

令和元年5月23日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04016

研究課題名(和文) 六方晶や三角格子等の特殊構造が生み出す新奇超伝導のNMR法による研究

研究課題名(英文) NMR study on novel superconductivity in materials with special structures

研究代表者

鄭 国慶 (Zheng, Guo-qing)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：50231444

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は三角格子や六角晶など特殊な結晶構造を有する物質において、新奇な超伝導状態を核磁気共鳴(NMR)法によって探索することである。研究対象物質の中に、空間反転対称性が破れるものもあり、反対称スピン軌道相互作用が強く、スピン三重項超伝導が期待できる。また、バンド構造にバン・ホッフ特異点があり、非従来型超伝導状態の実現に有利な条件が整っている物質もある。本研究では、NMR等の測定を行い、スピン格子緩和率やナイトシフトの温度・結晶軸方向及び磁場依存性から、特殊な結晶構造が生み出す新奇超伝導の物性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

超伝導体では電子はエネルギーのロスをすることなく運動できる。そのため、超伝導体は環境問題やエネルギー問題を解決する切札的な材料になると期待されている。しかし、現在超伝導転移温度はまだ室温に到達していない。そこで、高温超伝導を実現する手立てを見つけるのが喫緊の課題である。その第一歩として重要になってきたのは既存の超伝導材料の電子状態を十分に理解することと結晶構造との相関を明らかにすることである。本研究はこのような観点に立って、新たな電子機能を創造し、新しいタイプの超伝導体を見出すことである。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this project is to search for novel superconducting state in materials with triangular or hexagonal lattices. Some of the materials we studied lack spatial inversion center, and thus anti-symmetric spin-orbit coupling is enhanced which can induce spin-triplet superconducting state. Others have van Hove singularity in the electronic band structure which is favored by unconventional superconducting states. We performed nuclear magnetic resonance (NMR) measurements to study the temperature, magnetic-field, and crystal axis dependence of the spin-lattice relaxation rate and Knight shift. Through these measurements, we have revealed the exotic properties of several materials.

研究分野：物性物理学

キーワード：超伝導 核磁気共鳴

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

従来型の超伝導は、格子振動(フォノン)を媒介に二つの電子が対を作ることによって実現する。一方、電子間の相互作用やスピン軌道相互作用を活用する対形成も可能であることが認識され、その実証が待たれていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は三角格子や六方晶など特殊な結晶構造を有する物質において、新奇な超伝導状態を核磁気共鳴(NMR)法によって探索することである。研究対象物質の中に、空間反転対称性が破れるものもあり、反対称スピン軌道相互作用が強く、スピン三重項超伝導が期待できる。また、バンド構造にバン・ホッフ特異点があり、非従来型超伝導状態の実現に有利な条件が整っている物質もある。本研究では、NMR等の測定を行い、特殊な結晶構造が生み出す新奇超伝導の物性を明らかにする。

3. 研究の方法

対象物質において、 ^{77}Se -, ^{207}Pb -, ^{185}Re , ^{119}Sn -NMRによりスピン格子緩和率やナイトシフトの温度・結晶軸方向及び磁場依存性を測定する。

4. 研究成果

六方晶 $\text{Cu}_{0.3}\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ではスピン軌道相互作用が強い。低温低磁場で角度回転 ^{77}Se -NMRを行い、ナイトシフトの温度変化測定を様々な角度で行った。その結果、結晶の3回対称性に対して、ナイトシフトが超伝導状態で2回対称性の創発を発見した。これは超伝導がスピン三重項状態にあること示す決定的な証拠である。

空間反転対称性の破れた超伝導体 Re_6Zr 及び派生物質の作製と評価を行い、NQR測定を行った結果、すべての試料で等方的な超伝導が支配的であることが明らかになった。これはこの系では空間反転対称性の破れの度合いが小さいためにスピン軌道相互作用が弱く、スピン三重項超伝導成分が小さいためと考えられる。

六方晶の層状物質で空間反転対称性が破れた PbTaSe_2 について調べた。この物質は、ディラック型のバンドを持ち、ワイル型半金属であるが、4.05Kで超伝導に転移する。NMR測定した結果、超伝導ギャップが等方的に開くこと、電子対のスピンが一重項状態にあることを明らかにした。しかし、超伝導転移温度直下に通常現れるコヒーレンスピークが見られず、ディラック電子の影響が表れている可能性があることを見出した。

擬スクッテルダイト超伝導体($\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x$) $_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$ や $\text{Ca}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$ において、構造相転移温度よりも高温で電子状態に前駆的な異常を示すことや、反強磁性的な電子相関があることを明らかにした。また、超伝導状態は強結合であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8 件)

[1] S. Maeda, K. Matano and G.-q. Zheng,

Fully gapped spin-singlet superconductivity in noncentrosymmetric PbTaSe_2 : ^{207}Pb nuclear magnetic resonance study. (査読あり)

Phys. Rev. B **97**, 184510 (2018).

[2] J. Yang, T. Oka, Z. Li, H.X. Yang, J.Q. Li, G.F. Chen, and G.-q. Zheng,

Structural phase transition, antiferromagnetism and two superconducting domes in $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{Fx}$ ($0 < x < 0.75$). (査読あり)

SCIENCE CHINA Physics, Mechanics & Astronomy **61**, 117411 (2018).

