

「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・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と、光電子のスピン分解測定を行う小型モットスピン検出器の開発を行う。本年度は、光電子のスピン偏極度を決定する小型モット検出器と、電子エネルギー分析器からモット検出器への電子移送を行う電子偏向器からなるスピン分解測定システムの製作・接続・調整を行った。電子分析器と連動させて動作確認及び調整を行った結果、電子偏向器の性能として、電子ビームの 25kV までの加速、ターゲット上 1mm φ のビーム収束、ほぼ 100% のトランスミッタンスを達成した。モット検出器においては、標準試料からの光電子シグナルを確認し、現時点で電子検出効率 7×10^{-3} を得ている。モット散乱部の放電対策を行い、ターゲット電圧 25kV 印可時でのノイズを 0.1cps まで抑えた。スピン分解システムの建設・調整と並行して、キセノンプラズマ放電管の高性能化、電子エネルギー分析器の最終調整、スピン分解実験用の試料準備・作成槽の立ち上げ、全システムのドッキングと調整を行い、複数のバルク試料やナノ薄膜表面試料について本格的な測定を開始した。

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)キセノン放電管の高性能化

キセノンプラズマ放電管の性能を最大限発揮するため、分光器とのマッチングを行い、試料上で 3mm φ のスポットサイズにキセノンの高輝度共鳴線を収束した。さらに、光センサーによるプラズマ発光のモニタ機構、マイクロ波プランジヤの自動調整機構、放電管のキセノンガスの流量の安定化、強制冷却機構における圧縮空気経路のインターロック、共振空洞からのマイクロ波漏洩の改善を行った。

(2)電子エネルギー分析器の最終調整

キセノンプラズマ放電管の光軸と電子エネルギー分析器の最適マッチングを行うため、電子レンズシステムを調整した。また、分析器に接続したモット検出器上での光電子シグナル向上とノイズ低減のために、アースの強化、電磁波遮蔽、電気配線の改良、電子レンズ制御電圧の調整などを行った。

(3) モット検出器の製作と調整

電子分析器の後段から出た電子を、90° 偏向させて小型モット検出器に入射させる電子偏向器の設計製作を行った(図1)。電子軌道シミュレーションにより、電子分析器からエネルギー1-50 eVで入射する電子ビームを25 kVまで加速して、モット検出器のターゲット上に1mmφで収束させる電子移送レンズシステムを設計し、その製作を行った。製作した電子偏向器を電子分析器に取り付け、標準試料(Au)のXPSおよび電子銃を用いて、電子偏向器の電子レンズパラメータの調整を行い、ほぼ100%のトランスミッタンスを達成していることを確認した。また、モット散乱ターゲットの位置に蛍光板を設置して更なる調整を行い、電子分析器からの電子ビームをターゲット上で1mmφ以下に絞り込んだ。電子偏向器の開発と並行して、電子スピン検出を行う小型モット検出器(図2)の設計・製作を行った。装置には、2方向の電子スピン偏極度を同時に測定できるように、4個のチャンネルトロンを配置した。さらに、実効的スピン検出効率の向上を図るため、散乱チャンバーとチャンネルトロン間にフォーカスカップを配置し、従来の装置より格段に広い立体角でモット散乱電子を検出するよう設計した。高電圧印可時の内部放電を解決するために、モット散乱部の電極表面の研磨とコーティング、チャンネルトロンのマウントの改良、外部電極の改良を行い、ターゲット部に25kVの加速電圧を印可したときのノイズを0.1 cps以下に抑えた。また、標準試料のXPS、UPSを行い、モット検出器において光電子スペクトルを確認し、その際の電子検出効率 7×10^{-3} を得た。

