネルギー損失関数 (または誘電関数) は光学的な方法で測定されます。

しかし光学的測定では、10-100eVといったエネルギーの低い真空紫外領域から長波長軟X線領域で波長が可変な光源が必要のために放射光設備が必要となります。

そのため、測定されている物質の数は単純な元素固体以外では非常に少なく、大部分の物質では、価電子帯の電子励起が関与する難しいエネルギー領域 (10-50eVの範囲) のデータはほとんど欠けています。

そこで、放射光等の大型設備を必要とせず、種々の物質についてのエネルギー損失関数 (ELF) および光学定数を簡便に求めるために、反射電子エネルギースペクトルから求める手法をわたしたちは開発しました。この方法は、反射電子エネルギー損失スペクトルの角度分解計測を、当所で

開発した傾斜ホルダー試料回転法により精密におこない、因子分析法により、光学的エネルギー損失関数を決定するものです。さらに、得られたエネルギー損失関数から光学定数を求めることも出来ます。この方法をSi, SiO₂試料に適用し、その有用性を実証しました。(図1参照)

化合物半導体への実証とこれからの応用

窒化ガリウム (GaN) をはじめとするさまざまな化合物半導体は、その重要性にも関わらず10-50eVの光学定数やエネルギー損失関数のデータがありません。そこで、わたしたちはこの開発した手法を使い、ガリウム砒素 (GaAs) 試料の測定をおこないました。その結果を図2に示します。

まず試料表面の清浄化のため、脱酸素水-酸化層除去およびイオンスパッタリングの2つの方法で清浄化処理したGaAsを用いました。そのGaAs試料を、3000、4000、4500eVの電子線入射角を一定に保ったまま、試料傾斜ホルダーの回転により電子の脱出角度を15度から75度まで変化させ角度分解エネルギー損失スペクトルを計測しました。

試料測定の結果、清浄化処理が異なる

試料は、それぞれELFが良く一致し、最表面層とその直下の表層部のELFデータを分離することが可能であることがわかりました。さらに、このELFはわたしたちが別途おこなった第一原理計算にもよく一致しました。

この実証例から、この開発した方法は、試料前処理も簡便で、広範囲の材料評価に適用可能なことがわかります。

今後は表面分析に必要な光学定数のデータが存在しないIII-V, II-VI族半導体を中心として誘電関数の整備をおこない、実験および理論計算の両面からデータベースを作成・公開したいと考えています。

よしかわ ひでき 博士 (工学)。1992年大阪大学大学院工学研究科後期課程修了、1992-1993年日本学術振興会 特別研究員、1993-1995年NEC基礎研究所、1995-2001年無機材質研究所、2001年NIMSに改組、現在に至る。

Hua Jin 博士 (Ph.D.)。2006年Chungbuk National University (韓国) Ph. D.取得、2007-2008年、Harbin Institute of Technology (中国) 講師、2008-2010年NIMSナノ計測センターポスドク研究員。

いらい ひでお 博士 (理学)。1999年立命館大学大学院理学研究科後期課程修了、1982-2007年アルバック・ファイ (株)、2007年NIMS特別研究員。2009年分析支援ステーション、現在に至る。

たぬま しげお 博士 (理学)。1982年筑波大学大学院修了、1982年日本鉱業 (株)、1985-1987年NBS (現NIST) 客員研究員、2001年NIMS、現在、共用基盤部門長、(併) ナノ計測センター・先端表面分析化学グループリーダー。

