

誘電体多層膜を用いた超伝導ナノワイヤ単一光子検出器の光学設計

Optical design of superconducting nanowire single-photon detectors with dielectric multilayer multilayer

○山下 太郎¹、三木 茂人¹、寺井 弘高¹ (1. 情通機構)

○Taro Yamashita¹, Shigehito Miki¹, Hirotaka Terai¹ (1.NICT)

E-mail: taro@nict.go.jp

超伝導ナノワイヤ単一光子検出器 (superconducting nanowire single-photon detector; 以下 SSPD) は、高検出効率、低ダークカウント、高時間分解能等の優れた特徴により、近年通信波長帯を利用する量子暗号や量子光学分野では必要不可欠なデバイスとして幅広く応用されている。さらに最近では、可視波長帯を用いるライフサイエンス分野においても、従来用いられてきた半導体検出器に比べ、ノイズの小さい SSPD の優位性が明らかになりつつある[1]。このような状況の中で、今後 SSPD がより幅広い分野で利用されるためには、その応用分野に応じて検出効率の波長特性を柔軟に設計することが重要となる。SSPD の検出効率は超伝導ナノワイヤへの光吸収効率に比例するため、デバイスの光学設計手法を確立することが必要不可欠である。

そこで本研究では、誘電体多層膜構造を採用することで、光吸収効率の波長特性を柔軟に設計可能とする手法の検討を行った。図 1 に、誘電体多層膜構造をもつ SSPD の概略図を示す。誘電体多層膜をもつ基板の上に超伝導ナノワイヤを配置し、光はナノワイヤ側から入射する。今回、超伝導ナノワイヤとしては窒化ニオブ (NbN)、誘電体多層膜には二酸化ケイ素 (SiO₂) 及び酸化チタン (TiO₂)、そして基板にはシリコンを仮定した。単純な多層膜構造における吸収率の最適化であれば、一般的な薄膜計算ソフト

ウェアを用いることで可能であるが、SSPD の場合にはナノワイヤのミアンダ構造が存在するため、薄膜計算の結果をそのまま採用することができない。入射光の偏光依存性も計算できない。そこで今回我々は、2 段階に分けて光学シミュレーションを行うことにより、実際の SSPD 構造における光吸収効率の最適化を行った。まず薄膜計算ソフトウェアにより、NbN 層における光吸収効率の波長特性の設計・最適化を行い、誘電体多層膜における各層の膜厚を求める。そして、得られた設計値を用いて有限要素解析ソフトウェア (COMSOL Multiphysics 4.4) により、ナノワイヤ構造を仮定した場合の光吸収効率の波長特性及び偏光依存性を計算した。詳細は講演で報告する。

[1] T. Yamashita *et al.*, Optics Express vol. 22, issue 23, pp. 28783-28789 (2014).

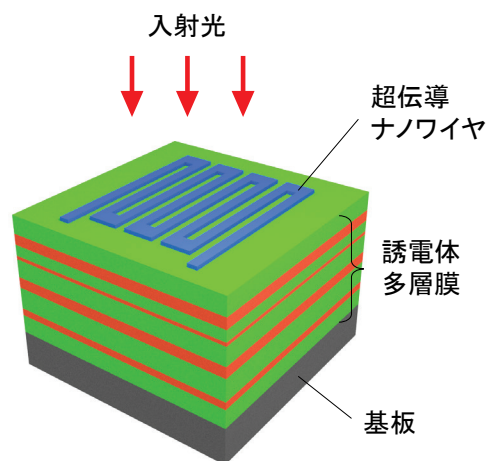


図 1. 誘電体多層膜 SSPD の概略図。