

X線反射率による多層膜解析の改良

The improvement of the analysis for multilayer surface by the X-ray reflectivity

藤居 義和 (神戸大)

Yoshikazu Fujii (Kobe Univ.)

E-mail: fujiiyos@kobe-u.ac.jp

多層膜の表面・界面粗さ及びその膜厚などの構造を非破壊的に求める分析法としてX線反射率法が広く利用され、X線反射率測定装置が実用化されている。¹⁾ そして、その装置に、測定結果を解析するために組み込まれたプログラムには、X線反射率の理論式として Parratt の多層膜モデル²⁾ に Nevot-Croce のラフネスの式²⁾ を組み合わせた式が一般的に使用されている。しかし、この式を用いたX線反射率の計算は、表面・界面粗さを粗くしたほうが干渉効果による振動振幅率の大きいカーブを示してしまうなど、奇妙な結果を引き起こす。この奇妙な結果を引き起こす原因は、Parratt の多層膜モデルでは界面の両側で入射波と透過波・反射波の2波のエネルギーは完全に保存されることが前提となっているのに、エネルギー保存を保証しない Nevot-Croce のラフネスの式を組み合わせた矛盾に起因している。そこで、多層膜での多重反射においてそれぞれの界面で散漫散乱した非干渉成分を考慮した、Parratt と Nevot-Croce の式を改良したX線反射率の解析式を開発した。³⁾

$$R_{j-1,j} = \frac{\Psi'_{j-1,j} + (\Phi'_{j-1,j} \Phi'_{jj-1} - \Psi'_{j-1,j} \Psi'_{jj-1}) R_{jj+1}}{1 - \Psi'_{j-1,j} R_{jj+1}} \exp(2ik_{j-1,z} h_{j-1})$$

$$\Psi'_{j-1,j} = \frac{k_{j-1,z} - k_{j,z}}{k_{j-1,z} + k_{j,z}} Q_{j-1,j} \quad \Psi'_{j,j-1} = -\Psi'_{j-1,j} \quad \Phi'_{j-1,j} = \frac{2k_{j-1,z}}{k_{j-1,z} + k_{j,z}} P_{j-1,j} \quad \Phi'_{j,j-1} = \Phi'_{j-1,j} \frac{k_{j,z}}{k_{j-1,z}}$$

フレネル係数にはそれぞれ減衰係数 Q , P が掛けてあり散漫散乱した非干渉成分によるエネルギーの散逸を加味している。ここで、フレネル反射係数の減衰率は粗い界面においてよく使用されているものがあるが、フレネル透過係数の減衰率は界面構造によって大きく異なることが理論的に示されているため、界面の高さ相関関数にフラクタルモデルを使って界面に平行な方向の凹凸構造の分布を

$$\frac{g(x)}{2} = \sigma_{s,j}^2 \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{|x|}{\xi} \right)^{2H} \right\} \right] + \sigma_{s,j+1}^2$$

として表し、非干渉成分の寄与率を界面構造と結びつけることによって、実際のX線反射率測定の結果をより正確に説明できる解析式を求めた。この結果を実際のX線反射率測定に適用し、X線反射率測定以外の分析法であるAFM測定、RBS測定との比較を行ったところ、良い一致を示し、X線入射波のコヒーレント長をX線反射率理論式に加味することによってX線反射率測定結果から表面に平行な方向の凹凸構造分布の情報が得られることがわかった。これらの結果を含めてX線反射率理論解析式の改良について詳述する。

- 1) 桜井健次 編: X線反射率法入門, (2009) (講談社サイエンティフィック) .
- 2) L. G. Parratt: Phys. Rev. 95, 359 (1954)., L. Nevot, P. Croce: Rev. Phys. Appl. 15, 761 (1980).
- 3) Y. Fujii: Mater. Sci. Eng. 24, 012009 (21pp) (2011)., Y. Fujii : PDJ, 28, 100 (2013).