

中性子反射投影による埋もれた界面の可視化技術の検討(2)

Visualization of buried interfaces by neutron reflection projections

物材機構¹, 筑波大², CROSS 東海³ °桜井健次^{1,2}, Jinxing Jiang^{1,2}, 水沢まり^{1,3}, 伊藤崇芳³, Dan Li^{1,2}, 阿久津和宏³, 宮田登³

NIMS¹, Tsukuba Univ², CROSS³ °Kenji Sakurai^{1,2}, Jinxing Jiang^{1,2}, Mari Mizusawa^{1,3}, Takayoshi Ito³, Dan Li^{1,2}, Kazuhiro Akutsu³ and Noboru Miyata³

E-mail: SAKURAI.Kenji@nims.go.jp

薄膜・多層膜の機能は、基本的な膜構造が同じであっても各層・各界面の不均一さにより左右される場合が少なくない。このため、埋もれた層・界面を可視化する技術、特に非破壊的な測定技術の登場は長く待ち望まれていた。X線・放射光の分野では、微小ビームを生成する光学素子などが広く活用され、同一試料内の異なる場所の構造の違いを高い空間分解能で議論することはごく当たり前になっており、試料上をビーム走査することにより画像化することも問題なく行うことができる。薄膜・多層膜の膜構造を解析するのに適した反射率法では微小角入射になるため、微小ビームの利用はX線回折法やX線分光法に比べれば時期的には遅れたが、現在では0.1~10ミクロンのビームを用いた研究が行なわれている[1, 2]。

中性子反射率法は、X線と類似した手法を用いることのできる利便性と、X線とは異なるコントラストを与える相補性を兼ね備えた優れた技術であり、特に厚い保護層などで被覆された薄膜・多層膜試料の界面や固液界面では威力を発揮する。ただ、中性子の微小ビームの利用について、線源強度と光学素子に関わる技術的な困難があるため、今日まで空間分解能を備えた反射率測定が検討されることはきわめて稀であった。本研究では、微小ビームを形成せず、通常の中性子反射率法と同じ大きさのビームを使用しながら、反射投影の強度プロファイルデータを収集し、画像再構成の処理により可視化する方法を開発している[3]。中性子には、検出器に関してもかなり厳しい技術的困難があり、高い空間分解能を備えた中性子の画像検出器が存在しないことは、反射率法を含む中性子散乱のイメージングの大きな制約になっている。単色中性子では、中性子イメージングプレートを用い、25~50ミクロン程度の空間分解能も得られるが、J-PARCのようなパルス中性子源で TOF法により反射率の全データを一举にとりながらイメージングをめざすためには、TOF測定のできる高空間分解能の画像検出器が本来はぜひとも必要である。

本研究では、J-PARC/MLF反射率ビームラインBL17 (Sharaku)において、必ずしも高空間分解能の画像検出器が得られないことを前提に、中性子反射率イメージングの技術開発を行うため、必要な空間分解能のサイズのスロットで暗号化したスリット状の高開口のマスクを開発した。このイメージングにおいては、反射投影の強度プロファイルの空間分解能を含めた品質が、最終的な可視化の質を決めることに留意することが重要である。このため、開口率を50%確保し、強度を取りながら空間分解能を向上させる本法は有利であると考えている。講演当日は、上記のような方法で実際に取得された反射投影の強度プロファイルデータを報告する。本研究の実施に際しご協力頂いた武田全康博士ら、原子力機構関係者の皆様に感謝いたします。

参考

- [1] K. Sakurai et al, 投稿準備中; 桜井健次他、日本化学会年会 2008 年 3 月 (立教大学)
- [2] K. Ueda, 私信
- [3] 2012 年特許出願、「X線撮像装置及びその使用法、中性子線撮像装置及びその使用法」、桜井、サムソン、水沢; 桜井健次他、応用物理学会 2015 年 3 月 (東海大学)
- [4] "X-ray Reflection Tomography: A New Tool for Surface Imaging", Vallerie Ann Innis-Samson, Mari Mizusawa, and Kenji Sakurai, Anal. Chem., 83, 7600-7602 (2011).