

Al 製超伝導 MKID 共振器の特性の解析

Analysis of characteristics of Al superconducting MKID resonators

○ 野口 卓, Agnes Dominjon, 関本 裕太郎 (国立天文台)

○ T. Noguchi, A. Dominjon, Y. Sekimoto (NAOJ/NINS)

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

超伝導共振器の Q 値 (Q_r) および共振周波数の温度に対する変動 ($\delta f_r(T) = f_r(T) - f_r(0)$) は、低温 ($T \ll T_c$) では、拡張 Mattis-Bardeen(M-B) 方程式の解析的近似式を用いて以下の式で与えられる。

$$Q_r(T) \approx \frac{1}{\alpha\gamma} \frac{\sigma_2(T)}{\sigma_1(T)} \approx \frac{1}{\alpha\gamma} \frac{\Delta_1}{\Delta_2} \frac{1 - 2 \exp\left(-\frac{\Delta_1}{k_B T}\right) \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{2k_B T}\right) I_0\left(\frac{\hbar\omega}{2k_B T}\right)}{1 + \frac{2\Delta_1}{k_B T} \exp\left(-\frac{\Delta_1}{k_B T}\right) \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{2k_B T}\right) I_0\left(\frac{\hbar\omega}{2k_B T}\right)} \quad (1)$$

$$\frac{\delta f_r(T)}{f_r(0)} \approx -\frac{1}{2} \alpha\gamma \frac{\delta\sigma_2(T)}{\sigma_2(0)} \approx -\alpha\gamma \exp\left(-\frac{\Delta_1}{k_B T}\right) \exp\left(-\frac{\hbar\omega}{2k_B T}\right) I_0\left(\frac{\hbar\omega}{2k_B T}\right) \quad (2)$$

ここで、 Δ_1 と Δ_2 は、それぞれ、ギャップパラメータの実部と虚部で、低温では温度に依らない一定値となる。 α は超伝導体の力学インダクタンス (L_K) と共振器の全インダクタンス (L) の比 (L_K/L)、 γ は $-1/3$ (extreme anomalous limit) から -1 (thin film local limit) の間の値を取る定数で、 $\alpha\gamma$ 積は、低温では、共振器の幾何形状で決まる定数と考えることができる。

図 1 に、測定に使用した Al 超伝導 MKID 共振器アレイチップのレイアウトと読み出しマイクロ波の透過特性 (S_{21}) の周波数依存性を示す。図 2 に、図 1 の矢印で示した 4 つの共振器に関する $Q_r (= [Q_c^{-1} + Q_i^{-1}]^{-1})$ 値と共振周波数の変動の温度依存性の測定値を $\circ$ 、 $\triangle$ 等の記号で、 $\delta = \Delta_2/\Delta_1$ と $\alpha\gamma$ をパラメータとして求めたフッティング曲線を実線で示す。ここで、 Q_c と Q_i は、それぞれ、外部回路との結合の Q 値と共振器の無負荷 Q 値である。まず、共振周波数の変動はすべての共振器でほぼ同一の温度依存性を示し、(2) 式を用いたフィッティングにより得られた各共振器に対する $\alpha\gamma$ 積はほぼ一定値 (0.13 ± 0.1) となっている。一方、 Q_r 値の温度依存性は (1) 式による計算結果とよく一致し、特に低温での Q_r 値の飽和値は δ の値に大きく依存している。 δ がチップ内で 1 桁程度変動しているが、その変動の原因は今のところ不明である。チップ内での Q_r 値の均一性の向上を通して MKID アレイの歩留まりを改善できると期待できるので、その原因の解明は非常に重要な課題であると考えられる。

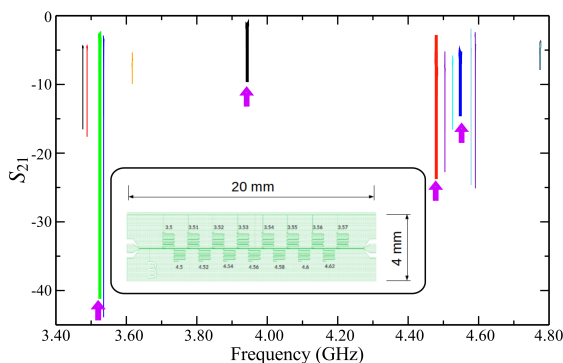


Fig. 1 Microwave resonances from the MKID array schematically shown in the inset. The quality factors and resonance frequency shift of resonators indicated by the arrows are typically analyzed.

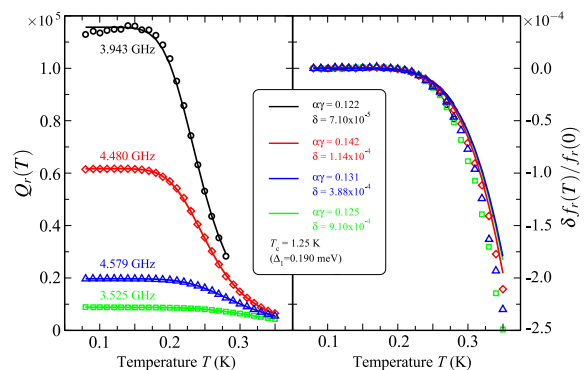


Fig. 2 Measured quality factors and resonance frequency shifts as a function of temperature. Solid lines represent the best fitting curves to both the quality factor and resonance frequency shift obtained by eqs. (1) and (2).