

2024 年度年次報告書

計測・解析プロセス革新のための基盤の構築

2023 年度採択研究代表者

岩澤 英明

量子科学技術研究開発機構 関西光量子科学研究所
上席研究員

磁場印加スピン分解顕微光電子分光の開発

研究成果の概要

本研究では、角度分解光電子分光 (ARPES) の常識を打ち破る「磁場印加でのスピン分解 ARPES」(磁場印加 SARPES) の実現に向けて、(1) 磁場印加 ARPES、(2) 軟 X 線 SARPES、(3) 磁場印加 SARPES の三つの新計測手法を実用的な計測手法として確立する。また、その実現に向けて必要な計測の高効率化・高速化を可能とするための、(4) リアルタイムフィードバック制御型 AI 計測システムを設計・開発する。

2024 年度は、磁場印加に対応した電極付き試料マニピュレータの導入・立ち上げを行い、ARPES 計測における試料回転(仰角・面内角)と極低温 (15 K) に加えて、外場印加との両立を実現した。また、ビームラインおよび光電子分析器の最適化を行い、本装置による ARPES 計測に初めて成功し、世界水準の高品質な ARPES スペクトルの取得に至った。さらに、磁場印加用電極付き試料ホルダーの開発・製作にも成功し、磁場印加 ARPES の実験基盤を整備することが出来た。

SARPES 計測に関しては、ターゲット磁性薄膜の作製に必要な試料準備槽の構築に向け、各種コンポーネントの設計・購入を進めた。これにより、2025 年度中の SARPES 計測の実現を見込んでいる。また、SARPES 計測の高度化に向けては、機械学習 (ガウス過程回帰) を用いたデータ推定に基づく実験終了判定基準の導入を試みた。従来の経験則に基づく終了判定と比較し、本手法によりスピン偏極度の取得が、5~10 倍の高速で可能となることが判明した。この成果は論文発表 [1] および広島大学・JST との共同プレスリリースにより公表した。

さらに、本研究で開発した計測手法の基盤として、顕微 ARPES を用いた解析手法の高度化にも取り組んだ。銅酸化物高温超伝導体を対象に、超伝導ギャップのマイクロイメージング手法を開発し、ギャップのマイクロスケールでの空間不均一性を明らかにするとともに、超伝導ギャップや散乱確率といった物理定数の統計的・定量的評価、さらにはそれらの相関関係の定量化を実現した。これらの成果は論文発表 [2]、広島大学・KEK との共同プレスリリースに加え、PF-UA 学生論文賞を受賞し、さらに和文の解説記事 [3] も発表した。

加えて、2024 年度中に 9 件の招待講演などを実施し、研究成果の積極的な発信にも努めた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Hideaki Iwasawa, Tetsuro Ueno, Takuma Iwata, Kenta Kuroda, Konstantin A. Kokh, Oleg E. Tereshchenko, Koji Miyamoto, Akio Kimura, and Taichi Okuda, “Efficiency improvement of spin-resolved ARPES experiments using Gaussian process regression”, *Scientific Reports* **14**, 20970 (2024).
- 2) Yudai Miyai, Shigeyuki Ishida, Kenichi Ozawa, Yoshiyuki Yoshida, Hiroshi Eisaki, Kenya Shimada, and Hideaki Iwasawa, “Visualization of spatial inhomogeneity in the superconducting gap using micro-ARPES”, *Science and Technology of Advanced Materials* **25**(1), 2379238 (2024).
- 3) 宮井雄大, 岩澤英明, 顕微 ARPES による銅酸化物の超伝導ギャップ不均一性の可視化, 表面と真空 (特集号: 顕微光電子分光の最前線ー実空間と運動量空間のランドスケープー), 2025 年 68 巻 5 号 p. 301-306.