

中赤外フォトニクスのための Ge/Si ハイブリッド MOS 型光変調器の提案 Proposal of Ge/Si hybrid MOS optical modulators for mid-infrared photonics

東大工学部¹

○田口 富隆¹, 高木 信一¹, 竹中 充¹

Univ. of Tokyo¹

○Yoshitaka Taguchi¹, Shinichi Takagi¹, Mitsuru Takenaka¹

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

【はじめに】現在主流となっている光ファイバ通信においては波長 $1.3\ \mu\text{m} - 1.55\ \mu\text{m}$ の近赤外光を用いている。しかし、さらなる通信需要の増大に対応するために波長帯域の拡大が求められており、波長 $2\ \mu\text{m}$ 帯を用いた光通信が注目されている。加えて、波長 $2\ \mu\text{m} - 15\ \mu\text{m}$ の中赤外光を用いた気体や生体分子センシング用途に関しても注目されている[1]。光通信における光信号送信やセンシングにおけるロックイン検波を行うためには、中赤外光で動作する光強度変調器が不可欠である。

我々は、III-V 族半導体を Si 導波路上に貼り合わせたハイブリッド MOS 型光変調器を提唱・実証してきた [2]。本論文では、III-V 族半導体に替わり、Ge 薄膜を Si 導波路上に貼り合わせた Ge/Si ハイブリッド MOS 型光変調器を提案する。Ge は広い波長域に渡って材料中の正孔濃度変化による光吸収率変化が大きいことが予測されている [3,4]。このことから、ハイブリッド MOS 構造において Ge 中の正孔による自由キャリア吸収を用いることで、広い中赤外光波長帯域において光強度変調が可能になると期待される。本発表では、Ge/Si ハイブリッド MOS 構造を用いた中赤外光変調器の変調特性等を数値解析したので報告する。

【構造及び計算手法】提案する素子構造を Fig. 1 に示す。220 nm 膜厚の Si-on-insulator (SOI) 基板上に形成した n 型 Si リブ光導波路上に、100 nm 膜厚の p 型 Ge 薄膜がゲート絶縁膜を介して貼り合わされた MOS 構造となっている。Ge 層と Si 導波路間にゲート電圧を印加することで、貼り合わせ Ge MOS 界面に正孔が蓄積し、自由キャリア吸収による光強度変調が得られる。変調特性を解析するため、以下の手順で素子をシミュレーションした。まず、ゲート電圧印加時の MOS 構造中の電子及び正孔の分布を TCAD を用いて計算した。これらのキャリアの分布から、文献[3,4]で与えられる予測式に従って各位置での吸収係数変化を求めた。別途求めた光モード分布との重なり計算から、変調器全体の等価吸収率を算出し、デバイスの性能を求めた。換算ゲート酸化膜厚(EOT)は、3nm とした。

【結果】波長 $2\ \mu\text{m}$ における変調器の吸収変化とゲート電圧(V_g)の関係を解析した結果を Fig.2 に

示す。閾値電圧の影響を排除するため、フラットバンド電圧 (V_{fb}) からの変化量でゲート電圧を示している。キャリア蓄積を用いていることから、ゲート電圧に対してほぼ線形に吸収量が増加することがわかる。バイアス電圧を 1.5V を中心に振幅 2V で変調した場合、吸収変化は 8.55dB/mm が得られた。3 dB の消光比を得るために必要な素子長は約 $350\ \mu\text{m}$ となった。Ge 中の大きな自由キャリア吸収を用いることで、位相変調を用いた Si 光変調器よりも小型化が可能であることが示唆された。Ge 中の電界吸収効果を用いた変調と比較すると、変調効率には劣るものの、広い中赤外波長域で動作が期待される。また温度依存性も電界吸収光変調器よりも格段に小さいことが期待される。このことから、今回提案した Ge/Si ハイブリッド MOS 型を用いた自由キャリア吸収を用いた強度変調器は中赤外フォトニクス応用において魅力的な特性を有することが分かった。

【参考文献】[1] R. Soref, "Mid-infrared photonics in silicon and germanium," Nat. Photonics, vol. 4, no. 8, pp. 495–497, 2010. [2] J.-H. Han et al., Nat. Photonics, vol. 11, no. 8, pp. 486–490, 2017. [3] M. Nedeljkovic, R. Soref, and G. Z. Mashanovich, IEEE Photonics J., vol. 7, no. 3, 2015. [4] M. Nedeljkovic, R. Soref, and G. Z. Mashanovich, IEEE Photonics J., vol. 3, no. 6, pp. 1171–1180, 2011.

【謝辞】本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構からの委託および JSPS 科研費 JP26220605 の助成を受けて実施したものです。

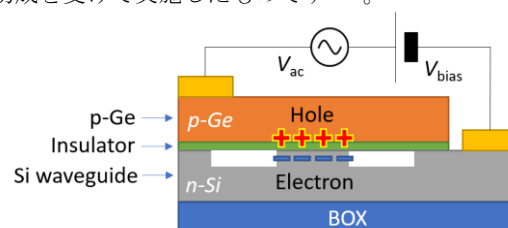


Fig. 1 Schematic of Ge/Si hybrid MOS optical modulator.

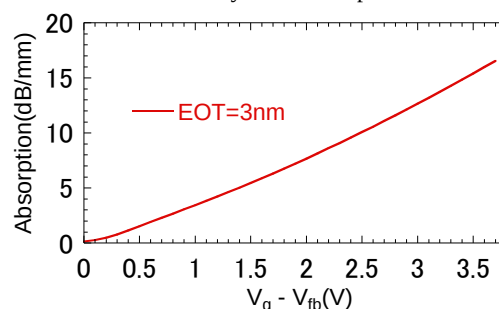


Fig. 2. Relationship between applied voltage and absorption.