

X線結像光学ニューズレター

No.24 2006年10月発行

第16回国際顕微鏡学会議 (IMC16) 報告

東海大学工学部 伊藤 敦

表記国際会議が今年9月3日から8日までの6日間の日程で、札幌コンベンションセンター(札幌市)で開催された。本会議は、国際顕微鏡学会連合(IFSM)が4年ごとに開催する会議であり、国際電子顕微鏡学会議として1949年より行われている。日本での開催は、1966年、1986年(いずれも京都)について3回目となる。今回より、会議名から「電子」がとれ、種々の顕微鏡技術、scanning probe, optical, confocal, X-ray, ion microscopyなどを包括的に扱う会議となった。このことは、今回の会議のメインテーマ、“Microscopy for the 21st Century” --Contribution to Life and Materials Science--にみられるように、バイオテクノロジー、ナノテクノロジーといった21世紀さらに発展が期待される新技術における顕微鏡全般の役割の重要性を示すものである。セッションは、この2本柱を中心に組み、装置・材料系37、生物系26、その他、基調講演が5、Hot topicsと称する特別セッション(この中には、北大・郷原教授がオーガナイズされたdiffraction microscopyのセッションも含まれていた)が5となっており、参加者は、55カ国より2,073名にのぼった。

上述のテーマの下に、X線顕微鏡についてもセッションが設けられることになり、私とStony Brook Univ.のChris Jacobsen教授が担当した。招待講演者にX線顕微鏡のreviewをお願いすることによって、参加者の大部分を占める電子顕微鏡分野の研究者を聴衆として迎えることを第一の目標とした。Jacobsen教授はX線顕微鏡全般について、Ade教授(North Carolina State Univ.)が軟X線顕微鏡の特徴を生かしたspectromicroscopyの高分子化合物組成分析への応用について、Susini博士(ESRF)は、蛍光X線イメージングをはじめとする硬X線顕微鏡のさまざまな光学系とそれらの応用

について包括的に講演いただいた。いずれの講演も最近の成果まで含めて多岐にわたっており、大変魅力的なものであった。このような講演では、外国の研究者は手慣れて上手なことを改めて感じた。特筆すべきは、聴衆を考慮して、電子顕微鏡観察との比較にかならずふれられていたことで、たとえば、Jacobsen教授の講演では、軽元素分析におけるEELSとXANESプロファイルを利用したspectromicroscopyが取り上げられ、X線の場合の利点、すなわち、多重散乱がないこと、エネルギー分解能が高いこと(0.05-0.1eVに対しEELSでは0.6eV程度)、放射線損傷が低いこと、その反面、複数の元素が同時に観察できないこと、などの比較がなされた。一般演題からは、硬X線顕微鏡の高分解能化のキーとなる技術、micro(nano)probe作成に関して、KBミラー(阪大・松山博士ら)、ゾーンプレート(SPring-8・鈴木博士ら)、多層膜ラウエレンズ(APS・Vogt博士ら)の3つの異なったアプローチによる発表が連続して行われた。内容的には、昨年姫路で開催されたX線顕微鏡国際会議(XRM05)で発表されたものも含まれるが、さらに分解能が向上し、いずれも30nmに達しようとする結果が報告された。今後これらの技術がどのように発展するのか大変楽しみである。会場が小さかったためもあるが、座席はほとんど埋まり、60-70名は聴講されたと思われる。なじみの方以外に多くの電子顕微鏡その他の分野の研究者の参加がえられたことは、国際会議ならではのと思う。引き続きX線顕微鏡ポスターセッションでは、17演題が展示され、硬X線顕微鏡光学系、硬X線光学素子、硬X線・軟X線CT、実験室タイプのCTや顕微元素分析装置、蛍光X線分析による細胞の元素マッピングなど、多彩な話題が提供された。その他のセッションで個人的に興味を持った話題の一つに、電子顕微鏡

トモグラフィーによる生物観察の現状がある。電子顕微鏡トモグラフィーでは、試料が360度回転できないために（せいぜい±70度）、ソフトウェアの改良、dual axisによる回転方法の工夫によって、きれいな3次元画像が、細胞で数nmの分解能、小腸微絨毛の超薄切片試料におけるアクチン繊維で1nm以下の分解能で報告されており、大いに刺激を受けた。今後、他の顕微鏡分野との光学・画像処理技術や試料作成方法などについての情報交換がX線顕微鏡観察の展開のために重要であることは間違いなく、本会議はそのような目的には最適な場の一つである。

