

2.2.2 超伝導・核四極共鳴を利用したセンシング技術の開発

糸崎秀夫

基礎工学研究科 システム創成専攻・教授

2.2.2.1 はじめに

超伝導、核四極共鳴を利用したリモートセンシング技術の開発を進めている。超伝導では、SQUID（超伝導量子干渉素子）を試作し、微小磁場信号を検出するセンサを開発した。それを用いたレーザSQUID顕微鏡や非破壊検査などの応用を進めている。NQR（核四極共鳴）では、爆発物のリモートセンシング技術の開発を進め、地雷探知装置の試作などを実施した。

2.2.2.2 SQUIDグラジオメータの試作

雑音環境下におけるSQUIDによる微小磁場検出を目的に、高温超伝導YBCO薄膜を用い、信号対雑音比を大きくとれるグラジオメータの作製を行った。高温超伝導薄膜の作製は、PLD（パルスレーザー蒸着）法により、バイクリスタルSrTiO₃基板上にエピタキシャル成長した。その際に、基板温度、酸素分圧を変化させ、作製したサンプルについて超伝導転移温度TCの測定、X線回折装置による配向性評価、FE-SEMによる表面モフォロジーの評価を行なった。成膜プロセスを最適化した結果、表面状態が平坦で、T_cが90Kを越える高品位な超伝導薄膜が得られた。図2.2.2.1に、設計したSQUIDグラジオメータの構造を示す。図2.2.2.1左に示す全体図の中央を左右に横切る点線がバイクリスタル結晶粒界に対応する。全体図中央部を拡大したものを図2.2.2.1右に示す。グラジオメータの上下のループのバランスをよくするために、SQUIDループと対称に結晶粒界を挟んで補償ループを設けた構造となっている。

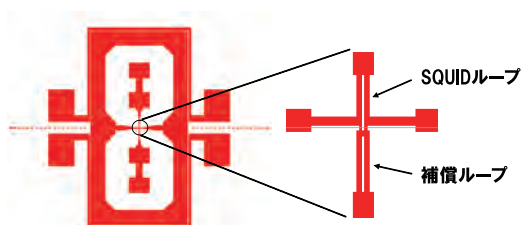


図2.2.2.1 SQUIDグラジオメータの構造.

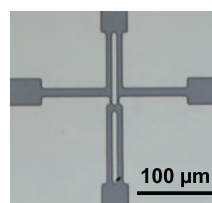


図2.2.2.2 微細加工後の接合部.

成膜したYBCO薄膜を用い、Arイオンビームエッチングの条件を最適化することにより、図2.2.2.1に示す形状のSQUIDグラジオメータを作製した。微細加工後のSQUID部の拡大図（光学顕微鏡像）を図2.2.2.2に示す。作製したグラジオメータのSQUID部の Φ -V特性を図2.2.2.3に示す。本プロセス条件により作製したSQUID接合部が良好に動作していることを確認した。

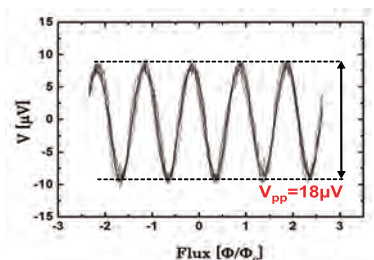
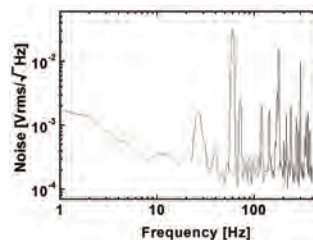
図2.2.2.3 SQUID部の Φ -V特性.

図2.2.2.4 シールド外ノイズ特性.

作製したグラジオメータのシールド外における電圧ノイズ周波数特性を図4に示す。磁束-電圧変換係数から、磁束分解能は、シールド外で、 $S_{\Phi}^{1/2}=28.3 [\mu\Phi_0\text{Hz}^{-1/2}]$ の特性を得た（シールド内では、 $S_{\Phi}^{1/2}=13.6 [\mu\Phi_0\text{Hz}^{-1/2}]$ ）。

2.2.2.3 NQR地雷探知装置の試作

対人地雷の検出には、現在、金属探知機が広く用いられている。しかし、この方法では、小さな金属ごみなども反応してしまうため、誤認率が非常に高い。本研究では、科学技術振興機構の「人道的対人地雷探知・除去技術研究開発推進事業」の受託を受け、対人地雷に含まれる化学物質（RDX等）の同定を行なう NQR（核四極共鳴）法を用い、検知感度、環境雑音除去、検知器の小型化等の検討を進め、RDX を検知できる地雷探知機を開発した。図2.2.2.5に開発した RDX 非接触検知器センサ部を示す。東京工業大学広瀬研究室の協力を得て、上記センサヘッドをバギー車に搭載し、地雷探知機の形として実現することに成功した。図2.2.2.6にバギー車に搭載した NQR 地雷探知装置の外観を示す。

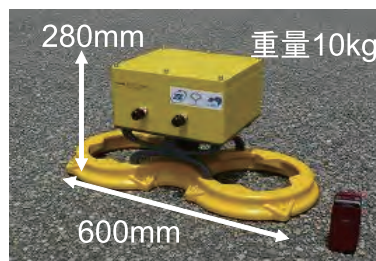


図2.2.2.5 RDX非接触検知器センサ部.



図2.2.2.6 バギー車に搭載したNQR地雷探知装置.

開発した地雷探知機を用いて、性能評価試験を実施したところ、深さ15cmまでの RDX 地雷100gを検知ができることを確認した。図2.2.2.7に NQR 信号の地表からの距離依存性を示す。NQR 地雷探知装置の検知性能、屋外での雑音環境、バギー車との統合について検討し、名古屋大学での公開試験（2007年9月7日実施）、日本科学未来館でのデモ（2007年12月3日実施）を行なった。図2.2.2.8に日本科学未来館でのデモの様子を示す。NQR 地雷探知装置を開発することにより、基礎研究の段階にあった NQR というセンシング技術が対人地雷の探知に有効であるということを実証した。

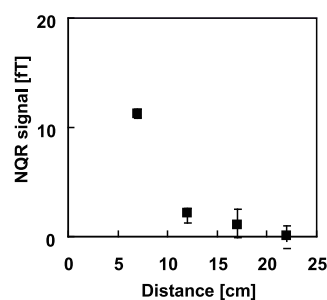


図2.2.2.7 NQR信号強度の距離依存性.



図2.2.2.8 日本科学未来館でのデモ.

参考文献

D. F. He, M. Tachiki, and H. Itozaki, "Detecting the N-14 NQR signal using a high-Tc SQUID," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 17, No. 2, pp. 843-845 (2007).