

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560389

研究課題名(和文) 走査SQUID顕微鏡を用いた粒界の電流分布と磁束のその場同時観察

研究課題名(英文) Observation of quantized magnetic flux and current at a time by scanning SQUID microscopy

研究代表者

有沢 俊一 (ARISAWA, Shunichi)

独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導物性ユニット・主幹研究員

研究者番号：00354340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：走査SQUID顕微鏡により個々の磁束量子の挙動を実空間で直接観察し、これまで薄膜中を流れる電流と磁束量子を同時に観測する手法を提案してきた。これを利用し磁束が特定方向に動きやすい構造の接合付近での直接観察を目的とした。人工粒界のある超伝導薄膜に加工し、磁束量子の観察を行った。粒界接合への量子化磁束の侵入過程の直接観察に成功し、アンチドット付近の磁場分布を計算し非円形でも電流評価を行った。材料となる薄膜の高品質化も実施し、新たな成長様式の非c軸配向Bi系超伝導体の作製・評価法を開発した。この膜でジョセフソン磁束のテクスチャが薄膜で観察され、本研究に有効な材料であることが見出された。

研究成果の概要(英文)：Scanning superconducting quantum interference device (SQUID) microscopy (SSM) enables us to visualize one by one each quantized flux (fluxon) and we proposed a method to observe current flow and fluxon simultaneously by SSM. The objective of this study is to observe fluxons directly around the grain boundaries with structure in which fluxons can be driven in a specific direction. Fluxons were observed in superconducting thin films with an artificial grain boundary. Immersions of the quantized flux into the grain boundary were successfully observed. Calculations were also carried out to determine current flows around non-circular antidots. Further, improvement of the quality of superconducting thin films was carried out. We have succeeded in fabricating and characterizing non-c axis oriented thin films with a new growth mode. Textures of Josephson vortices were observed in the film and the material was found to be suitable for this study.

研究分野：超伝導工学

キーワード：走査SQUID顕微鏡 超伝導

1. 研究開始当初の背景

当時、磁束量子エレクトロニクスという新たな分野が切り開かれつつあった。これは、超伝導体に特徴的に見いだされる、量子化された磁束を用いることにより、電子デバイスの新たな動作原理としようとするものである。その中に磁束量子の移動する方向を制御する物質・構造の特定の磁場および温度領域において、特定の方向への磁束量子の移動方向が容易で、逆方向には移動しにくい、という磁束量子の整流作用を示すものがあり、磁束量子エレクトロニクスの要素技術となる可能性がある。しかしながら、その解明は不十分で、実空間において個々の挙動を調べることが不可欠であった。

2. 研究の目的

(1) 走査 SQUID (超伝導量子干渉素子) 顕微鏡(SSM)により、超伝導薄膜中での個々の磁束の挙動を実空間で直接観察し、これまで薄膜中を流れる電流と磁束量子を同時に観測する手法を提案してきた。本研究はこれを利用し、磁束が特定方向に動きやすい構造の接合付近における磁束を直接観察することによりその挙動を可視化する。

(2) また、この研究における材料として用いる超伝導薄膜の開発を行う。膜質の品質向上を図るとともに、より磁束の観測しやすい薄膜の作製、特に扁平したジョセフソン磁束の挙動観察に適した薄膜の作製を行う。このため従来とは異なる成長様式を持つ薄膜の作製法および評価法を開発する。

3. 研究の方法

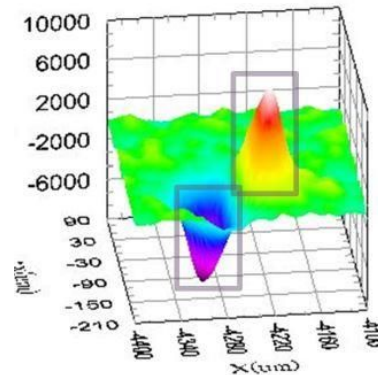
(1) 走査プローブ顕微鏡の一種として、極めて高感度の磁気センサーである SQUID をプローブとして用いた走査 SQUID 顕微鏡を主な測定手段として用いた。超伝導薄膜に一定の加工を施すなどして、粒界接合や固有ジョセフソン接合における磁束に電流を印加するなどし、その相互作用による挙動を観察した。

(2) 試料の材料としては、異なる方位の基板を接合した接合基板上に蒸着により成膜を用いた 123 系超伝導薄膜および MOCVD 法により作製した Bi 系超伝導体の他、MOD 法による薄膜作製を行った。これらの超伝導薄膜の品質向上と成長様式の制御を試みた。

4. 研究成果

(1) 薄膜中における電流の評価を、走査 SQUID 顕微鏡を用いて磁束と同時に観測する手法を確立することができた。磁束は電流によりローレンツ力を受けて移動するが、磁束を直接観察する手段であるが、薄膜中にアンチドットを人工的に形成、もしくは存在する欠陥を利用することにより、狭い範囲のスキャンのみでピンポイントでの膜面内の電流を評価することが可能となる。

