

ニオブ超伝導共振器による放射線検出実験

Radiation detection experiment with niobium superconducting resonator

埼玉大院, 安藤友彦, 成瀬雅人, 田井野徹, 明連広昭

Saitama University, Tomohiko Ando, Masato Naruse, Tohru Taino, Hiroaki Myoren

E-mail: t_ando@super.ees.saitama-u.ac.jp

1.研究目的

現在使われている主な放射線検出器として、シンチレーション検出器やゲルマニウム半導体検出器等が挙げられる。本研究では放射線検出器としてマイクロ波力学インダクタンス検出器 (Microwave Kinetic Inductance Detector: MKID^[1]) に着目した。この検出器は通常、マイクロ波帯 (3~8GHz) において動作する超伝導共振器であり、アレイ化の容易さ、高いエネルギー分解能が期待できることが利点として挙げられる。本研究では超伝導材料にニオブを用いた共振器によるガンマ線の検出などを報告してきた^[2]が、本講演では異なるタイプの共振器に α 線を照射し、その応答波形などから検出器の基本的性能を比較した。

2.力学インダクタンス検出器

力学インダクタンス検出器はインダクタ成分とキャパシタ成分からなる LC 共振器であり共振周波数は式(1)で与えられる。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

ここで超伝導体のインダクタンス L は、磁気インダクタンス L_m と力学インダクタンス L_k の和

($L = L_m + L_k$) で表され、 L_k のみが放射線のエネルギーによって変化する。単位体積あたりの L_k は式(2)で表される。(m : クーパー対の質量、 n : クーパー対の密度、 q : クーパー対の電荷量)

$$L_k = \frac{m}{nq^2} \frac{l}{S} \quad (2)$$

本研究では構成方法の異なる 2 種類の共振器、伝送線路型の MKID と集中定数型の LEKID^[3] との特性を比較することで放射線検出の物理モデルを検証した。

3.共振測定

シリコン基板上の厚さ 100nm のニオブ膜によってデバイスを作製し、1K の冷凍機を用いて共振波形を計測した。計測にはベクトルネットワークアナライザ(VNA)を使用し、透過損失 S_{21} を測定した。fig.3.1 に様子を示す。共振 Q 値は LEKID(2.45GHz) で約 13 万、MKID(4.821GHz) で約 7 万であった。

また、LEKID(2.45GHz) と MKID(4.821GHz) について温度に対する共振周波数の変化を測定し、共振器の応答性を求めた。応答性は LEKID で 4×10^{-18} [Hz/Nqp]、MKID で 8×10^{-18} [Hz/Nqp] と

求まった。

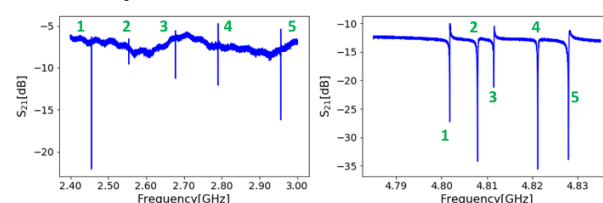


fig.3.1 frequency sweep(left: LEKID, right: MKID)

5.放射線照射実験

放射線源としてアメリシウム $Am(5.49MeV, 5.44MeV)$ を基板側に設置し照射実験を行った。fig.5.1 にそれぞれの共振器で観測されたイベントを示す。それぞれ S/N として LEKID で約 7、MKID で約 5 が得られた。緩和時間は LEKID で約 10 μs 、MKID で約 0.5 μs であった。

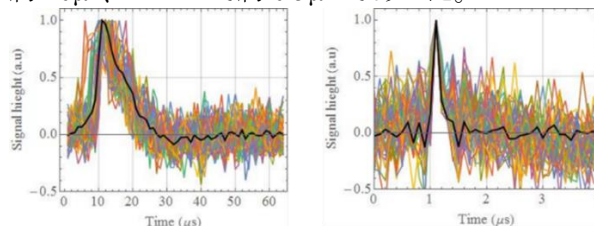


fig.4.1 α -ray detection (left: LEKID, right: MKID)

6.まとめ・今後の展望

2 つの共振器の間では応答性と緩和時間に大きな違いが見られた。今後は感度が高いインダクタンス部分の形状に自由度が高い LEKID に注目し、形状を工夫することによってクロストークを減らしたりエネルギー吸収効率を改善できるような最適化を行っていく。

謝辞

本研究のデバイス作成には国立天文台先端技術センターにあるクリーンルームの共同利用設備を使用しました。また、測定には理化学研究所の施設を利用し、大谷知行チームリーダー、美馬寛博士にご協力頂きました。

参考文献

- [1] P. K. Day et al., "A broadband superconducting detector suitable for use in large arrays", Nature, 425, 2003.
- [2] M. Naruse et al. "Absorber-coupled lumped element kinetic inductance detectors for gamma-rays", Physica C: 541 pp36-39, 2017.
- [3] S. Doyle et al, "Lumped Element Kinetic Inductance Detectors," J. of Low Temp. Phys., 151, (1), 530–536, 2008.