

NIMS

2009年 12月号

NOW

量子ビームが拓く
ナノ・イノベーション



極限粒子場形成装置(重イオンタンデム加速器)

量子ビームが拓くナノ・イノベーション

量子ビームとは?

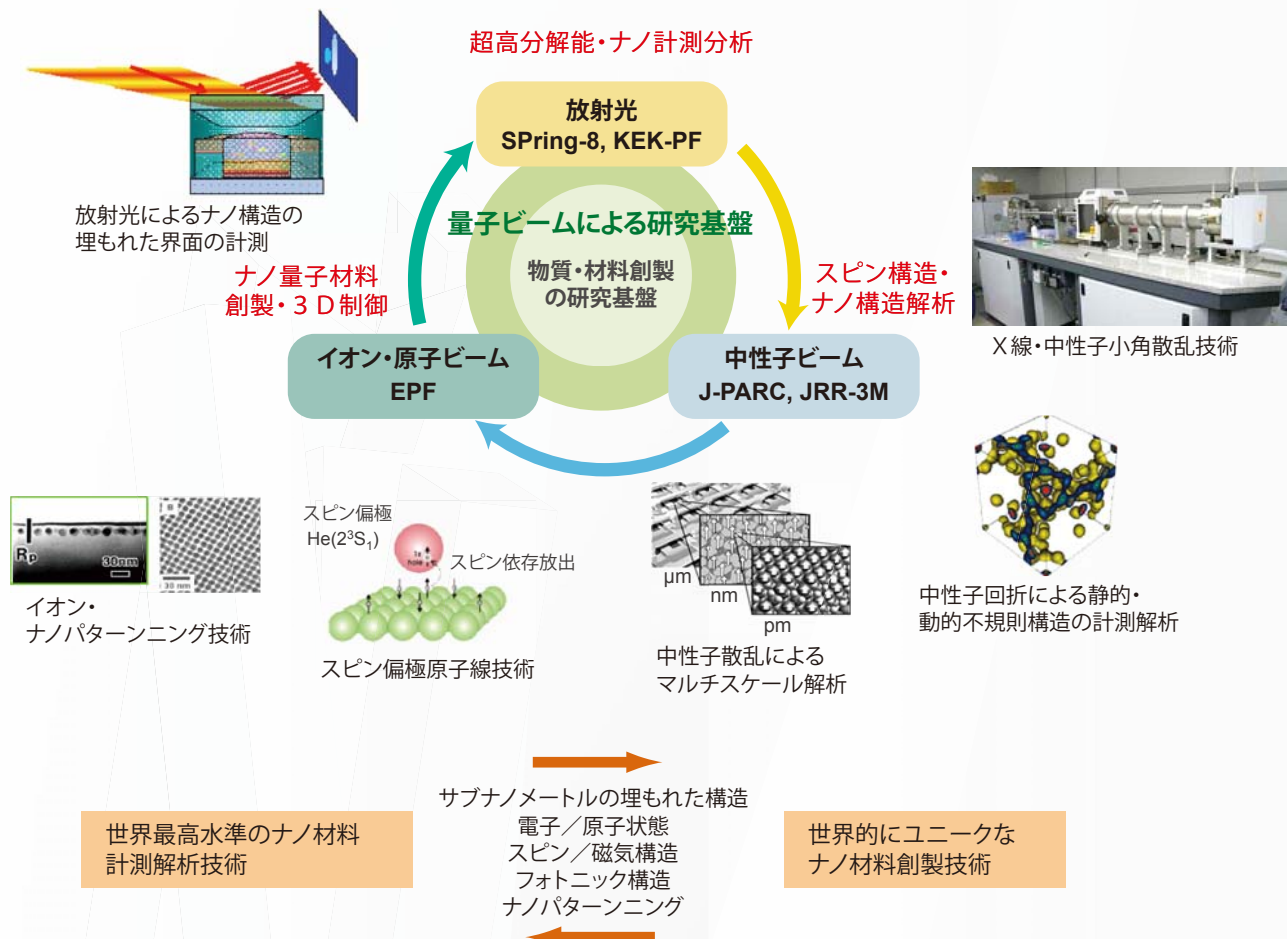
「量子」とは、「粒子性」と「波動性」を同時に持った物質の性質を表す物理的な量の最小単位を言います。そして、「量子ビーム」とは、量子の制御された「束」のことです。具体的には、光量子、イオン、中性子、電子などのビームの一般的な呼び名で、加速器やレーザー、原子炉などによって供給されます。

物質・材料は、原子や分子のスケールでは量子的に振舞います。量子ビームの照射は、原子、分子やその集団（結晶、非晶質、高分子など）に対して、高分解能／高感度、高透過、可干渉性をもち、回折、磁気散乱、原子導入などのユニークな反応をもたらします。その素過程を計測・利用すれば、物質・材料の超高

量子ビームセンター
センター長 岸本 直樹

感度計測や材料の創製が可能になります。各々の量子ビームは、粒子性と波動性の度合いやスピンの有無などが異なり、種類の違う量子ビームを巧みに使うことによって、相補的に物質・材料の計測や創製が実現します。

量子ビームセンターにおける研究開発のしくみ



量子ビーム研究開発のための機関連携



量子ビームをナノテクに

NIMS量子ビームセンターでは、高輝度放射光、中性子ビーム、イオンビーム、原子ビームなどを用いて、総合的に研究開発を進めています。

放射光は、X線から軟X線の領域のきわめて強力(高輝度)かつ平行性の良い光なので、これを物質に照射すると、その結晶構造を迅速かつ精密に知ることが出来ます。また、エネルギー単位を選択的に励起してやれば、電子状態の超高感度分析が可能で、現在、微小領域のリアルタイム構造解析をサブナノメートルの分解能で集中的に行っています。