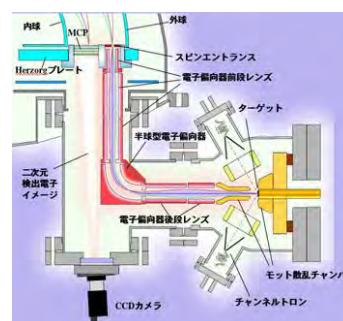


図1 電子偏向器の概要



図2 小型モット検出器

(4) 試料準備・作成槽の立ち上げと調整

スピン分解測定を行う対象となる磁性薄膜を超高真空中で作成するために、蒸着源、電子衝撃型試料加熱機構、通電加熱機構、膜圧モニターを搭載した表面作成槽の立ち上げ調整を行った。さらに作成した薄膜試料表面を低エネルギー電子エネルギー回折(LEED)で評価するための超高真空槽の立ち上げ調整を行った。本装置を用いて半導体基板上にグラフェン等のナノ薄膜を作成し、装置性能を評価した。

2),3),13),14)。

(5) PLD 薄膜作成装置の設計・製作

酸化物磁性薄膜を作成するための「スピン分解測定用 PLD 薄膜作成装置」の基本仕様を決定し、MBE チェンバー、レーザーアブレーションシステム、試料加熱機構、超高真空チェンバー、ターゲットステージの設計を行い、製作を開始した。

(6) 全システムのドッキングと総合調整、試料測定

製作の終了した装置各部(電子分析器、キセノンプラズマ放電管、小型モット検出器、試料準備槽、超高真空測定槽)と真空排気系をドッキングし、装置全体を組上げ、ベーキング・脱ガス処理により 1×10^{-10} Torr の超高真空を達成した。円滑な試料トランスファーの実現、測定試料位置の微調整システム、停電や排気ポンプのエラーに対応する安全対策を行い、スピン非分解時で 1meV を切る高エネルギー分解能でバルク試料の本格的な測定を可能とするシステムを実現した。これを用い、複数の試料について超高分解能光電子分光測定を行い、フェルミ準位近傍における電子状態の精密決定を行った^{1),4)-12),15)-18)}。

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高性能化
- ・電子エネルギー分析器の最終調整
- ・モット検出器の製作と調整
- ・試料準備・作成槽の立ち上げと調整
- ・PLD 薄膜作成装置の設計・製作
- ・全システムのドッキングと総合調整、試料測定

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表 (原著論文)

1. Effect of Zn impurities on the electronic structure of $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ studied by high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy
K. Terashima, T. Sato, K. Nakayama, T. Arakane, T. Takahashi, M. Kofu, and K. Hirota
Phys. Rev. B 77 (2008) 092501-1-4.
2. Cooperative structural and Peierls transition of Indium chains on Si(111) surface
Y. J. Sun, S. Agario, S. Souma, K. Sugawara, Y. Tago, T. Sato, and T. Takahashi

