

X線結像光学ニューズレター

No.32 2010年10月発行

高分解能 X線回折顕微法の開発と応用

大阪大学大学院工学研究科 高橋幸生

X線顕微鏡はX線の高い透過性と短波長性を活かし、厚い試料の内部構造を非破壊で高分解能観察できる方法として広く用いられている。特に、近年の放射光科学において、その技術的な進展は目覚ましい。しかしながら、原子分解能を達成している電子顕微鏡と比べるとX線顕微鏡は空間分解能の面で大きな遅れをとってきた。これは、X線が電子線と比べてその進行方向を変えることが困難、すなわち、優れたレンズを作製することが困難であることに起因する。この問題を回避して、原理的にX線波長程度の分解能を達成可能なのが、X線回折顕微法である。X線回折顕微法は、コヒーレントX線回折の散乱強度測定を行い、レンズの代わりに位相回復計算を用いて、試料像を得る。このX線回折顕微法の歴史は比較的浅く、1999年のMiaoらの報告[1]が契機となって、世界中の放射光施設で実験が行われるようになり、手法開発から応用に至るまで多くの報告がなされてきた。本稿では、特に最近著者らが行ってきた硬X線集光ビームを利用した高分解能回折顕微法の開発と応用、そしてその将来展望について述べる。

X線回折顕微法の理論空間分解能はX線波長程度(オングストロームオーダー)であるが、実際にそれを達成することは容易なことではない。高分解能を達成するには、高散乱角度の微弱な回折強度を測定する必要があり、高フラックス密度のコヒーレントX線を試料に照射しなければならない。SPring-8のような既存の放射光源を使って、高フ

ラックス密度のコヒーレントX線を得る唯一の方法がX線を集光することである。放射光用のX線集光素子の中で、X線全反射ミラーは、集光効率に優れ、高フラックス密度のコヒーレントX線ビームを形成することができる。我々は、2008年より2枚の楕円形状ミラーからなる2次元集光素子であるKirkpatrick-Baez (KB) ミラーを用いた高分解能X線回折顕微法の開発を開始した。まず、SPring-8のBL29XULでの実験を想定した波動光学シミュレーションを行い、ミラーの最適形状について検討した。シミュレーションの結果、 $\sim 1\mu\text{m}$ の集光ビームを形成し、試料サイズを $\sim 200\text{nm}$ 以下とすれば、集光点に試料を設置した場合、従来の実験と比較して、2桁以上フラックス密度の大きなコヒーレントX線を試料に照射できることが判明した[2]。

KBミラーを使って高密度にX線を集光するには、理想形状に近く、高いX線反射率をもったミラーである必要がある。よって、出来る限り形状誤差、表面粗さの小さいミラーであることが望ましい。大阪大学の山内教授のグループで開発されたElastic Emission Machining (EEM) 技術は、形状誤差、表面粗さをナノメートルオーダーまで小さくすることができる画期的な加工技術である。我々は、株式会社ジェイテックからEEM加工により作製したミラー(商品名: OSAKA MIRROR)を購入し、このミラーを備えた集光ユニットを回折顕微法装置に組み込み、高分解能回折顕微法装置を構築した。

図1に、KBミラーによって集光されたX線ビーム

を銀ナノ立方体粒子に照射して得られた回折パターンを示す[3]。十字状の斑点模様が低波数から高波数領域に伸びているのが分かる。このパターンは、光学の教科書になら必ず載っている矩形開口からのフラウンホーファー回折パターンと同じである。その強度分布はシンク関数の二乗に従うことが知られている。回折強度が $145\mu\text{m}^{-1}$ 付近まで観測されており、 $\sim 3\text{nm}$ の構造をX線回折により分解できたことを意味する。このような高コントラストな回折パターンを測定できたのは、試料に照射されるX線が非集光時に比べて100倍以上高密度で、なおかつノイズの原因となるミラー表面粗さに由来する寄生散乱がほとんど無視できるため、高いS/N比で回折強度を測定できたことに由来している。また、位相回復計算によって、回折強度分布から試料像の再構成を行った結果、 3nm の分解能で試料像を再構成できた。これは、X線顕微鏡において達成された世界最高の分解能であった。

