17p-C10-8

NbN 薄膜共振器を用いたマイクロ波 SQUID の検討

NbN film resonator for microwave SQUID

産総研　°平山文紀, 神代暁, 福田大治, 山森弘毅, 佐藤泰, 山田隆宏,
永沢秀一, 日高睦夫
AIST, °Fuminori Hirayama, Satoshi Kohjiro, Daiji Fukuda, Hirotake Yamamori,
Yasushi Sato, Takahiro Yamada, Shuichi Nagasawa, Mutsuo Hidaka
E-mail: f.hirayama@aist.go.jp

はじめに　極低温検出器からの信号を周波数分割多重化して読み出す回路として、rf SQUID のインダクタンス変化を共振周波数変化として測定するマイクロ波 SQUID システムを開発している[1]。この方式では、低温部への配線数を減らすことで熱流入を抑制する以外に、室温エレクトロニクス系をコンパクトに実現できる可能性がある。したがって生体計測などの多チャンネル SQUID システムでは、熱流入があまり問題とならない 4 K 動作の場合でも本方式を採用するメリットはあると考えられる。しかし、Nb 薄膜共振器を用いた試作回路においては、4 K での共振 Q 値が低いために出力電圧振幅が小さくなり、雑音特性が良好とは言えなかった。マイクロ波帯の共振器については、Nb の代わりに NbN を用いることで 4 K においても高い Q 値が得られることが報告されている[2]。一方、マイクロ波 SQUID においてはジョセフソン接合を含む回路を集積する必要があり、その部分については Nb 素子作製プロセスが適用できることが望ましい。そこで今回は、SRL-AIST 標準 Nb プロセスのグランドプレーン層のみを Nb から NbN に置き換えることで、4 K における Q 値の改善可能性を確認すべく実験を行ったので報告する。

実験・結果　実験で用いた素子では、実際のマイクロ波 SQUID と同様に 5 GHz 付近に共振周波数を持つ 8 個の 1/4 波長コプレナー線路共振器（共振周波数間隔 20 MHz）を1本のフィードラインに容量性結合で並列接続した。酸化膜(300 nm)付 Si ウェハに Nb もしくは NbN を 300 nm 成膜し、共振器パターンにエッチング後スパッタ SiO_2 絶縁層を積層した。コプレナー線路グランド間は、絶縁層にあけたコンタクトホールと上部 Nb 配線を経由して接続した。絶縁層厚さは Nb, NbN 素子それぞれで 700 nm, 300 nm と異なっているが、共振器上の絶縁層は工程の最後に RIE により除去を行った。図に 4 K で測定した両共振器チップのマイクロ波透過特性を示す。両素子とも共振周波数はほぼ等間隔に制御されており、NbN 共振器では Nb 素子に比べ全体に低周波側にシフトし共振ディップが深くなっている。共振周波数のシフトは、NbN が同膜厚の Nb より大きなカイネティックインダクタンスを持つことによると考えられる。共振ディップの深さは、容量結合による Q 値 Q_C と共振器内部の損失による Q 値 Q_U により$(Q_C/(Q_C+Q_U))^2$ で決定される。容量結合は両素子で同等のため、NbN 素子のほうがより高い Q_U を持つことがわかる。ピーク形状のフィッテングより、Nb, NbN の Q_U はそれぞれ 1300-3500, 10000-20000 となった。この結果をマイクロ波 SQUID の設計に当てはめると、Nb 共振器を NbN に置き換えることで、4 K においては出力振幅が 2 倍程度に増大し雑音特性が改善されることが期待できる。

今後、NbN 共振器と Nb 接合 SQUID 素子との集積を行いマイクロ波 SQUID としての動作を確認する予定である。

[1] 平山 他, 第 60 回応用物理学会春季学術講演, 27p-G7-4 (2013 春)
[2] 有吉 他, 第 60 回応用物理学会春季学術講演, 28p-G10-7 (2013 春)

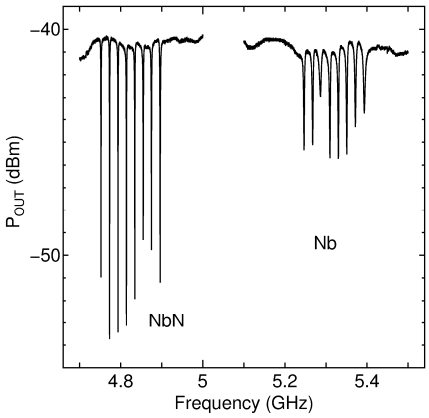

図 Nb,NbN 共振器マイクロ波透過特性

© 2013 年　応用物理学会