

導波路型 InP フォトトランジスタによる赤外光検出

Infrared photodetection using waveguide InP photoFET

○赤澤 智熙¹, 隅田 圭¹, モンフレ ステファン², プフ フレデリック², トープラサートポン カシディット¹, 高木 信一¹, 竹中 充¹ (東大工¹, STMicroelectronics²)

○Tomohiro Akazawa¹, Kei Sumita¹, Stéphane Monfray², Frederic Boeuf², Kasidit Toprasertpong¹, Shinichi Takagi¹, and Mitsuru Takenaka¹ (The Univ. of Tokyo¹, STMicroelectronics²)

E-mail: akazawa@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【背景・目的】 III-V 族半導体を Si-on-insulator (SOI) 基板上に接合し、シリコン光回路の性能を向上する異種材料集積が広く研究されている。我々は、低損失かつ高効率な光位相シフタとして、InP などの III-V 族半導体を Si 導波路上に貼り合わせた MOS 型光変調器を実証してきた [1][2]。

一方で、Si フォトニクス技術を用いてプログラマブル光回路を実装し、機械学習や量子計算に応用する研究が加速している。光位相シフタを電気的に制御することでプログラミングすることから、導波路中の光強度をモニタしながら、各光位相シフタの位相量を正確に設定することが望まれる。本研究では、InP/Si MOS 型光位相シフタと集積可能な光パワーモニタとして、導波路型 InP フォトトランジスタを作製し、評価を行なったので報告する。

【作製手法】 Al₂O₃ を用いて、30 nm n-InP 層を含む InP エピタキシャル基板を SiO₂ によって埋め込まれた Si リブ導波路上に貼り合わせた。n-InP のドーピング濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。InP 基板除去後、電子線リソグラフィによって、InP メサを形成し、PECVD によって SiO₂ クラッド層を成膜した。最後に、電子線蒸着装置を用いて Ni/Au を堆積し、リフトオフによってソース/ドレイン電極を形成した。また、Si 導波路がゲート電極として機能する構造とした (Fig. 1)。

【実験結果】 InP のバンドギャップは 1.3 eV であり、波長 1310 nm の光 (0.95 eV) におけるバンド端吸収はないにもかかわらず、Fig. 2a に示すように明瞭な光電流が検出された。さらに、光入射によるトランジスタの閾値低下が起きており、フォトゲーティングによるフォトトランジスタ動作が観察された (Fig. 2b)。また、-54 dBm の入射光強度に対して、 10^2 A/W 以上の高い感度が得られ、1 μA 程度の光電流が取り出せることが分かった (Fig. 3)。光検出原理としては、Fig. 4 に示すように、InP と金属界面における熱正孔放出や InP のバンドギャップ中に存在する欠陥準位を介した電子正孔対生成が考えられる。また、光照射で生成した正孔が InP チャネル中に蓄積することで、InP のバンド曲がりが生じ、トランジスタ電流が変調されたと考えられる。以上の結果から、導波路型 InP フォトトランジスタが InP/Si MOS 型光位相シフタと集積可能な光パワーモニタとして応用可能であることが分かった。

【謝辞】 本研究の一部は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託事業 (JPNP14004, 16007) および JST、CREST、JPMJCR2004、JST、未来社会創造事業、JPMJMI20A1 の支援を受けて実施した。また文部科学省「ナノテクノロジープラットフォーム」事業 (課題番号: JPMXP09F21UT0042) の支援を受けて、東京大学武田先端知スーパークリーンルーム微細加工拠点において実施された。InP エピ基板を提供頂いた住友電工伝送デバイス研究所の八木英樹氏、伊藤友樹氏、森大樹氏に感謝する。

【参考文献】 [1] J. H. Han, et al., Nat. Photonics 11, 486 (2017). [2] S. Ohno, et al., Opt. Express 28, 35663 (2020).

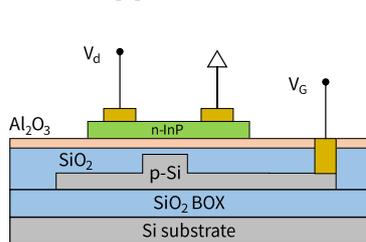


Fig. 1 Schematic image of the proposed device.

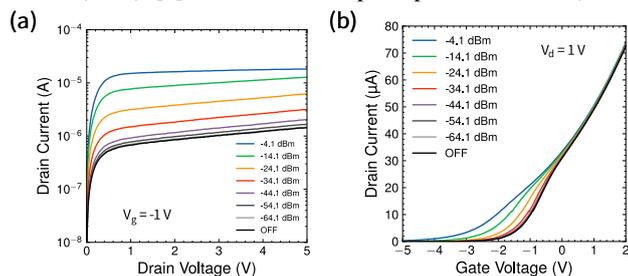


Fig. 2 (a) I_d - V_d (b) I_d - V_g characteristics under light illumination.

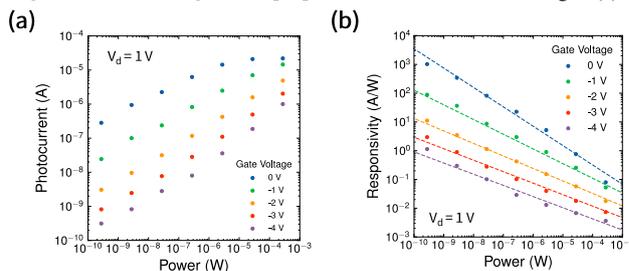


Fig. 3 (a)(b) Relationship between photocurrent/responsivity and input power.

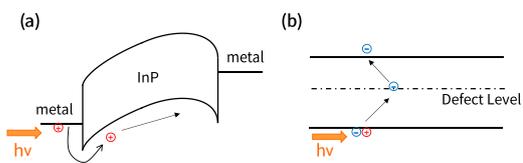


Fig. 4 Possible physical origins of light absorption: (a) internal photoemission (b) defect-assisted absorption.