高分解能X線回折顕微法を使って金属ナノ粒子を観察すると、金属ナノ粒子の微細構造を鮮明に可視化することができる[4]。図2に金銀ナノ中空粒子を観察した例を示す。この金銀ナノ中空粒子は、銀ナノ立方体粒子を塩化金酸溶液中に浸し、銀と塩化金イオン間のガルバニ置換反応によって合成した。図2(a)は様々な入射X線角度で測定された複数枚の回折パターンを位相回復して導出される等電子密度面であり、粒子の表面に小さな穴や窪みのあることが分かる。これまでの研究からガルバニ置換反応の初期過程において、粒子表面に小さな穴が形成されることが報告されており、今回観察された表面の小さな穴は、初期段階の反応に関係していることが示唆される。また、粒子の三次元電子密度分布像をスライスすると、内部構造を電子密度分布として詳細に調べることができる。図2(b)に断面像を示す。断面像を調べると、粒子の角に金原子の多く含まれる領域が局在している傾向が見られる。このことから、粒子の角を起点として置換反応が進行したことが示唆される。また、断面像から最も薄い構造の断面プロファイルをプロットす

るとその半値半幅は 10nm であり、これは、 10nm より優れた空間分解能で、観察できていることを意味するとともに、X線CT撮影で達成された世界最高分解能であった。

試料に照射するコヒーレントX線のフラックス密度を大きくすると、微弱なコヒーレントX線回折強度を測定できるようになる反面、試料の照射損傷を無視できなくなる。すなわち、空間分解能が照射損傷によって制限されてしまう。この問題を解決するのが、次世代光源であるX線自由電子レーザーであり、現在、SLAC国立加速器研究所(アメリカ)、ドイツ電子シンクロトロン施設、SPring-8で建設中である。X線自由電子レーザーでは、フェムト秒オーダーの短時間に、SPring-8の 10^9 倍程度の強度のコヒーレントX線を試料に照射することが可能となる。X線照射によって、当然、試料は破壊されるが、試料損傷が顕著になる前に、コヒーレント回折強度を取得できる可能性がある。すなわち、単分子であっても原子分解能イメージングが実現できる。近い将来、日本の硬X線自由電子レーザーをOSAKA MIRRORで集光し、究極的なX線イメージング実験が実現することを願っている。

本研究は、理化学研究所播磨研究所放射光科学総合研究センターの石川哲也センター長、北海道大学電子科学研究所の西野吉則教授、京都大学大学院工学研究科の松原英一郎教授、大阪大学大学院工学研究科の山内和人教授のグループとの共同研究によるものである。また、本研究は、科学技術振興調整費の委託事業「若手研究者の自立的な研究環境整備促進」プログラムおよび科学研究費「若手研究A」の支援の下、遂行された。

参考文献

- [1] J. Miao, P. Charalambous, J. Kirz, D. Sayre, *Nature (London)* **400** (1999) 342.
- [2] Y. Takahashi, Y. Nishino, H. Mimura, R. Tsutsumi, H. Kubo, T. Ishikawa, K. Yamauchi, *J. Appl. Phys.* **105** (2009) 083106.
- [3] Y. Takahashi, Y. Nishino, R. Tsutsumi, H.

Kubo, H. Furukawa, H. Mimura, S. Matsuyama, N. Zettsu, E. Matsubara, T. Ishikawa, K. Yamauchi, Phys. Rev. B **80** (2009) 054103.

[4] Y. Takahashi, N. Zettsu, Y. Nishino, R. Tsutsumi, E. Matsubara, T. Ishikawa, K. Yamauchi, Nano Letters **10** (2010) 1922.