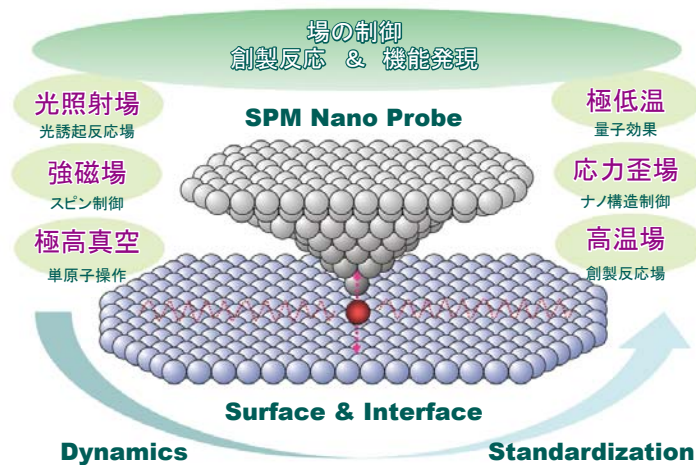


図1 ナノテクノロジー活用マテリアル研究の基盤=「制御環境場における表面ナノプローブ計測」。材料の創製環境、機能発現環境における高分解能・多機能ナノ解析を目指す。

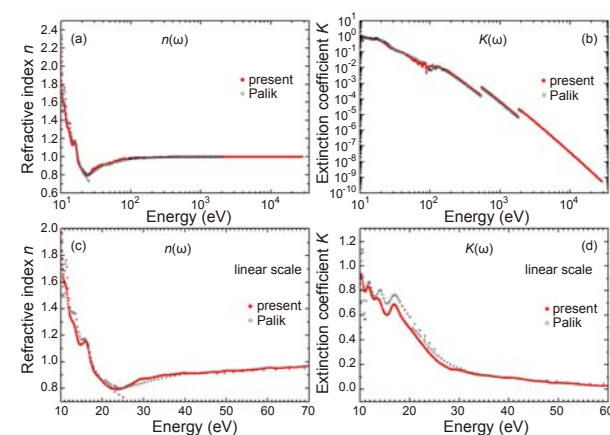


図1 測定したSiO₂試料の光学定数。赤点が本研究、白丸が文献値。

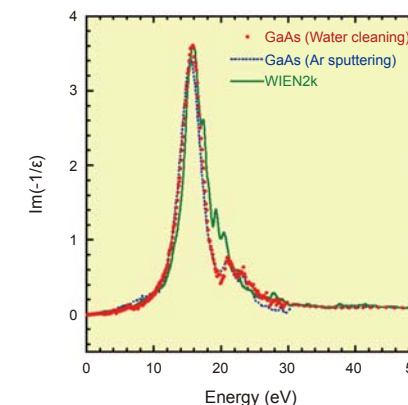


図2 GaAsの光学的エネルギー損失関数。赤点、青点線が本研究、実線が第一原理計算の値。

超高速・高感度分光法の開発と 光材料開発への応用

ナノ計測センター
超高速現象計測グループ
石岡 邦江

光学機能の効率に影響を及ぼす 微視的時間

わたしたちは日常生活で光触媒、太陽電池、LED、レーザーなどの形をとった光学機能材料に囲まれて暮らしています。これらの材料の働きは電子正孔対の光励起とそのエネルギー緩和、輸送、輻射をともなう再結合などの微視的な過程に基づいています。これら競合する微視的過程の時間スケール(通常フェムト(10⁻¹⁵)秒とマイクロ秒の間)が、しばしば光学機能の効率を左右します。

フェムト秒パルス光を用いて 材料開発を加速

当研究室ではポンプ&プローブ技術を用いて、半導体やそのナノ構造などの光学機能材料、およびこれらを用いた光デバイスの超高速光学応答を研究していま

す。光検出器対とポンプ・プローブ間遅延の高速スキャンまたはロックイン検出を組み合わせることで、透過率や反射率の10⁻⁵以下の微小な変化を検出できる高感度を達成しています。このような高感度は、通常弱い光照射下で動作する材料やデバイスを「現実的」な条件下で観測できる利点を与えてくれます。

当研究室では、フェムト秒パルス光によって物質中に誘起される位相の揃ったフォノンを観測することにより、原子の動きを実時間で知るだけでなく、他の手法では知ることのできない電子格子相互作用の時間変化を露わにしています。

10フェムト秒をきる超短パルス光を用いると、グラファイトの面内C-C伸縮振動(Gモード)のように高振動数のコヒーレント光学フォノンを励起することができます(図1)。コヒーレント面内フォノンの振動数は、光励