[3] J. Luo, J. Yang, S. Maeda, Z. Li, and G.-q. Zheng,

Structural phase transition, precursory electronic anomaly, and strong-coupling superconductivity in quasi-skutterudite $(\text{Sr}_{1-x}\text{Ca}_x)_3\text{Ir}_4\text{Sn}_{13}$ and $\text{Ca}_3\text{Rh}_4\text{Sn}_{13}$
Chin. Phys. B Vol. 27, No. 7 (2018) 077401. (査読あり)

[4] S. Kawasaki, Z. Li, M. Kitahashi, C.T. Lin, P.L. Kuhns, A.P. Reyes and G.-q. Zheng,

Charge-density-wave order takes over antiferromagnetism in $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{CuO}_6$ superconductors.

NATURE COMMUNICATIONS **8**, 1267 (2017). (査読あり)

- [5] S. Maeda, R. Hirose, K. Matano, M. Novak, Y. Ando, and G.-q. Zheng,
Spin-singlet superconductivity in the doped topological crystalline insulator
Sn_{0.96}In_{0.04}Te.
Phys. Rev. B 96, 104502 (2017). (査読あり)
- [6] S. Maeda, S. Katsube and G.-q. Zheng,
Quasi-localized Impurity State in Doped Topological Crystalline Insulator Sn_{0.9}In_{0.1}Te
Probed by ¹²⁵Te-NMR.
J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 024702 (2017). (査読あり)
- [7] K. Matano, R. Yatagai, S. Maeda, and G.-q. Zheng,
Full-gap superconductivity in noncentrosymmetric Re₆Zr, Re₂₇Zr₅, and Re₂₄Zr₅
PHYSICAL REVIEW B 94, 214513 (2016). (査読あり)
- [8] K. Matano, M. Kriener, K. Segawa, Y. Ando, G.-q. Zheng,
Spin-rotation symmetry breaking in the superconducting state of Cu_xBi₂Se₃.
Nature Physics 12, 852-854 (2016). (査読あり)

[学会発表](計 9 件)

- [1] G.-q. Zheng (招待講演)
Topological spin-triplet superconducting states revealed by NMR.
12th International Conference on Materials and Mechanism of High temperature
superconductors (M2S 2018), Beijing, China, Aug.19-24, 2018.
- [2] Shinji Kawasaki,
Charge-Density-Wave Order and Pseudogap in Single Layered Bi₂Sr_{2-x}LaxCuO_{6+δ}
Superconductor.
12th International Conference on Materials and Mechanism of High temperature
superconductors (M2S 2018), Beijing, China, Aug.19-24, 2018.
- [3] 河合哲大, 厚朴優樹, 神鳥吉史, 俣野和明, 神戸高志, 鄭国慶
Cu_xBi₂Se₃ 超伝導体の作製と物性測定.
日本物理学会第 73 回年次大会, 2018 年 3 月 25 日(25aB101-7), 東京理科大
- [4] G.-q. Zheng (招待講演),
Spin-rotation symmetry breaking and triplet superconducting state in Cu_xBi₂Se₃
March Meeting 2017, American Physical Society, March 13-17, 2017, New Orleans,
LA, USA.
- [5] S. Kawasaki, T. Mabuchi, S. Maeda, T. Adachi, T. Mizukami, K. Kudo, M. Nohara,
G.-q. Zheng,
⁷⁵As-NMR/NQR study of magnetism and superconductivity in Ca_{1-x}LaxFeAs₂.
International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES) 2017
チェコ共和国プラハ市 Aug 17-21, 2017.
- [6] 俣野和明 (招待講演)
NMRから見たトポロジカル物質
2017年度 日本物理学会秋季大会シンポジウム 2017年9月22日
- [7] G.-q. Zheng, (招待講演)
NMR evidence for spin-rotation symmetry breaking and triplet superconducting

state in a doped topological insulator, 11th International Conference on Spectroscopy of Novel Superconductors (SNS2016)", Stuttgart, Germany, June 19-24, 2016.

[8] Shinji Kawasaki (招待講演),

Doping dependence of the charge density wave order in single layered Bi₂Sr_{2-x}La_xCuO₆ superconductors revealed by high field NMR.

International Symposium on Frontier of Superconductivity Research (VI)-NMR and muSR on Unconventional Superconductors

October 26-29, 2016, Institute of Physics, Chinese Academy of Science, China.

[9] 俣野和明 (招待講演)

トポロジカル超伝導体のNMR

応用物理・物理系学会 中国四国支部 合同学術講演会 2016年7月31日

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

http://www.physics.okayama-u.ac.jp/zheng_homepage/index.html

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：川崎慎司

ローマ字氏名：Shinji Kawasaki

所属研究機関名：岡山大学

部局名：大学院自然科学研究科

職名：准教授

研究者番号(8桁)：80397645

研究分担者氏名：俣野和明

ローマ字氏名：Kazuaki Matano

所属研究機関名：岡山大学

部局名：大学院自然科学研究科

職名：助教

研究者番号（8桁）：70630945

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。