中性子ビームは強い透過能を持ち、原子核に散乱されることから、軽元素や同位体も判別することができます。また、スピン

と波の性質をあわせ持つため、軽元素を含む原子の配列構造の解析や、広範囲の長さスケールにわたる磁気構造解析、複相構造の組織解析などに対して有効な手段となります。

イオンビームは、材料中に任意の元素を精密に制御された状態で打ち込んでナノ機能を付与することができます。また、原子ビームを使って、励起された中性原子をスピン偏極させて(スピンという量子力学的自由度を揃えること)ナノ計測に利用することに成功しています。

このように量子ビーム技術によって、ナノスケールの世界を精密に診断し、ナノ物質・材料を直接制御することができるので、そこで、近年、量子ビームを基軸にした

“ナノテクノロジー”を推進する動きが欧米を中心に活発です。わが国でもパルス中性子施設J-PARCの稼働が始まり、量子ビームの開発利用を国全体で総合的に促進する機運が高まっています。この分野の先駆けである原子力研究開発機構とNIMSに理研を加えた3機関が核となって連携し、燃料電池材料、電子複雑系材料を中心に、量子ビームによるナノテクノロジー開発を進めています。わが国も量子ビーム基盤技術の開発に戦略的に取り組み、特に、物質・材料の分野での利用をイノベーションに結びつけて産業の国際競争力を強化すべきだと考えます。



Spring-8の全景。三原栗山を取り巻く周長約1.4kmの蓄積リングがあり、矢印の先がNIMS専用ビームラインBL15XU。画像提供：SPring-8



画像提供：JAEA/KEK J-PARCセンター

放射光で“ものづくり”を進化させる

放射光解析グループ グループリーダー 櫻井 健次

指向性・偏光性・パルス性に富む放射光

放射光とは、円形または直線型の加速器から放射される電磁波のことです。加速器では、電子や陽電子をほぼ光速にまで加速し、非常にエネルギーの高い状態にしますが、荷電粒子が磁場で曲がる時には電磁波を放射します。

1911年にラザフォードが原子核を発見して以来、その内部構造を明らかにしようとする理論研究が盛んに行われ、理論を実験的に検証するツールとして高

エネルギー加速器が開発されました。当初、放射光は邪魔者のような存在でした。電子を非常に高いエネルギーにまで加速しようとしても、放射光が発生するためにエネルギーが失われ、加速に限界が生じるからです。しかし、やがて放射光がテラヘルツ光から可視光、紫外光、真空紫外光、X線に至る広範囲のスペクトル分布を持つことが判明し、また、従来の光源とは違う鋭い指向性や偏光

性、パルス性を備えていることから、多くの研究分野や産業に有効に応用できることがわかってきました。

現在では、多様な放射光利用専用施設が世界中で建設されています。2009年4月には米国スタンフォード大学研究所で、これまでSFの世界だったX線レーザーがついに実現しました。

放射光で時々刻々ライブ追跡

優れた新物質・材料の開発を進めるには、高度な計測・解析の技術を開発し駆使することが不可欠です。不可視だったものが可視化すれば、研究も産業も新しい発展段階に進めます。放射光はそのような重要な役割を担っています。特に、X線レーザーやそれに関連する新しい放射光源の利用技術の将来に注目する必要があります。

NIMSでは、放射光技術を使って“もの

づくり”を大幅に進化させようと、あらゆる環境下において実時間・高速の計測・解析を実現するための基礎研究を行っています。試料内の元素や結晶構造の分布を画像化するイメージングや、薄膜・多層膜の表面・界面の解析において、目の前で時々刻々変化するものをそのまま追跡する“ライブ計測”技術を、世界に先駆けて実現しました。

現在は、その一層の高度化をはかる

とともに、ものづくりや機能評価に結びつける努力を続けています。また、ライブ計測の時間スケールではとらえられない現象もあります。例えば、構造相転移や機能発現、各種の反応の詳細な機構などです。それらの解析にも取り組もうと、パルスX線を用いた時分割解析を行う新たな技術の開発も進めています。

	元素・結晶構造イメージング	薄膜・多層膜のナノレベル深さ分析
原理方法	<p>NMS特許 第3049313号 第3663439号 第3834652号</p>	<p>NMS特許 第3903184号</p>
分析情報	試料の観察視野内の元素マップ、元素の化学状態マップ、結晶構造マップ	薄膜・多層膜のナノレベル深さ情報(各層の密度・膜厚、表面および界面のラフネス)
特色	XY走査を行うことなく、広面積(〜cm ²)の高解像度(100万画素)画像を瞬時に得る。撮像時間 30ミリ秒〜1秒、空間分解能15μ	精密な角度走査を行うことなく、X線反射率プロファイルを瞬時に得る。測定時間 0.1〜20秒
応用分野	コンビナトリアル材料スクリーニング 材料の安全性診断 非平衡・非線形な系の科学研究	製品の品質管理 薄膜成長時および機能評価時のモニタリング 表面・界面の相転移等の異常現象の科学研究
備考	KEKの放射光ビームラインを利用し、世界最速の動画イメージングにて、不可能だった計測を実現	実験室系のX線源で実施しており、広範な普及を期待

SPring-8で展開する物質構造の解析

放射光解析グループ (共用ビームステーション長) 小林 啓介

SPring-8は世界最高クラスの性能

兵庫県の中に巨大なリング状の構造物があります。1997年から稼動する大型放射光施設SPring-8 (Super Photon ring-8GeV) です。8GeVは電子の最大加速エネルギーを示し、世界最高クラスの性能を誇ります。

現在、およそ50本のビームラインが稼動中で、このうちの1本BL15XUはNIMS専用です。BL15XUにはアンジュレーターと呼ばれる装置が取り付けられており(図1)、位相のそろった放射光を発生させることができる他、2.2〜36 keVという広いエネルギー範囲を