起強度とともに高波数シフトを示します。時間分解解析により、振動数は光励起直後に瞬間的に高波数にシフトし、その後ピコ秒の時間スケールで定常値に戻ることがわかります(図2)。

わたしたちは、この光誘起高波数シフトがグラファイト電子構造の擬二次元性を反映した「非断熱効果」であることを明らかにしました。

NIMSでも太陽電池、光触媒、発光体などの光材料が盛んに行われています。わたしたちの最先端の超高速分光技術を応用することにより、これらの材料開発に物性の観点からフィードバックを与え、開発をさらに加速することを目指しています。

いしおか くにえ 博士(理学)。1994年京都大学大学院理学研究科修了。同年、金属材料技術研究所に入所。1998-99年フリッツハーバー研究所客員研究員。2006年より現職。

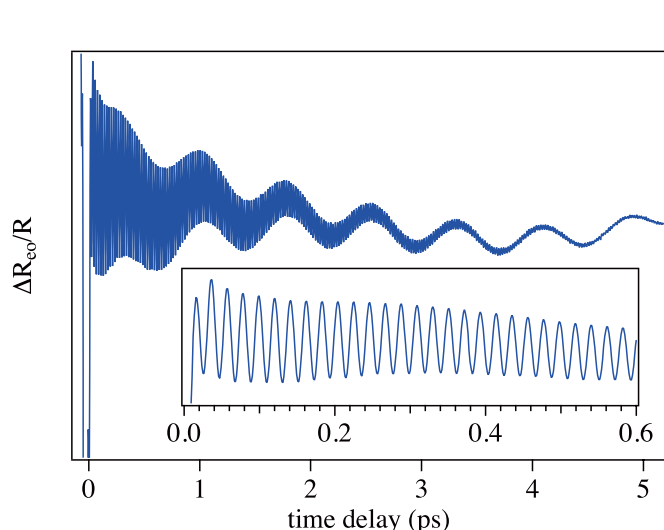


図1 サブ10フェムト秒パルスを用いてポンプ・プローブ測定したグラファイト(HOPG)の過渡反射率変化。周期21フェムト秒の面内C-C伸縮と、770フェムト秒の面間すれのコヒーレント振動による周期的変調が見られる。

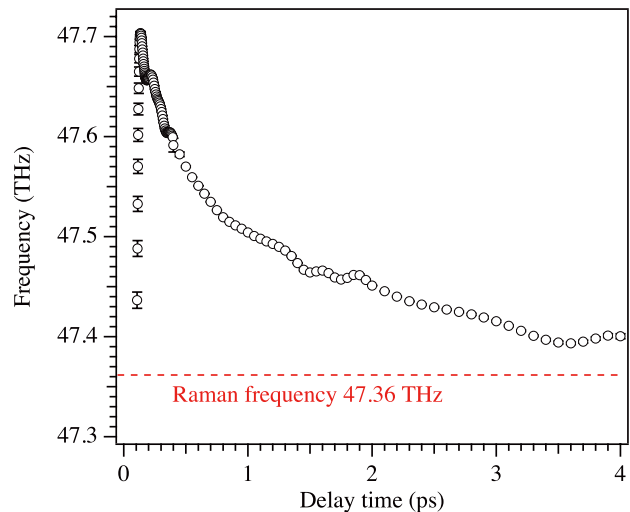


図2 フェムト秒パルス光励起下のグラファイトのGモード振動数の時間変化。光励起直後の高振動数シフトは光ドープしたキャリアが面内C-C伸縮振動に追従できない、いわゆるBorn-Oppenheimer近似の破綻に起因する。光励起キャリアが緩和するにしたがい、振動数は定常値にむかって収束する。

