

「物質現象の解明と応用に資する新しい計測・分析基盤技術」

平成 17 年度採択研究代表者

高橋 隆

(東北大学大学院理学研究科 教授)

「バルク 敏感スピン分解超高分解能光電子分光装置の開発」

## 1. 研究実施の概要

材料科学や物性科学の分野で広く使われている高分解能光電子分光装置には、「表面感性」と「スピン分解測定の困難さ」という 2 つの大きな問題点があり、これらの困難を解決するために我々は、「バルク 敏感でかつ高分解能測定の両立」を可能とする新たな高輝度プラズマ放電管の開発と、ミニモットスピン検出器を搭載した「スピン分解測定」を可能にする光電子装置の開発を行う。本年度は、装置主要部分(電子エネルギー分析器、キセノンプラズマ放電管、装置排気系)の具体的な設計と製作を行うと同時に、キセノンプラズマ放電管のプロトタイプ製作およびテスト実験を行った。

## 2. 研究実施内容

以下に、具体的な研究内容について説明する。

### (1) キセノンプラズマ放電管の設計、製作、評価、改良

マイクロ波発振シミュレーションを行い、放電管の核となるキャビティー部分の最適な形状・素材を確定した。それに基づいてプロトタイプ放電管一号機を製作し、その発光強度と安定性、キャビティーの寿命、プラズマ発光部分の壁面の侵食のスピードを具体的に調べた。標準試料を用いた光電子分光のテスト実験の結果、キセノン原子およびイオンの準位間遷移に対応した紫外線(励起光エネルギー  $h\nu = 8.436$  eV,  $9.569$  eV,  $9.917$  eV,  $9.961$  eV)が発光していることを確認した(図 1)。また、発光から数時間で

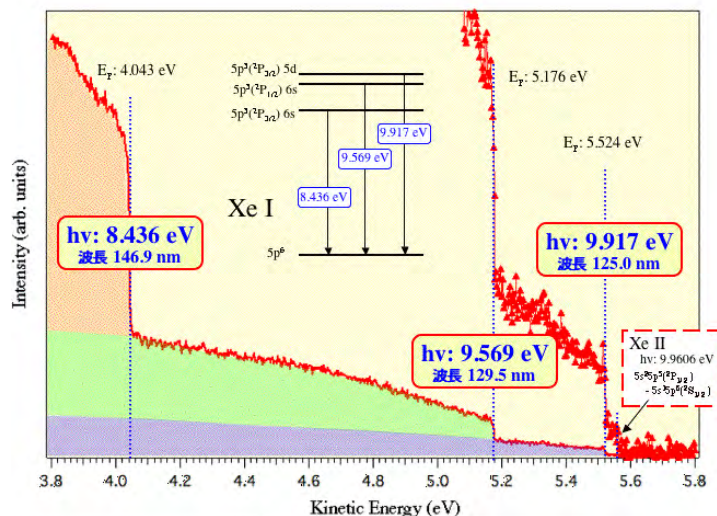


図 1. キセノン放電管で測定した Au の光電子スペクトル

キャピラリのひび割れがおり、リークによる放電条件の変化、発光部分の後退、不純ガスによる内部浸食が観測された。これらの問題点を解決するために、デザインを大幅に改良した放電管二号機を設計製作し、同様にテスト実験を行った。改良型では、圧縮空気循環型冷却システムを取り入れることにより高輝度プラズマ発光時におけるキャビティー壁面を強力に冷却した。その結果、キャピラリの寿命が格段に延び、100 時間以上の安定発光を実現することに成功した。

キセノン共鳴線の分離単色化を行うための球面型回折格子を搭載した分光器の設計を、放電管の設計製作と並行して行った。レイトレースにより光路を決定した後、分光器全体のデザインを確定した。その結果を、超高真空測定槽と極低温用熱シールドの設計に反映させた。

## (2) 電子エネルギー分析器の設計・製作

電子エネルギー分析器の最後段には、スピン分解モット検出器への電子移送レンズ(電子偏向器)を導入するため、従来型の分析器のように静電半球型電子エネルギー分析器の直後に MCP (Multi Channel Plate) と CCD カメラを配置する事ができない。このため、モット検出器への電子の取り込みを可能とする新しい電子移送レンズ系と、MCP および CCD カメラの配置を検討し、具体的設計を行った。従来型光電子分光測定とスピン分解測定を同時に実現するために、光電子の二次元イメージの検出面において、従来型光電子検出を行う MCP と、スピン分解検出を行うモット検出器への電子偏向器の導入部を設置した。また、超高エネルギー分解能 (1meV 以下) 実現のため、取り込み精度を向上させ、従来型装置に比べて狭い幅 (100 $\mu$ m) を持つアナライザー用の出射スリットの設計/製作を行った。

## (3) 極低温マニピュレーターの設計・製作

試料冷却部分の熱容量・熱コンダクタンスを考慮した、試料基板、多層型熱シールド、試料冷却用液体 He クライオスタット、冷却 He 排気系の具体的な設計製作を行った。また、スピン分解角度分解光電子分光測定に対応するために、ミューメタルを用いた試料の横磁化と電子衝撃加熱による試料のアニールを同時に行える試料基板を設計した。また、大気から超高真空の測定真空槽まで試料を速やかに輸送できる試料トランスファーシステム(図 2)を設計製作した。