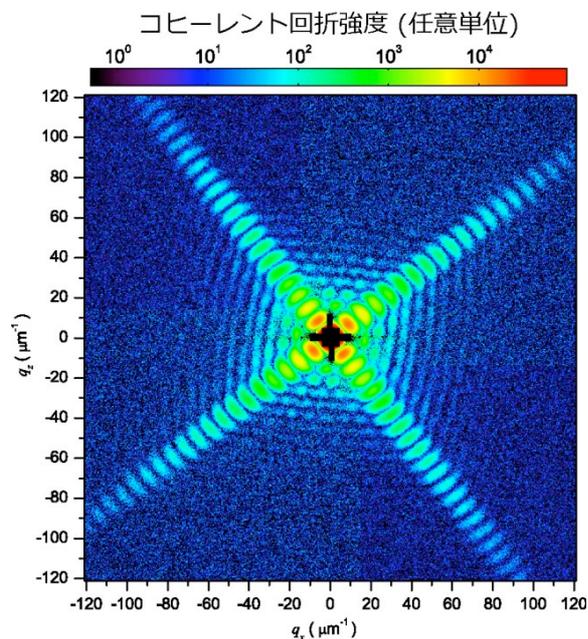


図1 OSAKA MIRRORによって集光したコヒーレントX線ビームを照射して得られた銀ナノ立方体粒子からの回折パターン。

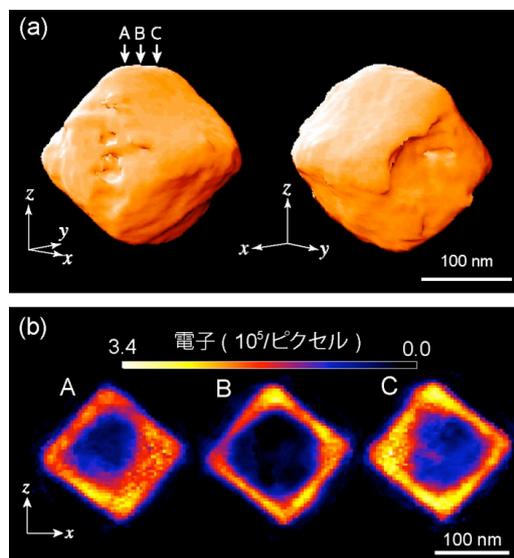


図2 高分解能X線回折顕微法によって観察した金銀ナノ中空粒子。(a)表面像, (b)断面像。

レーザープラズマ X 線による微細加工

筑波大学大学院数理物質科学研究科電子・物理工学専攻

牧村哲也、鳥居周一、村上浩一

産業技術総合研究所光技術研究部門

新納弘之

X線と物質の相互作用に関しては多くの研究がなされているが、X線照射のみにより物質表面が爆発的に剥ぎ取られるアブレーションの閾値以上のエネルギー密度のX線と物質との相互作用は未開拓の分野である。既存の半導体技術やそれを基礎としたMEMS技術では加工が困難な材料および長さ領域における加工が可能になると期待できる。特に、スループットが高く低コストな無機透明材

料のマイクロ・ナノ加工法は、医療やバイオテクノロジーの分野における極微量化学分析器および極微量化学反応器の作製における基盤技術となりえる。

我々は、X線による実用的なマイクロ・ナノ加工法の確立を目指し、X線源としてナノ秒のレーザープラズマX線に着目した。レーザープラズマX線は広いスペクトル幅を有するため、これを無駄な

く被加工物に照射するため集光できる帯域が広い斜入射型の集光光学系を採用した。これにより、 SiO_2 [1-4], Al_2O_3 , PMMA[5], PDMS などの広範な材料のX線直接加工が可能であることが明らかとなってきた。

