

機関番号：82108

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760054

研究課題名(和文) 高温超伝導による磁気収束機構を用いた超高感度磁気抵抗センサーの開発

研究課題名(英文) Developing high sensitive AMR sensor with superconducting concentrator

研究代表者

何 東風 (HE DONGFENG)

独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導材料センター・主任研究員

研究者番号：60391223

研究成果の概要(和文)：

本研究では異方性磁気抵抗AMR(Anisotropic Magneto Resistive)センサーと超伝導体を組み合わせて超伝導体の磁束収束効果を用いることによって高感度で安定性が高い磁気センサーを開発した。LaAlO₃基板に高温超電導体YBCOフィルムとNiFeフィルムを作って、超伝導磁束収束システムと異方性磁気抵抗(AMR)センサーを作りました。そして、統合型AMRセンサーを開発した。このセンサーは液体窒素温度で動作できました、そして、開発した低雑音駆動回路を使って約2 pT/√Hzの磁場分解能を達成した。普通のAMRセンサーと比べて、磁場分解能はdcからMHzまでの広帯域幅で約8倍改良されました。

研究成果の概要(英文)：

By combining the AMR (anisotropic magneto resistive) sensor and the superconducting flux concentrator, the AMR sensor with high sensitivity and high stability was developed. Superconducting YBCO film and NiFe film were deposited on the LaAlO₃ substrate, and superconducting flux contractor and AMR sensor were fabricated on it. The sensor could operate well at liquid nitrogen temperature. Using the low noise driving circuit developed by us, the magnetic field resolution of about 2 pT/√Hz was achieved. Compared with normal AMR sensor, the field resolution was improved by about 8 times in a wide bandwidth from DC to 1 MHz.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学工学基礎・応用物理学一般

キーワード：超伝導；磁気抵抗センサー

1. 研究開始当初の背景

異方性磁気抵抗 (Anisotropic Magneto Resistive) センサーおよび巨大磁気抵抗 (GMR) センサーには、ディスクドライブ、地球物理学および医療など、多くの産業応用があります。

現在、AMR センサーの磁場分解能は約 15 pT/√Hz です。この磁場分解能は宇宙磁気センシングシステムまたは深い欠陥を検出するための非破壊評価 (NDE) などのアプリケーションに対して十分ではありません。

超伝導量子干渉素子 (SQUID) は非常に高い感度 (0.1 pT/√Hz 以下) である。しかし、SQUID の作製が困難であり、高価格、複雑な操作などの欠点があります。通常 SQUID の正常動作のために金属シールドや磁気シールドは必要です。産業応用の場合は、低価格、簡単な操作と優れた安定性が非常に重要です。

したがって、AMR センサーの感度を改良するために超伝導体の磁束収束効果を用いることによって高感度な磁気センサーを開発したいです。

(1) AMR の利点：安価、簡単な操作と優れた安定性。

AMR の欠点：感度は低い

(2) SQUID の利点：高感度

SQUID の欠点：高価、複雑な操作、安定性が良くない。

(3) 本研究：AMR センサーと超伝導体を組み合わせて高感度と高安定性な磁気センサーを開発する。

2. 研究の目的

本研究では 異方性磁気抵抗 Anisotropic Magneto Resistive (AMR) センサーと超伝導体を組み合わせて超伝導体の磁束収束効果を用いることによって高感度な磁気センサーを開発することを目的とする。これによって、高感度で安定性が高く、かつ安価で操作性の高いセンサーの実現が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 超伝導体による磁束収束効果を確認するために、高温超伝導薄膜を用いたフリップチップ型超伝導磁束収束板と AMR センサーを組み合わせることを目的とする。これによって、高感度で安定性が高く、かつ安価で操作性の高いセンサーの実現が期待できる。

