

BL47XU 光電子分光・マイクロCT

1. 硬X線光電子分光

BL47XUの硬X線光電子分光(Hard X-ray Photoemission Spectroscopy: HAXPES)では、バルク感性を生かし、広角対物レンズを用いた角度分解深さ分析法や $\phi 1 \mu\text{m}$ ビームを用いて、埋込まれた界面における微小領域化学結合状態のイメージング計測技術が、利用研究に供されている[1]。現在HAXPESが利用できるビームラインは世界の大型放射光施設で数多く存在するが、本微小領域イメージング法と組み合わせた広角度分解深さ分析が可能なビームラインはSPring-8のBL47XUのみである。またこれまでに光源・光学系部門の協力で、位置敏感電離箱を用いた二結晶分光器 $\Delta\theta 1$ フィードバックシステムを構築している[2]。常に最適なアナライザーレンズ軸とビーム高さ位置関係を確保し、経時に依らない安定した光電子捕集強度を得ることができる。これにより高精度なイメージングおよびin-situ計測が可能である。本稿では、高性能に整備されたBL47XU環境下で実施したin-situ電圧印加計測について報告する。

本in-situ電圧印加機構は、汎用試料ホルダーを改良し絶縁を採ることにより、外場電圧印加2端子を設けている(図1参照)。また本外場電圧印加用試料ホルダーサイズは汎用試料ホルダーと同じであるため、真空内に常設している同じ試料バンクを使用可能で、大気圧でセットした電圧印加試料を導入できる(図1(a))。Ag/SiO₂/p-Si界面における外場電圧走査計測した内殻準位スペクトルを図2に示す。最表面にグラウンドを

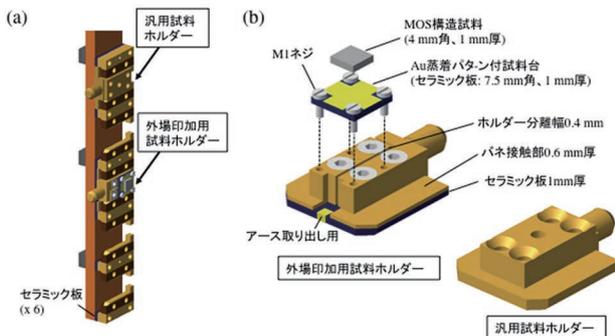


図1 in-situ電圧印加機構。(a) 真空内に常設している試料バンクに導入した全容図、(b) 本外場電圧印加用および汎用試料ホルダー

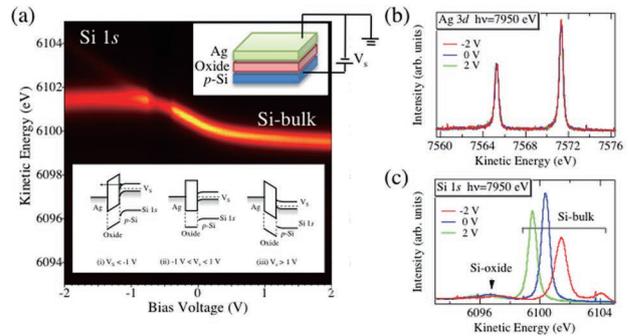


図2 Ag/SiO₂/p-Si界面における外場電圧走査計測した内殻準位スペクトル。(a) バンドベンディング描像、(b) Ag 3d内殻スペクトルおよび(c) Si 1s内殻スペクトルにおけるエネルギーシフト

っているため、Ag 3d内殻スペクトルは走査電位に依存するエネルギーシフトは観測されていない。これに対してSi 1s内殻スペクトルは明瞭なシフトが観測され、SiO₂膜厚に依存するバンドベンディング機構に関して議論されている[3]。本報告は室温計測であるが、さらに極低温環境下や4端子電圧印加による高精度なin-situ電圧印加計測が可能となる開発を行っている。

参考文献

- [1] E. Ikenaga, *et al.*: *J. Electron Spectrosc. and Relat. Phenom.* **190**, (2013) 180-187.
- [2] 池永英司: 2013年度SPring-8・SACLA年報 95-96 (2013).
- [3] S. Toyoda *et al.*: *Journal of Applied Physics* **120**, (2016) 085306.

