

量子ビームの協奏と先端利用で 電子材料の機能の本質に迫る

門野 良典 Ryosuke Kadono

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所



電子材料研究では、量子ビーム利用研究の専門家集団からなる高エネ機構・物構研に副拠点が置かれ、材料創製グループが合成した電子材料について、東工大拠点の解析評価グループとも緊密に協議しながら、拠点では実施できない大型研究施設での放射光・中性子・ミュオンという量子ビームを用いた物性材料評価が実施された。具体的には、放射光X線回折による精密構造解析(KEK-PF、SPring-8利用)、先端光電子分光による表面・界面の電子状態の評価、および微小試料領域(数 μm)分析装置開発(KEK-PF利用)、中性子回折による結晶・磁気・局所構造解析および準弾性・非弾性散乱によるダイナミクス解析(J-PARC MLF中性子利用)、ミュオンスピン回転(μSR)による磁性・超伝導の評価、物質中の水素電子状態の同定、さらに大強度ミュオンビーム利用のための μSR 分光器の開発(J-PARC MLFミュオン利用)など

である。さらに、これらの量子ビームを相補的・協奏的に駆使する「マルチプローブ解析」プラットフォーム体制が構築されたことにより、電子材料の精密解析・評価の結果が材料創製グループへ迅速にフィードバックされ、物質開発速度の向上に貢献した。また、並行して行われた装置の高度化により、量子ビームによる解析・評価の精度、および解析速度の向

上が実現した。具体的な成果のハイライトとしては以下の3点が挙げられる。

1) 鉄系超伝導体における新たな反強磁性母相の発見：

鉄はありふれた元素であるが、その磁性ゆえに超伝導とは縁遠い元素とみなされており、2008年の LaFeAsO (1111系)高温超伝導の発見は銅酸化物に比すべきインパクトをもたらした。その後、

講演のポイント

- 鉄系超伝導体における新たな反強磁性母相の発見
- エレクトライド電子の確立と触媒応用における機能発現の機構解明
- 電子材料中の水素の電子状態とダイナミクスの評価

東工大拠点では1111系物質で酸素-水素置換という新しいキャリアドーピング法を開発し、これまでにない高濃度で電子ドーピングが可能になった結果、すでに知られていた低電子ドーピング領域で発現する超伝導相(第1)に加え、高電子ドーピング領域で新たな超伝導相(第2)、およびその母相とみなされる第2の反強磁性秩序相の発見に至るとともに、量子ビーム解析により数多くの大変興味深い知見が得られた。

中でも第2母相の発見は重要

で、マルチプローブによる迅速な物性評価が行われた結果、多軌道電子系の高濃度超伝導における磁性と超伝導の競合・協奏という、単バンド系の銅酸化物に代わる新たな物性研究のパラダイムへの契機となった。

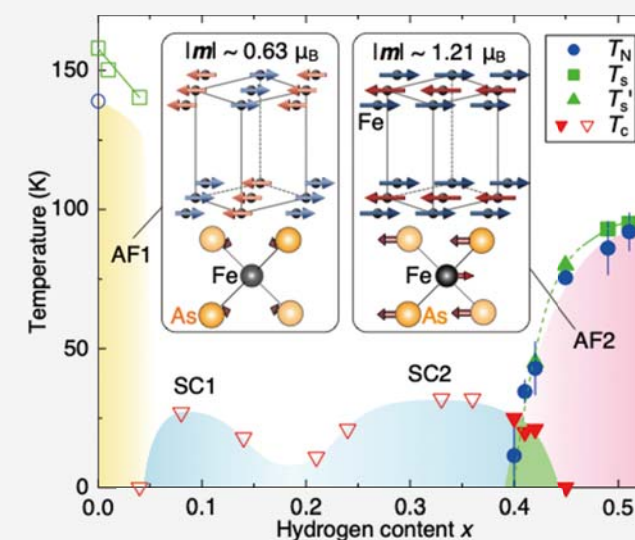
2) エレクトライド電子の確立と物性評価、およびその触媒応用における機能発現の機構解明：

