

課題番号 : F-20-UT-0069
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : シリコン上のナノホールアレイを用いた背面照射型赤外検知法
Program Title (English) : Backside-illuminated infrared detection based on silicon nanohole array
利用者名(日本語) : 安永峻、菅哲朗
Username (English) : Shun Yasunaga, Tetsuo Kan
所属名(日本語) : 電気通信大学 情報理工学研究科 菅研究室
Affiliation (English) : Kan laboratory, Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications
キーワード/Keyword : リソグラフィ・露光・描画装置, 表面プラズモン共鳴, 赤外線, フォトディテクタ

1. 概要(Summary)

シリコン基板上に並べた金属ナノアンテナは、シリコンのみのフォトディテクタより長波長を検知可能な近赤外ディテクタとして注目されている。ナノアンテナは表面プラズモン共鳴 (SPR) を誘起し、効率よく高エネルギーキャリアを生成する。シリコンと金属の界面にはバンドギャップより小さなエネルギー障壁を有する Schottky 接合が形成されるため、電流として読み出すことが可能である。本研究はこの原理をもとに高感度化を目指す。Schottky 界面の 3 次元化と基板背面からの光入射がそれぞれ効果的であることが知られており、本研究ではナノホール底部にアンテナを埋め込み背面から照射する構造を採用した。また、連続的な電流の読み出しのためにアンテナは電氣的に外部と接続される必要があるため、アンテナに対し斜上から金属を製膜し側壁に電氣的接続を確保した。本構造を実際に作製し、Schottky 接合に逆バイアス電圧を印加して計測した結果、波長 1.55 μm において 9.8 mA/W の感度を実現した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

超高速大面積電子線描画装置

高速シリコン深堀りエッチング装置

【実験方法】

まずデバイス作製について述べる。第一に、電子線 (EB) リソグラフィおよび深堀りエッチング (DRIE) により、n 型シリコン (n-Si) ウェハ上に幅 150 nm、深さ 500 nm 程度のナノホールを形成した。EB リソグラフィにおいては、電子線レジスト ZEP520A-7 を 200 nm 厚で製膜し、120 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ で描画・現像した。ナノホール形成の後レジストを除去し、基板に対してわずかに斜め上から銅を蒸着により

製膜した。これにより、ナノホール底部に局在表面プラズモン共鳴 (LSPR: Localized Surface Plasmon Resonance) を誘起する金属アンテナ構造と、ナノホール側面にアンテナと外部回路を接続する金属薄膜が同時に形成される。その後基板上にオーミック接触となるアルミニウムで電極を形成し、信号読出し回路とした。

本ディテクタに対して、波長 1.1–1.8 μm の赤外線を裏面から入射し、 -0.5 V のバイアス電圧を印加したデバイスに生じた電流変化および赤外光の反射率を計測した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

デバイス作製によって高さ 0.61 eV のエネルギー障壁をもつ Schottky 障壁が銅・シリコン界面に形成された。ナノホールのピッチをパラメータとして計測した光感度計測では、ピッチが 500 nm 以上の領域でナノホールの密度に比例して光感度が向上し、波長 1.55 μm 、ピッチ 500 nm で 9.8 mA/W を得た。これは同検出原理を持つアレイ型赤外ディテクタとして最も高い感度である。さらに、感度向上が見られた区間では光反射率が低下し、高効率な光電変換が確認できた。一方、ピッチがさらに狭まると感度は向上しないが、波長特性が変化した。LSPR の近接場が相互干渉した結果であると考えられ、デバイスパラメータの最適化において重要な指標になる。

4. その他・特記事項(Others) なし。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

Shun Yasunaga *et al.*, “Densely Arrayed Active Antennas Embedded in Vertical Nanoholes for Backside-Illuminated Silicon-Based Broadband Infrared Photodetection”, *Adv. Mater. Interfaces* **2020**, 7(21), 2001039.

6. 関連特許(Patent) なし。