強磁場固体NMRの開発と 材料分析への応用

ナノ計測センター
強磁場NMRグループ
グループリーダー
清水 禎

NMRの適用範囲を拡大させるために

従来のNMR(nuclear magnetic resonance:核磁気共鳴)は、本来のNMRが持つ能力のうち、ごく僅かな部分しかその実力を発揮してきませんでした。NMRは本来、周期表の約8割の元素に対して適用可能ですが、従来は技術的な制約のために、感度と分解能が特別に有利な元素などごく一部の元素に研究対象が限定されていました。その結果、有機分子など一部の研究分野だけがNMRの利点を享受してきたのです。

NMRの適用範囲を拡大させるために最も効果的な技術は強磁場を用いることです。普及型NMRの磁場は10T級ですが、超20Tの磁場を用いれば、周期表(表1)の約6割を占める四極子核(核スピン量子数が1以上の原子核のこと)と呼ばれる最難関な元素に対してもNMRがはじめて可能になります。従来、四極子核は分解能が極端に低いという課題を抱えていましたが、強磁場はこの課題を解決する原理的に唯一の方法です。強磁場固体NMRに

よって四極子核の精密測定が実現すれば、無機材料を含む幅広い材料分野においてNMRが貢献できるようになります。特にNMRは非晶質構造の解析に比較的有利なため、X線や電子顕微鏡などの従来技術と相補的な役割を果たすと期待できます。

Ca、Mg、Ti、Mo等に対し、世界ではじめて 実用材料での高分解能測定に成功

図1は四極子核の観測難易度を表すグラフです。図中の等高線は、難易度の高い元素(図中の右下)を分析するには、より強い磁場が必要になる様子を表しています。NIMSで稼働中の930MHz-NMR装置(磁場強度21.8T)を使ってこの5年間で観測に成功した四極子核を赤丸で記します。

特筆すべきは、最も高難度であるCa、Mg、Ti、Mo等に対して、世界ではじめて実用材料での高分解能測定に成功したことです。これらはいずれも10T級磁場の従来装置では信号がまったく見えなかった物質で

す。もっとも、「信号が見えた」と言っても、最初から目に見える訳ではなくて、100時間以上の積算でやっと見えてくる程度です。実験の最初の数日間は約20種類のパラメーターからなる測定条件の絞り込み作業を根気よく続けます。この作業は、「仮想信号」を心眼で調整する熟練の技と高度な専門知識によって支えられています。

四極子核の固体NMRは、超20T磁石の実現によって可能になった技術なので、まだ緒に就いたばかりです。過去の資料や文献がほとんどないので、暗中模索の日々ですが、新分野の醍醐味を実感できます。NMRは有機化学の専用装置だと思われていた先入観を打破し、様々な物質・材料に固体NMRの観測範囲を広げていきたいと思っています。

しみず ただし 博士(理学)。1987年東京大学物性研究所助手、1990年金属材料技術研究所を経て、2001年から現職。

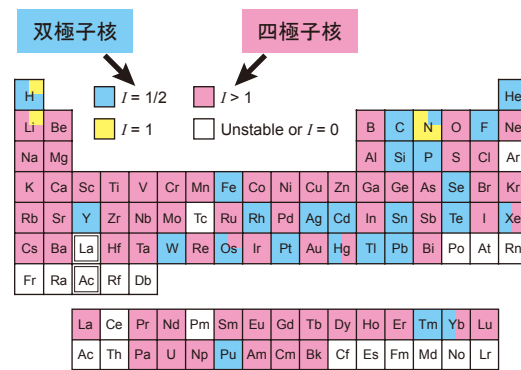


表1 双極子核(青色)の感度と分解能は磁場に比例します。四極子核(赤色と黄色)の感度と分解能は磁場の2~5乗で向上します。高分解能を得るには20T以上の磁場が必要なので、従来のNMR(磁場は10T前後)では分析対象になりませんでした。

