

「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「スピン分解測定の高難度」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、まず、高輝度プラズマ放電管の具体的設計とプロトタイプ製作を行うとともに、装置全体の個別設計を行った。今後、放電管の発光・耐久試験と、その結果をもとにした改良を行うと同時に、装置の核となる電子エネルギー分析器、試料測定槽、スピン分解検出器等の具体的設計を終える。その後、装置全体の製作と建設に取りかかる。

## 2. 研究実施内容

本年度は研究の初年度であることから、まず本研究遂行のための全体の研究計画の構築と具体的な各研究項目、またそれらの関連を考慮した各年度における研究計画を立案した。具体的に行った項目について以下に示す。

### (1) 装置全体の基本設計

光電子分光装置のエネルギー分解能は、装置全体としての総合性能の結果として達成される。そのため、装置各部分の性能向上のみならず、それらの複合体としての装置全体としての最適化が必要となる。そのため、装置各部分（電子エネルギー分析器、励起光源系、超高真空測定槽、スピン分解モット検出器、極低温マニピュレーター、試料準備・作成真空槽、試料搬入真空槽、および排気系）の個別設計を開始し、それらの装置全体における配置や相互干渉を考慮して、装置全体の最適化設計を行った。とりわけ、外部磁場（地磁気）は、分解能に直接影響を与えるので、それを除去する超高真空測定槽内のミュンスタルシールドの磁場シミュレーションとその最適化設計を行った。また、極低温測定を実現するため、低熱容量、高熱コンダクタンスを実現する新しいタイプの

スピン分解用試料測定基板及びその超高真空トランスファー機構を考案し、具体的な設計を行った。

## (2) 高輝度光源の設計と製作

本装置の光電子励起源の基本設計と製作を行った(図 1)。まず最初に、放電管の心臓部にあたるキャビティーとその周辺部分の設計を行った。専用ソフトウェアを用いて、キャビティーの形状を様々に変えた条件の下での電磁波の発振数値シミュレーションを行い(図 2)、その最適形状を導出した。得られた形状をもとに、放電管のプロトタイプを制作し、冷却機構やマイクロ波終端部の形状に改良を重ねる事により、安定したプラズマ発光を持続する事に成功した。さらに、励起用の高純度希ガスを安定して効率よく排気するための流量調整機構およびその真空排気系、配管の基本設計を行った。

励起光源の設計と同時並行して、光源から発生する複色光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開始した。光の波長と紫外光拡散を考慮した光学パスのシミュレーションを行い、高い反射効率およびエネルギー分解能を持つ回折格子の素材を決定した。

