

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19206104

研究課題名（和文） 微細加工超伝導検出器アレーによる中性子イメージング

研究課題名（英文） Neutron Imaging using Superconducting Detector Array

研究代表者

石田 武和（ISHIDA TAKEKAZU）

大阪府立大学・工学研究科・教授

研究者番号：00159732

研究代表者の専門分野：超伝導

科研費の分科・細目：総合工学 原子力学

キーワード：①MgB<sub>2</sub>素子超伝導検出器 ②中性子 ③ピエゾ式 XY 走査機構 ④ナノ領域分析電子顕微鏡 ⑤薄膜温度計 ⑥窒化クロム薄膜

## 1. 研究計画の概要

超伝導体を微細加工した超伝導検出器は空間分解能の高い検出器として大きな発展の可能性をもつ。また、<sup>10</sup>Bと中性子の核反応と組み合わせることで中性子検出器への道も拓かれている。二硼化マグネシウムMgB<sub>2</sub>超伝導体中のボロン同位体<sup>10</sup>Bとの効率的な中性子核反応によるナノスケールの局所熱を利用して、一つひとつの熱中性子をカウントできる中性子検出器となり得ることが、研究代表者により提案された。

本研究に先立ち、高品質のMgB<sub>2</sub>薄膜の実現、MgB<sub>2</sub>薄膜の微細加工技術の確立、MgB<sub>2</sub>検出器の試作、パルスレーザーによる信号検出、最終的にMgB<sub>2</sub>検出器による中性子捕捉に成功している。本研究の目的は、MgB<sub>2</sub>検出器や多重構造を持つアレー構造へと研究を高度化させ、中性子のイメージングに応用することである。

多チャンネル化を推進することを目標としたが、充当できる予算の額からチャンネル数の目標を2x2CHの4CHのシステムに絞り、開発することを目標に設定した。また、それぞれのチャンネルの信号処理は、セログ方式とし、すべての信号をデジタルオシロスコー

プで補足することとした。これに成功すれば、将来、チャンネルを増やすことは原理的に容易に対応できることがわかる。

## 2. 研究の進捗状況

カルーセル型スパッタリング装置で高品質・表面の平滑なMgB<sub>2</sub>薄膜を成膜した。10nmの膜厚を持つMgB<sub>2</sub>薄膜において、20Kの臨界温度を示す薄膜の作成に成功するなど基盤技術の高度化を達成した。ジョセフソン接合MgB<sub>2</sub>/Al/AlN/MgB<sub>2</sub>の開発では、オーバーダンプ型ジョセフソン接合の特性が得られることを示した。

MgB<sub>2</sub>の微細加工によりMgB<sub>2</sub>検出器のアレー構造へ展開して、20psパルスレーザーとピエゾ方式XYZ駆動ステージを利用した2次元走査できる機構を製作した。まず、1x4CH、2x2CHのシステムへ適用した。その結果、同じ温度、バイアス電流でも、試料の位置による感度のばらつきが見られたことから、MgB<sub>2</sub>検出器の一様性が検出効率の確保に重要であることが判明した。このような、位置情報を得る手法は、極めてオリジナリティーが高く、測定システムは、LabVIEWによるシステム化を実現している。

理論面では、3次元有限要素法を用いて、Bogoliubov-de Gennes方程式を解く数値計算プログラムの開発、高精度大規模シミュレーションの結果を受け、 $MgB_2$ の電子構造とシミュレーション結果の関係について、 $MgB_2$ マルチバンド超伝導を記述する時間依存ギンツブルク・ランダウ方程式を導出できた。

検出器試料の評価方法として、ナノ領域分析手法の開発により、例として、 $ZrO_2$ 内の欠陥ループを分析電顕により観察・分析した。

中性子検出装置に用いることのできるCr-N薄膜を用いた磁場中でも使用できる温度計の開発を行なった。Cr-N薄膜の窒素含有量のわずかな差異が電気抵抗率の温度依存性および格子間隔に影響を与えることを示した。窒化クロムの室温から0.6K近傍まで高感度に計測可能な温度計を開発した。この温度計の磁気抵抗効果は極めて小さく10Tの磁場下で温度誤差10mK以下が達成できた。

### 3. 現在までの達成度

#### ② おおむね順調に進展している。

これまでに、 $MgB_2$ 素子の多素子化と多素子検出器を評価するためのXYZピエゾ駆動式走査顕微鏡システムが完成した。多チャンネルでも、レーザー照射による実験システムを既に構築を終えている。その結果、原子炉やパルス中性子の実験に先立ちコールド試験が可能となった。

理論面でも、シミュレーションコード開発は、超伝導に関与するバンドが一つの場合には、完成し、複数となる場合への拡張については、基本コードの動作を確認した。

温度計の開発では、Cr-N薄膜で600mKまでの測温領域を広げることが可能となった。

検出効率を高める方策として、 $MgB_2$ の膜厚を現状の $0.2\mu m$ から $0.5\mu m$ まで厚くすることを試みる。そのためにプロセスを開発する必要がある。

### 4. 今後の研究の推進方策

これまでは、順調に実験が進んでいるが、中性子実験まで進めていない。これまでは、原子炉の停止などの外的要因で、マシンタイムが確保出来なかった。平成22年度は、実際

の中性子照射実験を行う計画である。そのために、J-PARCの利用申し込みを行った。また、原子力研究機構のメンバーと研究打合せを行っている。

### 5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計27件)

① H. Shimakage, and Z. Wang, "Fabrication of Over-Damped Josephson Junctions With  $MgB_2/Al/AlN/MgB_2$  Structures," IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 19, 2009, pp. 265-268. 【査読あり】

② Superconducting  $MgB_2$  thin film detector for neutrons

T. Ishida, M. Nishikawa, Y. Fujita, S. Okayasu, M. Katagiri, K. Satoh, T. Yotsuya, H. Shimakage, S. Miki, Z. Wang, M. Machida, T. Kano, M. Kato, Journal of Low Temperature Physics, 151, 1074-1079 (2008). 【査読あり】

③ Superconducting radiation detector by using a microfabricated  $MgB_2$  meander line

T. Ishida, M. Nishikawa, S. Miki, H. Shimakage, Z. Wang, K. Satoh, T. Yotsuya, M. Machida, M. Kato, Physica C, 460-462, 618-619 (2007). 【査読あり】

[学会発表] (計108件)

① M. Kato, Y. Iwamoto, O. Sato, Asymmetric and Disordered Superconducting Networks: Toward controlling vortex structures., International Superconductive Electronics Conference 2009, June, 2009, Fukuoka, Japan

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

[その他] 4件

中性子検出素子を小型化 金属内部をのぞける顕微鏡に道 大阪府大 読売新聞夕刊, 平成20年3月1日.