a. AMR センサー用の低雑音駆動回路を開発する。

b. 計測・データ収集に必要な電子回路、測定機器の開発

c. 自身のノイズ低減のため液体窒素温度で動作する AMR センサーを開発する。

d. 高温超伝導体 YBCO を使用した磁束収束機

構を作製する。

e. 開発した AMR センサーと超伝導磁束収束機構を組み合わせることで磁束収束による磁場感度向上のチェックをおこなう。

(2) 超伝導磁束収束システムを組み合わせた統合型 AMR センサーを開発する。具体的には以下の研究項目を実施する。

(3) 開発した高感度 AMR センサーを使って、渦電流探傷 (ECT) 計測装置を試作する。

4. 研究成果

(1) 異方性磁気抵抗 (AMR) センサーの低雑音駆動回路を開発した。この駆動回路はアンプモードか、フィードバックモードで動作できます。この駆動回路を使って、高感度磁気測定は実現された。図 1 は駆動回路のブロック図を示しています。

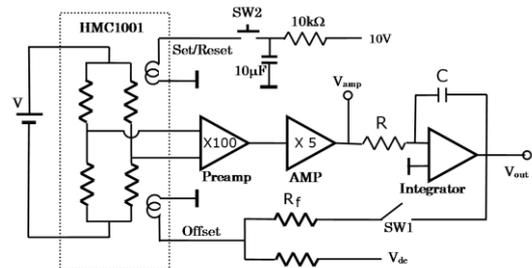


図 1 AMR の駆動回路

(2) センサー自身のノイズ低減のため、液体窒素温度で動作する AMR センサーを開発した。私たちは、LaAlO3 基板に NiFe フィルムを作って、異方性磁気抵抗 Anisotropic Magneto Resistive (AMR) センサーを作りました。このセンサーは液体窒素温度で動作できました、そして、約 15 pT/√Hz の磁場分解能を達成した。図 2 は AMR センサーの磁場分解能を示しています。

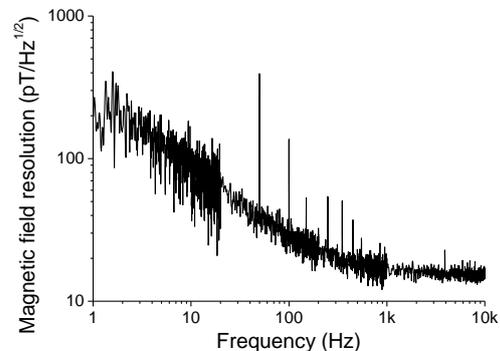
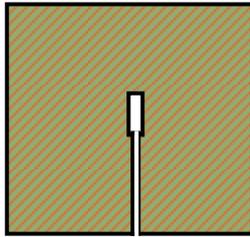
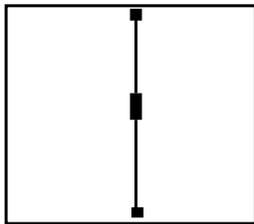


図 2 は AMR センサーの磁場分解能

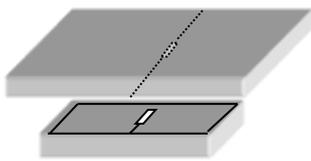
(3) 高温超電導体 YBCO フィルムを使用して $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ の磁束収束機構を作製した。開発した AMR センサーと超伝導磁束収束機構を組み合わせて磁束収束によると (図 3)、液体窒素温度で $5 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ の磁場分解能を達成した。超伝導磁束収束機構を使って磁場分解能は dc から MHz までの広帯域幅で約 3 倍改良されました (図 4)。