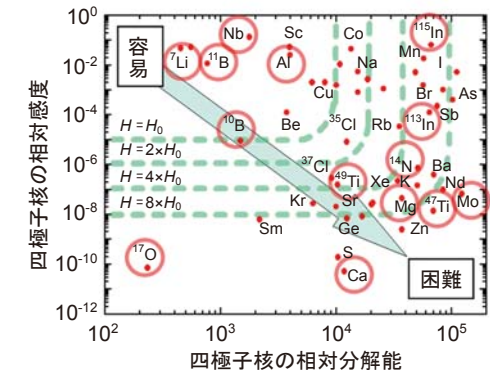


図1 四極子核に対するNMR測定の難易度を表すグラフ。等高線(青い点線)は高磁場ほど観測可能域が拡大する様子を表しています。赤丸は実際に930MHz-NMR装置を用いて実用材料での観測に成功した四極子核の実績例。

計測分析技術は、誰も知らない未知の情報を獲得する

東京理科大学
特別顧問

二瓶好正

機器分析化学の黎明期から研究を推し進めてこられた二瓶教授。その手法の在り方から装置づくりまでを模索し、確立されてきました。科学技術力の原点である分析技術をNIMSはどう引っ張っていくか、お話を伺いました。



—先生は科学技術の進歩にとって計測分析技術がいかに重要なものを訴えつけていらっしゃいますね。

わたしは工業分析化学に携わる研究者としては3代目で、初代は鉄鋼中の水素分析で学士院賞を受賞された宗宮尚行先生です。先生は鉄鋼中ガス成分の精密分析を始めとして多数の実用的な鉄鋼分析法を開発し、日本の鉄鋼業を世界トップに押し上げることに貢献していらっしゃいます。わたしは2代目にあたる鎌田仁先生より表面分析をやるように指導されました。もう40数年前のことです。鎌田先生は日本の分析機器産業の確立に尽力されましたが、後にわたしの表面分析法も含め「高感度分析機器の開発と応用」により学士院賞を受けていらっしゃいます。

もっとも、当時わたしは表面の定量分析とはいかなるものかを議論することからはじめました。材料開発のためには表面表層だけをプローブして分析することが必要だったのです。X線により表面から飛び出す光電子の速度分析をしたのですが、まさにナノメートルオーダーの仕事でした。

—ナノテクノロジーのはしりのようなものですね。

ナノのオーダーであることは確かですね。この測定原理はスウェーデンの研究者から発案され、ノーベル賞を受賞しています^(※1)。計測分析技術が、科学技術の原点であるとなつたが主張しているのは、日本は装置を作る能力は十分に持っているんですが、オリジナルな研究開発が少ないからなんです。つまり、各種分野の研究者に「誰も知らない未知の情報を獲得する」ことの重要性

が十分に理解されていないのです。「我が国の研究者は、科学の創成期の記憶を喪失している」と言われる所以です。やっと日本発の先端的な分析装置が出始めた時期に、80年代半ばの日本政府によるバイ・アメリカン政策が発動され、日本の分析機器産業が元気をなくしました。その後欧米に席巻され、現在トップレベルとして残っているのが電子顕微鏡とナノ計測半導体検査装置などわずかです。

—これでは中国にすら追い上げられるというわけですね。

そうです。そこで日本でも国家プロジェクトをつかって充実させなければいけないと主張したのですが、念願はなかなか成就しませんでした。そのような折にまことに幸でしたが、田中耕一さんのノーベル賞受賞^(※2)をきっかけに先端計測分析技術開発のための新しいプロジェクトが発足し、今年度で7年目になります。

—みのりはこれから先ですか。

原理検証とプロトタイプ機器づくりなどにはそう時間はかからないのですが、ユーザーとの連携をもとに実用化するまでにはやはり10年ぐらい必要です。でもすでに成功例が出はじめていて、例えば、小惑星はやぶさが持ち帰った微粒子の分析にも使われる予定の超高感度微量質量分析装置ですが、きつとすばらしい結果を出してくれると確信しています。

—民の力が難しいとすると、公の力に頼らざるを得ないということになりますね。

計測分析装置は出来上がれば大変役

に立つのですが、研究開発のリスクが大きいのです。実はアメリカでもベンチャーを使ってプロトタイプをつくっていますが、国費に頼っているんです。また、ヨーロッパでも同様で、企業が開発している様に見えますが、市販1号機は国費により開発され、さらに10台程度は主な研究機関に公共調達され、国際標準化を目指して使用されていると言われています。