カバーしています。BL15XUには、高分解能粉末X線回折と硬X線光電子分光(HXPS)の2つの実験装置があります。

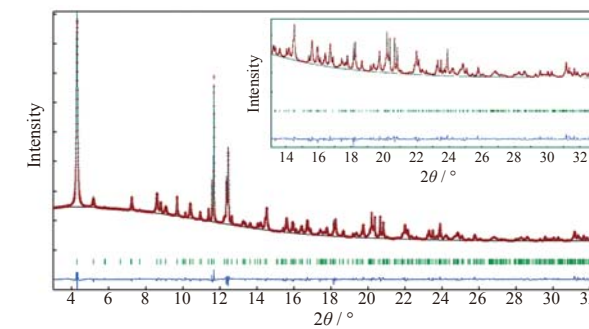
高分解能粉末X線回折は角度分解能(解像度)が0.003度と非常に高く、複雑な構造をもつ様々な物質の結晶構造解析に利用され、機能性物質の研究・開発に役立っています。図2は国際ノーアキテクトニクス研究拠点(MANA)の佐々木高義フェローらによる、新規層状ランタノイド水酸化物の結晶構造解析結果です。この物質は単位格子が大きく構造が複雑なため、通常の粉末X線回

折では構造が決まらなかったが、BL15XUで測定することによって目的を達成しました。



図1 リポルバー切り替え方式アンジュレーターX線源

(a) 粉末回折パターンとそのリートベルト解析



(b) リートベルト解析から求めたEu₈(OH)₂₀Cl₄·7.2H₂Oの結晶構造

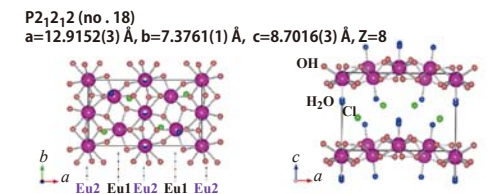


図2 陰イオン交換能をもつ新規層状ランタノイド水酸化物の高分解能粉末X線構造解析の結果得られたEu₈(OH)₂₀Cl₄·7.2H₂Oの結晶構造。単位格子はおよそ1.2 nm×0.7 nm×0.9 nm。(F. Geng et al., Chem. Eur. J. 14, (2008), 9255. F. Geng et al., J. Am. Chem. Soc. 130, (2008), 16344. F. Geng et al., Inorg. Chem. 48, (2009), accepted.)

電子状態や化学結合状態の高精度解析

2002年からSPring-8でHXPSと呼ばれる新しい光電子分光手法が開発されています。従来は紫外線から軟X線領域で励起した光電子を用いて試料の表面を測定するだけでしたが、よりエネルギーの高い硬X線を用いることで、試料の奥深くまで測定できるようになりました。そのため、試料の表面処理をしなくても固体内部の電子状態や化学結合状

態を調べることができます。たとえば、ハーフメタリック・ホイスラー合金Co₂MnSiとMgOによるデバイス、高いトンネル磁気抵抗を示す実用的なスピントロニクス材料として開発されました。このデバイスの上部MgO層は最大20 nmの厚さがあります(図3)が、検出深度が大きいHXPSによって深層のCo₂MnSi層を測定できるようになったのです。

以上のようにSPring-8のNIMS専用ビームラインBL15XUでは、物質の構造と電子状態、化学結合状態を調べるための精度の高い実験を、同じビームラインで行うことができます。世界に類を見ないこのような特徴をもつ装置を利用して、多くの先端的な研究成果が期待されます。

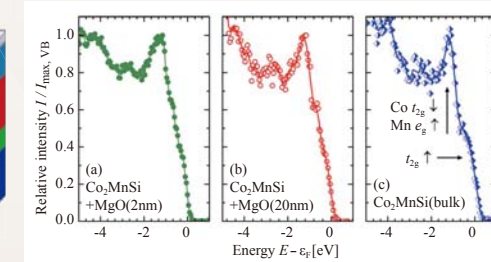
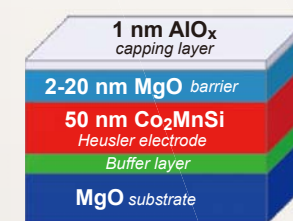


図3 硬X線光電子分光(HXPS)による磁気トンネルデバイスの測定結果。試料は50 nmのハーフメタリック・ホイスラー合金Co₂MnSi層と2〜20 nmのMgOをMgO基板の上に成長させ、さらに1 nmのAlO_x層をかぶせたもの。20 nmのMgOの下に埋められたCo₂MnSiの電子状態が、バルクの状態と変わらないことがわかる。

(G. H. Fecher et al., Appl. Phys. Lett., 92, (2008), 193513)

中性子ビームで新しい物質・材料分野を開拓する

中性子散乱グループ グループリーダー 北澤 英明

中性子ビームは物質中の原子核や磁気モーメントに散乱

電氣的に中性な粒子である中性子は、電磁波であるX線よりも、一般に物質に対して高い透過力を示します。試験研究用原子炉で生み出された高速の中性子は、水などの水素分子を含んだ減速材で数十meV程度までエネルギーが下げられます。このエネルギーを持った中性子を、特に熱中性子と呼びます。この熱中性子は、X線と同様に回折・干渉効果を伴う波の性質(波長は約0.1~0.3nm)を

持っているため、結晶構造解析に利用できます。

しかし、X線は物質中の電子に、中性子は物質中の原子核に散乱するので、散乱の仕方が大きく異なります。X線が得意とする水素やリチウム、酸素といった軽元素に対して、中性子は大きな散乱能をもつのです。そのため、タンパク質中の水分子の位置や、リチウム電池中のリチウムの位置などを直接決めるのに役立つ