会期半ばに開催された札幌コンサートホール Kitaraでの記念式典では、天皇皇后両陛下がご臨席

され、自らも走査電子顕微鏡でハゼの微細形態を観察されたことなどをまじえたはげましのお言葉をいただいた。ちょうど秋篠宮殿下第三子悠仁親王のご誕生と重なり、登壇者のお祝いの言葉と会場からの祝福の拍手に、急遽追加のお言葉を述べられた。はじめて天皇陛下のお言葉を直接耳にし、70歳を越えておられるとは思えないよく通るお声と間の取り方を目の当たりに実感することができた。続く札幌フィルの演奏は、なじみの曲目で構成され、会議半ばでリラックスするよい機会となった。

なお、会議のプロシーディングスは、発表件数が1,800余と膨大であることもあって刊行はされず、アブストラクトのみとなった。次回はブラジルのリオデジャネイロで開催予定である。

MEMS技術を応用した超軽量X線光学系の開発

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 江副祐一郎、輿石真樹、満田和久

kg当り数百万円の打ち上げコストと長期の開発を必要とする科学衛星にとって、軽量化と低コスト、低労力化は永遠のテーマと言えるかもしれない。宇宙X線観測においても、大型ミッション用の大口径の望遠鏡や小型衛星に向けて、軽量の光学系が求められている。そんな中、本ニューズレターNo.20でも紹介されたように、世界ではさまざまな開発が進められている。我々は世界で最軽量の集光・結像光学系を目指し、独自の開発を進めている。

我々の方法はMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を応用するものである。MEMSとは機械的、電気的な構造を集積化した小型デバイスであり、MEMS製作技術を用いれば、3次元の深い構造体を作ることができる。この技術を用いて厚さ数百 μm の薄いシリコン基板に μm オーダーの微細な穴を開け、その側壁を反射鏡として利用する。この方法では、たくさんの反射鏡を集積化して一気に生産できるため、これまで一枚ずつ作っていた鏡を楽にしかも安く生産しうる。さらに基板が極めて薄いため、世界で最も軽量の望遠鏡となりうる。

ここで鏡として使う側壁は \AA レベルで滑らかでなくてはならない。そこで我々はMEMS技術の一つ、シリコンの結晶異方性エッチングに着目した。シリ

コンは結晶面によってアルカリ溶液に対するエッチングレートが最大で数百倍も異なり、エッチング後に滑らかな結晶面を得ることができる。この面を反射鏡として用いるのである。

光学系のコンセプトを図1に示す。結晶面はある方向に限られるため、光学系を組む際には、鏡を小さく切り出したチップを多数用意し、理想的な曲面を直線で近似する。入射するX線に対し、鏡を斜めに多段に配置することで集光結像系を組む。

我々はこのMEMS X線光学系を目指し、2004年から開発を始めた。その後、産総研、生産研、首都大らの協力を得て研究を進めている。念頭に置いているのは、将来の小型衛星のための広視野の軟X線光学系である。約30分角半径の視野を持ち、1keVでon-axisの有効面積 500cm^2 を持つ望遠鏡を数kgで実現することを目指している。

開発の第一段階として、我々はまずシリコン(111)面を側壁に持つ鏡チップを試作し、その側壁で軟X線が反射することを初めて実証した。鏡の表面粗さは、当初10 \AA レベルが限界であったが、エッチング中の気泡の除去を超音波で効率よく行うことで、3~8 \AA 程度にまで改善しつつある。課題は、幾何学的な有効面積を決めるアスペクト比、すなわち穴の幅と基板の厚みの比、と開口率の追求で

ある。

鏡チップの開発と平行して、我々は光学系の試作も進めている。図1に示すようにMEMS X線光学系は光学系土台および鏡チップから成る。我々はプラズマを用いたドライエッチングを使用し、 μm オーダーの精度で土台を製作した。現在は、鏡チップの切り出しおよび土台との接合法を開発中であり、近日中に光学系の第一号を完成したいと考えている。

本光学系の角度分解能は、理論的には穴が狭いことによるX線回折、現実的には鏡の配置精度、鏡の平坦度、直線近似がリミットし、現在の製法では、数分角ほどと思われる。また材質がシリコンであるため、高エネルギーX線に対する集光力は限られる。

我々は他のMEMS技術を用いた方法で、これらの点を改善できないかと考えている。例えば微細な構造への金属の電析や穴の内部の研磨などであり、アイディアは尽きない。

MEMS技術はその軽量性はもちろん高い工作精度の点で光学系にうってつけである。日本のMEMS分野は世界的にも高い競争力を持っており、分野を超えた強力なタッグを組んで、さまざまな開発を進めてゆければと考えている。

