

新奇超伝導体の磁束格子観測を通じた電子状態の研究

Study of electronic states in novel superconductors
through observation of its vortex state

(日本物理学会推薦)

| | | | | |
|-------|--------------------------|-------|-----------------------|------------------------|
| 代表研究者 | お茶の水女子大学 | 古川はづき | Ochanomizu University | Hazuki Kawano-Furukawa |
| 協同研究者 | University of Cambridge | | Charlotte | Bowell |
| | Paul Scherrer Institut | | Jonathan S. | White |
| | University of Birmingham | | Edward | Forgan |
| | University of Birmingham | | Alistair | Cameron |
| | University of Birmingham | | Richard | Heslop |
| | Paul Scherrer Institut | | Jorge L. | Gavilano |
| | Paul Scherrer Institut | | Markus. | Zolliker |
| | Institut Laue-Langevin | | Robert | Cubitt |
| | Institut Laue-Langevin | | Charles. D. | Dewhurst |
| 産総研 | | 木方邦宏 | AIST | Kunihiro Kihou |
| 産総研 | | 李哲虎 | AIST | Chul Hoo Lee |
| 産総研 | | 永崎洋 | AIST | Hiroshi Eisaki |
| 千葉大学 | | 齊藤拓 | Chiba University | Taku Saitoh |
| 千葉大学 | | 深澤英人 | Chiba University | Hideto Fukazawa |
| 千葉大学 | | 小堀洋 | Chiba University | Hiroshi Kohori |

Since the discovery of new Fe-based quaternary oxy-pnictide superconductor, much effort has been expended to bare the nature of this family. So far, six families categorized by the structures 1111-, 122-, 111-, 11-, 21113- and 32225-type have been revealed, and then superconductivity with transition temperatures as high as 56 K has been achieved. The technique of small angle neutron scattering (SANS) is ideal for studying the field profile of the superconducting vortices. Several groups have tried to observe the vortex state on several pnictide superconductors. However, only powder-ring patterns were reported in $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$, indicating that the vortices are not well ordered in a real space due to strong pinning. In order to clarify the nature of the vortex state of Fe-based superconductors, we have chosen the KFe_2As_2 ($T_c(0) = 3.9\text{K}$) compound, which shows superconductivity without doping and has no mixed sites. We have performed SANS measurements with $H // c$ at D11 and D22 ILL and SANS-I at PSI and

succeeded in observing clear Bragg spots for the first time. We also measured temperature and field dependences of the scattering pattern and integrated intensity. From the results, we discussed the symmetry of the superconducting order parameter of this system.

研究目的

強相関電子系に現れる量子多体問題の解決は物理学における最重要課題である。特に、21世紀を迎え続々と発見されている新奇超伝導体は、電子相関の最も強い金属状態を舞台に様々な特異な電子状態を示し、強相関電子系研究者に重要な新規課題を与えている。中性子小角散乱法 (SANS) による磁束研究は、超伝導体の異常電子状態を研究する理想的なテクニックの1つであり、一昨年日本で発見された新型鉄系超伝導体についても SANS による磁束研究が熱望され、これまでに多くの実験が行われている。しかし、これまでの成果は、 $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$ の弱い回折リングが報告されたのみである。この結果は、この系で磁束が強くピン留めされ空間的に規則正しく並んでいないことを示唆しており、結晶に混晶化による局所的な歪みが発生し、ピン留めの要因となっている可能性が考えられる。我々は、これが新型鉄系超伝導体の共通の性質であるかどうかは明らかではなく、より純良な単結晶について研究することが重要だと考えた。そこで、極最近、超純良な単結晶試料が作成された、混晶系ではない、122型鉄系超伝導体の1つである KFe_2As_2 に着目した。作られた単結晶試料サンプルの T_c は、3.9K、転移幅は 0.2K、残留抵抗比 (RRR 値) は 367、ドハース信号が確認されている。これらの結果は、この系が超純良な単結晶試料であり、磁束のピン留めが弱く、この系で周期的な磁束格子が観測される可能性が高いことを示唆している。これを受け、我々はこの系の SANS 実験に挑戦、磁束研究を通じた電子状態の研究を行う事にした。

経過

これまでにフランスの ILL、スイスの PSI において中性子小角散乱実験を行った。具体的には、単結晶試料を磁場中冷却し磁束状態を実現させ、いくつか選んだ磁場-温度下で磁束格子構造を決定し、相図を作った。また、散乱強度の温度変化、磁場変化を測定した。磁場は正方晶 2次元結晶面に垂直、4回対称軸に平行、かつ、中性子ビームに平行に印加した。使われた中性子の波長は 9Å である。実験が行われた温度領域は 50mK から 5K の範囲であり、必要に応じて希釈冷凍機を使用した。

考察

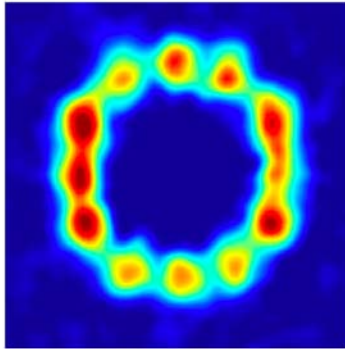


Fig.1 Small angle neutron scattering patterns in KFe_2As_2 .

