

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K20901

研究課題名（和文）有機無機ハイブリッド超伝導デバイスの創成とその応用

研究課題名（英文）Fabrication and application of organic-inorganic composite superconducting device

研究代表者

下澤 雅明（SHIMOZAWA, MASAOKI）

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：40736162

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：鉄系高温超伝導体FeSeを用いた超伝導デバイスを作製し、その超伝導ギャップ構造の観測に取り組んだ。しかしながら、作製したトンネル接合には、わずかにリーク電流が存在しており、理想通りの超伝導ギャップ構造を観測することはできなかった。その原因として、絶縁層の厚みに不均一性が存在している可能性、絶縁層のギャップサイズが足りていないことなどが考えられるが、現状明確な理由が分かっていない。今後も引き続き作製条件を詰めて、理想的な超伝導ギャップを観測できるように取り組んでいく予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、有機無機複合型トンネル接合を利用して、高温超伝導の発現機構の解明、および量子コンピュータなどに適用可能な量子ビット素子の開発に取り組もうという最初の試みである。実際の研究は、未完成な状態で終わってしまったが、超伝導ギャップ構造の兆候を観測することには成功しており、引き続き研究を続けて行くことで、有機無機複合型トンネル接合の実現が可能であると考えている。有機無機ハイブリッド超伝導デバイスの実現の証には、物性物理学・応用物理学の爆発的な発展をもたらすことが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this work, to directly observe the superconducting gap structure, we tried to fabricate the superconducting device consisting of FeSe. However, there is some leak current in the device, and thereby we could not obtain the ideal superconducting gap structure. This is probably because of the presence of thickness inhomogeneity of insulators, the lack of gap size of insulators, and so on. In the future, we will continue to perform the present work.

研究分野：低温物理

キーワード：有機無機ハイブリッドデバイス

1. 研究開始当初の背景

(1) 電子(磁気・軌道・電荷)自由度が残っている物質の温度を下げると、ある温度で秩序化(2次相転移)を起こすことがある。この相転移現象が有限温度で生じる場合には、熱ゆらぎが支配的に働くが、転移温度が抑制されて絶対零度になると、量子ゆらぎの重要性が際立ってくる。この量子ゆらぎが発達した領域では、鉄系高温超伝導体などが数多く発見されているため、多くの注目を集めており、基礎・応用を問わず多様な研究が行われてきた。

(2) これまでの研究の問題点として、以下のことが挙げられる。高温超伝導体の発現機構の研究では、クーパー対形成と密接に関係している超伝導ギャップ構造の決定が重要であるが、多くの場合、下部臨界磁場[1]などの物理量を通して、低エネルギー準粒子励起の度合いから超伝導ギャップ構造を類推しているだけに過ぎなかった。超伝導ギャップ構造を直接観測できる手法として、走査型トンネル顕微鏡や角度分解光電子分光法が有名であるが、これらの手法はいずれも強磁場-極低温-高圧下(多重極限環境下)で測定することはできず、また適用できる物質も限られている。高温超伝導体のデバイス化に関しては、トンネル接合の歩留まりを向上させる必要があるが、接合に用いる材料には、親水性か疎水性かによって相性の良し悪しが存在するため、トンネル接合に利用可能な超伝導材料は限られていた。

2. 研究の目的

本研究ではこのような問題点を解決するために、有機絶縁体が持つ親水性と疎水性の2面性を利用して、無機物質(高温超伝導体)と有機絶縁体を組み合わせた次世代型トンネル接合を創成すると共に、このトンネル接合を用いることで高温超伝導の発現機構の解明、および量子コンピュータなどに適用可能な量子ビット素子の開発に新たな展開を導くことを目的とした。

3. 研究の方法

トンネル接合とは、2つの物質の間に、極薄の絶縁層をトンネル障壁として挟んだ構造のことであり、構成する物質の電子の状態密度を直接反映する特徴を持つ。それ故、構成物質に超伝導体を用いれば、超伝導ギャップ構造を直接観察できるので、超伝導研究にトンネル接合を用いるのは非常に有効である。しかし、トンネル接合の作製には、(A) 試料の表面状態にかなり敏感なことと、(B) 極薄で均一な絶縁層を形成できることが求められているので、実際にトンネル接合を作製することは難しい。本研究課題では、このような問題を解決するために、高温超伝導体には鉄系高温超伝導体を、トンネル障壁には有機絶縁膜を利用する。

4. 研究成果

鉄系高温超伝導体 FeSe を用いた超伝導デバイスを作製し、その超伝導ギャップ構造の観測に取り組んだ。しかしながら、作製したトンネル接合には、わずかにリーク電流が存在し

