

ナノスロットアンテナを用いた超伝導中赤外光検出器の検討 Study on Mid-Infrared Superconducting Photo-detectors with Nano-slot-antennas

堀川隼世^{1,2}, 川上 彰², 兵頭政春², 田中秀吉², 武田正典³, 島影 尚¹茨城大院理工¹, 情報通信研究機構², 静岡大院理工³J. Horikawa^{1,2}, A. Kawakami², M. Hyodo², S. Tanaka², M. Takeda, and H. Shimakage¹Ibaraki Univ.¹, NICT², Shizuoka Univ.³Email: 12nd1091@hcs.ibaraki.ac.jp

中赤外光領域はすでに InSb, HgCdTe 光導電素子など優れた検出器が実現されているが, 高速性・高機能化に於いて更なる性能向上が望まれている. 一方, THz 領域では薄膜アンテナを利用した準光学 HEB の研究開発が進められており, 我々も IF 帯域 2 GHz, 動作周波数 3.1 THz に於いて, ミキサ雑音温度 2800 K (DSB) の高速・低雑音検出器を報告している. そこで中赤外領域での準光学 HEB 構造を検討, 高速性・高機能中赤外光検出器の開発を目指している. 既に中赤外光領域において, アンテナインピーダンス, 実効面積など基礎特性を評価しており[1][2], 今回, アンテナ実効面積の増大を目的としたアンテナのフェーズドアレイ化と中赤外光検出器の設計・試作を行った.

中赤外スロットアンテナ 1 つ当たりの実効面積は $3.5 \mu\text{m}^2$ 程度と小さい. そこで充分な受光面積を確保するための一方法としてアンテナのフェーズドアレイ化を試みている. 図 1 に試作した中赤外光検出器の概略図を示す. 中赤外光検出器はマイクロストリップ線路 (MSL) で接続された複数のスロットアンテナから成るフェーズドアレイアンテナと, 超伝導検出部により構成されている. アンテナからの位相を維持して加算する為に, アンテナ間の MSL 長は波長整数倍に設定している. また二線路の並列接続後, $\lambda/4$ 変換器を用いてアンテナ出力インピーダンスを 50Ω に維持している. 超伝導検出部は窒化ニオブ (NbN) 超伝導ストリップで構成しており, 検出器動作時は臨界電流 (I_C) 付近に定電流バイアス (I_B) を印加, 中赤外光入射による I_C の減少 ($I_C < I_B$) により発生する電圧出力により入射光検出を想定している.

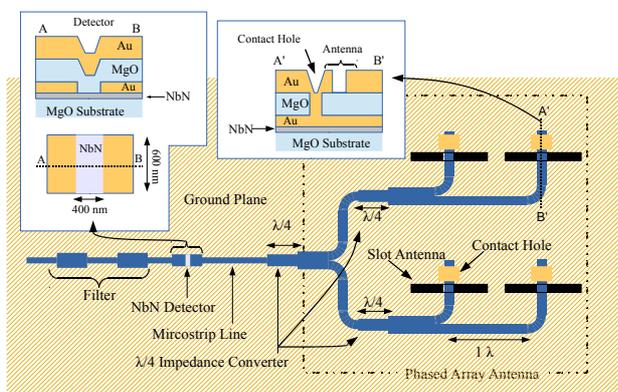


図 1 スロットアンテナを用いた中赤外光検出器の概略図

中赤外領域でのアンテナ構造構築にはナノサイズの微細構造が必要である. そこで今回, 全リソグラフィ工程に電子線描画を用い, また低ダメージで耐フッ素性の高いイオンビームスパッタ MgO 薄膜および NbN 薄膜を無機レジストとして用いた新たな作製プロセスを考案した. 作製プロセスの詳細は講演にて説明する.

図 2(a), (b), (c) に作製した素子の顕微鏡写真を示す. 今回の設計波長は $4.9 \mu\text{m}$. スロットアンテナ長は 2600 nm , 幅 200 nm , 膜厚 50 nm の Au 薄膜で作製しており, 動作波長時のアンテナインピーダンスは約 50Ω と考えている. アンテナ数は最大 8×8 個まで設定した. 入射光はアンテナ給電点にコンタクトホール若しくはスタブにより接続された MSL により検出部に伝達する. MSL は幅 200 nm で, 膜厚 50 nm の Au 薄膜で作製した. アンテナの金属部分は MSL の接地でもあり, MSL-接地間の誘電体層には 50 nm の酸化マグネシウム (MgO) 薄膜を用いている. 今回, 中赤外領域において透明で NbN との格子整合性が良い単結晶 MgO 基板を使用した. 超伝導検出部には長さ約 400 nm , 幅 600 nm , 膜厚 9 nm のエピタキシャル NbN 超伝導薄膜ストリップを用いている.

図 2(d) に超伝導検出部の I-V 特性を示す. I_C は約 2 mA , 素子抵抗は約 66Ω を示した. 応答特性等詳細は当日報告する.

【謝辞】本研究の一部は科学研究費補助金 (24360142), (25630156) の助成を受けたものである.

[1] A. Kawakami et al., *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 21, pp. 632-635, 2011.

[2] J. Horikawa et al., CREO-PR, WPC-10, 2013.

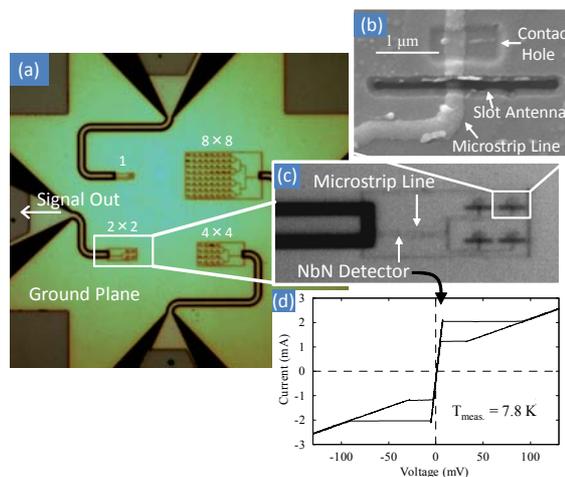


図 2 作製した中赤外光検出器の顕微鏡写と検出器の I-V 特性
(a) 光学顕微鏡像 (b) アンテナ SEM 像
(c) 2×2 素子の光学顕微鏡像 (d) 検出器 I-V 特性