図1にレーザープラズマX線を用いた加工装置の模式図を示す。X線源(X)として、ターゲット(T)にパルスレーザー光(L)を照射することにより発生するプラズマの発光を利用した。本研究では、 10^{-4} Pa まで排気した真空チャンバー内で、波長 532 nm, パルス当たりのエネルギー 700 mJ/pulse, パルス幅 7 ns, 繰り返し周波数10 Hz の Nd:YAG レーザーをターゲットに照射して発生させた。発生したX線を効率よく集光するため、回転楕円体から成る楕円ミラー (M) を用いて試料 (S) に集光して照射した。この集光照射には、シリカガラスで作製した楕円ミラーの表面上に、金をコートしたミラーを用いた。楕円ミラーは試料表面上で波長が10nm 前後のX線の強度が最も高くなるよう設計してある。X線の強度は、X線がミラーに入射する仰角と光源からのミラーを見込む立体角により決まる。ミラーに対して 200 mrad で入射すると、波長が 10 nm 前後のX線を効率よく集光できる。ただし、概略 5 nm より短い波長のX線はミラーで反射できず試料には照射されないことになる。X線発生のためにターゲットにレーザー光を照射すると、プラズマが発生するが、同時に高速電子、高速原子、高速イオン、 $1\mu\text{m}$ 程度の大きさの液滴がターゲットから放出される。これらが被加工物表面に直接到達しないよう遮蔽板 (B) を設置した。

図2は、レーザープラズマX線を照射したシリカガラスの共焦点レーザー顕微鏡写真である。X線を照射した効果が明確になるよう、コンタクトマスクを用いた。このコンタクトマスクは、Ni製で格子状に四角形の穴が開けてあり、X線を照射する際に試料表面に設置した。図から明らかなように、マスクの四角い穴を通してX線を照射した領域の表面が削り取られている(アブレーション)ことが分かる。この場合 10 ショット照射することで表面

から 470 nm アブレーションされた。このように実用的な高いレートで加工が可能であることを明らかにした。さらに、この時の表面粗さは1nm 以下であり、高品位の加工が可能であることは特筆すべきである。シリカガラス表面におけるX線のエネルギー密度を制御することで、概略 $60\text{mJ}/\text{cm}^2$ に閾値があり、それより高いエネルギー密度でアブレーションされることが明らかとなった。すなわち、高いエネルギー密度でX線を入射する必要があることが明らかとなった。さらに、ナノ加工の可能性を明らかにするため、図3(a)に示すように、シリカガラス上に溝幅53 nmのラインアンドスペースのWSiマスクを電子ビームリソグラフィにより作製した。このマスクを通してシリカガラスにレーザープラズマX線を照射し、その後マスクを除去した。さらに照射領域の断面が観察できるように試料を割断し、斜め上方から走査型電子顕微鏡を用いて観察した。図3(b)にその典型的な写真を示す。シリカガラス上に54nmの幅の溝が作製されており、マスクと同じ幅の溝が作製できた。

以上の研究により、レーザープラズマX線を用いたシリカガラスの実用的な光直接加工法を確立した。とくに、試料表面上で大きなエネルギー密度を確保するため、パルスX線源であるレーザープラズマX線を採用し、波長が10nm前後のX線を効率よく集光する光学系により集光した。これにより、X線のみによるシリカガラスのアブレーション加工を実現した。

参考文献

- 1) T. Makimura, S. Mitani, Y. Kenmotsu, K. Murakami, M. Mori and K. Kondo, Appl. Phys. Lett. 85, 1274(2004).
- 2) T. Makimura, H. Miyamoto, Y. Kenmotsu, K. Murakami and H. Niino, Appl. Phys. Lett. 86, 103111(2005).
- 3) T. Makimura, S. Uchida, K. Murakami and H. Niino, Appl. Phys. Lett. 89, 101118 (2006).
- 4) S. Torii, T. Fujimori, T. Makimura, H. Niino, K. Murakami, Appl. Surf. Sci. 255, 9840(2009).

5) S. Torii, T. Makimura, K. Okazaki, D. Nakamura, A. Takahashi, T. Okada, H. Niino, and K. Murakami, Applied Physics Express 3, 066502 (2010).

