

スパッタ成膜した Al 薄膜超伝導共振器の特性と解析

Properties and analysis of superconducting resonators made of sputtered Al thin film

○野口 卓、Agnes Dominjon、関本 裕太郎 (国立天文台)

○Takashi Noguchi, Agnes Dominjon, Yutaro Sekimoto (NAOJ)

E-mail: Takashi.Noguchi@nao.ac.jp

蒸着とスパッタで成膜した Al 薄膜を用いた 2 種類の超伝導共振器について、両者の特性を比較しつつ、特にスパッタ成膜 Al 超伝導共振器の共振特性を詳細に調べ、解析を行なった。

1) Q 値の温度依存性

スパッタ成膜した Al 超伝導共振器の Q 値 (Q_i) は、温度の降下とともに急激に増加し、0.17 K 付近でピークを示した後単調に減少する。この低温側での Q 値の減少に注目して解析を行なったところ、0.17 K 以下で Q 値の逆数 $1/Q_i$ は、温度 T に対して、 $a - b \ln T$ 型の依存性を示すことが明らかになった (Fig. 1)。 Q_i がピークを示す温度以下では、 $1/Q_i$ は $R_{res}/\omega_r L$ (ω_r, L は、それぞれ共振周波数、全インダクタンス) で近似できるので、残留抵抗 R_{res} が $R_0 - R_1 \ln T$ 型の温度依存性をもつことを示している。常伝導金属における $R_0 - R_1 \ln T$ 型の抵抗の温度依存性は近藤効果として知られている。 $1/Q_i$ の温度依存性は、Al 超伝導共振器内に残留準粒子が存在し、これらの残留準粒子が近藤効果的な温度依存性を示しているものと考えられる。

準粒子残留抵抗の近藤効果的な温度依存性を考慮すると、 $1/Q_i$ は

$$\frac{1}{Q_i} = \alpha \gamma \frac{\sigma_1(T)}{\sigma_2(T)} - b \ln \left(\frac{T}{T_K} \right), \quad a = \ln T_K \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 σ_1, σ_2 は Mattis-Bardeen 理論で与えられる複素伝導度の実部と虚部、 α は力学インダクタンス L_K と全インダクタンス L の比、 γ は $-1/3, -1/2$ または -1 の定数である。 Fig. 2 に Al 超伝導共振器の Q 値の逆数 $1/Q_i$ の温度依存性の測定値と (1) 式によるフィッティ

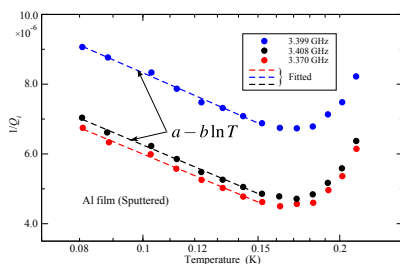


Fig. 1 Q_i^{-1} as a function of T .

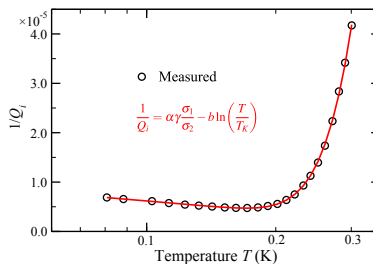


Fig. 2 Q_i^{-1} as a function of T .

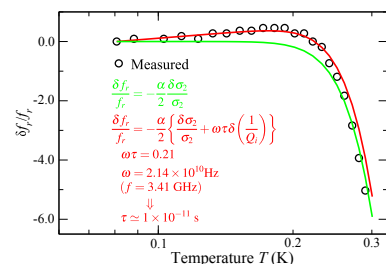


Fig. 3 $\delta f_r / f_r$ as a function of T .

ングの例を示す。Al 超伝導共振器の $1/Q_i$ の温度依存性が (1) 式で非常によく記述できることがわかる。

2) 共振周波数の温度依存性

蒸着で成膜した Al 超伝導共振器の共振周波数は温度の上昇につれてほぼ単調に減少するのに対し、スパッタ成膜した Al 超伝導共振器の共振周波数の温度依存性は、Fig. 3 の黒丸で示すように、温度の上昇につれて僅かに増加した後単調な減少に転ずる。これら 2 種類の超伝導共振器は、成膜法を除いてほぼ同一の条件で作製されており、共振周波数の温度依存性の相違は Al 膜自体の性質の相違を反映したものと考えられる。超伝導共振器の共振周波数 f_r の温度に対する変動 $\delta f_r(T)/f_r(0) = \{f_r(T) - f_r(0)\}/f_r(0)$ は、

$$\frac{\delta f_r(T)}{f_r(0)} = -\frac{1}{2} \alpha \frac{\delta L_K}{L_K} \quad (2)$$

で与えられ、力学インダクタンス L_K の温度依存性を強く反映する。従来、超伝導共振器の解析ではクーパー対の力学インダクタンスのみを考慮してきたが、粒子数が著しく少なく、準粒子の緩和時間 (散乱時間) が長くなる超低温では、準粒子の力学インダクタンス $L_{Kn} = \tau R_{res}$ (τ : 緩和時間) の寄与も無視できなくなると考えられる。そこで、(2) 式で $L_K \rightarrow L_K + \tau R_{res}$ と置換して共振周波数 f_r の変動 $\delta f_r/f_r$ を求めてみた。ここで、 $\delta R_{res}/L$ は (1) 式の変分から求めることができる。 $\omega_r \tau$ をパラメータと計算した $\delta f_r/f_r$ に対するフィッティング曲線を Fig. 3 の実線で示す。 $\omega_r \tau \approx 0.21$ すなわち $\tau \approx 10$ ps の時実験値と非常に良い一致が得られることがわかった。