ちます。ライフサイエンスや環境・エネルギー関連研究の進展に大きな期待が寄せられているのはこうした理由からです。また、中性子のもつ微少磁石(スピン)としての性質を利用して磁性体の磁気モーメントの並び方(磁気構造)を調べることができます。さらに、熱中性子が持つエネルギーのやりとりを通じて物質中で生じている格子振動や分子振動などの様子を詳細に調べることができます。

最近の研究から — マルチフェロイック物質の磁気構造を捕らえる

近年、強磁性と強誘電性が共存するマルチフェロイック(multiferroic=複数の強的な性質)物質が注目されています。この物質は、磁場で電気分極を、電場で磁化を制御する低消費電力の制御素子や新しい高速大容量記録素子としての展開が期待されています。

磁場誘起マルチフェロイック物質CuFeO₂は、低温では互いの磁気モーメントが上向きか下向きの反強磁性体です(図1)。強誘電性は6テスラ程度の大きな磁場を加えることで初めて発現します。私たちは、鉄(Fe)磁性イオンの数%をガリウム(Ga)非磁性イオンに置き換えれば、磁場を印加しなくても強誘

電性を示すことを発見しました。そして、中性子散乱実験によって物質内部のスピン構造の配列を調べた結果、非磁性イオンを置換するとスピン配列が大きく

変化し、これが強誘電性発現の主要原因であることがわかりました。

(N. Terada et al., Phys. Rev. B, 78 (2008) 014101. editor's suggestionに選出)

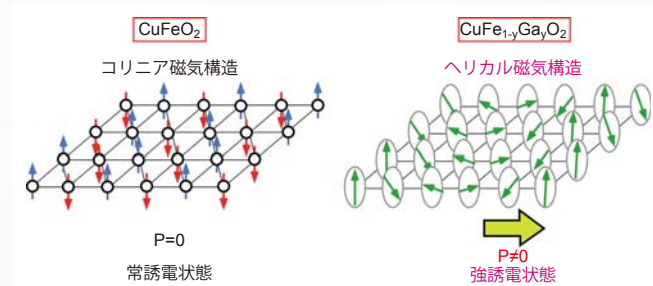


図1 CuFeO₂はアップスピンとダウンスピンのみから成るコリニア(共線的)磁気構造をとり、電気分極(P=0)を示しません。しかし、Feサイトを非磁性Gaイオンに一部置換したCuFe_{1-y}Ga_yO₂では、磁気構造がヘリカル(螺旋)構造になり、強誘電状態(P≠0)を示すようになります。

高強度でパルス状の中性子ビーム時代へ

このように、中性子ビーム自体は、物質・材料研究における強力な測定手段の1つです。しかし、これまで原子炉によって発生された中性子ビームは強度が弱いので、長時間計測や大きな試料が必要でした。一方、2008年から稼働を始めた大強度陽子加速器施設J-PARC(Japan Proton Accelerator Research Complex)内の物質・生命科学実験施設(図2)で発生する核破砕型強力パルス状中性子ビームの強度は、数年後には現在東海村で稼働中の原子炉JRR-3に比べて平均5倍、パルスピーク強度で倍以上に達する予定

です。私たち中性子散乱グループは、この強力な中性子ビームを物性の起源の解明や有用な材料の開発に役立て、新

しい分野を開拓し、材料研究や中性子科学研究に貢献したいと願っています。

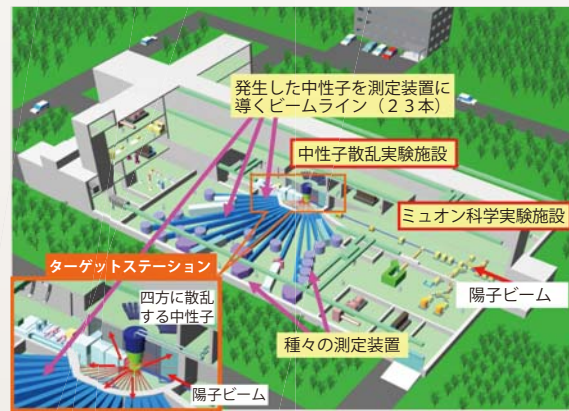


図2 物質・生命科学実験施設の概念図。3GeVのエネルギーまで加速されたパルス状の陽子ビームを水銀ターゲットにぶつけることによって、パルス状の中性子が四方に発生します。各種の中性子実験装置は、図の前方だけでなく、裏側にも放射状に並べられています。

画像提供: JAEA/KEK J-Parcセンター

ナノ材料創成の切り札となるイオンビーム

イオンビームグループ グループリーダー 岸本 直樹

ナノエレクトロニクスの中核技術

イオンビームは電荷を帯びた原子の束です。これを照射すると、物質・材料内部に原子を注入し、同時に強いエネルギーを与えることができます。イオンビームは、光や電子線に比べて物質波長が短く

波動性が少ないため、回折によるボケが極端に少なく、空間精度に優れているのが特徴です。

この技術はもともと、素粒子・核物理のツールとして発達しましたが、1960年代

から半導体への不純物注入に使われるようになりました。半導体エレクトロニクス製造工程で、電気伝導の制御を担う中心的な技術になっています。

ナノファブリケーションの限界を突破

半導体集積回路の微細化・高度化は著しく、18~24カ月ごとに集積度が倍になる(「Mooreの法則」と言われています。この発展を支えてきた主な技術は、フォトリソグラフィ(感光性物質を塗布した物質表面を露光してパターンを生成)でした。微細化の限界は数十ナノメートル程度と考えられていますが、

これはリソグラフィーに用いる光の波長(200~400 nm)より短いため、技術的限界に近づいています。現在は、原子1個から積み上げる方法と組み合わせて、ナノファブリケーション(ナノ造形加工)の技術開発が競われています。

私たちは、イオンビームこそこの状況を打ち破る最も有効な手段であると考

えています。これまで、イオンビームは半導体ウェハーに均一に広く照射するだけで、微細加工はリソグラフィー技術が担ってきました。イオンビーム自体をパターン化してナノ造形加工することができれば、この限界を突破する可能性があります。

