

NbN ナノワイヤ直列アレイを用いた光子数検出器の臨界電流均一性 Distribution of Critical Current for Photon-Number Resolving Detector using Series Array of NbN Nanowire Shunted with Ti Resistors

埼玉大院理工¹ ○ 山澤大樹¹、成瀬 雅人¹、田井野 徹¹、明連 広昭¹

Saitama Univ.¹ ○ Taiki Yamasawa¹, Masato Naruse¹, Tohru Taino¹, Hiroaki Myoren¹,

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

1 はじめに

超伝導ナノワイヤ単一光子検出器 (Superconducting Nanowire Single Photon Detector : SNSPD) は、高計数率、低暗計数率、低ジッタ、高検出効率といった優れた特長を持つ [1]。また、複数の SNSPD を密に配置したアレイは光子数検出器として振る舞うことが知られており、光子源評価などへの応用が研究されている [2]。光子数検出器として抵抗並列型ナノワイヤ直列アレイによる光子数検出器が提案され、24 個の光子数検出までが報告されている [3, 4]。我々は、このナノワイヤ部に並列-直列接続を導入し、応答速度の高速化を目的として研究を行っている。本研究では、直列アレイ中でのナノワイヤ間の臨界電流分布に着目し、臨界電流の均一性について報告する。

2 実験および結果

図 1 は、MgO(100) 基板上に作製した抵抗並列型ナノワイヤ直列アレイによる光子数検出器の光学顕微鏡写真を示す。左下に 3 つの Ti による抵抗 R_p 、右下に $16\ \mu\text{m}$ 角の SNSPD、上部はコプレーナ線路である。一組のナノワイヤは、 $p = 1$ のミランダ構造で $L_M \sim 22\ \text{nH}$ となる。実際には直列に $L_{cpw} \sim 23\ \text{nH}$ が付加されている。

図 2 は液体ヘリウム温度で測定した $I-V$ 特性を示す。この $I-V$ 特性から、臨界電流は $I_c = 170\ \mu\text{A}$ であり $8\ \text{mV}$ 、 $18\ \text{mV}$ および $30\ \text{mV}$ 以上の直線部分の傾きから Ti による抵抗は $R_p = 66\ \Omega$ と見積もられた。また、臨界電流は 3 つのナノワイヤでバラついており $170\ \mu\text{A}$ と $200\ \mu\text{A}$ 以上の 2 グループに分類される。

臨界電流が比較的揃っている素子ではにおいて、波長 $850\ \text{nm}$ の VCSEL からのパルス光照射に対する抵抗並列型ナノワイヤ直列アレイによる光子数検出器の応答を測定した。比較的大きなレーザーパワーを照射した時の応答で、3 種類の高さの応答が明らかに観測された。立ち下が

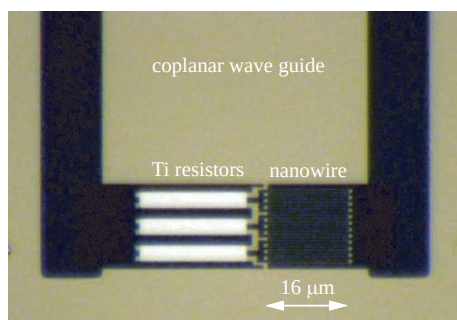


図 1: 作製した抵抗並列型ナノワイヤ直列アレイによる光子数検出器の光学顕微鏡写真。

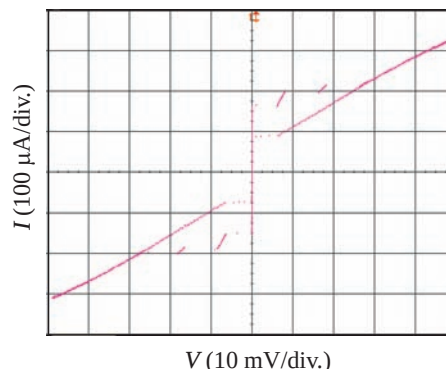


図 2: 作製した抵抗並列型ナノワイヤ直列アレイの液体ヘリウム温度で測定した $I-V$ 特性。

り時間 $\tau_f = 2.6\ \text{ns}$ の応答を示した。

さらに、検出器部分の大きさを $24 \times 32\ \mu\text{m}^2$ と大きくした検出器を用いて、並列化の効果を確認した。並列数 $p = 2$ 、直列数 $s = 8$ として、3 つの光子数が見分けられるように $N = 3$ のような構造とした。ナノワイヤ部分の臨界電流のばらつきから明確な 3 光子応答は確認できなかったが、大きな臨界電流のナノワイヤに対して低電流バイアスする事により 2 種類の高さの応答が明らかに観測された。また、大きな素子サイズにもかかわらず並列数 $p = 2$ で期待される立ち下がり時間 $\tau_f = 2.8\ \text{ns}$ の応答を示した。結果として並列ナノワイヤのインダクタンスが並列数 p と直列数 s の比によって決定され、設計可能であることが示唆された。

作製した素子の $I-V$ 特性の測定結果より、小さい臨界電流のナノワイヤと 2 つの大きな臨界電流のナノワイヤ 2 つに大別できることから 3 つのナノワイヤのうち外側のナノワイヤが中心のナノワイヤに比べて大きな臨界電流を持っていると考えられる。これが、電子線描画の工程に起因していると仮定し 3 つのアレイの上下にそれぞれダミーのナノワイヤを描画することにより臨界電流の均一性を図った。結果として、ダミーのナノワイヤを作製する事により中央の 3 つのナノワイヤの臨界電流は均一となることがわかった。

講演では、ナノワイヤの臨界電流の均一化を図った素子における光応答について報告する。

参考文献

- [1] A. Pearlman et al., *IEEE Trans. Appl. Supercon.*, Vol. 15, No. 2, pp. 579–582, 2005.
- [2] E. A. Dauler et al., *J. Modern Opt.*, Vol. 56, No. 2–3, pp. 364–373, 2009.
- [3] S. Jahanmirinejad et al., *App. Phys. Lett.*, Vol. 101, 072602, 2012.
- [4] Z. Zhou et al., *Opt. express*, Vol. 22(3), pp. 3475–3489, 2014.
- [5] 傳田哲史他, 2019 年第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 11p-S321-5, 2019.