

「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

東北大学原子分子材料科学高等研究機構、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、「表面敏感性」と「スピン分解測定の高難しさ」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と、光電子のスピン分解測定を行うミニモットスピン検出器の開発を行う。本年度は、光電子分光装置の主要部分(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)の建設と調整、および周辺装置(極低温マニピュレーター、モット検出器、超高真空測定槽、排気系、試料準備・作成槽)の設計・製作および調整を行った。さらに、キセノンプラズマ放電管、分光器、電子エネルギー分析器、超高真空測定槽、極低温マニピュレーター、排気系、トランスファーシステムをドッキングし、バルク試料におけるスピン非分解光電子分光実験を可能にした。装置各部分のマッチング調整により、1meV を切る超高エネルギー分解能を実現した。装置の建設・調整と並行して、スピン分解実験用の試料作製の準備のために、半導体表面上に薄膜試料を作製できるシステムを設計・製作し、銅酸化物高温超伝導体及び金属酸化物における予備的光電子分光実験を行った。

## 2. 研究実施内容

(文中にある参照番号は 4. (1)に対応する)

### (1) キセノンプラズマ放電管の改良・調整

本年度は、キセノンプラズマ放電管の改良と調整を行った。具体的には、キャビティー部分の真空シールの改良と空洞共振部の形状の最適化を行い、プラズマによるキャビティー内壁のスパッタリング・金属化や大気流入といった問題を解決し、1000 時間以上

の長時間安定発光を実現するとともに、キセノンプラズマ放電管の最終デザイン

を確定した(業績論文 6)。また、実際に分光器を光電子分光装置に接続し、キセノンプラズマ放電管と共にその調整を行った。その結果、キセノン放電からの複色光が単色光に分離されていることを確認した(図 1)。

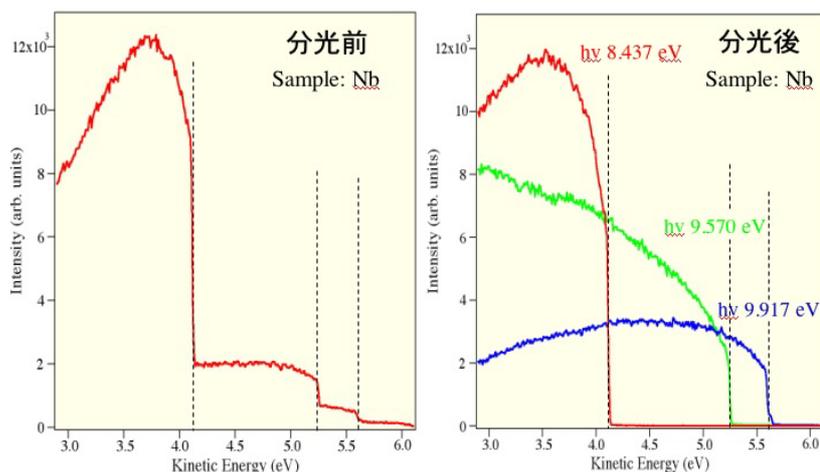


図 1: Nb における分光前(左)と分光後(右)の高分解能光電子スペクトル

### (2) 電子エネルギー分析器の評価・調整

MCP および CCD カメラの配置を決定し、静電半球型アナライザーへの取り付けを行った。また、キセノン放電管を試料測定槽およびエネルギー分析器に接続し、標準固体試料の光電子スペクトルを測定した。スピン非分解時における最高エネルギー分解能を低温超伝導体で見積もった結果、900  $\mu\text{eV}$  という値を得た。

### (3) 極低温マニピュレーターの設計・製作・調整

マニピュレーターおよび多層型熱シールドを装置に取り付けて温度校正を行い、到達温度、温度制御の精度の見積もりを行った。その結果、試料上の到達温度として 3.7 K を達成した。また、低運動エネルギーにおける MCP の角度分解光電子像の調整を行い、角度分解能  $\pm 0.2^\circ$  で高分解能角度分解光電子分光測定が行える事を確認した。

### (4) スピン分解システムの製作と調整

電子エネルギー分析器の最後段に設置するスピン分解モット検出器の設計と製作を

行った。また、電子エネルギー分析器からモット検出器への電子の取り込みを行う電子レンズ系(電子偏向器)の設計を行った。その際、スピン非分解時の光電子分光実験の効率を落とさないように、CCDカメラやMCPの配置を決定した。

