

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：24403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26800192

研究課題名(和文)アモルファスMoGe薄膜のEB描画加熱で計画導入できるナノサイズピンと磁束配置

研究課題名(英文)Nanosized pin of amorphous MoGe film introduced by EB lithography and vortex configuration

研究代表者

ホタン ヒュイ(Ho, Than Huy)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・研究員

研究者番号：40714382

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：ピン止め効果の弱いMoGe微小板を作製して、イオンミリング装置で微小な円状のディップを作ることでピン止め導入に成功した。パックマン型超伝導微小板への磁束充填規則の解明では、新奇なアーク型磁束構造が現れることを明らかにし、円盤への充填規則(シェルモデル)と比較した。また、実験的にもSQUID顕微鏡を使った磁束構造の解明を行い、アーク型充填モデルに関して実験と理論を比較して、良い一致を得た。また、申請書で提案した電子ビームの集中的照射でピン止め中心を作る手法よりも、また、本研究で開発したSQUID素子を用いて、SQUID顕微鏡を構成して、鮮明な磁束像の観測にも成功した。

研究成果の概要(英文)：In this work, we aim at introducing a pinning center into a small MoGe film. Regarding the Pacman-shaped plate, we conducted systematic studies on the vortex configuration both by experimental and theoretical methods. We discovered a novel arc-shaped configuration, and compared it with the shell model of the perfect disk. Regarding the method how to introduce the pinning center, we succeeded in fabricating a pin by ion milling method by Ar ions. The SQUID microscope observations of the vortex configurations on the Pacman plate, we compared our results with the Ginzburg-Landau calculations. We found good agreement between the two results. We also developed a SQUID sensor for the SQUID microscope, and succeeded in observing the vortex images on the MoGe films.

研究分野：物性物理学

キーワード：SQUID顕微鏡 量子磁束 超伝導微小板 Ginzburg-Landau 理論 EBリソグラフィ

1. 研究開始当初の背景

申請者が大阪府立大学博士課程で集中して研究をした成果に基づいている。博士(工学)の学位を取得後、母国の国立大学講師として2013年4月着任するとともに、大阪府立大学の客員研究員として2013年5月就任し、現在まで招聘研究員として滞在し研究を実施している。博士課程を過ごした大阪府立大学には、最先端のナノテク研究機器が大変充実して整備されており、母国には未だ十分な研究インフラストラクチャーが整備されていない状況を鑑みると、数年間は、2つの大学を往復して、超伝導に関して新しい方向性を探り、いずれベトナムに超伝導研究拠点を設立するのが戦略と考えていた。双方の大学のシニア教授から、私の研究方針や将来研究計画に対するサポートもあった。

(1) 大学院博士課程では、メゾサイズ超伝導体のうち、円形、三角形、四角形の研究に次いで、正五角形の形状に興味を持ち、世界で初めての研究を展開した。その結果、五角形の磁束分布に関して、理論と実験の良い一致を見出し、まとまりの良い研究を残すことができた。しかし、その研究の過程で、更なる発展の可能性を考察することができたが、博士課程に在学中には実現することができなかったテーマに取り組んだのが本テーマである。

(2) 歴史的には、ピン止め中心は、結晶欠陥や不純物により超伝導秩序パラメータが弱められると、そこに磁束量子が好んで留まることに依ると説明されてきた。アモルファスは、むしろ長距離秩序のない状態であるから、むしろピン止めが強まりそうに思える。しかし、短距離秩序の長さスケールが超伝導コヒーレンス長と比べても磁束侵入者と比べてはるかに短いので秩序パラメータ(クーパー対)から見ると、系は極めて一樣で、どの場所に留まっても、自由エネルギーの差は極めて小さいのだと説明できる。加えて、極めて純良な単結晶と比べると、電子の平均自由行程や緩和時間が短いことから、結晶の異方性に起因する自由エネルギーの異方性、あるいは、フェルミ面やフェルミオロジーの異方性がスミアされ、異方的ピン止めもマスクされると想定される。

(3) MoGeの正五角形の中心にピン止め中心を入れたサンプルの研究を行った。その過程で、薄膜のX線回析評価から、MoGe膜のピン止めの強さは、微細なMo結晶の析出にあることを明らかにした。この研究の価値は、MoGe薄膜で、どうすれば磁束ピン止めを弱める定量的な手段を与えたことにある。また、Mo金属微粒子は、超伝導体であるが、 $T_c=0.92\text{K}$ と低く、4Kではピン止め中心として機能する。パルスレーザーによる照射と電子ビームによる照射を提案した。本研究では、電子ビーム描画装置を使い電子ビームによる局所加熱でピン止め中心を導入する方法を使い、照射量を最適化する条件を出し、

その実効性を明らかにすることを目指した。本研究は、申請者自身による独創的な研究成果〔Ho Thanh Huy, et al., Supercond. Sci. Technol. 2013 26 065001(11pp)〕を活かし、本研究は立案されている。

2. 研究の目的

ナノ構造超伝導体の研究で、非常にピン止め効果の弱いMoGe試料を作製して、電子ビーム描画装置の超高精度で電子ビームでメゾサイズの局所領域を加熱して、メゾサイズの金属Mo微粒子を析出させ、ピン止め中心として機能させることを目指した。Mo80Ge20アモルファス膜の研究を、(1)ピン止め効果の極めて弱いMo80Ge20膜の開発、(2)Mo80Ge20膜質と上部臨界磁場 H_{c2} との関係、(3)Mo80Ge20膜に電子ビーム加熱で金属Moメゾ結晶を析出させて人工的に規則正しくピン止め中心を導入、(4)Mo80Ge20膜の磁束量子配置をSQUID顕微鏡で実測、(5)Ginzburg-Landau理論を用いてMo80Ge20膜の磁束配置の理論計算を実施して実験と比較、(6)正五角形を使い理論と実験の両方からMo80Ge20膜における磁束量子の準結晶を探索することを目的とした。