イオンビームによるナノファブリケーション

私たちは、イオンビームによるナノファブリケーション技術の開発、ビームの高フルエンス化(原子注入速度の向上)、ユニークなイオン・材料相互作用を利用したナノ構造・ナノ粒子制御技術の開発などを行って来ました。目指すは、プラズマモニタリング、超高速光通信、高密度記録、バイオパターンングなどへの応用です。

ナノ粒子の空間制御を行うため、イオン・レーザー複合照射法(図1)を開発した

のもその一環です。材料へのイオン(原子)供給をナノパターン化するマスク・イオン照射技術も開発しました。厚さ約200nmのナノパターンSi薄膜マスクを作り、60 keVの負Cuイオンを照射して、SiO₂結晶にスウェリング(膨れ)のナノパターン形成に成功しています(図2)。

さらに、陽極酸化で生成した多孔質アルミナの規則的ナノパターンマスクにより、直径40 nmのナノスポット配列の広域

ナノパターン注入を達成しました。その結果、ナノサイズのパターンニング独特の近隣効果の存在と、その重要性が明らかになりました。ナノパターンイオン注入技術は、電子線などのリソグラフィーによらずにナノデバイスを作り込む技術に道を拓くでしょう。

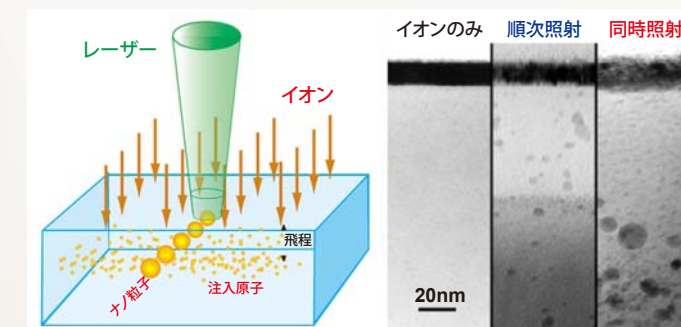


図1 Cuイオン・レーザー複合照射した非晶質SiO₂イオン・レーザーの断面透過型電子顕微鏡像。同時照射のときにナノ粒子が形成されます。

表紙について: 極限粒子場形成装置(重イオンタンデム加速器システム)の負イオン照射ビームラインにおいて、その場計測照射チャンバーを設置している様子。この加速器システムは、強いイオンとフォトリソの重畳した「場」を形成して材料との相互作用を計測・利用するもので、大電流負重イオン源、レーザー同時照射系、あるいは、その場光学測定系等を備えていることが特徴です。

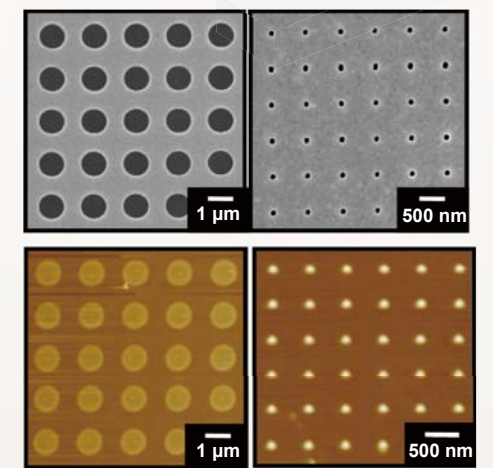


図2 Si薄膜マスク(上、走査型電子顕微鏡像)を用いたSiO₂結晶のイオン照射誘起スウェリングパターン(下、原子間力顕微鏡像)

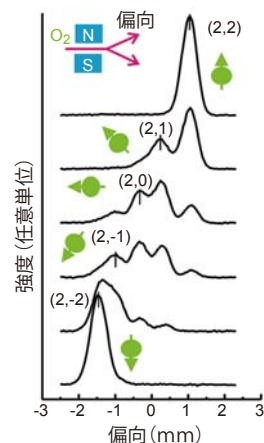
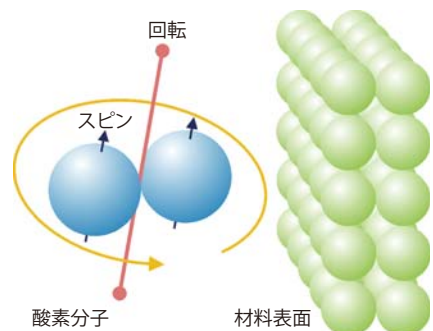
物質表面だけを観測する低速量子ビーム

原子ビームグループ グループリーダー 山内 泰

O₂低速量子ビーム生成に成功

量子ビームの多くは、物質を非常によく透過する性質を備えています。そのため量子ビームを使って物質内部のことを知ることはできません。そこで考え出されたのが、速度が他のビームの1/100~1/10万の秒速約1キロメートルという低速の分子・原子を使った量子ビームです。この音速レベルの低速では物質内部に侵入できず、物質表面の原子としか相互作用しないのです。言い方を換えれば、究極の表面感受性を備えているといえます。私たちのグループは、低速量子ビームとして酸素分子(O₂)、ヘリウムラジカル(He*)、ヘリウムイオン(He+)を利用した技術開発を行っています。

O₂は、機能性酸化物の合成や金属材料の耐環境性を左右する重要な基礎的な化学反応を起こす分子です。これまで、スピンの向きなど量子状態をそろえた分子ビームを反応制御や機構解明に用いる手法が開発されていますが、技術的な理由でO₂に対しては実現でき



