

マイクロ波学インダクタンス検出器 (MKID) の感度 Sensitivity of a Microwave Kinetic Inductance Detector (MKID)

国立天文台¹, 埼玉大工² ○野口 卓¹, 成瀬 雅人², 関本裕太郎¹

National Astronomical Observatory¹, Saitama Univ.² ○Takashi Noguchi¹, Masato Naruse²,
Yutaro Sekimoto¹

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

我々は、これまで、金属系超伝導体においても、超伝導ギャップ内に少数の準粒子状態が存在し、トンネル接合におけるサブギャップ電流や表面抵抗などに現れる過剰成分がこれらの準粒子状態の寄与によることを明らかにしてきた。[1,2] 今回、我々は、ギャップ内準粒子状態の存在が超伝導共振器およびそれを用いたマイクロ波力学インダクタンス検出器 (MKID) に与える影響の解析を行ったので報告する。

図 1 に示すようなマイクロ波源と結合した超伝導共振器を考える。マイクロ波の周波数はギャップ周波数よりも十分低いものとする。このような低い周波数においても、クーパ対を壊してギャップ内の状態へ準粒子を生成することが可能であり、生成された準粒子は、図 2 に示すように、フォノンを放出してエネルギーを失い基底状態へと緩和してゆくものと考えられる。マイクロ波による準粒子の生成と過剰準粒子の緩和の過程は、次の準粒子とフォノンに関するレート方程式によって記述できる。

$$\frac{\partial N_{qp}}{\partial t} = G_p - \frac{N_{qp}}{\tau_s} + gN_{ph} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N_{ph}}{\partial t} = \frac{N_{qp}}{\tau_s} - gN_{ph} - \frac{N_{ph} - N_{ph}^T}{\tau_{es}} \quad (2)$$

ここで、 N_{qp} 、 N_{ph} 、 N_{ph}^T は、それぞれ、準粒子、フォノン、熱平衡フォノン数、 G_p はマイクロ波による準粒子の生成レート、 τ_s 、 g 、 τ_{es} は、それぞれ、準粒子のフォノンによる散乱時間、フォノン生成レート、超伝導体から基板へのフォノンの脱出時間である。このレート方程式をフーリエ変換して解を求めたところ、以下のことが明らかになった。

1) 定常状態での平均 (過剰) 準粒子数 $\langle N_{qp} \rangle$ は、共振器に結合するマイクロ波パワー P_i とフォノン散乱時間 τ_s に比例する。

2) 準粒子数の揺らぎ $\delta N_{qp}(t) = N_{qp} - \langle N_{qp} \rangle$ は、マイクロ波フォトン数の揺らぎに依存し、その周波数依存性は、

$$\delta N_{qp}(\omega) \approx \frac{\tau_s}{1 + i\omega\tau_s} \left(\frac{P_i}{\hbar\omega_i} \right) \quad (3)$$

で与えられる。

3) 準粒子数の揺らぎのパワースペクトル密度 (PSD) は、(3) 式から

$$S_{\delta N_{qp}}(\omega) \approx \frac{\tau_s^2}{1 + (\omega\tau_s)^2} \left[\frac{P_i}{\hbar\omega_i} \left(\frac{\Delta\omega_i}{\Delta\omega} \right) \right] \quad (4)$$

となる。ここで、 ω_i 、 $\Delta\omega_i$ 、 $\Delta\omega$ は、それぞれ、マイクロ波の周波数とその帯域 (半値幅)、検出器の応答帯域である。

以上の結果から、超伝導共振器内の過剰準粒子数およびその揺らぎは入力マイクロ波パワーに比例することが明らかになった。このことは、超伝導共振器を利用した MKID の特性が、従来の予想とは異なり、入力マイクロ波パワーに大きく依存することを示唆している。

講演では、レート方程式の解の詳細とこれをもとにした MKID の雑音特性の解析の結果を報告する。

[1] T. Noguchi *et al.*, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **21**, pp. 756–759, 2011.

[2] 野口 卓、成瀬 雅人, 第 73 回応用物理学会学術講演会, 14a-A2-7, 2012.

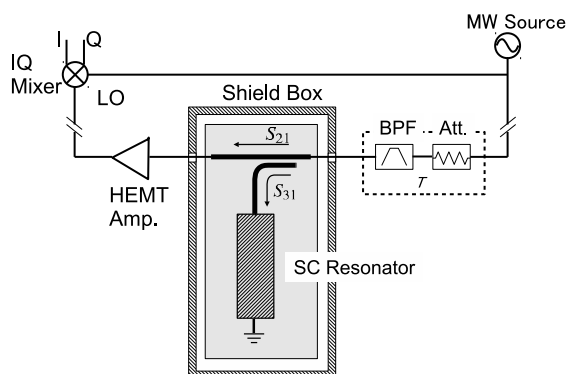


図 1. マイクロ波源と結合した超伝導共振器の模式図

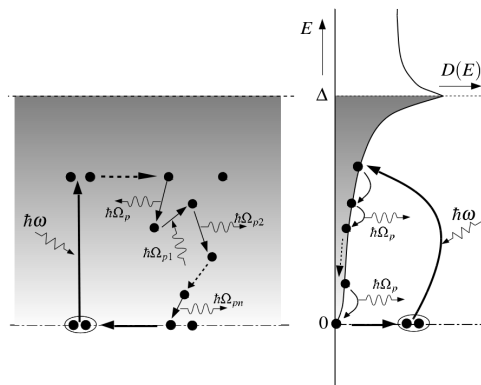


図 2. マイクロ波で励起した過剰準粒子の緩和過程