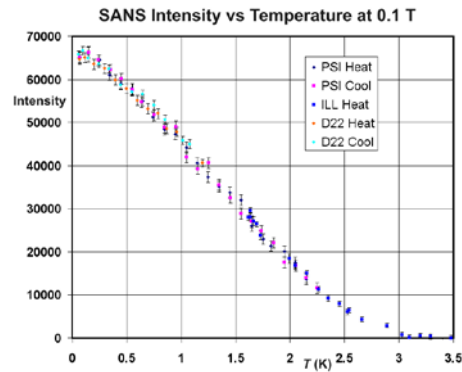


Fig.2 Temperature dependence of scattered intensity.

図1は $0.2\text{T}, 1.5\text{K}$ で観測された磁束格子散乱パターンである。きれいなブラッグスポットが観測されている。この結果は、この系の磁束格子が長距離周期構造を持っている事を示唆している。また、スポットの数が12個であり、中心からほぼ同距離にあることは、この系の磁束格子が三角格子を組んでおり、正方晶の4回対称軸に磁場を掛けている為に、2つのドメインを組んでいる事を示唆している。さらに、三角格子を組んでいる事は、この系のフェルミ面とギャップ構造が、2次元面内で等方的な性質を持つ事を示唆している。図2に散乱強度の温度変化を示す。散乱強度は極低温を除きかなり低温まで直線的に増加している。 KFe_2As_2 はマルチギャップ超伝導であると考えられているが、温度変化の結果は、この系のギャップは少なくとも大きな幅をもつこと、そして、さらにノード構造を持つ可能性があることを示唆している。これら散乱パターンと強度の温度変化から、この系の超伝導はギャップに大きな構造をもつものの、正方晶の2次元面内では異方性を持たないこと、すなわち、 d 波超伝導の可能性が低い事、そして、ノードを持つ場合には、そのノードは水平ノードになっている可能性が高いことを結論できた。このような新型鉄系超伝導体における磁束格子のブラッグパターンの観測、および、超伝導の電子状態に関する研究はこの研究が世界で初めての成功例となった。

研究発表

口頭発表

1. R.W. Heslop, E.M. Forgan, A.S. Cameron, H. Kawano-Furukawa, C. Bowell, K. Kihou, C. H. Lee, H. Eisaki, T. Saito, H. Fukawaza, Y. Kohori, R. Cubitt, C. D. Dewhurst, J. S. White, J. Gavilano, M. Zolliker, The Vortex Lattice in the Superconducting Pnictide, KFe_2As_2 , Condensed Matter and Materials Physics CMMP09 (イギリス、2009)

2.C. Bowell, H. Kawano-Furukawa, E.M. Forgan, A.S. Cameron, R.W. Heslop, K. Kihou, C. H. Lee, H. Eisaki, T. Saito, H. Fukawaza, Y. Kohori, R. Cubitt, The Vortex Lattice of KFe_2As_2 , The American Physical Society March Meeting (アメリカ、2010)

以下予定

3. 古川はづき, Charlotte Bowell, Edward Forgan, Alistair Cameron, Richard Heslop, 木方邦宏, 李哲虎, 永崎洋, 齊藤拓, 深澤英人, 小堀洋, Robert Cubitt, 中性子小角散乱法による FeAs 系超伝導体の磁束格子観測, 日本物理学会 第 65 回年次大会 (岡山、2010)

4. H. Kawano-Furukawa, C. Bowell, E.M. Forgan, A.S. Cameron, R.W. Heslop, K. Kihou, C. H. Lee, H. Eisaki, T. Saito, H. Fukawaza, Y. Kohori, R. Cubitt, First observation of well-ordered vortex lattice in non-doped KFe_2As_2 superconductor by SANS technique, International Conference on Superconductivity and Magnetism 2010 (トルコ、2010)

5. 招待講演, H. Kawano-Furukawa, “Paring state in KFe_2As_2 ”
Workshop on Superconductivity Explored by Neutron Scattering Experiments (SENSE 2010),
誌上発表 無し