固体エレクトライドは、「原子核に束縛されない電子を陰イオンとして固体結晶に配することで仕事関数を下げる」という新

媒の担持体として驚異的な性能を示すなど、応用上の大きなインパクトをもたらしている。マルチプローブ研究では、その後も続々と合成されたエレクトライド候補物質について「エレクトライド電子」の存在が立証されるとともに、触媒機能に重要な遷移金属や水素との相互作用に関する微視的な情報、さらにはエレクトライド電子そのものが持つ特異な性質が明らかにされた。

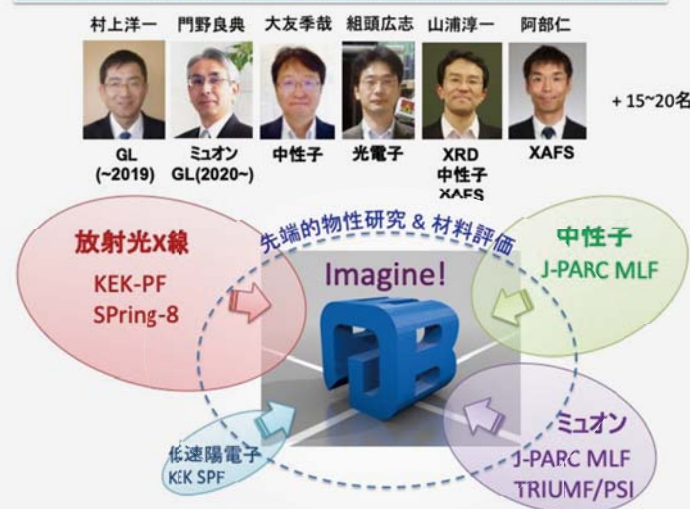
3) 酸化物半導体・誘電体の機能に関わるナノ構造、水素の電子状態とダイナミクスの評価：

安定かつ豊富に存在する酸化物は、現代の電子機器を支える基幹的な電子材料として常にその性能向上が求められている。東工大拠点でもさまざまな新機材料の開発が行われたが、中でも量子ビーム解析が威力を発揮したのがこれらの材料中での水素に関する研究であり、IGZOをはじめとする透明半導体の性能を左右する微量水素の役割解明、ヒドリド伝導体における水素位置の決定とダイナミクスの解明などの成果が挙げられている。



たな物質概念に基づいて東工大拠点で開発された機能性材料である。最初に具現化されたカルシウムアルミ酸化物(C12A7)は、セメント材料としても知られるありふれた物質であるにもかかわらず、エレクトライド化するとアンモニア合成触

KEK計測評価グループ(元素戦略・電子材料領域・副拠点)



連名者・連携機関

村上洋一、細野秀雄

参考文献

- [1] M. Hiraishi, S. Iimura, K. M. Kojima, J. Yamaura, H. Hiraka, K. Ikeda, P. Miao, Y. Ishikawa, S. Torii, M. Miyazaki, I. Yamauchi, A. Koda, K. Ishii, M. Yoshida, J. Mizuki, R. Kadono, R. Kumai, T. Kamiyama, T. Otomo, Y. Murakami, S. Matuishi, and H. Hosono, Nat. Phys. 10, 300 (2014).
- [2] K. Horiba, R. Yukawa, T. Mitsuhashi, M. Kitamura, T. Inoshita, N. Hamada, S. Otani, N. Ohashi, S. Maki, J. Yamaura, H. Hosono, Y. Murakami, and H. Kumigashira, Phys. Rev. B 96, 045101 (2017).
- [3] K. M. Kojima, M. Hiraishi, H. Okabe, A. Koda, R. Kadono, K. Ide, S. Matsuishi, H. Kumomi, T. Kamiya, and H. Hosono, Appl. Phys. Lett. 115, 122104 (2019).

関連 WEB

<https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20140317100000/>