

焦点位置変調球面収差除去法による光電子顕微鏡の空間分解能向上

越川孝範^a、郭 方准^b、安江常夫^a、橋本道廣^a、中口明彦^a、
上田将人^a、木下豊彦^b、小林啓介^b、大浦正樹^c、竹内智之^c、
辛 埴^c、斉藤祐児^d

Takanori Koshikawa^a, Fangzhun Guo^b, Tsuneo Yasue^a, Michihiro Hashimoto^a, Akihiko Nakaguchi^a,
Masato Ueda^a, Toyohiko Kinoshita^b, Keisuke Kobayashi^b, Masaki Oura^c, Tomoyuki Takeuchi^c,
Shik Shin^c and Yuji Saito^d

^a大阪電気通信大学、^b高輝度光科学研究センター、^c理研、^d原研

^aOsaka Electro-Communication University, ^bJASRI, ^cRIKEN, ^dJAEA

BL17SU に設置された分光型光電子顕微鏡において、空間分解能の向上を目指した実験を行った。まず、光電子顕微鏡の試料位置に放射光を集光するための後置鏡の設計および製作、設置を行い、内殻光電子による化学結合状態イメージングを行った。後置鏡を設置したことにより、撮像時間の大幅な短縮が可能となり、空間分解能の改善が見られたが、設置環境によるさまざまな擾乱の影響が見え始めており、今後の更なる環境の改善などが望まれる。

The improvement of the spatial resolution of SPELEEM installed at BL17SU has been examined. We newly designed and constructed the refocusing mirror in front of SPELEEM and tried to obtain the chemical imaging using core electrons. The focused light enables to shorten the image acquisition time largely and the spatial resolution was improved in comparison with that obtained in the term of 2005A. Several disturbances from the environment on the resolution limit are clarified and they have to be solved in the future.

背景と目的

X線光電子顕微鏡 (XPEEM) では、表面での化学結合状態の空間分布をイメージングすることができる。この顕微鏡の空間分解能は対物レンズの球面収差によって制限されており、空間分解能の向上を目指した研究が盛んに行われている。本課題は、我々が提唱した焦点位置変調球面収差除去法を用いて、空間分解能の向上を目指すものである。この目的

のため、BL17SU に分光型光電子ならびに低エネルギー電子顕微鏡 (SPELEEM) を設置し実験を行った。2005A 期の実験では、BL27SU において Si(111)上での InSb 化合物半導体薄膜の形成に関して化学結合状態イメージングを試みた。そこではある程度の結果は得られたものの、最大の問題点は入射光の輝度 (密度) が不足し、像取得時間が長いことであった。この問題を解決するため、BL17SU に

SPELEEM を設置するときの後置鏡の設計・製作を支援してきた。この後置鏡により、試料上での放射光密度を上げることができ、ようやく SPELEEM 本来の性能を十分に引き出すための準備が整った。

実験

実験は BL17SU に設置された SPELEEM を用いて行った。観察に用いた試料は 2005A 期と同様の Si(111)基板上に In と Sb を蒸着したものである。結合状態イメージングは In、Sb の 3d 内殻光電子を用いて行った。In 内殻光電子のイメージングでは 530eV、Sb 内殻光電子のイメージングでは 580eV の放射光を用いた。

BL17SU では、SPELEEM の直前に後置鏡を設置し、試料上への集光を行った。試料上でのスポットサイズは 30 μ m 程度であった。

結果および考察

今回の実験では、まず 2005A 期の実験と同じ条件で試料を作製し、化学結合状態イメージングを行った。その結果、撮像時間の大幅な短縮(約 40 分の 1)が実現され、これによって像のフォーカス合わせも容易になり、空間分解能が向上した像を取得することに成功した。In 3d 内殻光電子を結像して BL27SU で取得した像と BL17SU で取得した像の比較を Fig.1(a)、(b)に示す。(a)は BL27SU での結果、(b)は BL17SU での結果である。像の視野径は 20 μ m である。図から明らかなように、BL17SU で取得した像のほうがステップ近傍のコントラストが良く観察できている。しかしながら、この段階でも空間分解能に対して、さまざまな外的要因による制限があることが

判明した。Fig.1 に示したような像を連続して取得したところ、像が鮮明になったり不鮮明になったりする現象が見られた。この理由としていくつか考えられたが、一つの大きな要因として、実験ホール天井から吹き出すエアコンの風の影響があることが判明した。これは吹き出した風が SPELEEM 装置に直接当たることによる振動の影響による。試験的に実験ホールに設置されたクレーンを風の吹き出し口の真下に移動し、吹き出した風が直接装置に当たらないようにしたところ、その影響が低減された。これは一例にしかすぎないが、高い空間分解能で光電子顕微鏡像を取得するためには、こうした外的な要因を検証し、環境を整えていく必要がある。これ以外にも、装置周辺の真空ポンプからの振動、微弱な漏洩磁場、あるいは像取得時間内の試料のドリフトなど、まだ解決しなければならない問題が多く、今回目的としていた焦点位置変調球面収差除去法による空間分解能向上に関する実験は行うことができなかった。

しかしながら、今回得られた光電子顕微鏡像は、わが国においてはじめて得られたものであり、この像から結晶成長過程における化学結合状態の変化などに関して多くの知見を得ることができる。これらの成果については

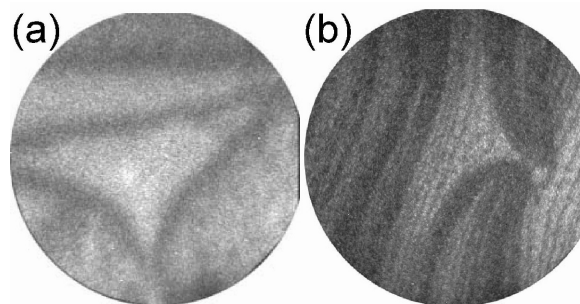


Fig.1 In 3d XPEEM images obtained at BL27SU in the term of 2005A (a) and at BL17SU in the present term (b).

既に国際会議で公表して、高い評価を得ている。

今後の課題

先に述べたように、原理的には光電子顕微鏡の空間分解能は対物レンズの球面収差により制限されるが、実際には光電子顕微鏡が設置された環境による擾乱の影響が大きく、これら検証し、影響を取り除いていかなければならない。現時点では環境による擾乱の影響を完全には取り除くことができておらず、空間分解能を向上していくためには、更なる検証が必要である。

論文発表状況

- [1] T. Koshikawa et al., ALC'05 (2005. 12, Hawaii) にて招待講演