- Phys. Rev. B 77 (2008) 125115-1-4.
3. Low-energy excitations in graphite studied by ultrahigh-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy
K. Sugawara, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, and H. Suematsu Physica B 403 (2008) 1531-1533.
 4. Universal character of CoO_2 plane studied by high-resolution angle-resolved photoemission
T. Arakane, T. Sato, T. Takahashi, H. Ding, T. Fujii and A. Asamitsu
Physica B 403 (2008) 1086-1088.
 5. Band structure and Fermi surface of heavy Fermion compounds Ce_2TIn_8 (T=Co,Rh,In) studied by angle-resolved photoemission spectroscopy
S. Souma, S. Raj, J. C. Campuzano, T. Sato, T. Takahashi, S. Ohara, and S. Sakamoto
Physica B 403 (2008) 752-754.
 6. Doping induced evolution of Fermi surface in low carrier superconductor TI-doped PbTe
K. Nakayama, T. Sato, T. Takahashi, and H. Murakami
Phys. Rev. Lett. 100 (2008) 227004-1-4.
 7. Superconducting Gap and Pseudogap in Iron-Based Layered Superconductor $\text{La}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)\text{FeAs}$
T. Sato, S. Souma, K. Nakayama, K. Terashima, K. Sugawara, T. Takahashi, Y. Kamihara, M. Hirano, and H. Hosono
J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) 063708-1-3.
 8. Observation of Fermi-surface-dependent nodeless superconducting gaps in $\text{Ba}_{0.6}\text{K}_{0.4}\text{Fe}_2\text{As}_2$
H. Ding, P. Richard, K. Nakayama, K. Sugawara, T. Arakane, Y. Sekiba, A. Takayama, S. Souma, T. Sato, T. Takahashi, Z. Wang, X. Dai, Z. Fang, G. F. Chen, J. L. Luo and N. L. Wang
Europhys. Lett. 83 (2008) 47001-1-4.
 9. Fermi arc in the superconducting state of impurity-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$
T. Sato, K. Terashima, K. Nakayama, S. Souma, T. Takahashi, T. Yamamoto, and K. Kadowaki
Phys. Rev. B 78 (2008) 100502(R)-1-4.
 10. Doping dependence of pseudogap in $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$
T. Sato, K. Nakayama, Y. Sekiba, T. Arakane, K. Terashima, S. Souma, T. Takahashi, Y. Kamihara, M. Hirano, and H. Hosono
J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) Suppl. C, 65-68.
 11. High-resolution angle-resolved photoemission study of bulk electronic states in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$
K. Nakayama, T. Sato, T. Takahashi, T. Nishizaki, Y. Takahashi, and N. Kobayashi

- J. Phys. Chem. Solids 69 (2008) 2967-2970.
12. Many-body interactions in hole-doped high- T_c cuprates studied by high-resolution ARPES
T. Sato, K. Terashima, K. Nakayama, T. Arakane, H. Matsui, and T. Takahashi
J. Phys. Chem. Solids 69 (2008) 2949-2955.
 13. Quasiparticle lifetime in graphite studied by ultrahigh-resolution ARPES
K. Sugawara, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, and H. Suematsu
J. Phys. Chem. Solids 69 (2008) 2996-2999.
 14. Fermi-surface-dependent superconducting gap in C_6Ca
K. Sugawara, T. Sato, and T. Takahashi
Nature Physics 5 (2009) 40-43.
 15. Angle-resolved photoemission spectroscopy of the Fe-Based $Ba_{0.6}K_{0.4}Fe_2As_2$ high temperature superconductor: Evidence for an orbital selective electron-mode coupling
P. Richard, T. Sato, K. Nakayama, S. Souma, T. Takahashi, Y.-M. Xu, G. F. Chen, J. L. Luo, N. L. Wang, and H. Ding
Phys. Rev. Lett. 102 (2008) 047003-1-4.
 16. High-resolution photoemission study of NaV_2O_4
T. Qian, K. Nakayama, Y. J. Sun, T. Sato, T. Takahashi, K. Yamaura, and E. Takayama-Muromachi
J. Phys. Soc. Jpn. 78 (2009) 024709-1-4.
 17. 17, Electronic structure of heavily electron-doped $BaFe_{1.7}Co_{0.3}As_2$ studied by angle-resolved photoemission
Y. Sekiba, T. Sato, K. Nakayama, K. Terashima, P. Richard, J. H. Bowen, H. Ding, Y.-M. Xu, L. J. Li, G. H. Cao, Z.-A. Xu, and T. Takahashi
New J. Phys. 11 (2009) 025020-1-8.
 18. Superconducting-gap symmetry of $Ba_{0.6}K_{0.4}Fe_2As_2$ studied by angle-resolved photoemission spectroscopy
K. Nakayama, T. Sato, P. Richard, Y.-M. Xu, Y. Sekiba, S. Souma, G. F. Chen, J. L. Luo, N. L. Wang, H. Ding, and T. Takahashi
Europhys. Lett. 85 (2009) 67002-1-5.

(2) 特許出願

平成 20 年度 国内特許出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積件数 : 0 件)