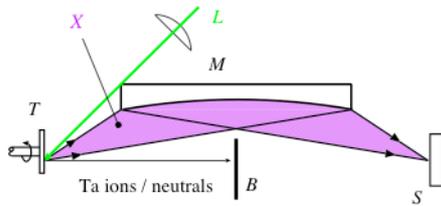


図 1: レーザープラズマ X 線を用いたアブレーション加工装置.

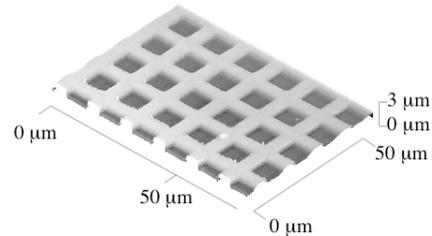


図 2: 格子状に四角形の穴が配列したマスクを通して X 線を照射した後のシリカガラス表面の共焦点レーザー顕微鏡写真.

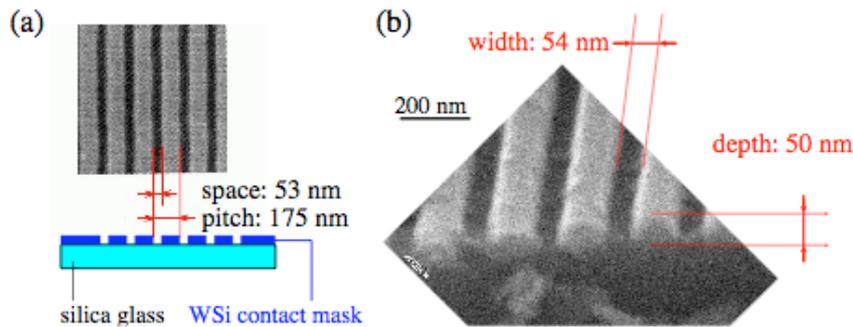


図3: (a) 加工解像度調べるためにシリカガラス上に電子ビームリソグラフィで作製したラインアンドスペースのマスク. (b) マスクを通して X 線を照射することで作製したシリカガラス上のナノトレンチ.

超微粒子乳剤を用いたダークマター探索計画と X 線顕微鏡の応用について

名古屋大学エコトピア科学研究所 田原 譲
 名古屋大学理学研究科素粒子宇宙物理学専攻 中 竜大
 高輝度光科学研究センター 鈴木芳生

ダークマター（以下 DM と略記）は宇宙物理学及び素粒子物理学において最も重要な研究テーマのひとつである。その正体を探る試みは宇宙と

地上で精力的に展開されてきている。本稿では地上における直接検出の試みにつながる X 線顕微鏡を用いた研究について紹介する。

DMは、銀河団における銀河の運動からその存在が最初に指摘された。その後我々の天の川銀河においても、ガスや星の運動からその分布が調べられ、今では宇宙全体にわたって、その存在量は宇宙の全エネルギー密度のおよそ1/4を占め、星やガスなどの通常物質であるバリオンの6倍ほどの質量を占めると考えられている。このように重力源としてDMの存在はほぼ確立しているが、その正体は不明である。ダークマターの候補となる粒子については、電磁相互作用より相互作用が弱く電氣的に中性で質量が宇宙晴れ上がり時の熱エネルギー（ $\sim 1\text{ eV}$ ）より十分大きいこと、などの性質が求められ、総称してWIMP (Weakly Interacting Massive Particle)と呼ばれている。その筆頭候補は超対称性粒子のニュートラリーノである。天の川銀河におけるWIMPは自身の作る重力ポテンシャルの中で $\sim 300\text{ km/s}$ の平均速度を持ち球状等方的に分布し、太陽系近傍での質量密度が、 $0.3\text{ GeVc}^{-2}\text{ cm}^{-3}$ と見積もられている。このWIMPの海の中を我々のいる太陽系は、銀河中心のまわりの回連速度 230 km/s で運動しており、 $\sim 10^4 (100\text{ GeVc}^{-2}/M_{\text{WIMP}})\text{ cm}^{-2}\text{ s}^{-1}$ のfluxが我々をつらぬいていると考えられる。一方予想されるWIMP粒子と原子核との相互作用断面積は 10^{-41} cm^2 以下と極めて小さく、検出器質量(ターゲット総数)とイベント蓄積時間で決まる検出感度を上げることと、環境 γ 線・ β 線・中性子および検出器固有のバックグラウンド除去がDM直接検出の最大の課題である。

