

平成 30 年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」 調査研究報告書(公開版)

【研究題目】 量子分割素子の性能の調査研究

【整理番号】 TK18-050

【代表機関】

国立研究開発法人 産業技術総合研究所

【調査研究代表者(氏名)】

田中康資、029-861-5720, y.tanaka@aist.go.jp

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】

国立研究開発法人 物質・材料研究機構：有沢俊一

【TIA 外連携機関】 なし

【報告書作成者】 田中康資 【報告書作成年月日】 2019 年 2 月 15 日

【連携推進(具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等)】

2017 年度に成功した分数磁束量子渦の実験的生成を受け、その成果の普及を積極的に推進した。トポロジカル材料科学の権威である京大教授や、理研理事への直接説明(2018 年度での採択決定前)といった一対一でのアカデミックブリーフィングと、共同研究者と一体となった学会での発信を有機的かつ組織的に行った。

8 月に北京で開催された国際会議(超伝導の物理学と材料科学に関する最大級の国際会議 Materials & Mechanisms of Superconductivity)では、共同研究者(東理大 西尾氏)が渦系のセッションで招待講演枠より少ない口頭発表枠(12 枠の口頭発表のうち一般講演枠は 5 件のみ)に選ばれ、講演は大好評を博した。現地で、渦系研究の権威と密度の濃い意見交換も行ってきた。有沢は、ヨーロッパにおける最大級の材料科学の国際会議(2018 Fall Meeting; European Materials Research Society)での招待講演の中で本研究を紹介した。「量子科学における分数量子の重要性」を説明したくんだりでは、会場が大いに沸いた。昨年のメンバーで、引き続き共同研究を行っている柳澤氏(産総研)は、理論的な立場から、物理学会のシンポジウムや渦系の国内会議で本研究の紹介を精力的に展開した。

これらの活動の結果、4 件の講演依頼があった。このうち 1 件はスケジュール調整ができ、年明けの講演(駒場物性セミナー・講演者は東理大の西尾氏)は極めて高く評価された。

論文発表への反響も大きい。第一報となる論文は、発表後 1 年を待たず 2000 ダウンロードを越え、第三報も 9 か月で 1400 ダウンロードを越えた。第一報・第三報連続で掲載誌における 90 日間トップダウンロードとなり(およそ 1 か月おきに更新されるランキングでは、第一報は 3 期 1 位を獲得、第三報は、4 期 1 位を獲得。)、第一報は掲載誌で 2018 年の年間トップダウンロードとなった(田中調べ)。2 月 21 日現在、第 1 報が 1 位、第三報が 2 位と上位独占が続いている。

公開の場での情報発信とともに、所内 TIA-CRAVITY のメガグループ会議での研究紹介で、TIA 関係者の超伝導エレクトロクス研究者との議論も深めた。非公開の研究討論会も定期的に関き、今後の研究展開や成果普及と戦略に関して、綿密に話し合いを重ね、作戦を練った。

最後になりましたが、TIA のパンフレットでも、本研究の成果を紹介していただき、大変感謝しています。パンフレットでの紹介をきっかけに、必ずしや今後の新たな連携が生まれることを確信しています。

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

秩序相に「欠陥」を導入すると「素電荷」、「磁束量子」さらに一般的に「1個のフェルミオン」といった量子が生成されることがある。「欠陥」をさらに「分割」することで、「量子」を分割できる場合がある。その機構は、「シュリファーの目の子勘定」と呼ばれる考え方で直感的に理解できる。分割された量子が持つ「幾何学的に非自明な性質」を、量子コンピューターなどで利用しようとする研究も、世界的に展開されている。分数量子ホール状態において見出された「分数電荷を持つエニオン」や、キタエフ模型のマヨラナ粒子がその典型例である。