そういう点で、NIMSは国費によって運営されており、優れた研究者や設備も揃っているので、ぜひとも日本全体を引っ張ってほしいと思います。現在ナノ領域の計測を重視する方針をとられているのは適切な判断だと思います。一方、これからは生命科学関連分野に注目する必要があるでしょう。計測分析の高度化が最も必要とされる分野だからです。

—日本の若い学生はいかがですか。

大学へ入ってからどの専門分野を志すかを考えるのでは遅すぎます。日米を比較すると、大学入学時はむしろ日本人の方が学力は優れているのに、入学後の勉強の仕方がまったく違う。アメリカ人の学生は自分の目的を目指して突っ走るんです。そのため、大学院生になった時には、みごとに逆転している。彼らは子供のとき十分遊んで、その中で将来やりたいことを見つけ、大学に入ると猛烈に勉強するんです。日本の若い学生も負けずに頑張ってもらいたいですね。

にへい よしまさ 工学博士。東京大学工学部卒業後同大講師、助教授、教授を経て、2001年より東京理科大学教授、2009年より現職。その間、工業分析化学、表面科学等の装置化研究に従事。

電子顕微鏡の分解能を飛躍的に向上させるLaB₆電子源の開発

材料信頼性萌芽ラボ
一次元ナノ材料グループ
グループリーダー

唐捷

ICYS 研究員
張 吟

ナノレベルの六ホウ化ランタン単結晶ナノファイバの成長に世界ではじめて成功。電子顕微鏡の性能向上に欠かせない電子源材料として、性能向上に期待がかかる。

電子顕微鏡の分解能を向上させるには、明るく、細く絞れた電子線を放射する電子源の開発が必要です。電子源の性能は、電子源に用いる材料と、電子放射方式に依存します。電子源材料は電子を比較的低電圧で放射する六ホウ化ランタン(LaB₆)が、また、電子の放射方式は電界のみで電子を放射させる電界放射方式が最適です。

しかし、LaB₆は高硬度のためにナノレベルの加工が困難であることから、電界のみで電子を容易に放射させることが可能となる先鋭な電子源は開発されてきませんでした。そのため、従来では加熱して熱電子を放射させる方式のみが使用されてきました。

当グループでは、高温でのガス反応により、図1に示すように直径20~200nm、長さ数十μmのLaB₆の細い単結晶ナノファイバを基板の触媒微粒子上に合成・成長させることに世界ではじめて成功しました。図1の写真を見ればわかるように、一様なナノレベルの径の多数のファイバが長く伸び、成長しています。

この単結晶ファイバを1本ピックアップし、電子源の耐熱金属(タングステン)支持針に配置し、ファイバ上にカーボンを蒸着して固定しました(図2)。これがLaB₆電子源の心臓部となります。この50nm径のLaB₆電子源は、加熱しなくても、電圧負荷だけで、明るく、細く絞れた電子線を放射できます。

図3は、電界イオン顕微鏡内でこの電子源に3kVの電圧を負荷し、その表面の汚れを電界蒸発させた時の各種イメージとその過程の模式図です。高電界により電子源表面の原子が脱離する電界蒸発で表面が清浄化され、図3bに示されるように、電界イオン顕微鏡による原子像が明瞭となりました。図3cは、その電子源から得られた電界放出電子像です。また、この電界蒸発により電子源先端が先鋭化され(図3d及び図3e)、吸着原子、表面の汚