WIMPの地上検出実験には、世界中で10数組のグループが取り組んでいるが、手法で分類すると、WIMPが検出器を構成する原子の原子核と衝突し、反跳で動いた原子核のエネルギーのみをとらえるものと、反跳方向まで含めてとらえるものとに大別される。これらのうちエネルギーのみを検出する方法では、バックグラウンドとの区別がつかないため、地球の公転運動に伴う対WIMP速度の季節変動を検出根拠にしようとしている。これまでに、DAMAグループ¹⁾により数%の季節変動がと

らえられたという主張がなされているが、これを支持する他のグループによる結果は出ていない。一方飛跡方向検出が可能なガスカウンターは $100\text{ g} \times$ 数ヶ月程度の有感質量 \times 蓄積時間を得ているが、統計的に有意なイベント数は得られていない。これに対し以下に紹介する原子核乾板での原子核反跳による飛跡を検出する方法は、固体ターゲットを用い、かつ方向検出可能という点でユニークである。ただし質量が数 100 GeVc^{-2} と考えられているWIMPが相対速度数 100 km/s で衝突したときに得られる反跳原子核のエネルギーは小さく、固体中では数 100 nm しか走ることができない。このためサブミクロンの分解能での飛跡検出が必要となる。ここで登場するのがこれまでタウニュートリノの直接検出などの素粒子実験で活躍している原子核乾板である。これはゼラチン中に臭化銀結晶を分散させた写真フィルム的一种であるが、その高い分解能を活かし、3次元でミクロンサイズの飛跡を読み出すことができる。特に最近開発された臭化銀結晶サイズが 40 nm の超微粒子乳剤の場合1ミクロンあたりの臭化銀結晶個数は11個であり、数 100 nm と予想される反跳原子核飛跡からその運動方向は十分決定できると期待される。このような原子核乾板はNano Imaging Tracker (NIT)と呼ばれている。

このNITを用いたWIMP探索実験の準備が数年前から始まっている。まずNITが反跳原子核に対して方向検出感度を持つことをKrイオンを用いて実証した。図1はイオン注入装置を用いKrイオンを 200 keV (680 km/s)– 600 keV (1200 km/s)に加速しNITに浅い角度で入射させ、できた反跳原子核の飛跡をSEMで撮像したもので 600 nm に伸びた構造がはっきりとわかる。これでNITの性能は実証されたが、全飛跡の読み出しには多くの工夫が必要になる。

まず乳剤の厚みはDMとの衝突イベントを効率よく検出するため、できるだけ厚くすることが求められ、現状では $70\text{ }\mu\text{m}$ を予定している。このため電子顕微鏡は乳剤の奥に作られるイベント

