固体 NMR 用 40 MHz 超伝導検出コイルの設計と評価

Design and evaluation of 40 MHz superconducting detection coil for solid state NMR

山形大学¹,理研²^O星 晴貴¹, 入江 晃太郎¹, 高橋 雅人², 加藤 翔太², 大嶋 重利¹, 齊藤 敦¹

Yamagata Univ.¹, RIKEN²

^oHaruki Hoshi¹, Kotaro Irie¹, Masato Takahashi², Shota Kato², Shigetoshi Ohshima¹, Atsushi Saito¹

E-mail: tkt37353@st.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

NMR は核スピンのエネルギー吸収と放出現象の測 定を行い、分子構造を解析する分光法である。NMR の利点は測定核の選択性に優れ、分子構造を非破壊的 に測定できることであり、理論上ほぼすべての原子を 測定することが可能であるが、実際の測定では測定感 度の問題により水素原子や炭素原子などに限定され、 四極子核の測定は非常に困難である。そこで、磁場中 でも表面抵抗が小さく高い電流密度を有する高温超伝 導体(HTS)を検出コイル材料に用いる研究が数多くさ れている[1][2]。その研究の多くが水素原子などを測定 対象とした検出コイルであり四極子核を測定対象とし た検出コイルの報告はほとんどない[3]。本研究では四 極子核の硫黄原子を測定対象とし、照射する周波数を 固定し外部磁場 Boを掃引し、硫黄原子の測定を行うた め、それに適した検出コイルが必要になる。我々は、 照射する B1磁場の周波数を 40MHz とし、その周波数 で共振する HTS コイルを設計、作製した。作製した HTS コイルの Quの評価を行い、Cu 検出コイルと比較 した結果について報告する。

2. シミュレーション及び実験方法

検出コイルの設計には 2 次元電磁界シミュレータ Sonnet-EM を用いた。また、設計した検出コイルの Qu の評価は3次元電磁界シミュレータ MW-Studio を用い た。コイル基板の材料は誘電損失が極めて低い r-Sapphire を用いた。HTS コイルはコイル長さが $\lambda_g/2$ となる半波長共振器である。基板の中心から線路をコ イル状に巻き、線路最終端の長さを変化させて HTS コ イルの共振周波数を 40MHz に調整した。シミュレー ションの結果では、共振周波数 40.14MHz、Quは 10673 となった。超伝導検出コイルは Ceraco 社製 Au/YBCO/CeO₂(200nm)/r-Sapphire を用いて、まず、フ ォトリソグラフィによりコイルパターンを薄膜に転写 し、次にドライエッチング装置によりコイルパターン を形成し、最後にヨウ化カリウム溶液を用いて Au 保 護膜をウェットエッチングした。作製した超伝導検出 コイルは真空チャンバー内の冷凍機で20Kまで冷却し、 ベクトルネットワークアナライザを用いてコイルの SII特性を測定した。

3. 実験結果及び考察

HTS コイルの S_{11} 特性を Fig. 1 に示す。20 K におい て共振周波数は 40.20 MHz 、 Q_u は 9098 を得た。実験 で得られた Q_u とシミュレーション結果との差は約 14.8%であった。この原因は超伝導体として用いた YBCO が劣化し、コイルの損失がシミュレーションで 設定した値と比較し大きくなったことが考えられる。 さらに、シミュレーションでは給電ループアンテナを 考慮せず Quの評価を行っているため、実験で使用した 給電ループアンテナの導体部分にコイルからの高周波 電流が抵抗損として生じたとも考えられる。

Fig. 2 に HTS コイルと Cu 検出コイルにおける Q_u の 温度依存性を示す。Fig. 2 の \bigcirc のプロットが HTS コイ ルを示し、 \bigcirc のプロットが Cu 検出コイルを示す。20K において Cu 検出コイルの Q_u は 392、300 K において Cu 検出コイルの Q_u は 90.6 となった。この結果より Cu 検出コイルと HTS コイルの Q_u は 20K では約 23.2 倍、300K では約 100 倍異なることが明らかになった。



4. 参考文献

- Howard D. W. Hill, IEEE Trans. Appl. Supercond, Vol. 7, No. 2, (1997).
- [2] T. Yamada et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol. 25, No. 3, (2015).
- [3] K. Yamada, TEION KOGAKU, Vol. 51, No. 3, (2016).