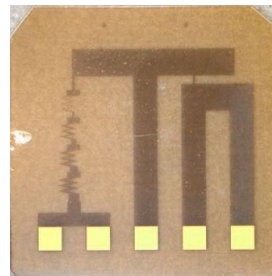
下図は SSM によるアンチドット近傍での磁場分布測定例であり、これから見積もることが可能である。



(2) 接合した単結晶基板上に蒸着した 123 系超伝導薄膜の粒界付近での侵入過程の直接観察を行った。外部磁場を印加することにより遮蔽電流と磁束の相互作用による粒界へ入り込む様子の直接観察に成功した。

(3) 粒界の存在する薄膜に加工を施し、電流分布と磁束量子測定の実験を行った。これらの試料に対して SSM 測定を行い、磁束と電流の相互作用の直接観察と可視化を実施した。

(4) 試料に使用する材料および加工する構造の検討を行った。研究目的達成のため、走査 SQUID 顕微鏡での測定に適した材料の選定、新たな材料の開発、微細加工形状の検討を行った。下図は加工の一例である。



(5) 超伝導薄膜中に存在するアンチドット近傍での磁場分布から電流密度を評価するのは、当初円形で行っていた。より汎用的に評価するため、非円形のアンチドット周辺での磁場分布を計算することにより、円以外の形でも電流評価が可能となるような手法の考察を行った。

(6) 材料となる薄膜の高品質化も実施し、新たな成長様式の非 c 軸配向 Bi 系超伝導体の作製・評価法を開発した。研究開始当初は、試料としていくつかの材料を検討しながらも c 軸配向の酸化物超伝導体薄膜の粒界接合を主に想定していた。しかし、研究の過程においてこれまでとは異なる成長様式の非 c 軸配向の Bi 系超伝導体の作製方法とその評価手法の開発が分担者の遠藤を中心に進められた。

(7)この膜でジョセフソン磁束のテクスチャが薄膜で観察された。期間内に十分な検証にまでは至らなかったが、移動しやすい磁束を表出する薄膜となる可能性が高く、本研究に有効な材料であることが見出された。

(8)平成 24-25 年にかけて世界的なヘリウム供給減が発生し、SSM による実験が困難となったため、この間ヘリウム消費を抑制のための装置改良に努めた。26 年度以降はやや改善したものの価格は高騰し、実験回数には制約があった。

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 7 件)

「ビスマス系銅酸化物超伝導薄膜の配向制御」金子 俊幸、有沢俊一、山崎 裕文、露本伊佐男、Petre Badica、遠藤 和弘。電気学会研究会資料 Vol. PHS-14-031, p.p. 19-24, 2014/12/19 発行。査読無。

“Utilization of Scanning SQUID Microscopy for Characterization of Superconducting Thin Films”
Shunichi Arisawa, Kyungsung Yun, Ienari Iguchi, Takeshi Hatano, Kazuhiro Endo, Tamio Endo, Proceedings of the 21st International Conference on Composites/Nano Engineering; pp. 51-52. 2013. 査読有。

走査 SQUID 顕微鏡による酸化物超伝導薄膜中の磁束・電流・欠陥の同時評価
有沢俊一、尹炅成、井口家成、羽多野毅、遠藤和弘、内山哲治、毛塚博史
電気学会誌 E. **133** (2013) 312-313. 査読有

“Thin Film Composite Heterostructures of Oxide Multicomponent Perovskites for Electronics”
Kazuhiro Endo, Petre Badica, Shunichi Arisawa, Hiroshi Kezuka, Hidehito Nanto, Noriaki Ikenaga, Masahiro Seto, Hiroshi Saito, Tamio Endo (2012). MRS Proceedings, 1454, pp 175-181. 査読有。

“Thin Film Composite Heterostructures of Oxide Multicomponent Perovskites for Electronics”, Kazuhiro Endo, Petre Badica, Shunichi Arisawa, Hiroshi Kezuka, Hidehito Nanto, Noriaki Ikenaga, Masahiro Seto, Hiroshi Saito, Tamio Endo (2012). MRS Proceedings, 1454, pp 175-181. 査読有。

“Growth Aspects of Thin-Film Composite

Heterostructures of Oxide Multicomponent Perovskites for Electronics”
Kazuhiro Endo, Petre Badica, Shunichi Arisawa, Hiroshi Kezuka, and Tamio Endo. Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 11PG09-1. 査読有。

“Direct Observation of Local Shielding Currents in Superconducting Thin Films under Low Magnetic Field by Scanning Superconducting Quantum Interference Device Microscopy”
Shunichi Arisawa, Kazuya Mochiduki, Kyungsung Yun, Takeshi Hatano, Ienari Iguchi, and Kazuhiro Endo
Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 095804. 査読有。

〔学会発表〕(計 11 件)