(a) 超伝導磁束収束機構



(b) AMR センサー



(c) AMR センサーと超伝導磁束収束機構を組み合わせて

図 3 AMR センサーと超伝導磁束収束機構

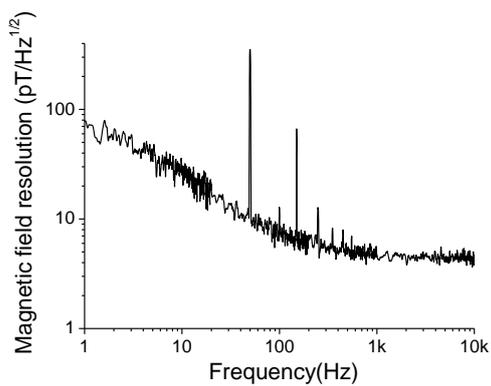


図 4 超伝導磁束収束機構をついて AMR センサーの磁場分解能

(4) LaAlO₃ 基板に高温超電導体 YBCO フィルムと NiFe フィルムを作って、超伝導磁束収束システムと異方性磁気抵抗 (AMR) センサーを作りました。そして、統合型 AMR センサーを開発した (図 5)。このセンサーは液体窒素温度で動作できました、そして、開発した低雑音駆動回路を使って 約 $2 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ の磁場分解能を達成した (図 6)。普通の AMR センサーと比べて、磁場分解能は dc から MHz までの広帯域幅で約 8 倍改良されました。

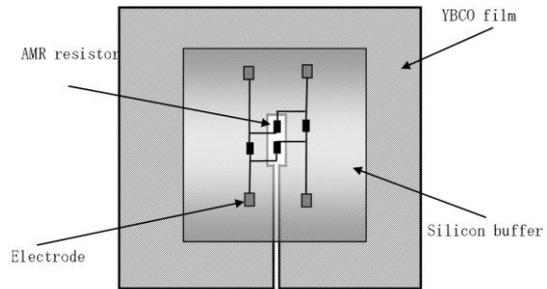


図 5 統合型 AMR センサー

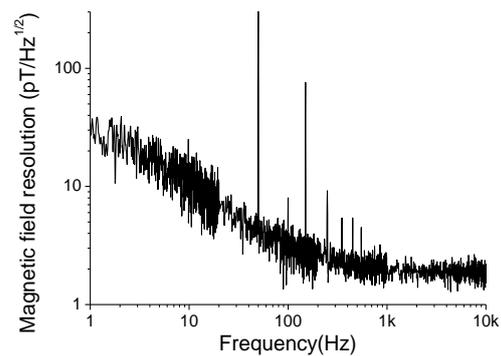


図 6 統合型 AMR センサーの磁場分解能

(5) 開発した高感度 AMR センサーを使って、渦電流探傷 (ECT) 計測装置を試作した。ECT の検出素子として AMR センサーを用いた。励磁には直径 3mm のシングルコイル及び差動コイルの 2 種類を用いた。液体酸素/液体水素を推進剤とするロケット燃焼器の非破壊検査のために、銅合金燃焼器模擬試験片の人工きずを検出できた。

超伝導磁束収束機構は、AMR センサーの感度を改良するのに有効です。このセンサーを非破壊評価に使用できて、また、液体窒素で材料の磁気特性をチェックするのに使用できます。

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3件)

- ① D.F. He, M. Shiwa., Multi-frequency ECT with AMR sensor, 査読有, NDT&E International, Vol.44, 2011, pp.438-441.
- ② D.F. He, J.P. Jia, Heat Transfer Effects in Scanning Anisotropic Magnetoresistive Imaging, I EEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, 査読有, Vol.47, 2011, pp.264-266.
- ③ 何 東風、志波光晴 等、ECTによる燃焼器の欠陥検出の基礎検討、非破壊検査、査読有、59巻、2010年、510-514.

[学会発表] (計4件)

- ① 何 東風, Checking of Combustion Chamber of Rocket Using ECT with AMR, Marrakesh, Morocco, 2011年3月21日.
- ② 何 東風, High sensitive AMR sensor and its application for ECT, 日本非破壊検査協会春季講演大会, TFT ホール, 東京, 2010年5月25日.
- ③ 何 東風, 異方性磁気抵抗素子を用いた ECT システムによる燃焼器模擬試験片の欠陥評価, 安心・安全な社会を築く先進材料・非破壊計測技術シンポジウム, 産業技術総合研究所, つくば市, 日本, 2010年3月18日.
- ④ 何 東風, Eddy-current NDE Using an AMR Magnetometer, The 26th PIERS, Moscow State Institute of Radio Engineering, Moscow, Russia, 2009年8月19日.

6. 研究組織

(1)研究代表者

何 東風 (HE DONGFENG)

独立行政法人物質・材料研究機構・超伝導材料センター・主任研究員

研究者番号：60391223

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし