

極端紫外線(EUV)回折格子の結像評価研究

Imaging evaluation of extreme-ultraviolet (EUV) gratings

笹井浩行、西原弘晃、長野哲也

Hiroyuki SASAI, Hiroaki NISHIHARA, and Tetsuya NAGANO

株式会社 島津製作所

今園孝志

Takashi IMAZONO

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

(概要)

EUV～軟X線領域用ラミナー型ホログラフィック回折格子の製品開発、品質保証等に資することを目的に、ボロンのK α 特性X線(183.3 eV)に対する増反射膜としてTiO₂薄膜を軟X線回折格子(表面: Ni)に積層し、その結像特性を軟X線平面結像型回折格子評価装置で評価した。

キーワード: EUV、平面結像型回折格子、軟X線発光分光、TiO₂、鋼中ボロン、化学結合状態分析

1. 目的

電子顕微鏡法とX線発光分光法を組み合わせることで物質の局所構造と化学結合状態を同時に分析することは新奇物質材料研究において有用である。弊社は、量研等を含む産学連携により電顕用軟X線分光器を商品化した[1、2]。近年、鋼材中の微量ボロン分析(K α 特性X線取得など)に既存装置に比して高感度(5～250倍)な本計測器を用いる試みが検討されているが、鋼中ボロンの化学結合状態をより定量的に議論するには更なる高感度化が求められている。これは、検出限界値を現行20 ppmから10 ppm以下にすることに対応する。それには分光光学素子である回折格子の高効率化が不可欠である。弊社は可視・赤外用光学薄膜材料として知られるTiO₂に着目し、これを積層した回折格子(TiG)は積層前のNiコート回折格子(NiG)に比して高い回折効率を有することをシミュレーションで見出した。しかし、TiO₂は軟X線用増反射膜として研究が遅れている上、TiO₂薄膜の線膨張係数が下地金属膜(AuやNi)と大きく異なる(約2倍)ため膜応力によって表面形状や面精度が低下し、結像特性を劣化させる恐れがある。これは製品開発において解決しなければならない重要課題であるため、本共用課題ではTiGの結像特性を明らかにする。

2. 方法

回折格子試料として、NiGとTiGを用意した。NiGは弊社標準品のNi回折格子(#30-005)[1]で、TiGはNiGの表面に真空蒸着法でTiO₂を成膜したものである。TiGの膜構造はガラス基板側から、樹脂、Au(50 nm)、Ni(30 nm)、TiO₂(24 nm)である。評価装置の入射スリット幅は20 μ m、検出器は背面照射型CCD(Princeton製PI-SX400B、ピクセル幅20 μ m)を用いた。回折格子の入射角は87°、入射スリットと回折格子間距離は237 mm、回折格子と検出器面間距離は235 mmである[1]。光源は電子銃(McPherson製Model 642)でB-K α 線を用いた。電子銃からの可視光等を除去するためにBフィルタ(0.5 μ m厚)を入射スリットと回折格子の間に設けた。加速電圧は4 kV、エミッション電流は0.09 mA、蓄積時間は300秒、CCD信号はサジタル方向(分散方向に対して直角)に20ピクセル分積算した。

3. 結果及び考察

NiG及びTiGで計測されたB-K α スペクトルはどちらも明瞭で、NiGで得られたスペクトルを2倍するとTiGのそれと良く一致し、当初懸念された結像特性の劣化等は確認されなかった。また、強度比もシミュレーション結果(1.4倍)と概ね一致することが分かった。B-K α とともに観測されたBターゲットのコンタミ等に由来するO-K α C-K α に対しては、TiGの方がNiGに比べ低感度(計算結果が示唆する通り)で、各スペクトルのピーク強度を1/4及び1/2に低減させることが分かった。

まとめると、増反射膜であるTiO₂は、B-K α に対する感度を向上(倍増)させる一方で、OやC等の発光線に対する感度を低減させること、膜応力が結像特性に殆ど影響を与えないことが明らかとなった。従って、TiO₂回折格子をB-K α 測定に利用することは有用であると結論付けられる。

4. 引用(参照)文献等

[1] 軟X線平面結像型回折格子: <https://www.shimadzu.co.jp/products/opt/products/grating/rr01.html>

[2] 電顕用軟X線分光器: <https://www.jeol.co.jp/products/detail/SXES.html>