

25pB02 線集光型レーザープラズマ X 線源による光電子顕微鏡の開発 Development of photoelectron microscope with compact x-ray source generated by line-focused laser irradiation

山口直洋¹、高橋 全²、西村靖彦²、渡邊勝巳³、
岡本裕司¹、坂田 篤²、東 博純⁴、原 民夫¹

豊田工大¹、トヨタマックス²、アルバック・ファイ³、豊田中研⁴
YAMAGUCHI Naohiro¹, TAKAHASHI Zen², NISHIMURA Yasuhiko², WATANABE Katsumi³,
OKAMOTO Yuuji¹, SAKATA Atsushi², AZUMA Hirozumi⁴ and HARA Tamio¹
Toyota Technol. Inst.¹, TOYOTA MACS Inc.², ULVAC-PHI Inc.³
and TOYOTA Central R&D Labs. Inc.⁴

光電子分光法（XPS 法）は、物質表面組成や化学結合状態の分析法として広く用いられてきている。特に、放射光のように高輝度の X 線源を利用し、X 線光学素子によって X 線を微細なビーム（マイクロビーム）とすることで、サブミクロンの分解能をもった光電子顕微鏡が可能になっている。しかしながら、X 線管を光源とする従来型の XPS 装置では光源の輝度が低いために $6\mu\text{m}$ 程度の空間分解能を得るのが限界であり、実験室規模の X 線光源を用いた実用的な光電子顕微鏡はまだ実現していない。この現状をうけて我々は、線集光型のレーザー励起 X 線源を用いた実用的な X 線光電子顕微鏡システムの開発をすすめている。

開発中の光電子顕微鏡の構成模式図を右図に示す。大きく別けて、X 線源、X 線集光系および光電子分析系からなる。それぞれの概要は以下のとおりである。

X 線源：線集光型レーザーによる X 線源の利点は、通常の点集光型 X 線源に比べプラズマ長さ倍だけ強度の強い X 線を引き出すことができること、また、X 線の取り出し方向がプラズマ噴出方向に対し垂直であるため、デブリの影響を極めて低くできる点にある。本研究では、10 Hz、100 ps パルス列 YAG レーザーによるものと、50 Hz、ns 単パルス YAG レーザーによる 2 種類の励起方式を採用した。特に、後者は XPS 装置の専用光源としている。

高繰返し運転のため、ターゲット材はテープ状のものをを用いている。具体的には Al テープを使用し、Al14 価イオンの 13.1 nm 軟 X 線を発生させて光源としている。本光源システムは 2 時間の連続運転が可能である。

X 線集光系および光電子エネルギー分析系：X 線集光系はシュバルツシルトミラー（光源—焦点間 1 m、縮小率 224）であり、ミラー表面に Mo/Si 多層膜が成膜されている。多層膜は各面、13.1nm に対し 60%以上の直入射反射率をもっている。これを光電子分析器容器内、試料の直前に設置した。

光電子分析器は通常の半球型電子エネルギー分析器であるが、レーザー励起 X 線源からのパルス X 線により放出される光電子を効率良く検出する為に積分型検出方式を採用している。蛍光面付きマイクロチャンネルプレート(MCP)を用いて光電子を検出し、得られた光電子スペクトル出力は 2 次元画像として真空外の CCD カメラにより記録される。従って、電子のエネルギー分解能は MCP 画像検出系の最小輝点の大きさで決まり 0.1 eV 程度である。試料は 4 軸マニピュレータを用いて位置の調整が可能で、さらに 2 軸の高精度ピエゾステージによる観測点の走査が行えるようになっている。

本装置システムにおける X 線照射実験で、2～5 分間の蓄積時間で光電子出力が得られることが確認され、GaAs 試料を用いた場合 Ga 3d および As 3d 光電子スペクトルが観測された。また、表面にフォトリソでパターンを形成した GaAs 試料を走査したところ、As3d 光電子信号強度の空間変化から $3\mu\text{m}$ 以下の空間分解能が得られることが確認された。今後、X 線集光系の調整を継続し、サブミクロンの空間分解能を実現することを目指している。

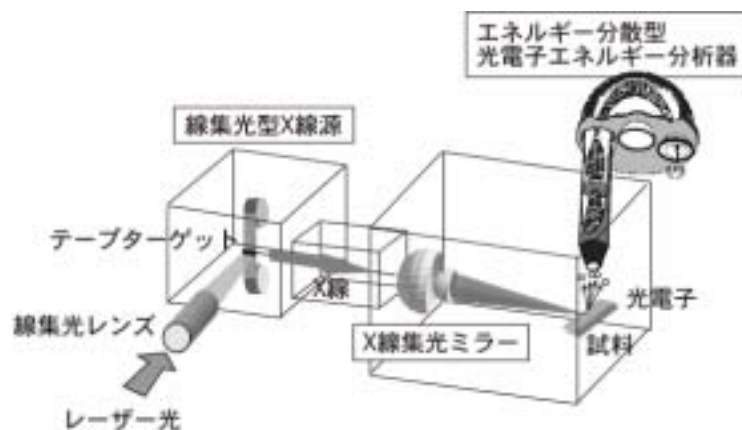


図 X 線光電子顕微鏡装置