図1 生成したLaB₆単結晶ナノファイバ。

図2 LaB₆単結晶ナノファイバをタングステン支持針に接合させ、作製した電子源

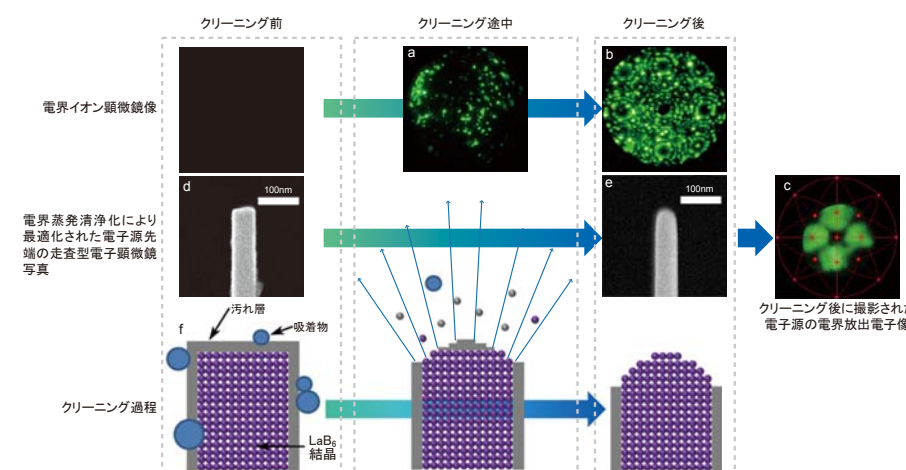


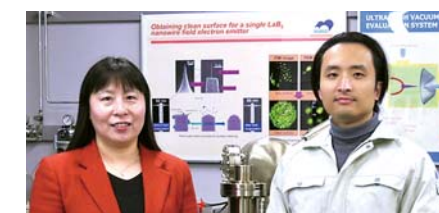
図3 LaB₆単結晶ナノファイバ電子源表面が電界蒸発によりクリーニング化され明瞭となった電界イオン顕微鏡像(a,b)とその電子源の電界放出電子像(c)及び電界蒸発清浄化により最適化された電子源先端の走査型電子顕微鏡写真(d,e)とクリーニング過程を示すイラスト(f)。

れ、不必要な電界放射の原因となるコーナ一部分が除かれます(図3f)。このように、この電界蒸発によるクリーニングは電子線発生に適した結晶面からの高輝度な電子線を放射するだけでなく、使用中の劣化が極めて少ないことがこれまでの実験で示されています。

当グループでは、開発した「LaB₆単結晶ナノファイバ電界放射電子源」の電子源特性を引き続き詳細に調べていますが、その特性は、現在、最も高性能であるタングステンの電界放射電子源やLaB₆の熱電子放射電子源に比べ、電子線の明るさを示す輝度が1桁以上大きいなど、極めて高性能です。例えば、透過型電子顕微鏡の電子銃として使われれば、電子顕微鏡の分解能を飛躍的に向上させ、世界一の分解能とすることができると期待されます。

電子顕微鏡や電子線描画装置などの電子

線ビームを用いる計測機器に組み込み、その性能を向上させることができるよう、実用化を目指した研究開発をすすめています。



どうしよう(左) 博士(理学)。1993年4月金属材料技術研究所入所、NIMS主席研究員を経て、2006年より材料信頼性萌芽ラボ一次元ナノ材料グループグループリーダー、筑波大学物質材料工学専攻連携大学院教員を併任。2005年より米国、ノースカロライナ大学兼任教授。専門はナノ材料の合成・物性と応用。

ちゃん はん(右) 博士(工学)。米国ノースカロライナ大学大学院修了後、2006年、NIMS ポスドク、日本科学技術振興会特別研究員を経て2010年よりNIMS ICYS研究員。専門はナノ材料の合成・物性と応用。

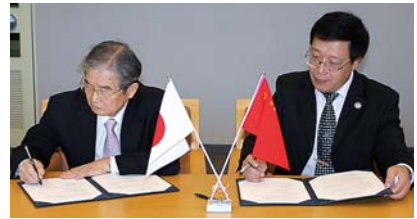
※1 1981年、「高分解能光電子分光法の開発」によりカイ・シーグバーンがノーベル物理学賞を受賞。 ※2 2002年、「生体高分子の同定および構造解析のための手法の開発」による。

