

# Ge/Si リブ導波路構造を用いた電界吸収型光変調器の高温動作に関する検討 Study on High-Temperature Operation of Electro-Absorption Optical Modulator, Using Ge/Si Rib Waveguide

技術研究組合 光電子融合基盤技術研究所<sup>1</sup>, 沖電気工業<sup>2</sup>, 豊橋技術科学大学<sup>3</sup>

PETRA<sup>1</sup>, Oki Electric Industry Co., Ltd.<sup>2</sup>, Toyohashi Univ. Tech.<sup>3</sup>

藤方 潤一<sup>1</sup>, 野口 将高<sup>1</sup>, 鄭 錫煥<sup>1</sup>, 太繩 陽介<sup>1,2</sup>, 志村 大輔<sup>1,2</sup>, 川下 和樹<sup>3</sup>, 片廻 陸<sup>3</sup>,  
小野 英輝<sup>1,2</sup>, 岡山 英彰<sup>1,2</sup>, 高橋 博之<sup>1,2</sup>, 八重樫 浩樹<sup>1</sup>, 石川 靖彦<sup>3</sup>, 中村 隆宏<sup>1</sup>

Junichi Fujikata<sup>1</sup>, Masataka Noguchi<sup>1</sup>, Seok-Hwan Jeong<sup>1</sup>, Yosuke Onawa<sup>1,2</sup>, Daisuke Shimura<sup>1,2</sup>,  
Kazuki Kawashita<sup>3</sup>, Riku Katamawari<sup>3</sup>, Hideki Ono<sup>1,2</sup>, Hideaki Okayama<sup>1,2</sup>, Hiroyuki Takahashi<sup>1,2</sup>, Hiroki Yaegashi<sup>1,2</sup>,  
Yasuhiko Ishikawa<sup>3</sup>, and Takahiro Nakamura<sup>1</sup>

E-mail: j-fujikata@petra-jp.org

## 1. はじめに

Si フォトニクス技術と CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 電子回路技術を融合し、低消費電力で超高密度の信号伝送を実現する光電子融合技術が注目を集めている。光変調器は伝送容量と消費電力を左右するキーデバイスであると考えられる。近年、Ge におけるフランチ・ケルディッシュ (FK) 効果を用いた電界吸収型 (EA) 光変調器が報告されている[1]-[3]。EA 変調器は、電気容量が小さく、低電力化と共に高速化が可能であるが、動作波長帯域の制御およびその温度依存性が課題である。

本報告では、Si ベースの PN 接合リブ導波路上に Ge 層をエピタキシャル成長した Ge/Si 電界吸収型変調器において、Ge 層の結晶品質を解析すると共に、高温での動作波長及び高速動作を検討した。

## 2. GeSi-EA 光変調器

開発した Ge/Si-EA 光変調器の断面模式図を図 1 に示す。SOI (silicon-on-insulator) リブ導波路構造の PN 接合上に Ge 層を積層し、Ge 層中に PIN 接合を形成した構造からなる。

今回の検討では、300 mm 径、膜厚 200 nm の SOI 基板を用いた。Si リブ導波路加工後 SiO<sub>2</sub> クラッド層を積層し PN 接合上に SiO<sub>2</sub> 開口パターンを形成した。さらに、今回の検討では、200-300 nm 厚の Ge 層を UHV-CVD (ultra-high vacuum chemical vapor deposition) 法により選択成長した。さらに、B および P の不純物ドーピングを行い、Ge 層中に PIN 接合を形成した。

## 3. 光変調特性と高速動作実証

図 2 に Ge 層幅 300nm, Ge 層長さ 40 $\mu$ m の Ge/Si 電界吸収型変調器の 56Gbps での出力波形を 25 $^{\circ}$ C と 85 $^{\circ}$ C に関して示す。40  $\mu$ m 長の Ge/Si-EA 光変調器において、駆動電圧を 2.5 V<sub>pp</sub> とし逆バイア

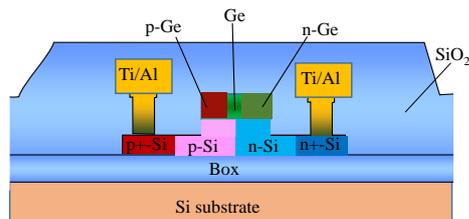


Fig. 1: Schematic diagram of Ge/Si electro-absorption modulator.

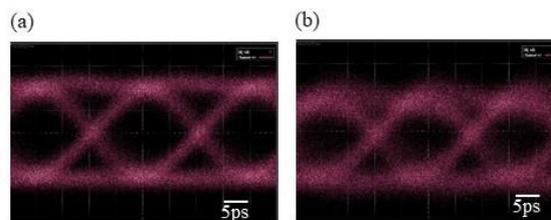


Fig. 2: Experimental result of 56 Gbps NRZ output waveforms at 1550 nm wavelength for (a) 25 $^{\circ}$ C and (b) 85 $^{\circ}$ C.

ス電圧 2 V<sub>dc</sub> とした時、1550nm 波長において 56 Gbps の高速動作が、25 $^{\circ}$ C から 85 $^{\circ}$ C において得られた。この時消光比は、25 $^{\circ}$ C から 65 $^{\circ}$ C では 3dB 以上であったのに対し、85 $^{\circ}$ C では 2dB 程度に低下しており、温度上昇による動作波長の長波長化が影響していると考えられる。

また、動作波長帯に関しては、温度上昇と共にバンドギャップが小さくなるため、長波長側にシフトすることを検証した。透過スペクトルにおいては、25 $^{\circ}$ C から 85 $^{\circ}$ C までステージ温度を上昇させることにより、C バンド波長帯で光挿入損失が 3-4dB 程度増加する結果となった。一方、フランチ・ケルディッシュ効果による光透過強度変化は、比較的広い波長域で観測され、Ge/Si 界面で比較的広い組成範囲の SiGe 層が形成されていることが寄与していると考えられる。

また、Si 製波長フィルタ[4]を用いて C バンド波長域の 16 波長で、低電圧で良好な 50Gbps 出力波形が得られており [5]、光電子集積回路の低消費電力化・大容量化に向けて有望な技術であると期待される。

【謝辞】本研究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)の「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」(JPNP13004)により委託を受けたものである。デバイス試作をご支援頂いた産総研岡野様、横山様に感謝致します。

【文献】

- [1] J. Liu et al., Nat. Photonics 2(7), 433 (2008).
- [2] D. Feng et al., IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. 19(6), 64 (2013).
- [3] S. A. Srinivasan et al., J. Lightwave Tech. 34(2), 419 (2016).
- [4] S-H. Jeong et al, ECOC2019, M. 1. A (2019).
- [5] J. Fujikata et al., OFC2020, Th3C.4 (2020).