#### (5) 超高真空測定槽および排気系の製作・調整

試料を大気から超高真空まで搬入するための試料トランスファーシステムを製作して、超高真空測定槽とマニピュレーターにドッキングした。ターボ分子ポンプ、イオンポンプ、クライオポンプ等の超高真空排気系を取り付け、ベーキングや脱ガスなどの処理を行った結果、超高真空測定槽において $8 \times 10^{-11}$ Torrを達成した。



図 2: 開発中の装置の写真

#### (6) 試料準備・作成槽の調整

試料準備槽、極低温マニピュレーター、電子エネルギー分析器、超高真空測定槽、キセノン放電管、分光器をドッキングし、バルク試料における高分解能光電子分光測定を実現した。バルク敏感測定の確認試料として、 $\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$ の高分解能光電子分光を行った結果、強磁性転移に伴う劇的な電子状態の変化を観測することに成功し、バルクのバンド計算と良く対応する事を見出した(業績論文 4)。また、空間反転対称性の破れによりスピン一重項と三重項の混在する新規超伝導体 $\text{La}_2\text{C}_3$ について、高分解能光電子分光実験を行い、多ギャップ超伝導の可能性を見出した(業績論文 5)。

#### (7) 金属単結晶薄膜の作製

スピン分解光電子分光実験の試料作成の準備として、半導体表面上に薄膜試料を作成できるシステムを設計・製作し、これを用いてSi(111)上に育成した一次元In鎖について角度分解光電子分光実験を行い、この系の金属絶縁体転移の起源を見出した(業績論文 7)。

#### (8) 銅酸化物高温超伝導体の角度分解光電子分光

スピン分解高分解能光電子分光実験の予備実験として、銅酸化物高温超伝導体、及び金属酸化物についてスピン非分解の高分解能角度分解光電子分光実験を行い、超伝導ギャップ、擬ギャップ、エネルギーバンド分散について、運動量・ドーピング量依存性の精密決定を行った(業績論文 1,2,3)。

### 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改良・調整
- 電子エネルギー分析器の評価・調整
- 極低温マニピュレーターの設計・製作・調整
- スピン分解システムの製作と調整
- 超高真空測定槽および排気系の製作・調整
- 試料準備・作成槽の調整
- 金属単結晶薄膜の作製
- 銅酸化物高温超伝導体の角度分解光電子分光

### 4. 研究成果の発表等

#### (1) 論文発表(原著論文)

- (1) “Electronic structure of sodium tungsten bronzes  $\text{Na}_x\text{WO}_3$  by high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy”  
S. Raj, H. Matsui, S. Souma, T. Sato, T. Takahashi, S. Ray, A. Chakraborty, D.D. Sarma, P. Mahadevan, S. Oishi, W.H. McCarroll, and M. Greenblatt  
Phys. Rev. B 75 (2007) 155116-1-11.
- (2) “Evolution of the pseudogap across the magnet-superconductor phase boundary of  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ ”  
H. Matsui, T. Takahashi, T. Sato, K. Terashima, H. Ding, T. Uefuji, and K. Yamada  
Phys. Rev. B 75 (2007) 224514-1-4.
- (3) “Anomalous momentum dependence of the superconducting coherence peak and its relation to the pseudogap in  $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ ”  
K. Terashima, H. Matsui, T. Sato, T. Takahashi, M. Kofu, and K. Hirota  
Phys. Rev. Lett. 99 (2007) 017003-1-4
- (4) “Xenon-plasma-light low-energy ultrahigh-resolution photoemission study of  $\text{Co}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2$  ( $x = 0.075$ )”  
T. Sato, S. Souma, K. Sugawara, K. Nakayama, S. Raj, H. Hiraka, and T. Takahashi  
Phys. Rev. B 76 (2007) 113102-1-3.

- (5) “Anomalous superconducting-gap symmetry of noncentrosymmetric  $\text{La}_2\text{C}_3$  observed by ultrahigh-resolution photoemission spectroscopy”  
K. Sugawara, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, and A. Ochiai  
Phys. Rev. B 76 (2007) 132512-1-4.
- (6) “High-intensity xenon plasma discharge lamp for bulk-sensitive high-resolution photoemission spectroscopy”  
S. Souma, T. Sato, T. Takahashi, and P. Baltzer  
Rev. Sci. Instrum. 78 (2007) 123104-1-4.
- (7) “Cooperative structural and Peierls transition of indium chains on Si(111)”  
Y. J. Sun, S. Agario, S. Souma, K. Sugawara, Y. Tago, T. Sato, and T. Takahashi  
Phys. Rev. B 77 (2008) 125115-1-4.