の読み出しに用いることはできない。また有感質量 10kg に対応する原子核乾板の枚数は、100 mm × 100 mm の大きさと乳剤層厚 70 μm を仮定すると 10⁴ 枚程度となる。従って乾板のサブミクロン飛跡の高速読み出しが、本研究の最重要課題の一つとなることがわかる。ここでまず 70 μm 厚中の銀粒子のサブミクロン構造検出に有用なものが X 線顕微鏡である。例えば 8 keV の X 線では 70 μm の乾板の透過率は 90% 以上であり、現状の X 線顕微鏡では空間分解能 100 nm 以下が可能であるから、本研究課題には適した装置と言える。ただし 100 mm 角 10⁴ 枚の乾板全域の飛跡探索をいきなり X 線顕微鏡で行うことは、少なくとも現状の処理速度からして現実的ではない。そこでサブミクロン構造ではあっても可視光顕微鏡によって候補イベントを高速に読み出す工夫が必要となる。このために開発した技術は、原子核乾板の現像後の拡大（引き伸ばし）処理である。乾板の素材であるゼラチンは水につけるとこれを吸収し膨潤を起こす。現在この現象を利用して乾板の表面方向縦横に 2 倍の拡大が可能となっており、この拡大によって可視光顕微鏡を用いても、サブミクロン飛跡の候補を検出することができるようになってきた。図 2 はピクセルサイズ 27 μm 角のグリッドパターンのマスクを用いて乳剤に密着露光して現像した NIT (左) とこれを拡大処理したものの (右) を表している。縦横 2 倍の拡大前後でこの像の変化を詳細に調べ、乾板の拡大に伴う飛跡方向の角度の決定精度は 1.8 度程度と確認されている。この拡大手法により Kr 打ち込みに伴ってきた原子核反跳飛跡候補を可視顕微鏡システムで抽出・画像解析し、打ち込み方向に対して 30 度程度の角度分解能を持つことが示された。

こうして見つけた候補に対して、次に SP8 BL47XU のフレネルゾーンプレートを用いた X 線顕微鏡で 8 keV の X 線イメージを取得した。図 3 はその結果を示しており、左側が可視光イメージ、右側が X 線像である。ここで用いた乾板のサイズは 10 mm 角、70 μm 厚のポリスチレン・フィ

ルムの上に 5 μm のゼラチン層および NIT 層が載ったものである。資料にはフィデューシャル・マークをつけ光学顕微鏡と X 線顕微鏡の像の相互位置関係を特定できるようにし、完全に同一領域の両波長によるイメージ取得に成功した。

以上の手法が整ったことにより、いよいよ本格的なデータ取得のための基礎準備ができたことになるが、イベント取得の実験開始までには、さらにバックグラウンドイベントによる偽飛跡除去を進める必要がある。

DM についての最終的な結論が出るのはまだ数年先と思われるが、検出競争は活発になってきており、早い段階でのイベント蓄積開始が望まれる。この場合大量の原子核乾板の飛跡候補の最終確認の手段と期待される X 線顕微鏡については専用の装置の準備が望まれる。また NIT の開発自身については、その極限的な空間分解性能を活かして様々な他分野への貢献も考えられる。また可視光顕微鏡、X 線顕微鏡、電子顕微鏡それぞれの有効利用法にも 1 石を投じる可能性があり、各研究分野相互の交流の重要性も増してくると思われる。この観点からも本稿をお読みいただいた皆さんから、ご意見、ご助言をいただけると幸いである。

[参考文献]

- 1) R. Bernabei et al. Eur. Phys. J. C 67 (2010) 39.
- 2) R. Bernabei et al. Eur. Phys. J. C 56 (2008)
- 3) Y. Tawara¹, et al., EAS Publications Series, **36** (2009) 319-320
- 4) Y. Suzuki, Hollow-cone Illumination for Hard X-ray Imaging Microscopy by Rotating-grating Condenser Optics, Proceedings of XRM2010, submitted

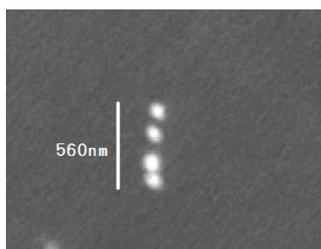


図1 超微粒子乳剤 NIT による低速 Kr イオン (1200km/s, 600 keV) 飛跡のSEM画像

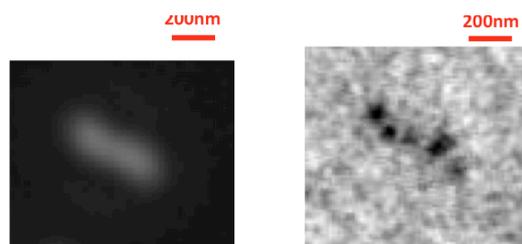


図3 超微粒子乳剤 NIT による低速 Kr イオン (1200km/s, 600 keV) 飛跡の可視光顕微鏡画像 (左) およびX線顕微鏡画像 (右)

