

微小角入射 X 線回折による表面周期ナノ構造の形状解析

Profile Analysis for Surface Periodic Nanostructures by Grazing-Incidence X-Ray Diffraction

表 和彦、伊藤 義泰
リガク X 線研究所

Kazuhiko Omote, Yoshiyasu Ito
X-Ray Research Laboratory, Rigaku Corporation

Synopsis

We have developed a new x-ray metrology for measuring surface periodic grating of semiconductor device pattern. X-rays irradiate surface of the device area with a shallow glancing angle, which is close to the critical angle of total external reflection of the surface material. The measured x-ray diffraction pattern is reflected to the average cross-sectional profile of the grating. The obtained profile, for example, line width, height of the grating and so on are well agreed with that observed by cross-sectional transmission electron microscopy.

微細化が進む半導体デバイスは、製造プロセスだけでなく、評価においても、困難さが増してきている。それにともない、従来からの Metrology の性能向上だけでなく、ナノメートルスケールの構造を高い精度で計測できる新たな方法の開発が求められている。それに対し、例えば米国 NIST から、放射光からの強力な X 線を用いた方法として、critical dimension small angle x-ray scattering (CD-SAXS) が提案されている¹⁾。一方、我々は、デバイス製造プロセスでの計測を目標に、通常の X 線管球を用いた実験室レベルでの測定方法の開発を進めてきた^{2,3)}。NIST では、強力な放射光源を用いているため、基板を透過させる配置を採っているが、我々は、放射光と比較して強度の弱い X 線管球での測定を用いているため、表面構造に対して感度の高い、微小角入射による反射型の配置を採っている。また、デバイスの二次元的な断面構造を解析するのに必要な二次元的な散乱パターンを効率的に収集することのできる二次元 X 線検出器を採用している。

試料の表面に平行な θ 方向には、デバイスパターンの周期 d に対応して、離散的に回折線が現れる。これらの回折ピークが現れる角度 θ は、回折条件の式 $2d \sin \theta = n\lambda$ により決まる。一方、各回折線は、それぞれ表面に垂直方向に特有の強度振動を伴っている。これは、デバイスの深さ方向の構造を反映した干渉パターンである。X 線回折理論に基づいてこれらの二次元的な回折パターンを解析することにより、断面構造の形状解析が可能となる。X 線の特徴は、物質に対する透過力が高く、非破壊で測定することができると共に、物質に対する光学常数が良く知られており、デバイス形状や内部構造をもとに、任意性なく回折パターンを計算することができる点にある。このようにして X 線回折から得られた断面構造と断面 TEM との比較によっても、X 線による非破壊のナノスケール断面形状解析結果が、断面 TEM と非常によく対応していることが確かめられた。本講演では、われわれの開発した測定・解析方法に関し、詳しく報告する。

1) R.L. Jones, et al., Appl. Phys. Letters, **83** (2003) pp4059-4061.

2) K. Omote, et al., Proc. of SPIE Vol. **7488** (2009) 65.

3) K. Omote, Y. Ito, and Y. Okazaki, Proc. of SPIE Vol. **7638** (2010) 763811.