## 貼り合わせ法を用いた高性能 InGaAsP/Si hybrid MOS 型光変調器 High-modulation-efficiency InGaAsP/Si hybrid MOS optical modulators using direct wafer bonding 東大院工<sup>1</sup>,日本学術振興会特別研究員<sup>2</sup> ○韓 在勲<sup>1,2</sup>,高木 信一<sup>1</sup>,竹中 充<sup>1</sup> Univ. of Tokyo<sup>1</sup>, JSPS research fellow<sup>2</sup> <sup>O</sup>Jaehoon Han<sup>1,2</sup>, M. Takenaka<sup>1</sup>, S. Takagi<sup>1</sup> E-mail: hanjh@mosfet.t.u-tokyo.ac.jp

【はじめに】 シリコンフォトニクスは, 高速かつ 安価な光集積回路を実現する有力な技術として 近年注目されている. その中でも, より高性能か つ小型な光変調器の開発は,光集積回路の性能向 上及び集積化に欠かせない.しかし, Si 中の自由 キャリア効果による屈折率変調が十分に大きく なく, Si 光変調器では, 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,異種半導体と組み合わせることで克服する 研究が近年提案されている。我々は,図1で示し たような, n型 InGaAsP を p型 SOI 上に貼り合 わせたハイブリッド MOS 型光変調器を提案し, 報告してきた[2-4]. ゲート電圧印加により InGaAsP MOS 界面に電子を蓄積することで、電 子誘起屈折率変調のみを利用することが可能と なり、非常に高い変調効率が達成できる.本発表 では、このような InGaAsP/Si ハイブリッド MOS 型光変調器の特性を報告すると共に、今後の展望 についても述べる.

【結果】InGaAsPは、Siより大きい電子誘起屈折 率変化を持つ[2-4].また、InGaAsPの組成を調整 することで、バンド間光吸収を抑えながら C-band [2,3]と O-band [4]で各々その効果を最大にするこ とが出来る.ここでは、C-bandのために InGaAsP ( $\lambda_g = 1.37 \mu m$ )を、O-bandのために InGaAsP ( $\lambda_g = 1.19 \mu m$ )を用い、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いて *n*-InGaAsP と *p*-SOI をウェハボンディングした[5]ハイブリッド MOS 型位相シフタを有する非対称 MZI を作製し た.作製したデバイスの SEM 像および断面 TEM 像を図 2(a)、(b)に示す.この非対称 MZI から、

C-band (波長 1.55 µm)における電圧による位相変 化を図 3(a)に示す.この傾きから求めた変調効率 は 0.047 Vcm となった.また,O-band (波長 1.3 µm)での変調効率は 0.09 Vcm となった.図 3(b)か ら分かるように,この結果は既存の Si MOS 光変 調器と比較して約 3 倍(O-band)から 5 倍(C-band) 大きい変調効率であり,極めて高い変調効率を実 現した.

【展望】InGaAsP は電子誘起の屈折率変化が Si より極めて大きく,かつ吸収変化は Si のおよそ半部程度である.また,ハイブリッド MOS 構造により,InGaAsP では正孔が全く誘起されず価電子帯吸収を完全に除去することが出来る.このため,Si 光変調器と比べて,大幅に吸収変調を抑制した

高効率位相変調が可能である.このため,多値変 調などへの応用も期待される.また電子移動が大 きい InGaAsP により寄生抵抗が低減することか ら、変調速度の改善も期待できる.また,このハ イブリッド MOS 構造を用いることで,InGaAsP 以外の新材料の導入も考えられる。例えば,正孔 の光学特性に優れた SiGe や Ge などの材料と組 み合わせた光変調器への展開も期待される.

【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] 韓他, 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 14p-B4-2 (2016). [3] J.-H. Han, et al., IEDM2016, 25.5. [4] J.-H. Han, et al., OFC2017 (accepted). [5] J.-H. Han, et al., JJAP 55, 04EC06 (2016).



図1. 基板貼り合わせを用いたInGaAsP/Si hybrid MOS型 光変調器素子構造.







図3.光変調器の(a)位相変化特性と(b)変調効率.