利用研究促進部門
応用分光物性グループ
池永 英司

2. 走査-結像型X線顕微CTにおける像特性の向上

SPring-8で開発された走査-結像型X線顕微CT装置は、位相の3次元定量観察が可能な高分解能X線CT装置として、ユーザー実験に供されている[4-6]。この光学系では、1次元集光素子を用いた走査型X線顕微鏡光学系(以下、走査型光学系)と、1次元対物素子を用いた結像型X線顕微鏡光学系(以下、結像光学系)が、共通の光軸に対

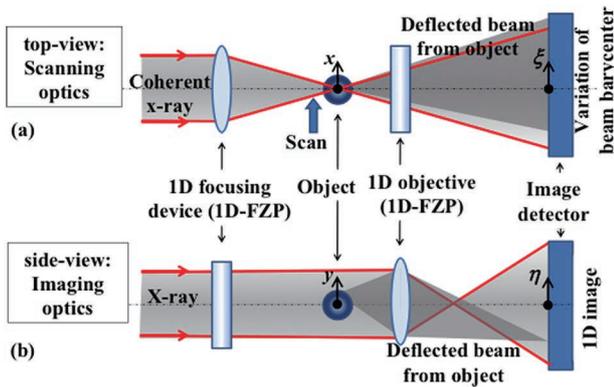


図3 走査—結像型光学系の概略図。(a)上面図、(b)側面図。

して互いに直交する関係に配置されている (図3)。両光学系共通の検出器として2次元画像検出器が結像光学系の像面に設置され、その位置は同時に走査型光学系においては集光ビームのFar-field像が得られる位置になる。この装置において、2次元像の水平成分は走査型光学系、垂直成分は結像光学系の撮像手順により得られる。マルチモードイメージングが可能な走査型光学系の測定手順を利用していることから、特に本光学系では吸収/位相コントラストの同時測定が可能であることが一つの特徴である。

しかしながら、水平・垂直方向で全く異なる光学系を用いる本装置は、それゆえに得られる2次元像の水平・垂直方向で得られる像特性が全く異なるという問題があった。特に像にフリンジ状のノイズが生じ、これが結果的に位相感度、位相定量を著しく損なう原因となっていた。この問題は、試料がコヒーレントに照明されているために、結像光学系において一種のリングングが生じる事が原因である。この現象を減じるには、ビーム拡散板やコンデンサを利用して照明系のコヒーレンスを下げる事が有効であると知られており、実際にX線結像光学系においては一般的に利用される手法である。ところが、本光学系は結像型と走査型の組み合わせであり、走査型光学系の空間分解能を回折限界に近づけるためには完全なコヒーレント照明が要求される。故に、水平方向 (走査型光学系) には高いコヒーレンスを保ちつつ、垂直方向 (結像光学系) にはある程度コヒーレンスを劣化させ

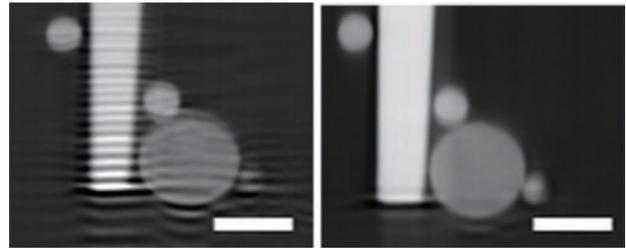


図5 ガラスファイバ (5 μm ϕ)、ガラス球 (2.5 μm ϕ) ポリスチレン球 (8 μm ϕ) のX線位相CT像(垂直スライス)。左: 1次元拡散板なし、右: 1次元拡散板あり。X線エネルギー8 keV。図中白線幅5 μm 。

た非対称コヒーレント照明光の導入が最適であり、これを実現するために1次元のみビームを散乱/拡散させる1次元ビーム拡散板を開発、導入した (図4)。図5に、この1次元ビーム拡散板なし/ありの際のX線位相CT像の測定例を示す。ビーム拡散板が無い場合には像に水平方向に伸びるストリーク状のノイズが確認できるが、これがビーム拡散板導入によってほぼ消えているのが分かる^[7]。これによりCTの密度分解能は5倍近く向上し、約40 mg/cm^3 となった。また、ビーム拡散板による影響による水平方向 (走査型光学系) の分解能の低下は確認されなかった。

参考文献

- [4] A. Takeuchi, Y. Suzuki and K. Uesugi: *Rev. Sci. Instrum.* **83**, (2012) 083701.
- [5] A. Takeuchi, Y. Suzuki and K. Uesugi: *J. Synchrotron Radiat.*, **20**, (2013) 793.
- [6] A. Takeuchi, Y. Suzuki and K. Uesugi: *J. Phys. Conf. Series* **463**, (2013) 012034.
- [7] A. Takeuchi, K. Uesugi, and Y. Suzuki: *AIP Conf. Proc.* **1696**, (2016) 020015.

利用研究促進部門

バイオ・ソフトマテリアルグループ

上杉 健太朗、竹内 晃久

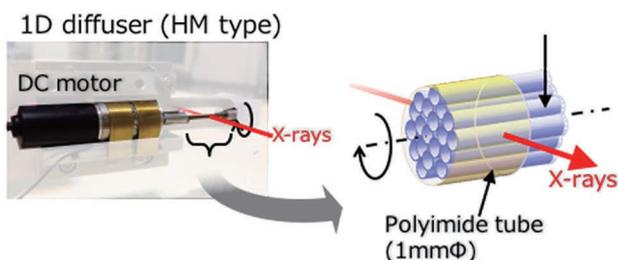


図4 1次元ビーム拡散板の写真(左)と概念図(右)。