我々が2017年度に実験的に生成した分数渦も「分数磁束量子」を持つ。2枚の重なった超伝導薄膜（ニオブで作ったもの）では、通常「渦」は二枚の薄膜に同時に生成され重なっている。この重なっている渦が「磁束量子」を持っている。この重なっている渦を無理やり引き離すと、磁束量子も分割され「分数磁束量子」が創成される。そして、引き離すときに、引き離された渦の間に「別の欠陥」が生じる。通常はこの欠陥を「修復」する力が働き、引き離された渦は再び一つになろうとする。この一つとなろうとする傾向は、「閉じ込め」と呼ばれる。「閉じ込め」は、分数電荷をもつクォークが、中性子や陽子の中に閉じ込められるのと類似の機構である。

このような知見に基づき2017年度に設計・作製した「量子分割素子」の性能は極めて優秀であった。しかし、性能が高すぎ、「分割のための電流」を流さなくても分割が起きるという問題が生じた。その原因も不明であった。

2018年は、その原因追及のため理論的研究と実験的研究を進めた。

超伝導では、磁束は試料の外に追い出されるか、渦糸の部分に集められるかどちらかであるとされている（マイスナー効果）。これは量子位相の連続性から要請されるもので、超伝導の絶対要件である。ところが、実デバイスにおいては、上の層だけに、穴をあけたり、周囲をトリミングしたりできる。このような加工をすると、1枚だけになった部分と、2枚ある部分の境界では、上の層を流れていた電流は、下の層を経由して、別の場所で再び上の層に戻ることができる。電流経路において、上の層の位相の連続性は要求されない。上の層で量子位相の連続性が断たれるため、マイスナー効果が弱まる。マイスナー効果が弱まったため、磁束が試料内に広く薄く入り込む（異常マイスナー状態またはダークマイスナー状態）。理論予測では、低磁束密度のダークマイスナー状態が前駆体となり、この磁束が集められて分数磁束量子が生成される。

このダークマイスナー状態による低磁束密度分布を、超伝導内部に捕捉することに実験的に成功した。

【今後の活動予定】

理論をより忠実に再現したデバイス（図1）を考案し、そのデバイス特性を評価しようと考えている。その実験研究のため、大型の科研費を申請している。また、この技術を超伝導低温エレクトロニクス用のメモリーに応用できるか検討を進める。

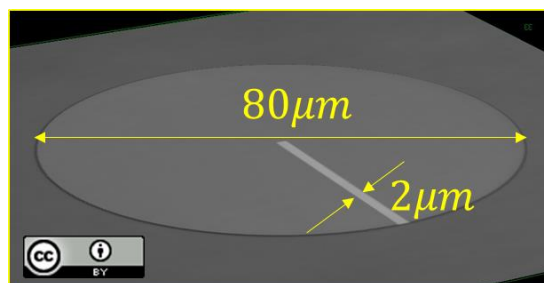
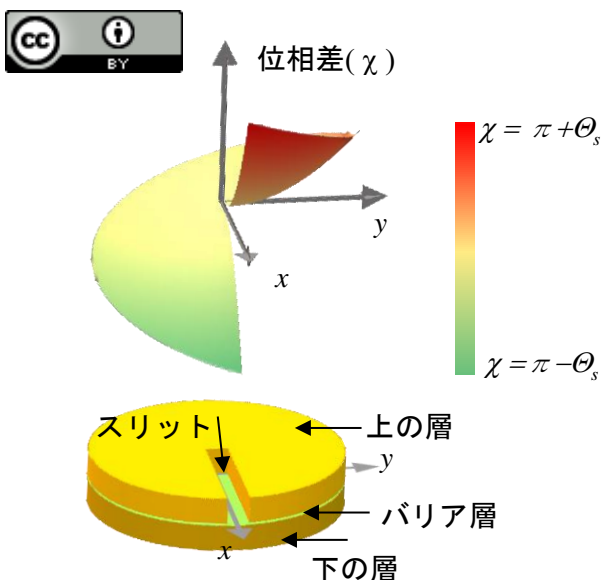


図1 （左）計画中のダークマイスナーチップの概念図。二層のうち上の層のみスリットを入れると（左下図）、左上図に示すような位相差が層間に生じ、マイスナー効果を弱める。 θ_s は、 π ラディアン以下である。（上）開発中のチップ。厚みは20nm。現在最適な厚みを探している。