

鏡面 X 線反射の時分割測定法の開発

- Multiwavelength Dispersive X-Ray Reflectometry -

KEK-PF 松下 正

鏡面 X 線反射率の測定から、試料表面に垂直な方向での試料の厚み（より精密には電子密度分布）、表面・界面の粗さなどを求めることができ、この方法は薄膜の構造評価において確立された手法として用いられている。一般的には単色 X 線を用いる角度分散法が用いられているが、白色 X 線と固体検出器を用いたエネルギー分散法も用いられている。どちらの方法でも測定時間は通常数分～10分程度かかり、試料の構造の時間変化を追跡するには不十分だった。

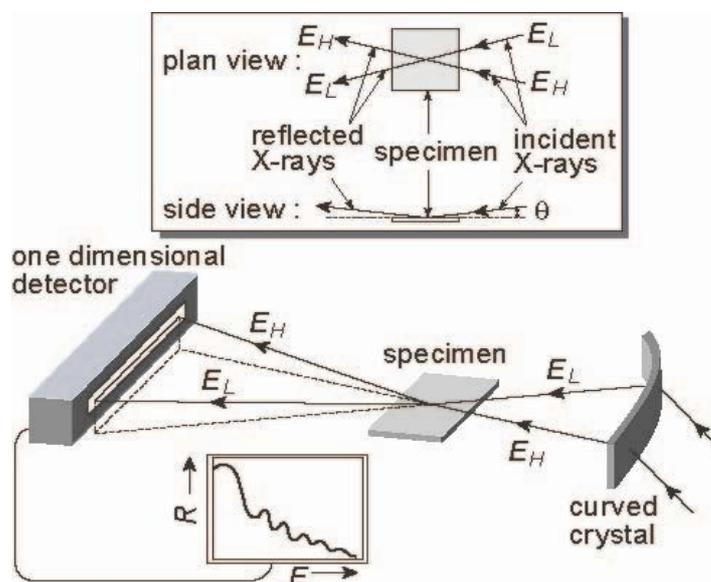
我々は、測定中に機械的運動を何ら必要とせず鏡面 X 線反射率曲線プロファイル全体を同時に測定し、サブ秒～ミリ秒の時分割測定を可能とする方法を開発している。

ほぼ平行な白色放射光を湾曲結晶（曲率半径 R 10cm）に入射させると、反射された X 線は水平面内で収束してゆくが、波長 λ は収束方向の関数として連続的に変化したものとなる。この X 線束を試料表面に対する鉛直方向での照射角 α が水平面内のどの方向に向かう X 線光路でも同じになるように入射させる。試料表面に対して垂直方向の散乱ベクトル $q=4\pi\sin\alpha/\lambda$ は α は一定であるが λ が変化する（5～10倍）ことにより扇形ビームの端から端に向かって連続的に変化する、試料後方においた 1 次元検出器で X 線強度分布を測定すると X 線反射強度曲線が得られる。

シリコン基板上的厚さ 14.3nm の金薄膜に対する反射率曲線（X 線エネルギー範囲：8keV～40keV）を露光時間 1ms～1s の時間で測定し、得られたデータの質を検討した。まだ検出器のサイズが小さいためにスペクトルは全エネルギー領域を 3～4 分割して測定をしているが、1 秒の露光時間で $R \cdot 10^{-6}$ をきる程度までの測定が実現している。また、開発した測定系で時分割測定が可能であることを示すために、金薄膜試料を回転しながら X 線の照射角が変化しつつある状態での X 線反射率曲線の時分割測定を試み、照射角の変化に応じて反射率曲線プロファイルが変化している様子をサブ秒の時間分解能で観測できた。

ポリクロメーターとして結晶の代わりに人工多層膜光学素子を用いることにより測定時間のさらなる短縮、試料まわりの自由空間の拡大が図れることがわかり、そのような光学系の準備も行っている。

この方法についての技術的な課題・発展の可能性について述べるとともに、どのような試料に対して応用できる可能性があるかについても述べる。



- [1] T. Matsushita, Y. Inada, Y. Niwa, M. Ishii, K. Sakurai, and M. Nomura: Journal of Physics, Conference Series 83, 012021 (2007)
- [2] Tadashi Matsushita, Yasuhiro Niwa, Yasuhiro Inada, Masaharu Nomura, Masashi Ishii, Kenji Sakurai, and Etsuo Arakawa: Appl. Phys. Lett. 92, 024103 (2008)