

エアブリッジインダクタンスによる 超伝導力学インダクタンス検出 器の高感度化

埼玉大学大学院理工学研究科

成瀬雅人

謝辞

デバイス作製工程の一部に、理化学研究所テラヘルツイメージング研究チームのクリーン ルーム設備を使用させて頂きました.大谷チームリーダー,美馬博士 (現NICT)に感謝致 します.

2021/5/19 新学術「地下宇宙」2021領域研究会



カ学インダクタンス検出器(KID)

- 超伝導マイクロ波共振器 f₀∝(LC)^{-1/2}
- インダクタンスの変化を読み取る
- 高感度かつ多素子化可能
- meV以上のエネルギーに感度を持つ









高感度な部分の面積が可変 Marsden et al. Proc. SPIE, 2012



周波数多重読出





480素子アレイ

- 3インチシリコン基板上
- 100 nmのニオブ膜
- 共振が3-7 GHzに設計



素子の設計を変えて1000素子に拡張中





市販品で読出系を構築中



ADC (Keysight M3102A) 21年度9月導入予定



エネルギー分解能

Cardani+ APL 110 033504 (2017)

エネルギー分解能

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{1}{E} \frac{L}{L_k} \frac{\Delta^2 N_0 V}{\eta_E Q_l S(f,T)} \sqrt{\frac{4Q_C^2}{Q_l^2} \frac{k_B T_N}{P_{in} \tau_{qp}}} \propto \frac{1}{\eta_E \sqrt{\tau_{qp}}}$$

 η_E : excitation efficiency τ_{qp} : quasiparticle lifetime L: total inductance L_k :kinetic inductance Δ : superconducting gap V: volume Q_l : loaded quality factor Q_c : coupling quality factor P_{in} : readout signal's power

2021/5/19 新学術「地下宇宙」2021領域研究会

準粒子寿命



- 超伝導転移温度の約1/5-1/10程度で頭打ち
- 一般的に転移温度が低い(弱結合)材料ほど長い
- 動作温度=冷却コストとのトレードオフ

多素子化のためにニオブを用いて1Kで動作させたい!



T dependence of QP's lifetime in SC Al



KIDsにおける積分時間とは? NEP $\propto \sqrt{S} \cdot \left(\frac{dA}{dP}\right)^{-1} \cdot (\tau_{qp})^{-1}$



光子によって励起された準粒子(電子)がもとの クーパー対に戻るまでの時間 = 準粒子寿命

1つの光子が叩き上げた準粒子がもとに戻る まえに次の光子が来れば、2個分のエネルギー だけ共振周波数がずれる。

励起電子をずっと保っておく方法はない!



2021/5/19

新学術「地下宇宙」2021領域研究会



準粒子の再結合を防ぐ

- 準粒子は基板中のフォノンにエネルギーを渡して、基 底の対状態に戻る
- フォノンの状態密度を操作して相互作用を阻害してやればよい!

PHYSICAL REVIEW B 98, 014522 (2018)

Enhanced quasiparticle lifetime in a superconductor by selective blocking of recombination phonons with a phononic crystal

K. Rostem,^{1,*} P. J. de Visser,² and E. J. Wollack¹ ¹NASA Goddard Space Flight Center, 8800 Greenbelt Road, Greenbelt, Maryland 20771, USA ²SRON, Netherlands Institute for Space Research, Sorbonnelaan 2, 3584 CA, Utrecht, The Netherlands



~70 nmのパターンで Tc<400 mK, (Δ < 30 *GHz*) 以下で有効. Al (Tc ~1.2 K)に適用するには~20nmの加工が必要



•エアブリッジ技術



- 長さ10 um
- 幅 3 um
- 高さ 2um
- のニオブエアブリッジ作製に成功

ここをエアブリッジにする



期待する効果:

- 基板イベントの抑制
- エネルギー拡散の抑制



2021/5/19

第7回極低放射能技術研究会



エアブリッジKIDデザイン

・フォトリソグラフィー技術を用いて素子を作製した







1. レジストを塗布し、グレー スケール露光によりアーチ 状に加工する

Saltama University

2. Nbを堆積する

- 3. レジストを塗布し、露光・ 現像・エッチング処理により 不要なNbを除去する
- リフトオフプロセスにより、
 残りの不要なNbを除去する



2021/5/19



レジストによるブリッジ構造の作製

・グレースケール露光を行い、レジストをブリッジ状に加工した













2層目ニオブ膜の成膜

・Nbをスパッタし、素子の様子を観察した

	スパッタ条件 スパッタ時間:2[min] Nb膜厚 :500[nm]
6	 スパッタの応力によりレジスト・ Nbも歪んでしまう
	問題点 ・正確な位置合わせができない ・エアブリッジの形状にムラができてしまう

Nbスパッタ後の素子の様子 叉

2021/5/19



レジスト形状の改善

・エアブリッジ1つずつに溝を施したマスクを用いて素子作製した



露光後の素子



・重ね合わせ露光・現像・エッチング・リフトオフ処理により素子を作製した







エアブリッジの歩留まり

- エアブリッジを複数組み込んだKIDを作製
- 現状は、20µmで3つ, 50µmで1つは1素子に組み込める

<u>長さ20µm</u>









2021/5/19

新学術「地下宇宙」2021領域研究会







新学術「地下宇宙」2021領域研究会

2021/5/19



共振特性

- 20 um長まではエアブリッジによる共振Qの劣化は見られない.
- 50 um長でもQi>10⁵



新学術「地下宇宙」2021領域研究会





20um





50um

50um付け根

2021/5/19

新学術「地下宇宙」2021領域研究会

エアブリッジKIDのエネルギー分解能

- (測定系の問題で)分解能は3-5%で向上なし
- エアブリッジ部に当たったと思われるピークも確認できず

エアブリッジの信号はメインピーク・基板イベントに埋もれた可能性

エアブリッジ部分/全インダクタンス = 0.5%





5.292

5.293





2021/5/19



まとめ

- 50 um長のエアブリッジを組み込んでも高い共振Q値(>10⁵) を確認
- エアブリッジ部分の比率が低くエアブリッジ部分に当たった信号と他のインダクタンスに当たった信号を区別できていない.



 エアブリッジ比率の高い素子の作製及び多重読み出し測定 によって、エアブリッジによる効果の確認を目指す