

超伝導 NbTiN ナノワイヤを用いた単一光子検出技術の開発

Development of single photon detection technology using superconducting NbTiN nanowire

情通機構¹, 神戸大², 名大³, JST さきがけ⁴ ○三木 茂人^{1,2}, 宮嶋 茂之¹, 藪野 正裕¹,

知名 史博¹, 山下 太郎^{3,4}, 寺井 弘高¹

NICT¹, Kobe Univ.², Nagoya Univ.³, JST-PRESTO⁴, °S. Miki^{1,2}, S. Miyajima¹, M. Yabuno¹, F. China¹,

T. Yamashita^{3,4}, and H. Terai¹

E-mail: s-miki@nict.go.jp

超伝導ナノワイヤ単一光子検出器(Superconducting Nanowire Single Photon Detector; SSPD)は、紫外から中赤外におよぶ広帯域領域において高い検出効率を有し、低暗計数率、低タイミングジッタ、高計数率を実現することのできる光子検出器として注目されており、既に量子暗号鍵配送試験や様々な量子情報通信技術、生細胞観察、長距離レーザ光通信など様々な応用技術への適用がなされている。本発表では我々がこれまで行ってきた、超伝導窒化ニオブチタン(NbTiN)薄膜を用いた SSPD の研究開発状況について報告する。

SSPD は膜厚 5-10nm 程度の NbTiN 薄膜によるメアングダ状のナノワイヤによって構成される。SSPD への光子入射イベントを効率よく検出するために、光共振構造の付加や狭線化(線幅~60nm)、アバランシェ型構造などを採用することにより、通信波長帯域($\lambda=1550\text{nm}$)におけるシステム検出効率 80%以上、暗計数率 10 カウント/秒以下、タイミングジッタ~60ps の性能を示す事に成功している[1]。また、波長 500-1000nm の波長領域においても 70%以上の高いシステム検出効率を示す事に成功している[2]。NbTiN-SSPD は 100V 交流電源で自動連続冷却が可能な小型ギフォード・マクマホン(GM)式冷凍機で動作する為、ユーザビリティに優れた高性能光子検出システムとして、今後のさらなる幅広い分野への応用展開が期待される。

SSPD のさらなる高機能化を図る為に我々は現在、多数個の SSPD を 2 次元状に配置した単一光子イメージングセンサの実現に向けた研究開発を実施している。実現にむけた大きな技術課題の一つとして、高画素化に伴う高周波信号線の増大による冷凍機システムへの熱負荷の増大が挙げられるが、我々は極低温環境下で低消費電力動作が可能な超伝導単一磁束量子(Single Flux Quantum; SFQ)回路を用いた信号多重化技術を採用することにより、解決を試みている。これまで、64 ピクセル SSPD アレイと 64 入力 SFQ エンコーダ回路を組み合わせることで同一冷凍機内での動作実証に成功しており[3]、SSPD アレイの読み出し方式として $2 \times N$ 個の出力で $N \times N$ 個アレイの読み出しが可能な行列読出構造と組み合わせることにより、1024 ピクセルまでの拡張が可能であると考えている。この実証試験として 4×4 ピクセルの行列読出型 SSPD アレイと SFQ エンコーダによる動作実証試験にも成功している。詳細は講演で報告する。

謝辞: 本研究の一部は JSPS 科研費(JP26249054, JP18H05245, JP16H02214)、JST-CREST(No. JPMJCR1671)、公益財団法人光科学技術研究振興財団の助成を受けて実施された。また SFQ 回路は、国立研究開発法人産業技術総合研究所(AIST)の超伝導クリーンルーム(CRAVITY)において作製された。

参考文献: [1] S. Miki et al., OE 25, 6796 (2017) [2] T. Yamashita et al Sci. Rep. 6, 35240 (2016) [3] S. Miyajima et al, OE 26, 29045 (2018)