3. 研究の方法

DCスパッタリング装置(日本シード研究所製)による磁束量子ピン止めの弱いMo80Ge20膜の成膜を行った。微細加工は電子ビーム描画装置(エリオニクス製)を用いた。特に基板の冷却機構を充実させるためにチラーの冷却水を循環させる冷却機構の整備を行った。また、基板を銀ペーストにより均熱板に密着させる手法も併用し、X線回析装置(リガク製)で詳細に解析した。MoGe膜にピン止め中心を導入する手法としては、電子ビームで局所的に加熱して金属Mo微粒子を析出させる手法とイオンミリング装置をつかいピン止め中心を作る手法を試した。

4. 研究成果

本研究課題の成果について、研究の主な成果、得られた成果の国内外における位置づけとインパクト、今後の展望などの点から記入すること。なお、学術研究においては当初予期していないことが起こることがあるため、そういった事象が起きたことにより得られた新たな知見なども記入すること。

各年度の「研究実績の概要」を記載。

DCスパッタリング装置による磁束量子ピン止めの弱いMo80Ge20膜の成膜を行った。微細加工は電子ビーム描画装置を用いて行った。基板の冷却機構の整備と基板に銀ペーストにより均熱板に密着させる手法を確立した。MoGe膜にピン止め中心を導入する手法としては、電子ビームで局所的に加熱して金属Mo微粒子を析出させる手法とイオンミリン

グ装置をつかいピン止め中心を作る方法を比較して、イオンミリングによる微細孔の作製が有効であることを磁束像から調べ明らかにした。走査型 SQUID 顕微鏡の磁束像を明瞭にする装置処理手法を開発して。また、Ginzburg-Landau 理論による計算プログラムの開発した。

Mo80Ge20 アモルファス膜の微小板として、星形とセクタ状の欠損をもつ円盤 (Pacman 型) を作製し、磁束量子分布を系統的に実測し、磁束量子の充填則を明らかにした。また、Ginzburg-Landau 理論による理論計算と比較して良い一致を得た。その結果、形状の空間的非対称を導入することで、円上の微小板、正三角形、正四角形と比較して、磁束分布の特異性を高めることに成功した。

イオンミリング装置でわずかな微小な円上のディップを作るの方がピン止め導入して、パックマン微小板にピンニング中心を導入して磁束構造の研究を理論と実験で系統的に調べた。また、本研究で開発した SQUID 素子を用いて、SQUID 顕微鏡を構成して、鮮明な磁束像の観測にも成功した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 14 件)

T. D. Vu, H. Matsumoto, H. Miyoshi, H. T. Huy, H. Shishido, M. Kato, T. Ishida, Vortex distribution in small star-shaped Mo80Ge20 plate, Physica C, 査読有、533、2017、44-48
DOI: 10.1016/j.physc.2016.07.020

H. Matsumoto, H. T. Huy, H. Hayashi, T. Okamoto, V. T. Dang, M. Kato, T. Ishida, Vortex distribution in amorphous Mo80Ge20 plate with artificial pinning center, Physica C, 査読有、530、2016、46-50
DOI: 10.1016/j.physc.2016.06.015

V. T. Dang, H. T. Huy, S. Miyajima, H. Matsumoto, H. Miyoshi, T. Okamoto, T. Ishida, M. Maezawa, M. Hidaka, Scanning SQUID Microscope for Sensing Vector Magnetic Field, IEEE Xplore Superconductive Electronics Conference (ISEC), 2015、査読有、SQ、2015、P30 1-3
DOI: 10.1109/ISEC.2015.7383478

[学会発表](計 35 件)

V. T. Dang, H. T. Huy, S. Miyajima, H. Shishido, M. Maezawa, M. Hidaka, M. Hayashi, T. Ishida, Vector Scanning SQUID system for High Spatial

Resolution, The 29th International Symposium on Superconductivity (ISS2016)、2016

H. Miyoshi, A. Ito, V. T. Dang, H. T. Huy, M. Hayashi, M. Kato, T. Ishida, Simulations of vortices in a star-shaped plate with an artificial pin, The 29th International Symposium on Superconductivity (ISS2016)、2016

H. T. Huy, V. T. Dang, H. Matsumoto, H. Miyoshi, A. Ito, H. Shishido, M. Kato, T. Ishida, How does a small Pacman eat vortices?, 第 23 回渦糸物理国内会議「超伝導体における渦糸状態の物理と応用」(2015)よ、2015

H. T. Huy, H. Matsumoto, A. Ito, V. T. Dang, H. Miyoshi, S. Miyajima, H. Shishido, M. Kato, T. Ishida, Observations of vortices in circular Mo80Ge20 plates with sector defect, 2015

S. Miyajima, T. Okamoto, H. Matsumoto, Ho T. Huy, M. Hayashi, M. Maezawa, M. Hidaka and T. Ishida, Vector Pick-up System Customized for Scanning SQUID Microscopy, Applied Superconductivity Conference (ASC2014)、2014

[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:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

ホ タン ヒュイ (HO Thanh Huy)
大阪府立大学・工学研究科・客員研究員
研究者番号：40714382

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

石田 武和 (ISHIDA, Takekazu)

加藤 勝 (KATO, Masaru)

日高 睦夫 (HIDAKA, Mutsuo)

前澤 正明 (MAEZAWA, Masaaki)

林 正彦 (HAYASHI, Masahiko)