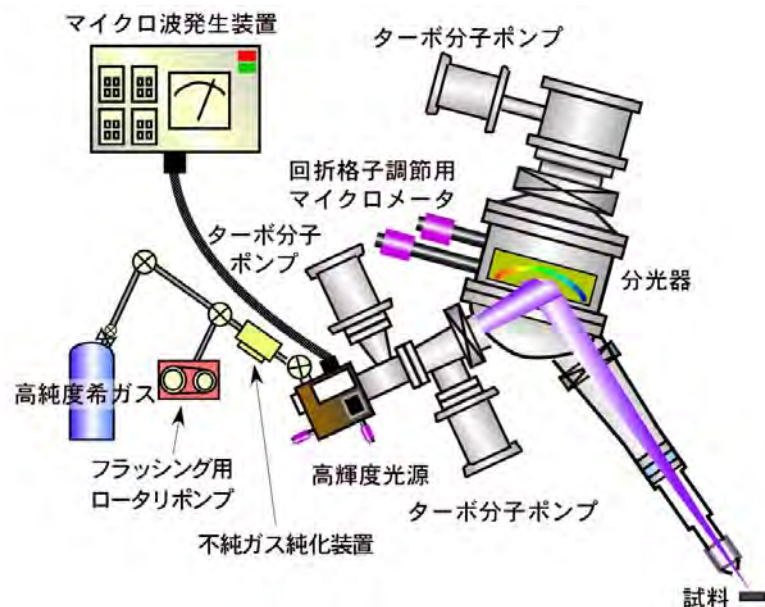


図 1 高輝度プラズマ放電管を含む励起光源全体の概念図

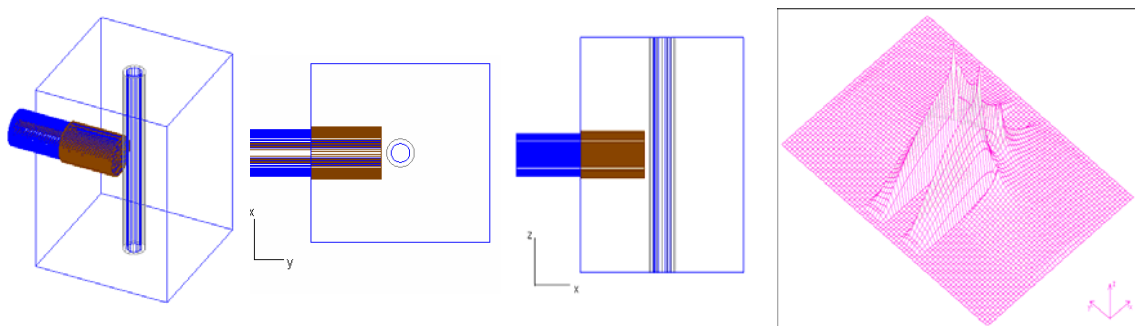


図 2 キャビティー形状のモデル(左)と、電場のシミュレーション結果

### (3) 電子エネルギー分析器の基本設計

光電子のエネルギーと運動量を分離して2次元的に同時に計測する「電子エネルギー分析器」の基本設計を行った(図3)。装置の最後段には、電子のスピンを分別する「モット検出器」を接続するため、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 カメラを配置した従来の方式が適用できない。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レンズ系と MCP および CCD カメラの配置を検討した。

電子エネルギー分析器のエネルギー分解能と角度分解能を向上するため、従来型の角度分解光電子分光装置に比べて遙かに狭い幅を持つアナライザー電子出射スリットの形状についての検討を行った。また、得られた角度分解光電子分光データを高速でパソコンに取り込み解析するための高速データ処理システムを開発した。

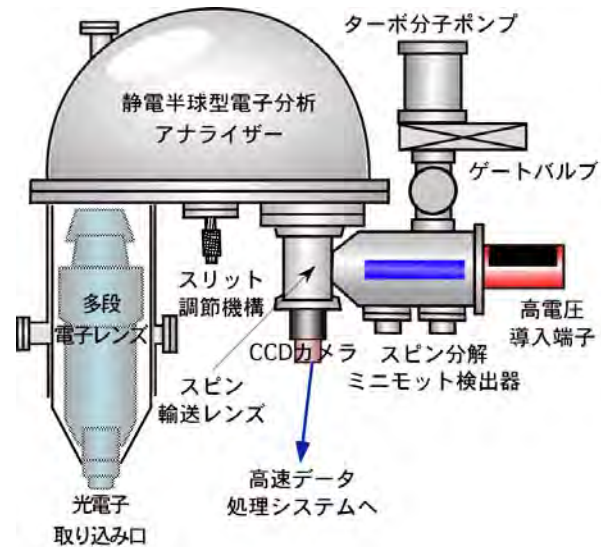


図3 電子エネルギー分析器の概念図

## 3. 研究実施体制

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：
  - 装置全体およびエネルギー分析器の設計と製作
  - 高輝度プラズマ放電管の設計と製作

## 4. 主な研究成果の発表

### (1) 論文（原著論文）発表

- “Impurity effects on electron-mode coupling in high-temperature superconductors,” K. Terashima, H. Matsui, D. Hashimoto, T. Sato, T. Takahashi, H. Ding, T. Yamamoto, and K. Kadowaki, *Nature Physics*, **2** (2006) 27–31.
- “Fermi surface and edge-localized state in graphite studied by high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy,” K. Sugawara, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, and T. Suematsu, *Phys. Rev. B*, **73** (2006) 045124–1–5.

- “Fermi Surface and Anisotropic Spin-Orbit coupling in Sb(111) studied by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy,” K. Sugawara, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, M. Arai, and T. Sasaki, Phys. Rev. Lett., **96** (2006) 046411-1-4.