貼り合わせ InGaAsP/Si ハイブリッド MOS 型光変調器に関する検討 Investigation of modulation efficiency of InGaAsP/Si hybrid MOS optical modulators using direct wafer bonding 東大院工¹, JST-CREST², 日本学術振興会特別研究員³

[○]韓 在勲^{1,2,3}, 竹中 充^{1,2}, 高木 信一^{1,2}
[○]韓 在勲^{1,2,3}, 竹中 充^{1,2}, 高木 信一^{1,2}
^OJaehoon Han ^{1,2,3}, M. Takenaka ^{1,2}, S. Takagi ^{1,2}
E-mail: hanjh@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】近年,高性能・省電力・小型光イン ターコネクションの実現に向け、シリコンフォト ニクスを用いた光集積回路が盛んに研究されて いる.しかし Si 光変調器の低い変調効率が,更 なる高性能化の妨げになっている. pn 接合型光 変調器においては 1 Vcm 程度が一般的となって いる.変調効率に優れた MOS 型光変調器におい ても、0.2 Vcmを上回る変調効率は達成されてい ない[1]. このような Si の限界を克服するため, 我々は導波路材料として SiGe や III-V 族半導体 を用いた光変調器の研究を進めてきた. その中で も III-V 族半導体である InGaAsP は, Si よりも高 い変調効率が得られると期待されている. 我々は これまでに、 InGaAsP を用いた pn 型光変調器を 提案している[2]. しかし, pn 接合における空乏 においては InGaAsP 中のホール濃度も同時に変 化することから,効果の大きい電子誘起屈折率変 化のみを利用することができない. その結果とし て,変調効率の低下や価電子帯間遷移による吸収 が増加してしまう問題があった.この問題を克服 するため、貼り合わせ法を用いた InGaAsP/Si hybrid MOS 型光変調器を提案し、その特性を数 値解析により明らかにしたので報告する.

【素子構造】図1に素子断面構造を示す.提案す る構造は,*n*-InGaAsPを,ゲート絶縁膜を介して *p*-Si 導波路メサ上に貼り合わせた InGaAsP/Si ハ イブリッド MOS 構造となる.ゲート電圧を印加 することで,*n*-InGaAsPMOS 界面には電子のみが 蓄積されることから,極めて大きな屈折率変化を 得られることが期待される.

【解析結果】図 2(a)に示すように、InGaAsP 中で は、Si とは異なり、プラズマ分散効果以外にバン ドフィリング効果による屈折率変化が起きる[3]. 図 2(b)に、バンドギャップ波長が 1.37 µm である InGaAsP の電子濃度による屈折率変化を解析し た結果を示す. *n*-InGaAsP は電子有効質量が軽い ことから Si よりも大きなプラズマ分散効果を有 する.また、状態密度が小さいことからバンドフ ィリング効果による屈折率変化も顕著となる.低 い電子濃度では、バンドギャップ収縮により逆向 きの屈折率変化も生じるが、図 2(b)の結果からも 分かるように、MOS 構造に蓄積される高い電子 濃度では、*n*-InGaAsP は *n*-Si より最大 17 倍のキ ャリア誘起屈折率変化を得ることが出来る.この 計算を用いて、図 1 に示した MOS 型光変調器の 特性を TCAD Sentaurus を用いて解析した.ゲート電圧に対する変調効率の推移を計算した結果を図3に示す.ここで,ゲート絶縁膜は SiO₂ として膜厚は5nm と仮定した [1].ゲート電圧を OV から変化させると MOS 界面で蓄積が生じ,変調効率は大幅に改善する.ゲート電圧が-1Vにおいて変調効率は0.066 Vcm となり,従来の Si 型光変調器に比べ約4倍程度変調効率が改善可能であることが分かった.この結果から,InGaAsP/Si ハイブリッド MOS 型光変調器は次世代の高効率光変調器として極めて有望であることが分かった.

【謝辞】本研究の一部は NEDO プロジェクト「超低消費電力 型光エレクトロニクス実装システム技術開発」および文科省 科研費補助金若手研究 A の助成により実施した.

【参考文献】[1] J. Fujikata, et al., JJAP 55, 04EC01 (2016). [2] 関根他, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 21p-S611-4. [3] J.-P. Weber, JQE 30, 1801 (1994).



図1. 貼り合わせ法を用いたInGaAsP/Si hybrid MOS型光 変調器の模式図.







図3. InGaAsP/Si hybrid MOS型光変調器の変調効率.