

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18690

研究課題名（和文）クラス最高感度を有する強磁場走査型熱顕微鏡の開発

研究課題名（英文）Development of highly sensitive thermal microscopy under high field

研究代表者

下澤 雅明（Shimozawa, Masaaki）

大阪大学・大学院基礎工学研究科・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）：強磁場超伝導マグネットにも利用されているNbTi線を使用して、高精度な小型温度計を作製した。この温度計は、臨界電流の変化を利用して温度を測定し、ゼロ磁場では10-5 K以下の高精度で測定が可能である。温度計の走査には従来の piezo システムを使用した。温度計の耐久性が低く、走査中に試料と何度も接触することで温度校正値が変わってしまう問題が発生した。将来的には、温度計の強度を改善するか、温度計を固定して熱源を動かすなどの対策を検討していく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、高磁場でも動作可能な超高感度の走査型熱顕微鏡を開発するという初の試みである。当初の計画通り、小型温度センサーはNbTiを含む超伝導接合によって成功した。しかし、センサーの機械的強度が不足しており、走査中に試料と接触すると状態が変化し、再現性に問題が生じた。さらなる改善が必要であるが、今後の研究指針を示す重要な成果を得ることができたと考えている。本研究で用いたセンサー作製には、微細加工装置などの大型装置を利用する必要がなく、手作りで作製できるという特徴がある。これは、高額化する現代のモノづくりに一石を投じる意義もあると考えている。

研究成果の概要（英文）：In this work, we fabricated a high-precision small thermometer using NbTi wire, which is utilized under high-field superconducting magnets. This thermometer measures temperature by evaluating the changes in the critical current and can achieve a precision of below 10-5 K in zero magnetic field. We used a conventional piezo system to scan the sample surface with the thermometer. Unfortunately, the thermometer's durability was low, and during the scan, repeated contact with the sample caused the change in the temperature calibration values. In the future, we will consider improving the thermometer's strength or fixing the thermometer and moving the heat source as potential solutions.

研究分野：低温物理

キーワード：走査型熱顕微鏡 局所熱測定

1. 研究開始当初の背景

従来、熱伝導率/熱ホール測定は、バルク試料の温度差を抵抗温度計で評価するのが通例であった。しかし、以下のような制約があった。このような測定はいずれも、マクロなスケールで行われるため、試料の不均一性による影響が平均化され、測定結果が正確でなくなる可能性がある。抵抗温度計の温度分解能は約 1 mK しかなく、測定誤差が生じる可能性がある。温度計の抵抗値を読むために使用される測定ラインが燐青銅線やマンガニン線であることや、温度計を吊っておくための支柱がカプトンチューブなどであることから、その箇所から熱が逃げてしまい、正確な熱(ホール)伝導度を導かれない可能性がある。

試料の形状など、様々な要因が測定に影響を与える可能性がある。これらの課題を解決するためには、高精度な局所熱測定システムを開発が不可欠であると考えられた。

2. 研究の目的

本研究では、温度感度の優れた超伝導小型温度センサーの作製を試み、それを走査システムと組み合わせることで、超高感度の走査型熱顕微鏡を開発することを目指す。

3. 研究の方法

従来の小型温度センサーは、一般的に熱電対が使用され、その温度感度が約 10 mK しかなかった。一方、本研究で注目する小型温度センサーは、NbTi を含む超伝導接合を利用するため、その温度感度は約 100 nK になることが期待される。また、温度計の測定ラインにも NbTi 線を利用することができるため、配線からの熱損失をほぼ排除できる。超伝導接合を使用した小型温度計は、ワイツマン科学研究所の Zeldov グループによって開発されているものの、彼らは Pb や Al の超伝導接合を利用しているため、 ~ 0.2 T よりも高磁場での測定は不可能である。一方、本研究の温度センサーは NbTi を使用しているため、理論上は ~ 8 T の高磁場でも利用可能である。本研究では、この NbTi 超伝導接合を小型温度計として利用し、従来の走査システムと組み合わせて、超高感度の走査型熱顕微鏡を開発に取り組む。

4. 研究成果

最初に、高磁場中で動作する超高感度の小型温度計の作製に取り組んだ。作製した NbTi を含む超伝導接合では、温度変化に伴い臨界電流の大きさも一意に変化することが確認された。臨界電流の読み取り値から温度精度を評価すると、ゼロ磁場では 10^{-5} K 以下であることが分かった。当初の予想よりも温度の精度が低かったものの、グランド周りの取り回しを改善すれば、ノイズが減少し精度も向上すると考えられる。

次に、開発した小型温度計を走査システムに組み込み、走査型熱顕微鏡の開発を行った。温度計を固定した状態では問題なく動作したが、走査プローブなどの稼働部に取り付けて動作確認を行ったところ、振動や試料表面との接触により、温度計を形成する接号部分の状態が変化し、臨界電流も大きく変動してしまうことが分かった。このことから、小型温度計を試料表面に接触しながら移動させて温度を測定することは困難であることが明らかになった。改善策の1つとして、小型温度計を固定し、代わりにヒーター部を移動させて逆問題を解くことで、試料内の局所熱伝導率/熱ホールを測定できる可能性がある。また、接合部分を何らかの接着剤で固化して、機械的強度を向上させる方法も検討すべきであり、今後の

研究課題と言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 細井優、橘風夢、阪口真衣、石田健太郎、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 Valley-dependent charge transport under strain in bismuth
3. 学会等名 International Conference on Quantum Liquid Crystals 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石田健太郎、細井優、下澤雅明、井澤公一、宍戸寛明、大貫惇睦
2. 発表標題 重い電子系超伝導物質CeCoIn5における一軸圧力下電気抵抗率測定
3. 学会等名 日本物理学会 2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小路山竜平、宮本大輝、市野祐喜、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 磁場中における反強磁性体UNi4Bの非相反電気伝導
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高尾祥平、小林寅弘、野村尚矢、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PrRh2Cd20の電子状態に対する圧力効果
3. 学会等名 日本物理学会 第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 細井優, 橘風夢, 阪口真衣, 石田健太郎, 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 ビスマスにおけるバレー操作と歪み下電気伝導
3. 学会等名 日本物理学会 春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 市野祐喜, 宮本大輝, 小路山竜平, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 八城愛美, 速水賢, 大貫惇睦, 青木大
2. 発表標題 フェリ/反強磁気トイダル候補金属HoAgGeの磁場における非線形横伝導率測定
3. 学会等名 日本物理学会 春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 下澤雅明
2. 発表標題 磁気トイダルモーメント由来の非線形伝導
3. 学会等名 日本物理学会 春季大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮本大輝, 高尾祥平, 多田勝哉, 小路山竜平, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 八城愛美, 速水賢, 大貫惇睦, 青木大
2. 発表標題 新規トイダル金属HoAgGeの非線形横伝導率測定
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橘風夢, 細井優, 下澤雅明, 井澤公一, 木下雄斗, 徳永将史, 伏屋雄紀
2. 発表標題 弾性抵抗の対称性から探る半金属ビスマスにおける歪み応答とその起源
3. 学会等名 ウラン化合物を中心とする特異な物性の最前線 神戸大学
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 CeRh ₂ As ₂ の磁場に鈍感な非フェルミ液体的挙動
3. 学会等名 ウラン化合物を中心とする特異な物性の最前線 神戸大学
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