

光物性測定器開発研究部門（極端紫外光研究施設）

田 中 清 尚（准教授）（2014 年 4 月 1 日着任）

A-1) 専門領域：物性物理学，放射光科学

A-2) 研究課題：

- a) 高温超伝導体の電子状態の解明
- b) 新規スピン分解角度分解光電子分光装置の開発
- c) 角度分解光電子分光における低温技術の開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 銅酸化物高温超伝導体の中でも高い超伝導転移温度 (T_c) を示す物質の一つである $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ (Bi2223) の電子状態を，UVSOR BL7U において角度分解光電子分光測定を行うことで明らかにした。装置の改良により角度分解能を向上させたことで，これまで報告されていなかった新しいエネルギーバンドが存在することを世界に先駆けて観測した。これは単位胞中に3つある CuO_2 面間の電子のホッピング移動による **triple-layer splitting** と考えられる。また観測される3つのエネルギーバンドが，それぞれ異なる超伝導ギャップの大きさを示していることも明らかになり，外側の2枚の CuO_2 面が超伝導転移温度に重要であることが示唆される結果となった。また UVSOR BL5U において，一軸圧を印可した状態での鉄系高温超伝導体 $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ の角度分解光電子分光測定を行い，近年新しく報告され注目を集めている C_4 相の温度領域においてのみ，電子状態が4回対称性を示すことを直接観測することに成功した。
- b) ビームラインとエンドステーションの全面的な更新を行っていた BL5U は2016年度より高分解能角ビームラインとしてユーザー利用を開始した。新しい機能として，これまでにないイメージスピン検出器を開発中である。昨年までにスピン分解検出をする二つのターゲット位置まで電子を導くことに成功していたが，電子軌道が対称的でないことが判明し，新しい電子レンズの開発とパラメーター調整を行っている。同時にターゲット材質の開発も行っており，高効率スピン分解角度分解光電子分光測定の実現を目指している。
- c) 角度分解光電子分光実験の高エネルギー分解能測定には，試料をどれだけ冷却できるかが重要となる。BL5U 用に開発した冷却可能な5軸マニピュレータは，これまで試料部において 4.6 K，参照用金部で 4 K という放射光施設の光電子分光装置としては世界でもトップクラスの低温を実現していたが，さらに冷却部の材質の見直しや液体ヘリウムの排気系を見直すことで，試料部において 3.8 K，参照用金部で 3.2 K を達成した。また現在 UVSOR で最も高分解能な測定が可能である BL7U では，試料を 12 K までしか冷却することができないため，その性能を十分生かすことができていない。そこで今回 BL5U で得たノウハウを応用し，試料部において 5 K を目指して新たに6軸マニピュレータの開発を進めている。2018年度初めにビームラインへ導入することを計画している。

B-1) 学術論文

M. MATSUNAMI, M. OURA, K. TAMASAKU, T. ISHUKAWA, S. IDETA, K. TANAKA, T. TAKEUCHI, T. YAMADA, A. P. TSAI, K. IMURA, K. DEGUCHI, N. K. SATO and T. ISHIMASA, “Direct Observation of Heterogeneous Valence State in Yb-Based Quasicrystalline Approximants,” *Phys. Rev. B* **96**, 241102(R) (4 pages) (2017).