(A) 自転しながら表面に接近する酸素分子 (B) シュテルン・ゲルラッハの実験

図1 O₂は互いに平行なスピンを持つ2個の対電子を保持しながら(3重項)2原子分子として回転していますので、表面での反応に分子回転と電子スピンの関与が予想されます。(A) O₂ビームが対向磁場を透熱から断熱まで様々な条件で通過した後シュテルンゲルラッハ実験を行ったところ、5つの状態を順次遷移していく様子が観測されました。(B) ビーム形成過程で分子の回転運動が並進運動に転化した結果、O₂分子が最低の回転量子数1のみを占め、スピン量子数1と合わせてスピン・回転量子数(2,-2)~(2,2)の状態にある証です。

ていませんでした。私たちは、6極磁石を使うことで、世界で初めてO₂の量子状態だけでなく分子配向まで完全にそろえた大強度ビームを生成する手法を確立し

ました(図1)。その技術を生かして現在、配向O₂ビームによる表面反応解析システムを開発しています。

広い応用分野を期待、He低速量子ビーム

また、He*で低速量子ビームを作ると、He*の励起エネルギー(約20eV)を最表面の原子に与えることができるため、自己組織化単分子膜を用いたナノリソグラフィーの理想的な露光源となります(NIMS NOW 2006年12月号)。また、スピンの向きをそろえることで、物質最表面の電子スピンを調べることもできます(NIMS NOW 2009年4月号)。一方、He+ビームは比較的高エネルギー(約1keVの運動エネルギー)で、表面からナノメートル程度まで侵入します。深く侵入したビームは中性のHe原子に

なるので、表面で反射されたものはHe+のままです。これを測定することで、最表面原子の情報を得ることができます。さらに私たちは、スピンの向きをそろえたHe+を生成する技術を開発し、最表面のスピンを元素別に計測できることを実証しました。これを基に、企業と共同で「スピン偏極低エネルギーイオン散乱分光装置」(図2)の開発を進めています。

低速の量子ビームは、ナノ加工技術から元素敏感スピン計測、状態選択反応など幅広い分野で新たな展開を始めています。



図2 スピン偏極低エネルギーイオン散乱分光装置のプロトタイプ
He+イオンビーム: 偏極率~25%、エネルギー10eV~2keV、電流<100nAアナライザー: 角度分解静電半球形、2軸回転

フェイス interview



量子ビームセンター長
岸本 直樹 (Naoki Kishimoto)

量子ビームとナノテク材料研究との必然的な結合

量子ビームにはもともと興味をお持ちだったのですか。

私の元々の専門は半導体物理だったので、実は量子ビームには全然興味はなかったのです。研究所に入るときに、当時は原子力の研究が盛んでしたから、照射損傷の研究をやれと命じられて、ビームを扱うようになりました。そのうち、原子力はトーンダウンになり、そのまま続けることが難しくなって、照射を原子力以外の研究に使う、ビームをあてて材料を削っていくという方向に転じ、ナノテクにこの技術を生かすことになったのです。

量子ビームの研究に現在どんな感想を抱いていらっしゃいますか。

量子ビームの研究はとても楽しい分野だと思います。他の道具では決してできないことができるので、夢の持てる研究です。ただ、お金がかかることがあるという点が苦勞といえ苦勞です。費用対効果という点からみれば難しい点もあるのですが、こうした研究は科学技術発展のための尖兵になることが運命づけられています。例えばスケールは違いますが宇宙開発の仕事なども似ている面があります。そうなるとうちは研究者の熱意が最も大事で、科学技術のピークを拓くよう絶対にやり遂げるという覚悟が必要だと感じています。

ナノテクと量子ビームとは、大変うまく取り合わせですね。

本当にそう思いますよ。ナノテクの材料にファンクションを創りこめる道具として、また、ナノの世界を

直接診る道具として、量子ビームは極めて有効です。ナノテクノロジーというと、日本では非常に小さな世界を真っ先に思い浮かべ、ビームのような巨大科学とは馴染まないと思われがちですが、そうではありません。欧米では違う考え方をされていて、彼らは小さい世界を研究するのに巨大な技術が必須であると強調します。例えば、オークリッジ、アルゴンヌ、ブルックヘブンやマックスプランクなど、大きな量子ビーム施設を持った研究所がナノテクの研究に主力を注いでいます。革新的で役に立つ材料を、量子ビームで調べて創り出すことによって、両者の結合は人類の夢を大きく広げていくでしょう。

量子ビームはナノテクをジャンプさせる可能性を秘しているということですか。

例えば、イオンビームによるナノパターニングは、ナノサイズの光素子やスイッチ機能をそのまま作り込めるという可能性を持っています。現在の光リソグラフィーによる限界を超えることが本質的な意味で可能だということです。極端に言えば、インダストリーを発展させる次の技術の答は、量子ビームの中にしかないと思っています。

後に続く若い研究者にひと言お願いします。

量子ビームの研究は基礎研究と目的基礎がマッチする貴重な分野です。こうした研究をやることの幸せを、是非ともしみじみ感じて研究を続けて欲しいと思います。

希土類元素を使わない 高性能マグネシウム合金

新構造材料センター
軽量材料グループ

消費エネルギー低減のために、鉄道車輛や自動車など車体の軽量化が求められています。それらの構造部材に適用するには、安全・信頼性の観点から軽量でありながらも「つよく」「粘り強く」「変形しやすい」、いわゆる高強度・高靱性・高延性をもつ素材の開発が重要です。

マグネシウムは実用金属材料の中で最も軽量であり、地中埋蔵量が豊富なことから、様々な分野で使用され、構造材料としても採用が検討されています。しかし、その結晶構造に起因して脆弱であること、引張や圧縮など変形方向に依存した強度差(変形異方性)を示すこと、複雑形状への加工や成形が困難であることなど、解決すべきいくつもの問題を抱えています。