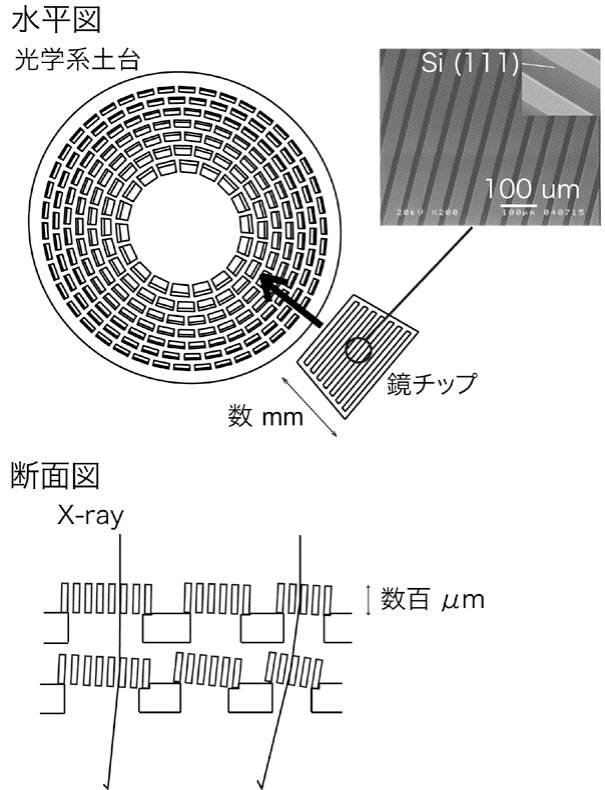


図 1: MEMS X線光学系のコンセプト



各種報告

【ニューズレターの電子版に向けて】

X線結像光学研究会代表
筑波大学数理物質科学研究科 青木貞雄

本研究会の母体である重点領域研究「X線結像光学」は平成元年度（1989年）から平成3年度に掛けて実施されました。それまではX線光学に関する全国規模の研究者集団の組織もなく、2, 3の研究施設を中心に情報交換がなされている状況でした。当時は、X線天文学、放射光科学、プラズマ・核融合など、比較的基礎的な研究分野の活動が活発でした。これらの分野では、X線分光が主な研究手法として利用されていましたが、研究の高度化に伴い、空間的な情報取得への関心が高まっていました。幸いにして、これらの研究分野では、いくつかの国家プロジェクトが推進され、新しいX線光学素子の具体化が期待され始めました。このようにして関連分野の研究者が組織化され、重点領域研究「X線結像光学」がスタートしました。

重点領域研究では、研究分野とX線光学技術テーマを「タテ、ヨコのマトリックス」に整理し、研究体制をすっきりした形で進められました。結果として、国内のほぼすべての関連分野の研究者が参加可能となり、充実した研究会と数多くのワークショップが展開されました。更に特徴的なことは、民間との連携も積極的に進められ、広い分野の人材育成や共同研究に貢献しました。これらの活動が実を結び、平成7年1月に最初の「X線結像光学ニューズレター」が発行されるに至りました。

本誌は、研究会設立当初の趣旨を踏まえ、「X線結像光学をキーワード」にした広範な分野をカバーしています。内容は、できるだけホットな研究の話題提供を心掛けていますが、関連の会合案内や会議報告も主要な掲載記事になっています。今回から電子版に切り替えましたので、記事の拡充が比較的容易に行えるのではないかと期待しています。

紙版の方が読み易く保存し易いと思いますが、電子版には別の良さもあると思います。将来的には読者相互の「双方向の通信欄」の設置も考えています。

皆様のご意見をお寄せ下さい。

尚、参考のために本会の主な活動を以下に示しておきます。

1. 「X線結像光学シンポジウム」

2年に1回、晩秋から初冬にかけて開催（2日間程度）。

前回（2005）は神戸市（世話人、木下博雄氏）、次回（2007）は中部地区（世話人、難波義治氏）。

2. 関連学会シンポジウム

各研究分野の年会の際、適宜開催。国際会議も含む。本会は共催または後援等。

3. 関連書籍の出版

「X線結像光学：培風館（1999）」、今後、改訂版あるいは新規書籍の出版。

4. 研究プロジェクトへの申請

科学研究費「特定領域研究」への申請、各種プロジェクトへの申請など、適宜。

5. 本誌「ニューズレター」の発行

原則として、春、秋の計2回。



X-RAY
IMAGING OPTICS



編集部より

少なくとも年2回予定の本ニューズレターの発行が年の瀬近づく今ごろになってしまいました。ご容赦下さい。

さて、代表の記事にもありますように今回から原則電子版の発行となり、皆様にはメールで「発行のお知らせ」をお送りするだけになりました。Webを開く手間はかかりますが、よろしく願います。また、一部の方は郵送も継続しておりますので、電子配信に不都合のある方は編集部までご連絡下さい。

X線結像光学ニューズレター
No.24（2006年10月）

発行 X線結像光学研究会
（代表 筑波大学物理工学系 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）
〒464-8602 名古屋市千種区不老町
TEL: 052-789-2917, FAX: 052-789-2919
E-mail: tawara@u.phys.nagoya-u.ac.jp
