二硼化マグネシウム超伝導デバイスの開発

育成研究：ＪＳＴイノベーションサテライト岩手　平成 17 年度採択課題
「高品質 MgB_2 薄膜を用いた高感度磁気センサおよび高周波フィルタ素子の開発」

代表研究者：岩手大学　大学院工学研究科フロンティア材料機能工学専攻　教授　吉澤正人

■ 研究概要

高い超伝導転移を有する超伝導体二硼化マグネシウム（MgB_2）を用いた超伝導量子干渉素子（SQUID）超高感度磁気センサと酸化物高温超伝導フィルタに比べて小型な通信用高周波フィルタを開発した。開発された MgB_2 SQUID を用いて人間の心臓から発する磁場を検知することができた。

■ 研究内容、研究成果

超伝導体は超高感度の磁気センサ用の SQUID や通信用高周波フィルタとして、これまで開発が行われてきた。生体磁気の分野ではニオブ系の SQUID が用いられ、通信の分野では酸化物高温超伝導体の利用が検討され開発が進められている。近年、心臓から発する磁場を検知し、心臓に流れる電流を可視化し、心疾患の治療と評価に用いる心磁計の開発が世界的に多くの研究機関で行われている。しかし、SQUID は高感度ではあるが、環境の磁場雑音に弱く、実際の計測には手厚い磁気シールド室が必要という欠点を有している。本研究では、ニオブ系超伝導体よりも超伝導転移温度が高く、生体磁気計測装置としての運転費用が大幅に低減でき、酸化物超伝導体よりも容易に小型化が実現でき、多段化により優れた周波数特性が実現できる MgB_2 に着目し、SQUID と通信用高周波フィルタの開発を行った。本研究では、Ti バッファと酸化亜鉛（ZnO）を用いて、高い結晶配向性、高い臨界電流密度、高い超伝導転移温度を有する As-grown MgB_2 膜を開発し、微細加工技術を用いて、この膜を用いたナノブリッジ型の SQUID を開発した（図１）。開発された SQUID は冷凍機に搭載され、心磁信号の検出に成功した（図２）。また、本研究では、SQUID の制御回路である FLL（Flux Locked Loop）回路の開発を併せて行った。開発された FLL 回路は、極めて広いダイナミックレンジを有し、生体磁気計測において磁気シールド室を不要となることが期待される。

フィルタ素子開発研究では、高品質 MgB_2 薄膜を用いた超小型フィルタの実現を目指して研究開発を行った。成果として，これまでにないユニークな Quasi Spiral Resonator(QSR)を提案し最終的に 10×10㎟ 基板内に 7.34×8.34 ㎟のサイズを実現できた(図３)。当初目標の 3×3 ㎜には至らなかったものの従来のフィルタと比較して超小型フィルタが実現できたといえる。フィルタ特性は、仕様をほぼ満足しており、実用化の際には簡易な微調整で適応可能である（図４）。

■ 今後の展開、将来の展望

本研究によって開発された技術により、高価な磁気シールド室を必要としない経済的で高感度な磁気センサを搭載したスイッチポンで動作するユーザに優しい生体磁気計測装置が実現することが期待され、そのためのコア技術は本研究で確立した。しかし、心疾患診断の分野には、心電図、MRI、CT、PET など多くの競合する装置があり、本研究で開発した心磁計がそれらとの競争に勝ち抜いて広く普及するためには、SQUID の量産化に課題を残している。また、高周波フィルタでは、受信用フィルタの更なる小型化・多段化に加え、送信用フィルタの開発により、MgB_2 を用いる優位性が高まると考える。事業化に向けては、開発された試料のユーザによる評価が必要である。また、生体磁気計測も通信用フィルタもその最終的な展開をはかるためには、臨床試験・治験、フィールドテスト等のための費用が必要であり、それを専門とする医療機器メーカや大手電機会社が共同研究パートナーとして加わることが欠かせない。今後は、残された技術的課題を解決すると共に、共同研究企業と共に関心を持つ有力企業との連携を模索して、心磁計の分野では次世代型 MgB_2 SQUID 心磁計の開発を、通信の分野では次世代の高周波フィルタの開発を更に進めてゆきたい。

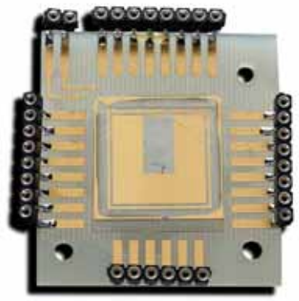

図１　MgB_2 製の超伝導量子干渉獅子（SQUID）

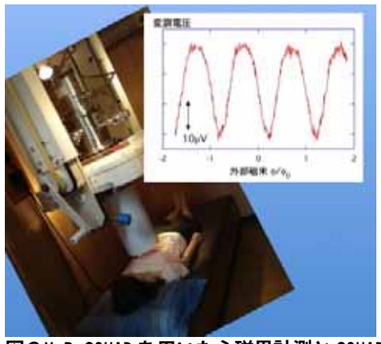

図２ MgB_2 SQUID を用いた心磁界計測と SQUID 特性

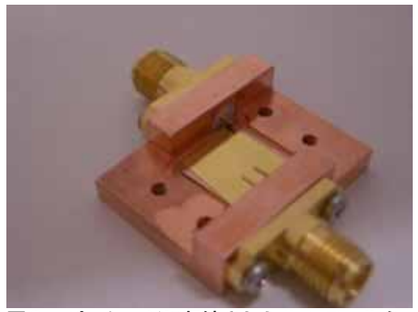

図３　パッケージに収納された MgB_2 フィルタ

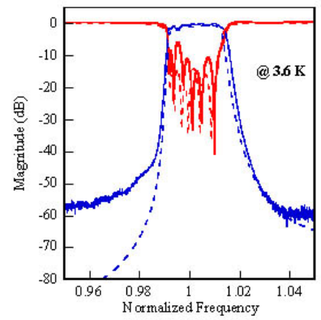

図４　MgB_2 フィルタの周波数特性

■ 研究体制

- ◆ **代表研究者**
  岩手大学大学院工学研究科フロンティア材料機能工学専攻　教授　吉澤正人
- ◆ **研究者**
  齊藤　敦（山形大学）、小林宏一郎（岩手大学）、原田善之（JST サテライト岩手）、目黒和幸（岩手県工業技術センター）、阿部貴志（岩手県工業技術センター）、藤根陽介（岩手大学）、杉渕真世（**(株)岩手情報システム**）
- ◆ **共同研究機関**
  岩手大学、山形大学、岩手県工業技術センター
  (株)岩手情報システム

■ 研究期間

平成１８年４月　～　平成２１年３月