私たちは準結晶相の特異な結晶構造に注目し、準結晶を母相結晶への分散粒子として扱うことでこれらの問題解決の手がかりを見いだしました(NIMS NOW 2007. No.9)。準結晶は、原子配列に規則性がないため、母相結晶と準結晶相の界面で原子同士が強固に結合します。そのため、変形中に破壊の起点となりにくく、脆弱さの改善に役立つことや、結晶方位をランダムにし、変形異方性を解消することが知られています。しかし、マグネシウム母相結晶内に準結

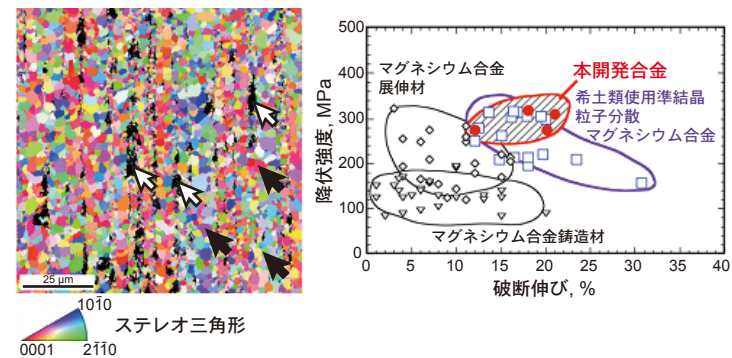
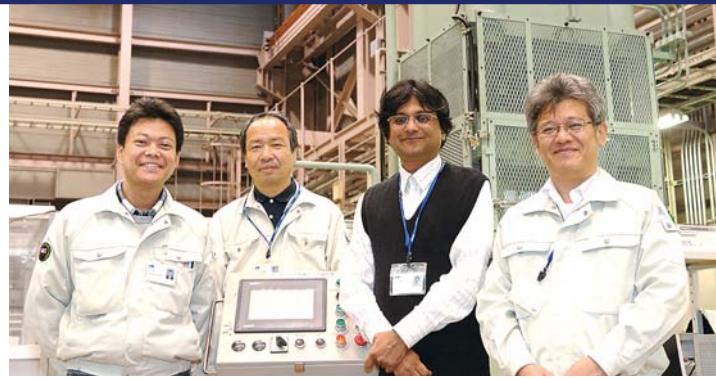


図1 電子線後方散乱回折法(EBSD)*による微細組織観察例(左)、マグネシウム合金の室温引張強度・伸び特性の比較(右)

*各々の母相結晶の色はステレオ三角形に示す結晶方位に対応し、一般的なマグネシウム合金展伸材は同じ色に集まりやすい特性がある



グループリーダー
染川 英俊 大澤 嘉昭 Alok Singh 向井 敏司

晶相を形成させることは非常に難しく、希土類元素の添加が必須と考えられていました。

そこで私たちは高価で貴重な希土類元素の代わりに、比較的安価な汎用元素であるアルミニウムと亜鉛を添加元素として選択し、組成の調整と適切な加工熱処理制御により、 $Mg_{32}(Al,Zn)_{49}$ からなる準結晶またはその近似結晶を母相結晶内に分散させることに成功しました。図1(左)に本開発合金の微細組織観察例を示します。黒矢印は母相結晶、白矢印は準結晶相を表し、準結晶相が母相結晶に分散していることが確認できます。また、母相結晶ごとに色が異なることから、ランダムな結晶方位を示すことがわかります。さらに変形異方性がなく、従来の希土類元素を使用した準結晶粒子分散マグネシウム合金と同等の強度と延性を示すとともに(図1右)、300℃以下の比較的低温での成形性にも優れ、図2に示すように、NIMSのロゴの転写や、歯車形状の部材への成形なども可能です。

このように、本合金は軽量化による消費エネルギーの低減に加え、素材や成形コストの低減にもつながることから、輸送機材をはじめとする様々な構造材料としての応用が期待されます。

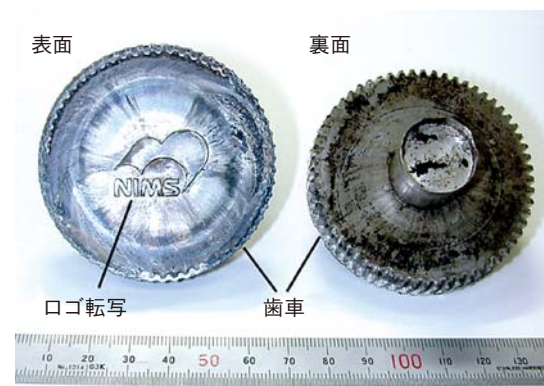


図2 鍛造成形後の外観写真

鉄系超伝導線材 Fe(Se,Te)の試作

超伝導材料センター
ナノフロンティア材料グループ
先進線材グループ*



グループリーダー センター長
高野 義彦 水口 佳一 熊倉 浩明*

低温で電気抵抗がゼロになる物質を超伝導体と呼びます。超伝導状態では電気エネルギーをロスなく遠くに輸送することができます。もし、超伝導体で作られた電線で地球を一周巻いたなら、昼間の地域で太陽光発電し夜の地域へ送電することも夢ではありません。

最近、新しい高温超伝導体として鉄系超伝導が話題を呼んでいます。私たちは、その鉄系超伝導体の線材化にも取り組んでいます。本研究に用いた試料は、鉄系超伝導体中最も単純な結晶構造を持つFe(Se,Te)系で、超伝導転移温度は約14Kです。主成分である鉄は地球上に豊富に存在する元素であることから、鉄をシース材(線材の外形を成す材料)に用い、同時に内部に形成する鉄系超伝導物質の原料を兼ねるというユニークな超伝導線材の作製方法を考案しました。

