# 超伝導共振器における準粒子の非線形電気伝導度

## Nonlinear electrical conductivity of quasiparticles in a superconducting resonator

○ 野口 卓 [1,2], Matthias Kroug[2] , 美馬 覚 [1], 大谷 知行 [1] (1. 理研, 2. 国立天文台)

○T. Noguchi[1,2], M. Kroug[2], S. Mima, C. Otani (1. RIKEN, 2. NAOJ/NINS)

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

Nb や Al 薄膜を用いた超伝導共振器では、内部 Q 値 $Q_i$ は読出しマイクロ波パワーに依存し、パワーの増加につれて増大する。一方、十分低温では、これらの超伝導共振器の共振周波数 $f_r$ は読出しマイクロ波パワーに殆ど依存しない。今回、これらの共振特性の特異な振舞いが、残留準粒子の電気伝導度のマイクロ波電界に対する非線形性に依るものと考え解析を行なった。

図 1 に Al 超伝導薄膜共振器の内部 Q 値 $Q_i$ と共振周波数変動 $\delta f_r/f_r$ の温度依存性を示す。2 流体モデルによると、超伝導体の複素電気伝導度 $\sigma_s$ は $\sigma_s = \sigma_1 - i\sigma_2$ で与えられるので、超伝導共振器の内部 Q 値 $Q_i$ は $Q_i = (\sigma_2/\sigma_1)/\alpha$ で与えられる。ここで、$\sigma_1$、$\sigma_2$ は、それぞれ、準粒子と電子対の電気伝導度で、$\alpha$ は超伝導薄膜の力学インダクタンス $L_s$ と薄膜共振器の全インダクタンス $L$ との比である。他方、共振周波数変動 $\delta f_r/f_r$ は $\sigma_2$ にのみ依存すると考えられる。超伝導体では、温度の低下と共に熱励起準粒子数が減少し電子対数が増加するので、温度の低下に対して $\sigma_1$ は減少し、$\sigma_2$ は増加する。このため、Al 超伝導共振器では、0.17 K 程度までは温度の低下と共に内部 Q 値 $Q_i$ および共振周波数変動 $\delta f_r/f_r$ は急激に増加する傾向を示す。しかし、0.17 K 以下では、共振周波数変動 $\delta f_r/f_r$ の増加は止まり、飽和傾向を示すので、0.17 K 以下では $\sigma_2$ はほぼ一定値となっているものと考えられる。また、内部 Q 値 $Q_i$ が 0.17 K 以下で飽和傾向が見られることは、$\sigma_2$ がこの温度域で一定値となっていることを考慮すると、$\sigma_1$ も飽和傾向を示していると考えられる。

ところで、図 1 におけるもう一つの注目すべき点は、読出しマイクロ波パワーの増加と共に内部 Q 値 $Q_i$ が増加することである。図 2 に、0.24 K 以下の幾つかの温度における内部 Q 値 $Q_i$ と共振周波数 $f_r$ の読出しマイクロ波パワー $P_{RO}$ 依存性を示す。まず、共振周波数 $f_r$ は、読出しマイクロ波パワー $P_{RO}$ に殆ど依存せず、ほぼ一定値となっている。これは $\sigma_2$ が読出しマイクロ波パワー $P_{RO}$ に依存しないことを示しており、$\sigma_2$ が電子対数に比例することを考慮すると、マイクロ波エネルギによる対破壊による電子対数の減少が殆ど起きていないことを示唆している。そのため、電子対破壊に伴う準粒子の生成も起こらず、準粒子数も増加していないものと考えられる。

一方、特に 0.18 K 以下の低温で顕著であるが、読出しマイクロ波パワー $P_{RO}$ の増加と共に内部 Q 値 $Q_i$ が増加する。このことは、この温度域においては $\sigma_2$ が読出しマイクロ波パワー $P_{RO}$ によらず一定であることを考慮すると、$\sigma_1$ が読出しマイクロ波パワー $P_{RO}$ の増加と共に減少していることを示している。共振器内部のマイクロ波パワー $P_{INT}$ は共振器内部のマイクロ波電界 $E$ を用いて、$P_{INT} = \frac{1}{2}\sigma_1 E^2$ で与えられ、読出しマイクロ波パワー $P_{RO}$ に比例する。すなわち超伝導共振器内の伝導度 $\sigma_1$ はマイクロ波電界 $E$ の増加に対して減少することになる。このような $\sigma_1$ のマイクロ波電界 $E$ 依存性が発現する理由は不明であるが、共振器内の残留準粒子数がマイクロ波電界 $E$ の印加によって減少するメカニズムの解明を行っている。

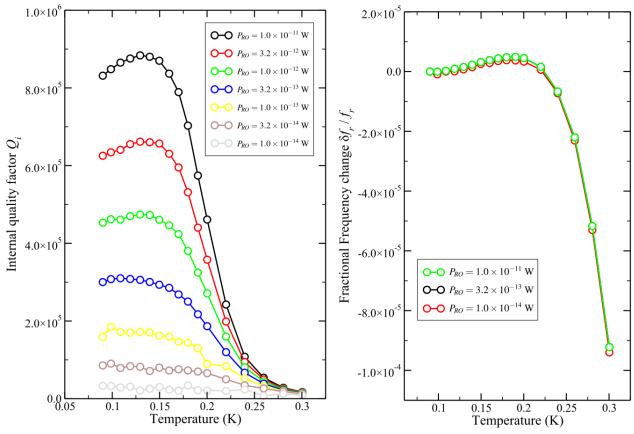


Fig. 1: $Q_i$ (left) and $\delta f_r/f_r$ (right) of an Al resonator as a function of temperature.

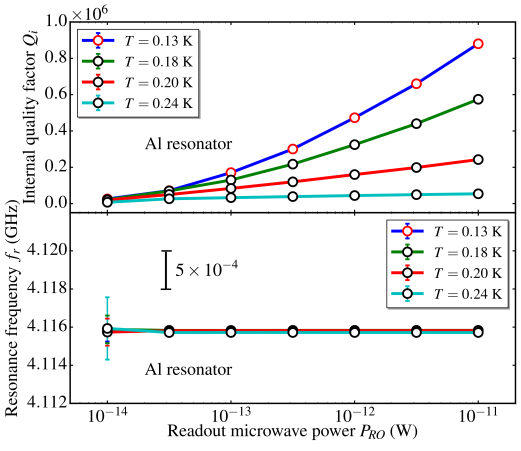


Fig. 2: $Q_i$ (top) and $\delta f_r/f_r$ (bottom) of an Al resonator as a function of $P_{RO}$.

© 2019年 応用物理学会