ており、理想通りの超伝導ギャップ構造を観測することはできなかった。その原因として、絶縁層の厚みに不均一性が存在している可能性、絶縁層のギャップサイズが足りていないことなどが考えられるが、現状明確な理由が分かっていない。今後も引き続き作製条件を詰めて、理想的な超伝導ギャップを観測できるように取り組んでいく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Masatoshi Akazawa, Masaaki Shimozawa, Shunichiro Kittaka, Toshiro Sakakibara, Ryutarō Okuma, Zenji Hiroi, Hyun-Yong Lee, Naoki Kawashima, Jung Hoon Han, and Minoru Yamashita	4. 巻 10
2. 論文標題 Thermal Hall Effects of Spins and Phonons in Kagome Antiferromagnet Cd-Kapellasite	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. X	6. 最初と最後の頁 41059
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevX.10.041059	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Yamashita, M. Tashiro, K. Saiki, S. Yamada, M. Akazawa, M. Shimozawa, T. Taniguchi, H. Takeda, M. Takigawa, and H. Shishido	4. 巻 102
2. 論文標題 Ultralow temperature NMR of CeCoIn ₅	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 165154
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.102.165154	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shinya Uji, Taichi Terashima, Shiori Sugiura, Satoshi Iguchi, Takahiko Sasaki, Kenichiro Hashimoto, Masaaki Shimozawa, Naoki Yoneyama, and Reizo Kato	4. 巻 90
2. 論文標題 Magnetic Torque due to Anisotropic Diamagnetism in Neutral BEDT-TTF Crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JPSJ	6. 最初と最後の頁 113708
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.90.113708	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮本大輝, 室谷拓海, 多田勝哉, 下澤雅明, 細井優, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大, 小山大介, 河端美樹, 河合淳
2. 発表標題 走査型磁気顕微鏡を用いたUNi ₄ Bのトロイダルドメイン構造の観察
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田勝哉, 室谷拓海, 宮本大輝, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 強トロイダル秩序候補金属Uni4Bにおける電流誘起Hall効果に対する磁場応答
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 室谷拓海, 多田勝哉, 宮本大輝, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 強トロイダル秩序候補金属Uni4Bにおける電流誘起Hall効果の周波数特性
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 足立涼, 佐賀範彰, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 町田洋, 広瀬雄介, 土塔寛, 河野琢馬, 摂待力生
2. 発表標題 電気輸送係数からみる非クラマース系PrTr2Cd20(Tr=Pt, Rh)の温度磁場相図
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中川翔太, 今西優人, 細井優, 多田勝哉, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 輸送測定による重い電子系超伝導体UTe2の電子状態の研究
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今西優人, 中川翔太, 細井優, 多田勝哉, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 熱伝導率の磁場角度依存性から探る新奇ウラン系超伝導体UTe ₂ の超伝導ギャップ構造の研究
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田勝哉, 室谷拓海, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 強トロイダル秩序候補物質UNi ₄ Bにおける電気磁気効果由来のゼロ磁場Hall効果
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田勝哉, 室谷拓海, 宮本大輝, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多忠憲, 青木大
2. 発表標題 強トロイダル金属UNi ₄ Bにおける電流誘起Hall効果
3. 学会等名 電流駆動現象が拓く新しい物質科学
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下澤雅明, 多田勝哉, 室谷拓海, 宮本大輝, 細井優, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多忠憲, 青木大
2. 発表標題 強トロイダル金属UNi ₄ Bの異常電気輸送特性
3. 学会等名 電流駆動現象が拓く新しい物質科学
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野村尚矢, 小林寅弘, 足立涼, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 広瀬雄介, 土塔寛, 河野琢馬, 摂待力生
2. 発表標題 非クラマース系 PrRh ₂ Cd ₂₀ における電気輸送特性と温度磁場相図の異方性
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田勝哉, 室谷拓海, 宮本大輝, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 仲村愛, 本間佳哉, 本多史憲, 青木大
2. 発表標題 強トロイダル金属UNi ₄ B における非相反伝導
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 橘風夢, 細井優, 下澤雅明, 木下雄斗, 徳永将史, 伏屋雄紀, 井澤公一
2. 発表標題 半金属ピスマスにおける電気抵抗率の歪み応答
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細井優, 橘風夢, 下澤雅明, 木下雄斗, 徳永将史, 伏屋雄紀, 井澤公一
2. 発表標題 半金属ピスマスにおける弾性抵抗率の磁場応答
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本碧, 今西優人, 小林祐也, 細井優, 下澤雅明, 仲村愛, 青木大, 井澤公一
2. 発表標題 多重相超伝導物質CeRh ₂ As ₂ におけるゼーベック係数の特異な磁場依存性
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関