中国 西安交通大学との姉妹機関協定締結

平成22年12月20日、NIMSは中国・西安交通大学との包括研究協力協定(姉妹機関協定)締結の調印をおこないました。同大学は中国政府が定める理工系の最重要投資大学の一つ。博士号を持つ教職員1,200名、大学院生13,000名、学部生17,000名余りが在籍し、卒業生からはハー

バード・ケンブリッジ両大学の教授など多くの人材を輩出しています。

NIMSとはこれまでもMOUや国際連携大学院協定の締結、毎年のワークショップ開催など活発な交流をおこなってきましたが、本協定締結により協力のさらなる深化と拡大が期待されます。



調印式における潮田理事長(左)と宋西安交通大学副学長(右)

シンガポール共和国科学技術庁長官Lim Chuan Poh氏がNIMSを来訪

平成22年12月15日、シンガポール共和国科学技術庁(A*STAR)の長官Lim Chuan Poh氏がNIMSを訪問されました。同長官は潮田理事長、野田理事と懇談し、両国の科学技術政策ならびにシンガポール国立大学及び材料研究・工学研究所(IMRE)とNIMSとの連携について意見交換されました。

同長官は、文部科学省の世界トップレベ

ル研究拠点(WPI)プログラム評価委員を務めていることもあり、懇談の後にはMANA(国際ナノアーキテクトニクス研究拠点)を視察されました。青野正和拠点長による概要説明や、各主任研究者による固体燃料電池材料、原子スイッチ、ナノチューブなどの研究成果に熱心に耳を傾け、活発に議論を交わしました。



トラベルサMANA主任研究者(左)から説明を受けるLim長官(右)

山中誠特命全権大使がNIMSを視察

平成22年12月1日、外務省の科学技術外交担当者、山中誠特命全権大使(科学技術協力担当)がNIMSを来訪されました。野田哲二理事によるNIMSの概要説明に次いで研究現場を視察。MANAでは外国人研究者

と活発な意見交換がおこなわれました。ほかにもサイアロン蛍光体、ニッケル系超合金、可視光応答型光触媒などの研究室を訪れ、開発材料の特徴や今後の展開について熱のこもった質疑応答がおこなわれました。



葉センター長(左)から説明を受ける山中大使(右)

林久美子文部科学大臣政務官がNIMSを視察

平成22年12月9日、文部科学省の林久美子大臣政務官がNIMSを来訪されました。潮田資勝理事長によるNIMS概要説明の後、サイアロン蛍光体を使ったLED照明などの実演をご覧になり、実際に触れてLED照明が熱くなくエネルギー損失が小さいことを実感された様子でした。MANAでは青野拠点長による概要説明の後、外国人研究者の実験

室やMANAファウンドリを視察。並木地区に来年度建設される予定のナノ材料科学環境拠点棟・WPI棟の建設計画についても担当者から説明を受けられました。また、磁性材料センターではレアアースであるジスプロシウムを使わないネオジム磁石の開発についてレクチャーを受けられました。



一方向凝固炉をのぞく林政務官

筑波サイエンスワークショップ2010を開催

平成22年12月21日から23日の3日間、京都のSSH(文部科学省指定・スーパーサイエンスハイスクール)の生徒5名がNIMSに来訪し、筑波サイエンスワークショップが開催されました。

この催しは2006年から毎年おこなわれているもので、主催は京都の3つの高等学校(立命館守山高等学校、京都府立洛北高等学校、京都教育大学付属高等学校)です。NIMSをはじめ筑波大学遺伝子実験セン

ター、高エネルギー加速器研究機構がワークショップ会場となり、それぞれの会場で生徒たちは研究の一端に触れることができます。NIMSには男女5名の高校生が来訪し、研究者とともに実験とその成果を発表しました。

高校生たちははじめて触れるシャルピー衝撃試験や金属研磨、SEMを用いた破面の観察、MANAクリーンルームでの実習に懸命に取り組み、23日には皆がそろって、充実したプレゼンテーションをおこなうことができました。



SEMを用いた破面観察をしている高校生たち