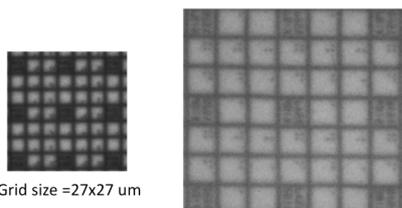


図2 マスク密着露光による27 ミクロン角グリッドパターンを焼き付けた NIT の可視光顕微鏡像(左)とこれをさらに縦横2倍の拡大処理をした NIT の可視光顕微鏡像 (右)

「第10回X線顕微鏡国際会議 (XRM2010)」報告

青木貞雄 (筑波大学)

表記国際会議が本年8月15日から20日まで米国シカゴで開催されました。この会議は、第1回のドイツゲッチンゲン大会(1983年)以来、原則的に3年に1度のペースで開かれてきましたが、前回のスイスチューリッヒ(2008年)では参加者が300名を越え、開催頻度の増加を望む声が大きくなりました。その結果、今回から1年前倒しになり、2年に1度の開催に踏み切ることになりました。開催年度の短縮化による参加者の減少が懸念されましたが、開催日直前に340名を越え、当日受付を加えると350名近くになったとのことでした。最近では、開催毎に参加人数が10%以上増えており、この分野の成長が続いています。

学術講演は招待講演が24件、一般口頭講演が41

件、ポスター講演が221件でした。これまで伝統的に口頭講演はひとつのセッションに限ってきましたが、発表件数が増加したため、今回は一部の一般講演がパラレルセッションになりました。会議の参加者からはパラレルセッションに対していろいろな意見が出ましたので、次回開催での検討課題のひとつになりました。

今回の会議では、これまで以上に空間分解能向上に関する発表が目立ちました。この会議は、元々“水の窓”波長領域(2.3~4.3nm)近辺における軟X線顕微鏡研究発表が主でしたが、硬X線領域(0.1nm前後)の素子開発が進むにつれ、より高分解能を期待する声が高まって来ました。特にコヒーレント回折顕微鏡では、結晶解析的な感覚から、ナノメート

ルに迫る分解能の議論がいくつか見られました。

集光素子利用関連では、カークパトリック・バエズミラーや多層膜透過ラウエレンズによって、一次的でしたが 10nm 前後のナノプローブの紹介もありました。応用面では、生体試料の 3 次元観察をめざしたバイオイメージングが多く見られました。特に、位相コントラストイメージングは新しい手法の提案もあり、研究の進展が見られました。蛍光 X 線イメージングによる元素マッピングは利用分野の拡大が見られ、急速な広がりを感じさせました。表面物性観察の光電子イメージングも観察例が増え、

利用者のすそ野も広がって来ているようです。アブストラクトは<http://xrm2010.aps.anl.gov>で参照できますのでご覧下さい。

本会議のプロシーディングは米国物理学会 (AIP) から発行され、2011 年前半に刊行予定です。

尚、次回の XRM2012 は中国、上海に決まりました。同時に、次々回の XRM2014 もオーストラリア、メルボルンに決まりました。

最後になりましたが、日本からも本研究会メンバーを中心に大勢の方々が参加され、当該分野での存在感を十分に示されたことに深く感謝致します。



X-RAY
IMAGING OPTICS



編集部より

【お知らせ】

メールアドレスなどの変更等のご連絡、また掲載記事に関して
ご要望・ご質問などありましたら、当編集部までお送りください。

X線結像光学ニューズレター
No.32 (2010年10月)

発行 X線結像光学研究会
(代表 筑波大学 青木貞雄)
編集部 名古屋大学エコトピア科学研究所 田原 譲
(協力研究室: 大学院理学研究科物理学教室U研)
〒464-8603 名古屋市千種区不老町
TEL/FAX : 052-789-5490
E-mail: tawara@u.phys.nagoya-u.ac.jp