図1に線材作製プロセスの略図を示します。まず、鉄系超伝導体の鉄以外の成分であるSeとTeをあらかじめ反応させ、SeTe化合物を用意します。

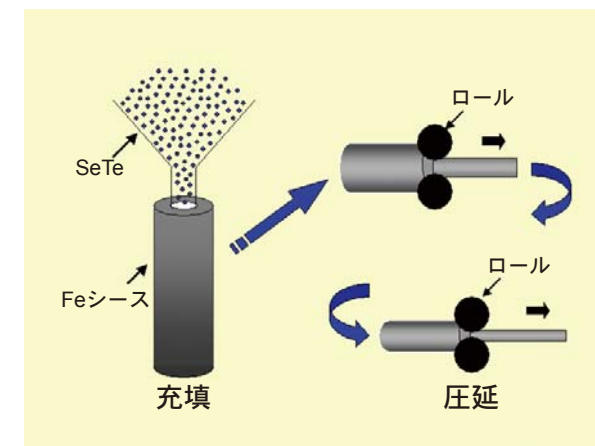


図1 線材作製プロセスの略図

シース材になる鉄製のパイプの中にSeTe化合物を詰め、溝ロールおよび平ロールを用いて、幅4.3mm厚み0.55mmの細長いテープ状の線材に圧延します。このようにして得られた線材を空気と反応しないように石英ガラス管に封入し、熱処理を施します。するとFeシースと内部のSeTe化合物が反応し、Fe(Se,Te)超伝導体がシース内部に合成されました。得られた線材断面の走査電子顕微鏡写真を図2に示します。超伝導体がシースと密着し隙間なく充填している良好な状態が線材の両端の部分に得られました。

線材に電極を設け通電試験を行った結果、鉄系超伝導体を用いた線材において、世界で初めて超伝導電流の通電に成功しました。臨界電流密度は4Kで $J_c=12.4A/cm^2$ とまだ小さな値ですが、今後、充填率の向上やシースと超伝導体の結合の改善、多芯線化、磁束のピンニングサイトの導入などを試みることによって、臨界電流密度がさらに向上するものと期待されます。

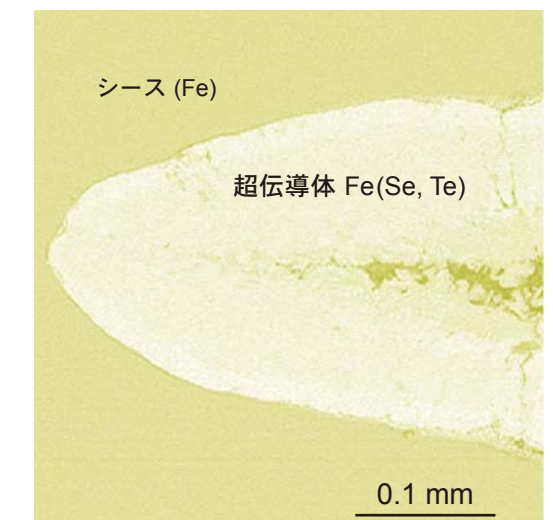


図2 線材断面の走査電子顕微鏡写真

第2回NIMS-WUT-EMPAワークショップ開催

平成21年11月12日と13日、「ナノマテリアルの持続的発展」をテーマにNIMS、WUT(ワルシャワ工科大学)、EMPA(スイス連邦素材研究所)によるワークショップをつくばにおいて開催しました。このワークショップの第一の目的は、若い科学者たちの国際交流活動を活発にさせることにあります。

第1回のワークショップは、平成20年6月にWUTの主催によりポーランドのワルシャワで開催されました。第2回の



ワークショップの参加者

今回は、3機関の経験豊かな科学者と博士課程の学生やポスドクなど若き科学者たち21名が、「ナノマテリアル」、「バイオマテリアル」、「エネルギーと環境」に焦点を当てた研究の口頭発表を行い、若手研究者を対象に行われた研究所ツアーでは、クオリティの高いNIMSの研究設備を見学しました。

産学官ビジネスフェア2009

平成21年11月25日～27日の3日間、「産学官ビジネスフェア2009」が東京ビッグサイトにおいて開催されました。大学、公的機関と企業による産学官連携は“交流”から“ビジネス”へと展開し、名称もそれに合わせて昨年度までの「産学官技術交流フェア」から変更されました。新技術や製品、独自保有技術の出展とともに、ビジネス展開の機会を提供するため、産業界ほか、事業化を支える投資や金融機関からの来場動員を図ることを目的に、日刊工業新聞社主催により、国際ロボット展、先端材料技術展と同時に開催されたものです。

NIMSは共催機関として、CO₂削減を図る超臨界圧発電システム用耐熱鋼、ユニークな金平糖形状の白金ナノ粒子、薄膜形状記憶合金アクチュエータ、深紫外線応用用途ダイヤモンドデバイス、高度材料創製支援技術の5点の研究と概要展示を行いました。またフェア内に併催されたセミナーでは、センサ材料センターの石田章グループリーダーと小泉聡主幹研究員が薄膜形状記憶合金およびダイヤモンドデバイスに関する講演を行い、来場者の関心を集めました。



NIMSブースにて:来場者に説明をするNIMS研究者



第9回
物質・材料研究の
ブレークスルーの芽に出会う。
NIMS FORUM
第9回 NIMSフォーラム
物質・材料の最先端研究と技術移転
— 社会ニーズに応える物質・材料研究 —
2/17 東京ビッグサイト
会議棟7階、国際会議場

第9回NIMSフォーラム

物質・材料の最先端研究と技術移転 — 社会ニーズに応える物質・材料研究 —

環境再生へのナノテクノロジーの適用、要求に対応した最先端分析技術、社会ニーズを実現する環境・エネルギー材料、バイオ技術など、ナノテクノロジーによる最先端研究の発表と技術移転の相談を行います。どうぞご参加ください。

開催日：2010年2月17日(水)

会場：東京国際展示場(東京ビッグサイト)

<http://www.nims.go.jp/publicity/events/nimsforum/nimsforum09.html>