「ビスマス系銅酸化物超伝導薄膜の配向制御」金子 俊幸、有沢俊一、山崎 裕文、露本伊佐男、Petre Badica、遠藤 和弘、フィジカルセンサ研究会、2014 年 12 月 19 日、金沢工業大学

International Union of Materials Research Societies, The IUMRS International Conference in Asia 2014. Aug. 24-30, 2014, Fukuoka University, Fukuoka, Japan. “Characterization of Superconducting Thin Films by Scanning SQUID” Shunichi Arisawa, Kyungsung Yun, Ienari Iguchi, Takeshi Hatano, Kazuhiro Endo and Tamio Endo
(Invited Talk)

DST-JSPS sponsored International Symposium on Nanotechnology based innovation on Advanced Materials for Environmental, Energy & Biomedical Applications, Dec 16-20, 2013, Bengaluru, India. “Characterization of Superconducting Thin Films by Scanning SQUID Microscopy”, Shunichi ARISAWA
(Invited Talk)

International Union of Materials Research Societies- International Conference in Asia 2013. (IUMRS-ICA2013). Dec 16-20, Bengaluru, India.

“Alignment of Quantized Magnetic Flux around Grain Boundary Observed by Scanning SQUID Microscopy” Shunichi Arisawa, Kyungsung Yun, and Ienari Iguchi, Kazuhiro Endo.

Annual symposium Materials Research Society of Japan, Dec. 9-11, 2013, Yokohama, Japan.
Preparation of Bi-based Superconducting

Thin Films by Spin Coating Method using Ion Solutions

Tetsuji UCHIYAMA and Hirotugu OHTOMO

Annual symposium Materials Research Society of Japan, Dec. 9-11, 2013, Yokohama, Japan. "Local Current Stream around Holes with Various Shapes in Superconducting Thin Films Observed by Scanning SQUID Microscopy" Shunichi Arisawa, Kyung-sung Yun, Kazuhiro Endo, Tamio Endo

JSAP-MRS Joint Symposium Doshisha University, Kyoto, Japan. Sep. 16-20, 2013. "Characterization of Defects, Quantized Magnetic Flux and Shielding Current Flows in Oxide Superconducting Thin Films at One Time by Scanning SQUID Microscopy", Shunichi Arisawa, Kyung-sung YUN, Ienari Iguchi, Takeshi Hatano, Kazuhiro Endo, Tamio Endo.

21st International Conference on Composites/Nano Engineering; ICCE-21, July 21-27, 2013. Tenerife, Spain. (Keynote Lecture) "Utilization of Scanning SQUID Microscopy for Characterization of Superconducting Thin Films" Shunichi ARISAWA, Kyung-sung Yun, Ienari Iguchi, Takeshi Hatano, Kazuhiro Endo, Tamio Endo.

European Materials Research Society Spring Meeting, May 27-31, 2013. Strasbourg, France. "Simultaneous Characterization of Defects, Quantized Magnetic Flux and Current Flows in Oxide Superconducting Thin Films by Scanning SQUID Microscopy" Shunichi ARISAWA, Kyung-sung YUN, Ienari IGUCHI, Takeshi HATANO, Kazuhiro ENDO, and Tetsuji Uchiyama.

International Conference on Research in Condensed Matter Physics Oct, 1-3, 2012, University of Madras, Chennai, India. (Plenary Talk) "Shielding Current and Magnetic Flux in Oxide Superconducting Thin Films observed by Scanning SQUID Microscopy" Shunichi ARISAWA.

IUMRS-International Conference on Electronic Materials (IUMRS-ICEM 2012) (INVITED TALK). 23- 28, September 2012, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan, "Observation of Quantized Magnetic Flux under Shielding Current Flow by Scanning SQUID Microscopy" S. Arisawa, I. Iguchi,

K.S. YUN, T. Hatano and K. Endo

〔図書〕(計 1 件)

"Shielding Current and Magnetic Flux in Oxide Superconducting Thin Films observed by Scanning SQUID Microscopy" S. Arisawa, I. Iguchi, K. Mochiduki, K.S. YUN, T. Hatano, T. Uchiyama, K. Endo and T. Endo. Proceedings of the International Conference on Research in Condensed Matter Physics. ISBN: 9789382062639. pp. 2-3. 2 Pages. Edited by Rita John and Tamio Endo, Excel India Publishers, New Delhi, 2012.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

物質・材料研究機構 超伝導物性ユニット
主幹研究員
有沢 俊一 (ARISAWA, Shunichi)
研究者番号: 0 0 3 5 4 3 4 0

(2)研究分担者

金沢工業大学 工学系研究科 教授
遠藤 和弘 (ENDO, Kazuhiro)
研究者番号: 5 0 3 5 6 6 0 6

宮城教育大学 教育学部 准教授
内山 哲治 (UCHIYAMA, Tetsuji)
研究者番号: 1 0 3 2 3 7 8 4