

# YSZ基板を用いた超伝導検出器の開発

**亀井 雄斗**<sup>1,2</sup>,石徹白 晃治<sup>2</sup>,伊藤 凌太<sup>1,3</sup>,小林 達哉<sup>5</sup>,

美馬 覚4, 中城 悠翔5, 大前 太河5, 大谷 知行<sup>1,3</sup>, 田井野 徹5

<sup>1</sup> 理研光量子工学研究センター,<sup>2</sup> 東北大学ニュートリノ科学研究センター,<sup>3</sup> 東北大学, 4 NICT, <sup>5</sup> 埼玉大学

## 1.94Zrの二重ベータ崩壊

<sup>94</sup>Zrが起こす二重ベータ崩壊は2*v*ββすら未発見

#### 。 崩壊モード

 $^{94}\mathrm{Zr} \longrightarrow ^{94}\mathrm{Mo} + 2e^- + 2\overline{\nu}_e$ Q-value : 1.1 MeV <sup>94</sup>Zr -871.1 keV To Excited State  $0^+ \rightarrow 2_{1^+}$ : Q-value 0.23 MeV  $\beta\beta$ •0 keV 0.87 MeV 脱励起 γ

## **2. LEKID** [4]

• 有感面積が比較的広い超伝導共振器 1本の読み出し線で多素子からの信号を読み出し可能 ○ 低エネルギー閾値、高エネルギー分解能に期待

|E|

## [検出原理]

エネルギー流入<sup>a</sup> → クーパー対破壊<sup>a</sup> → 力学インダクタンス変化<sup>b</sup> → 共振周波数変化

superconducting resonator

#### 2νββ半減期予想と実験的制限:

2 <i>νββ</i> の崩壊モード	予想 [yr] <sup>[1]</sup>	制限 [yr]
$0^+ \rightarrow 0^+$	9.4×10 <sup>21</sup>	1.1×10 <sup>17</sup> [2]
$0^+ \rightarrow 2_{1^+}$	7.2×10 <sup>32</sup>	2.1×10 <sup>20</sup> [3]

### 。 先行研究

NEMO-2:<sup>96</sup>Zr 0vββ探索実験

→ 副産物的に<sup>94</sup>Zr 2vββ に制限<sup>[2]</sup>.

HPGeを使った実験:  $0^+ \rightarrow 2_1^+(\gamma)$ に感度あり <sup>[3]</sup>

。 改善に向けて

高感度化 → "線源"="検出器" 高 S/N → 高エネルギー分解能

ground plane substrate LEKID-1 feedline Design of LEKID

 $N_{\rm s}(E)$ Detection principle *excerpted from* [5] superconducting resonator substrate w/  $2\nu\beta\beta$  nuclei pohon mediation  $2\nu\beta\beta$  event point Concept for  $2\nu\beta\beta$  detection

Jeteci

## 3. 素子作製と測定手法

#### • 基板

イットリア安定化ジルコニア (YSZ,  $Y_2O_3$ : **ZrO**<sub>2</sub>)

→ KIDの基板材料としては新素材 <sup>94</sup>Zrの自然同位体比:~17%



## 4. 結果と考察

信号の透過特性S21を評価、共振ピークを確認した。

#### ・Si基板LEKIDの測定





 $ZrO_2$ を室温下で安定化させるために $Y_2O_3$ を添加。 10×10×0.5 mm<sup>3</sup> 単結晶基板 (方位 (100))



イットリア濃度: 9.5 mol%, 13 mol%, 20 mol%など (Y濃度により熱的な特性が異なる<sup>[6]</sup>。)

。 デザイン

これまで使っていたデザイン(左)から変更(右) テスト用に個数の間引き

- フォノン収集効率増を目してグランド面の除去 (4 μm幅のグランド線でLEKID周囲を囲んだ)
- → 共振周波数 f<sub>0</sub>: 4.55 5.85 GHz (on Si 基板)
- +線幅:4 µm, resonator volume: 1843.8 µm<sup>3</sup>
- +LEKIDと読出し線の間隔: 50 200 µm → 50 µmに統一





→ ほぼ設計通りの共振周波数だった。 グランド面を除去した影響はないと確認できた。

#### ・ YSZ基板LEKIDの 測定

[dB]

 $S_{21}$ 



─→ 共振周波数が低周波側へシフトした。 歩留まりは100%にならず。

SONNETにより、共振周波数のシフトを1素子だけ確認した:

### Nb DCスパッタ $\rightarrow$ フォトリソ $\rightarrow$ Nbドライエッチング @ クリーンルーム

o RF測定

◆ 3He/4He希釈冷凍機 測定温度~0.16 K (Nbの転移温度:9.2K) ・ベクトルネットワークアナライザ(VNA)

帯域:10 MHz-13.5 GHz

。 測定サンプル

Si基板(デザイン変更チェック)、 9.5 mol% YSZ基板のLEKID



#### Si基板 [GHz] YSZ基板 [GHz] 3.89 5.85

素子が5=4であれば、 おおむね合っている。

共振Q値  $Q_i = (1.4 - 2.9) \times 10^4$  (共振ピークのフィッティングにより算出)

→ Si基板LEKIDに比べて2桁悪化 (旧デザインのYSZ基板LEKIDよりも1桁悪化<sup>[7]</sup>)

歩留まりも悪いため、作製不良による影響が考えられる。 今後、工程中の取り扱いに注意して再作製し、再評価を行う。

## **5. Acknowledge and References**

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Numbers JP23K13138. The exposure process in photolithography was performed using a Maskless UV lithography system at Nanoscience Joint Laboratory of CEMS, RIKEN.

[1] J. Suhonen, Nucl. Phys. A 864 63-90 (2011) [2] R. Arnold *et al.*, Nucl. Phys. A 658, 299-312 (1999) [3] E. Celi *et al.*, Eur. Phys. J. C. 83:396 (2023)

[4] S. Doyle, *et al.*, J. Low Temp. Phys., 151(1):530-536 (2008) [5] P. K. Day, et al., Nature, Vol.425, pp.817-821 (2003) [6] J. F. Bisson, et al., J. Am. Ceram. Soc. 83 [8], 1993-1998 (2000) [7] Y. Kamei, et al., preprint (2023), doi.org/10.21203/rs.3.rs-3488287/v1

July 5, 2024. UGRP2024@Osaka University, Osaka