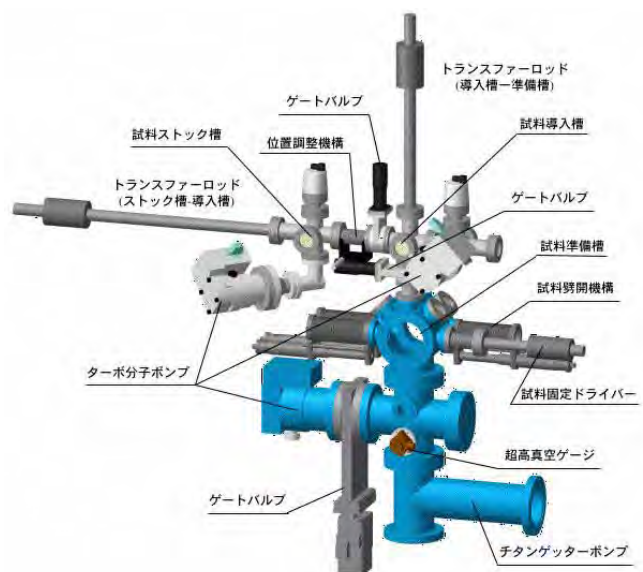


図 2. 試料トランスファーシステムの完成予想図

#### (4) スピン分解測定システムの基本設計

ミニモット検出器によるスピン分解光電子分光測定と超高分解能角度分解光電子分光測定を両立するための、スピン分解測定システムの基本設計を行った。スピン分解と超高分解能角度分解測定の両測定を可能とするために、通常の超高分解能角度分解測定で使用する2次元マルチチャンネルプレート電子検出器に並置する設計でスピン分解測定用出射スリットを配置した。スピン分解測定時には、このスリットを通して、電子エネルギー分析器の後段に配置した電子偏向器に電子を輸送し、3軸方向のスピン分解測定を可能とするために、さらに電場により電子を90°偏向させてミニモット検出器に取り込む構造とした。電子移送レンズの最適形状/配置およびレンズパラメータを決定し、制御用の電源コントローラを製作した。電子の受ける外部磁場を遮蔽するために、モット検出器が入る真空槽にはミューメタルを用いることにした。また、磁性体のスピン分解測定時に試料を横磁化させるための試料輸送機構・試料フォルダーの設計・製作を行った。

#### (5) 超高真空測定槽および排気系の設計・製作

浮遊電場と地磁気侵入を極力排除するためのミューメタルシールド型超高真空測定槽の設計・製作を行った。この際、従来型の放電管に比べてキセノン放電管励起による低速光電子は、外部磁場に非常に敏感であることを考慮して、ミューメタルシールドの設計を行った。

### 3. 研究実施体制

#### (1)「高橋研究」グループ

①研究分担グループ長:高橋 隆(東北大学 教授)

②研究項目

- ・キセノンプラズマ放電管の設計、製作、評価、改良
- ・電子エネルギー分析器の設計・製作
- ・極低温マニピュレーターの設計・製作
- ・スピン分解測定システムの基本設計
- ・超高真空測定槽および排気系の設計・製作

### 4. 研究成果の発表等

#### (1)論文発表(原著論文)

○“Anomalous quasiparticle lifetime and strong electron-phonon coupling in graphite”

K. Sugawara, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, and H. Suematsu

Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 036801-1-4.

○“Angle-resolved photoemission spectroscopy of the insulating  $\text{Na}_x\text{WO}_3$ : Anderson localization, polaron formation, and remnant Fermi surface”

S. Raj, D. Hashimoto, H. Matsui, S. Souma, T. Sato, T. Takahashi, D. D. Sarma, P. Mahadevan, and S. Oishi.

Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 147603-1-4.

- “Bulk and surface low-energy excitations in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  studied by high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy”

K. Nakayama, T. Sato, K. Terashima, H. Matsui, T. Takahashi, M. Kubota, K. Ono, T. Nishizaki, Y. Takahashi, and N. Kobayashi

Phys. Rev. B **75** (2007) 014513-1-7.

- “Shadow bands in single-layered  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$  studied by angle-resolved photoemission spectroscopy”

K. Nakayama, T. Sato, T. Dobashi, K. Terashima, S. Souma, H. Matsui, T. Takahashi, J. C. Campuzano, K. Kudo, T. Sasaki, N. Kobayashi, T. Kondo, T. Takeuchi, K. Kadowaki, M. Kofu, and K. Hirota.

Phys. Rev. B **74** (2006) 054505 –1-6.

- “Metal insulator transition in sodium tungsten bronzes,  $\text{Na}_x\text{WO}_3$ , studied by angle-resolved photoemission spectroscopy”

S. Raj, D. Hashimoto, H. Matsui, S. Souma, T. Sato, T. Takahashi, A. Chakraborty, S. Ray, D. D. Sarma, P. Mahadevan, S. Oishi, M. H. McCarroll, and M. Greenblatt

J. Mag. Mag. Mat., **310** (2007) e231-e233.

- “Electronic structure of  $\text{LaAgSb}_2$  and  $\text{CeAgSb}_2$  studied by high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy”

T. Arakane, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, Y. Watanabe, and Y. Inada

J. Mag. Mag. Mat., **310** (2007) 396-398.

- “Anisotropic spin-orbit interaction in  $\text{Sb}(111)$  surface studied by high-resolution angle resolved photoemission spectroscopy”

K. Sugawara, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, M. Arai, and T. Sasaki

J. Mag. Mag. Mat., **310** (2007) 2177-2179.

- “Anomalous electronic states in graphite studied by angle resolved photoemission spectroscopy”

K. Sugawara, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, and H. Suematsu

Sci. Technol. Adv. Mater., **7** (2006) s94-s98.