強力二色 X 線源の開発

鈴木篤史¹・橋本明奈²・尾張真則¹

野島 雅³・二瓶好正³

¹東京大学生産技術研究所

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

²東京理科大学大学院理工学研究科工業化学専攻

〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

³東京理科大学総合研究機構

〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641

(2007 年 8 月 9 日受付；2007 年 10 月 12 日掲載決定)

Development of the High-intensity Dual X-ray Source

Atsushi SUZUKI¹, Akina HASHIMOTO², Masanori OWARI¹,
Masashi NOJIMA³ and Yoshimasa NIHEI³

¹Institute of Industrial Science, The University of Tokyo,
4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505

²Faculty of Science and Technology, Tokyo University of
Science, 2641 Yamazaki, Noda, Chiba 278-8510

³Research Institute for Science and Technology,
Tokyo University of Science
2641 Yamazaki, Noda, Chiba 278-8510

(Received August 9, 2007 ; Accepted October 12, 2007)

We improved the present X-ray photoelectron diffraction apparatus for Differential Photoelectron Holography (DPH) in a laboratory scale experiment. The new rotating anode (Dual target) of which surface is covered with stripes of Mg and Al and two new artificial multi-layer toroidal mirrors realized the high-intensity and dual energy X-ray source.

KEYWORDS: differential photoelectron holography, X-ray photoelectron diffraction, dual target, high intensity X-ray source, rotating anode

1. 緒 言

微分光電子ホログラフィー¹⁾は、光電子ホログラフィー²⁾で得られる原子像の質を向上させるための手法として Omori らにより提案され、放射光を用いて実現された新しい固体表面の構造解析法である。この手法は、二通りのエネルギーの X 線励起で得られた光電子ホログラムの差分をとり、原子像を再生するというものである。この手法を用いることによって、迅速かつ高精度な固体表面の構造解析が可能となる。

しかし、放射光を利用した微分光電子ホログラフィー測定は、放射光施設のビームライン数および利用時間が限られているという点から、一般的な分析法とはなっていない。

本研究では、微分光電子ホログラフィーを実験室で実現するための装置改良を行った。同一試料表面を測定するには、二通りのエネルギーの X 線を試料表面に同時照射する必要があると考え、新しい回転対陰極 (Dual ターゲット) を提案し、二種類の人工多層膜トロイダルミラーを用いて単色化・集光を行うことにより大強度の二色 X 線同時照射光源系の実現を目的とした。

2. 実 験

本研究は、光電子スペクトロホログラフィー装置³⁾を用いて行われた。

装置改良では、X 線光源系に、新しい回転対陰極として、表面に Mg および Al を交互に配置した二色ターゲット (Dual ターゲット) を導入した。また、単色化・集光のための Mg-K α 線用および Al-K α 線用の人工多層膜トロイダルミラーを横並びに配置した。

光源系の評価には、清浄化処理をした Ag 多結晶試料の Ag 3d 軌道の法線方向光電子スペクトルを、角度分解能 $\pm 1.4^\circ$ の回折面アパチャーモードを用いて、Dual ターゲット (16 kV, 90 mA) および新品の Al ターゲット (20 kV, 200 mA) を用いて測定し、それぞれの結果を比較することにより行った。また、高エネルギー分解能の測定を行うことにより、X 線の半値全幅の見積もりを行った。

3. 結 果・考 察

Fig. 1 に新しく導入した Dual ターゲットの写真を示す。このターゲットは、Al ターゲットの表面を等間隔に 60 箇所削り、Mg をイオンプレーティング法により蒸着した構造となっている。また、6000 rpm で動作す

Fig. 1. (color online). Photograph of the Dual target of the rotating anode.

るため、発生する X 線の周期はそれぞれ 6000 Hz (0.167 ms) となり、0.083 ms ずつ交互にそれぞれの X 線が発生する。平均信号積算時間が数百 msであることを考慮すると、二通りのエネルギーの X 線が同時発生しているといえる。トロイダルミラーは W/Si の人工多層膜でできており、Mg-K α 線用・Al-K α 線用のそれぞれで反射角が 10°, 焦点距離は 300 mm となっている。このミラーの導入により、それぞれの X 線は試料表面上で約 1 × 1 mm² に集光されていた。また、Mg-K α 線 ($h\nu = 1253.6$ eV) 励起の光電子と Al-K α 線 ($h\nu = 1486.6$ eV) 励起の光電子には、運動エネルギーに 233 eV の差があるため分けて検出することが可能である。

Fig. 2 に Ag 3d の光電子スペクトルを示す。この光電子スペクトルを用いて Dual ターゲットから発生する X 線強度を見積もるには、測定された光電子強度が、測定条件が同一である場合には、X 線強度、非弾性散乱平均自由行程と光イオン化断面積に比例するという性質を利用する。なお、新品の Al ターゲットの基準条件 (20 kV, 200 mA) における絶対強度は、比例計数管を用いて 2.9×10^{11} photons/s·mm² と求められている。

以上のことを考慮して X 線強度を見積もると、Dual ターゲット (16 kV, 90 mA) を用いた場合に発生する Mg-K α 線および Al-K α 線はそれぞれ 3.1×10^{10} photons/s·mm², 2.7×10^{10} photons/s·mm² であった。また、この結果より、Dual ターゲットより発生するそれぞれの X 線の強度は、Mg-K α 線が Al-K α 線より約 1.2 倍強かった。さらに、高エネルギー分解能の測定結果から、それぞれの X 線の半値全幅は Mg-K α 線で 0.8 eV, Al-K α 線で 0.9 eV と見積もられた。この結果より、Mg-K α 線および Al-K α 線の半値全幅はそれぞれの X 線の自然幅 (Mg-K α 線 : 0.7 eV, Al-K α 線 : 0.85 eV) とほぼ等しかった。

Fig. 2. Ag 3d photoelectron spectra excited by the Dual target (Mg-K α , Al-K α) with the condition of 16 kV and 90 mA.

4. ま と め

回転対陰極型 X 線光源系に Mg/Al の二色ターゲット (Dual ターゲット) および Mg-K α 線用・Al-K α 線用の人工多層膜トロイダルミラーを導入した。Dual ターゲットより発生する X 線は加速電圧 16 kV, 管電流 90 mA において、Mg-K α 線で 3.1×10^{10} photons/s·mm², Al-K α 線で 2.7×10^{10} photons/s·mm² の X 線強度を有しており、それぞれの X 線の半値全幅はおおよそ自然幅と等しかった。また、Dual ターゲットより得られるそれぞれの X 線の強度比は Mg-K α 線/Al-K α 線 = 1.2 であることがわかった。

以上の結果から、第二世代放射光並の X 線強度を有する二色 X 線同時照射光源系が実現された。

謝 辞

本研究は平成 17 年度の文部科学省科学研究費補助金・萌芽研究 (課題番号 : 17656018) の支援によって行われた。また、光源開発にご協力いただいた株式会社リガク・塚本勝美氏、理学電機工業株式会社・堂井真氏に深く感謝致します。

文 献

- 1) S. Omori, Y. Nihei, E. Rotenberg, J.D. Denlinger, S. Marchesini, S.D. Kevan, B.P. Tonner, M.A. Van Hove and C.S. Fadley : Phys. Rev. Lett. **88**, 055504 (2002).
- 2) J.J. Barton : Phys. Rev. Lett. **61**, 1356 (1988).
- 3) H. Ishii, S. Shiraki, K. Tamura, W.-G. Chu, M. Owari, R. Shimizu and Y. Nihei : Surf. Rev. Lett. **10**, 505 (2003).