マッハツェンダ変調器と半導体光増幅器の Si 上集積

Integrated Mach-Zehnder Modulator with Semiconductor Optical Amplifier on Si

NTT 先端集積デバイス研[1]，NTT ナノフォトニクスセンタ[2]，○開 達郎[1,2]，相原 卓磨[1]，
藤井 拓郎[1,2]，武田 浩司[1,2]，硲塚 孝明[1,2]，土澤 泰[1,2]，松尾 慎治[1,2]，
NTT Device Technology Labs[1], NTT Nanophotonics Center[2], ○Tatsurou Hiraki[1,2], Takuma Aihara[1],
Takuro Fujii[1,2], Koji Takeda[1,2], Takaaki Kakitsuka[1,2], Tai Tsuchizawa[1,2], and Shinji Matsuo[1,2]
E-mail: tatsurou.hiraki.gu@hco.ntt.co.jp

1．背景

通信トラフィックの増大に伴い、光送受信器の集積化による低コスト化が期待されている。Si フォトニクスは集積化に有望な技術であり、これまでに Si マッハツェンダ変調器と高性能なパッシブ部品を有する光送受信器チップが多数報告されてきた。しかし、一般的な Si マッハツェンダ変調器は $V_\pi L$ と光損失が大きく、低消費電力化と高出力化が困難である。その課題を解決するため、化合物半導体素子のヘテロジニアス集積が重要である。本研究では、マッハツェンダ変調器の $V_\pi L$ 低減と光損失補償に向けて、薄膜 III-V 族半導体を用いた高効率マッハツェンダ変調器 [1]と光増幅器を Si 導波路回路上に集積した。

2．設計と作製

図 1 (a), (b)に変調器の位相シフタと光増幅器の断面図をそれぞれ示す。位相シフタは、先行研究で報告した薄膜 InGaAsP (λ_g = 1.3 μm) p-n ダイオード変調器であり、50%程度の高い光閉じ込め係数を有する [1]。光増幅器は、変調器と同じ厚さの薄膜 InP 層中に InGaAsP 系 multiple quantum well (MQW) コア(λ_g = 1.52 μm) が埋め込まれた p-i-n ダイオードである。活性層断面積が小さな埋め込みヘテロ接合構造により、低電流で高利得が得られる。また、コア直下の 220 nm 厚 Si 導波路に光を結合させることが可能であり [2]、活性層への光閉じ込め係数は 10%程度まで低減され、高出力化が可能となる。位相シフタと光増幅器はそれぞれ 500, 300 μm 長であり、薄膜 InP テーパにより Si 導波路及び Si 多モード干渉計と低損失、低反射で結合可能である [2]。作製工程では、まず増幅器の MQW 領域が直接接合により Si 基板上に形成された後、変調器コア(n 型 InGaAsP 層)領域がエピタキシャル成長により形成される。

3．測定結果

図 2 に作製したチップの fiber-to-fiber ゲインと光増幅器注入電流の関係を示す。入力光波長は 1530 nm、チップに結合した入力光はまず光増幅器で増幅された後、変調器に入力される。光増幅器は、24 mA 程度の電流でファイバ結合損失とマッハツェンダ変調器の損失を補償し、低消費電力なロスレス動作が実現された。図 2 中には SOA 電流 26 mA, 変調器入力振幅 4 V_{pp}、non-return-to-zero 28 Gbit/s におけるアイパターンの測定結果も示す。高効率変調器構造により、500 μm 長のコンパクトな位相シフタにおいて低電圧動作が確認できた。

4．まとめ

低消費電力なマッハツェンダ変調器と光増幅器の Si 基板上一体集積に成功し、光送受信器の小型化、低コスト化、低消費電力化、高出力化への新たな展開の可能性を示した。

参考文献

[1] T. Hiraki, et al., Opt. Express, **27**, pp. 18612-18619 (2019).
[2] T. Aihara, et al., Proc. in OFC 2018, W3F.4 (2018).

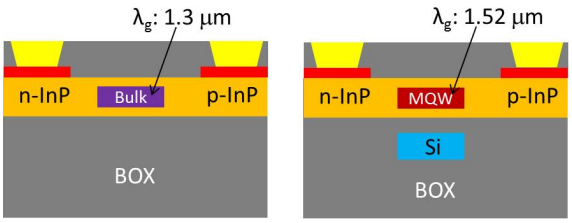


Fig. 1. Cross sections of (a) phase shifter and (b) optical amplifier.

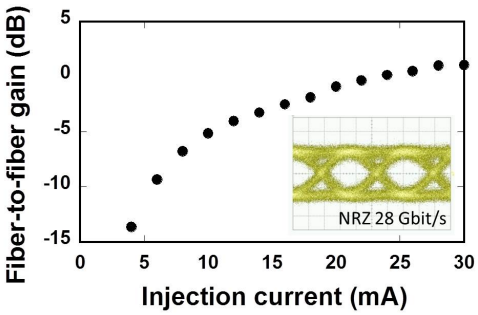


Fig. 2. Measured fiber-to-fiber gain and eye diagram.

© 2019年 応用物理学会