- T. ITO, D. PINEK, T. FUJITA, M. NAKATAKE, S. IDETA, K. TANAKA and T. OIUSSE**, “Electronic Structure of Cr_2AlC as Observed by Angle-Resolved Photoemission Spectroscopy,” *Phys. Rev. B* **96**, 195168 (9 pages) (2017).
- J. KISHI, Y. OHTSUBO, T. NAKAMURA, K. YAJI, A. HARASAWA, F. KOMORI, S. SHIN, JE. RAULT, P. LE. FEVRE, F. BERTRAN, A. TALEB-IBRAHIM, M. NURMAMAT, H. YAMANE, S. IDETA, K. TANAKA and S. KIMURA**, “Spin-Polarized Quasi-One-Dimensional State with Finite Band Gap on the Bi/InSb (001) Surface,” *Phys. Rev. Mater.* **1**, 064602 (5 pages) (2017).
- T. HIRAHARA, S. V. EREMEEV, T. SHIRASAWA, Y. OKUYAMA, T. KUBO, R. NAKANISHI, R. AKIYAMA, A. TAKAYAMA, T. HAJIRI, S. IDETA, M. MATSUNAMI, K. SUMIDA, K. MIYAMOTO, Y. TAKAGI, K. TANAKA, T. OKUDA, T. YOKOYAMA, S. KIMURA, S. HASEGAWA and E. V. CHULKOV**, “A Large-Gap Magnetic Topological Heterostructure Formed by Subsurface Incorporation of a Ferromagnetic Layer,” *Nano Lett.* **17**, 3493–3500 (2017).
- J. MIAO, X. H. NIU, D. F. XU, Q. YAO, Q. Y. CHEN, T. P. YING, S. Y. LI, Y. F. FANG, J. C. ZHANG, S. IDETA, K. TANAKA, B. P. XIE, D. L. FENG and F. CHEN**, “Electronic Structure of FeS ,” *Phys. Rev. B* **95**, 205127 (6 pages) (2017).
- Y. OKUYAMA, Y. SUGIYAMA, S. IDETA, K. TANAKA and T. HIRAHARA**, “Growth and Atomic Structure of Tellurium Thin Films Grown on Bi_2Te_3 ,” *Appl. Surf. Sci.* **398**, 125–129 (2017).
- L. LIU, K. OKAZAKI, T. YOSHIDA, H. SIZUKI, M. HORIO, L. C. C. AMBOLODE II, J. XU, S. IDETA, M. HASHIMOTO, D. H. LU, Z.-X. SHEN, Y. OTA, S. SHIN, M. NAKAJIMA, S. ISHIDA, K. KIHOU, C. H. LEE, A. IYO, H. EISAKI, T. MIKAMI, T. KAKESHITA, Y. YAMAKAWA, H. KOMTANI, S. UCHIDA and A. FUJIMORI**, “Unusual Nodal Behaviors of the Superconducting Gap in the Iron-Based Superconductor $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.65}\text{Ru}_{0.35})_2\text{As}_2$: Effects of Spin–Orbit Coupling,” *Phys. Rev. B* **95**, 104504 (5 pages) (2017).
- Y. NAKAYAMA, Y. MIZUNO, M. HIKASA, M. YAMAMOTO, M. MATSUNAMI, S. IDETA, K. TANAKA, H. ISHII and N. UENO**, “Single-Crystal Pentacene Valence-Band Dispersion and Its Temperature Dependence,” *J. Phys. Chem. Lett.* **8**, 1259–1264 (2017).
- F. BUSSOLOTTI, J. YANG, T. YAMAGUCHI, K. YONEZAWA, K. SATO, M. MATSUNAMI, K. TANAKA, Y. NAKAYAMA, H. ISHII, N. UENO and S. KERA**, “Hole–Phonon Coupling Effect on the Band Dispersion of Organic Molecular Semiconductors,” *Nat. Commun.* **8**, 173 (7 pages) (2017).

B-4) 招待講演

田中清尚, 「UVSOR BL5UにおけるARPESと今後の展望」, PF研究会「次世代光源で拓かれる光電子分光研究の将来展望」, KEK つくばキャンパス, つくば, 2017年10月.

K. TANAKA, “Observation of triple-layer splitting in high- T_c cuprate $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ observed by ARPES at UVSOR,” Incheon national university, Incheon (Korea), November 2017.

B-7) 学会および社会的活動

学会誌編集委員

日本放射光学会誌編集委員 (2014–2016).

日本放射光学会誌編集委員 (2016–). (出田真一郎)

B-10) 競争的資金

科研費若手研究(スタートアップ),「高温超伝導体の反射型テラヘルツ時間領域分光」, 田中清尚 (2008年–2009年).

科研費若手研究(B),「電荷・スピンストライプ秩序相を有する高温超伝導体の電子構造」, 田中清尚 (2012年–2014年).

グローバルCOE プログラム「物質の量子機能解明と未来型機能材料創出」萌芽的研究,「鉄系超伝導体における低エネルギー電荷応答」, 田中清尚 (2012年).

自然科学研究機構新分野創成センターイメージングサイエンス研究分野プロジェクト,「ディフレクターを用いた新しい高分解能運動量空間電子状態イメージング」, 田中清尚 (2015年).

科研費若手研究(B),「角度分解光電子分光及びフェムト秒時間分解電子線回折による高温超伝導起源の解明」, 出田真一郎 (2015年–2016年).

C) 研究活動の課題と展望

これまで整備・立ち上げを進めてきたUVSOR のBL5U の高分解能角度分解光電子分光ビームラインはユーザー利用を開始した。現在, 高分解能を利用した角度分解光電子分光実験を行っており, 成果が出始めている。今後は新しい高効率スピ分解測定手法の開発も同時に進めていきたい。