

in-situ B ドーピングした歪 SiGe 層を用いた Si 光変調器の検討

Study on Si Optical Modulator, Using Strained SiGe Layer with in-situ B doping

技術研究組合光電子融合基盤技術研究所¹, 東京大学²○藤方 潤一¹, 野口 将高¹, 韓在勲², 高橋 重樹¹, 中村 隆宏¹, 竹中 充²PETRA¹ and the University of Tokyo²○Junichi Fujikata¹, Masataka Noguchi¹, Jaehoon Han², Shigeki Takahashi¹,Takahiro Nakamura¹, and Mitsuru Takenaka²

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, 超高密度の信号伝送を低消費電力で実現する試みが注目を集めている. Si 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. 最近, キャリアプラズマ分散効果をエンハンスする技術として, キャリア有効質量の小さい歪 SiGe 膜を用いた Si 光変調器が報告されている[1]-[3].

本検討では, Si ベースの空乏化型 PN 接合 Si 光変調器に, in-situ B ドーピングした歪 SiGe 層を適用することにより, 従来の空乏化型 Si 光変調器に比較して, 高い光変調効率($V_{\pi}L: 1.05Vcm$)と低光損失化(1.0dB/mm), さらに低電圧駆動による 25Gbps 高速動作を実現したので報告する.

2. 歪 SiGe 層を用いた空乏化型 Si 光変調器

開発した歪 SiGe 光変調器の断面模式図を図 1 に示す. SOI (silicon-on-insulator) リブ導波路構造からなる PN 接合上に B ドープした $Si_{180}Ge_{20}$ 層を選択成長した構造からなる.

今回の検討では, 300mm 径, 膜厚 180 nm の SOI 基板を用いた. Si リブ導波路加工後 SiO_2 クラッド層を積層し, CMP(chemical mechanical polishing)処理により平坦化を行った. これにより, PN 接合上に形成する歪 SiGe 層の選択成長エリアの加工精度を改善した. 次に, PN 接合上に SiO_2 開口パターンを形成した. さらに, 今回の検討では, 20 nm 厚の $Si_{180}Ge_{20}$ 層を UHV-CVD (ultra-high vacuum chemical vapor deposition)法により選択成長した. この時, 成膜中に B_2H_6 ガスを導入し, 不純物ドーピング濃度が $5E17/cm^3 \sim 2E18/cm^3$ となるように B を in-situ ドーピングし, 歪 SiGe 層中のドーピングプロファイルを改善すると共に, 従来のイオン注入による結晶欠陥を回避した.

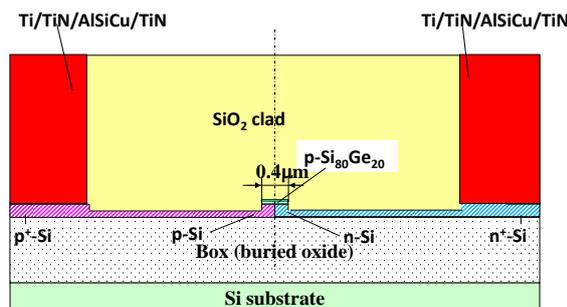


Fig. 1: Schematic diagram of Si optical modulator with strained $Si_{180}Ge_{20}$.

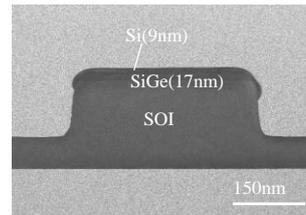


Fig. 2: Cross-sectional TEM image of Si optical modulator with strained $Si_{180}Ge_{20}$ layer.

3. 光変調効率と高速動作実証

図 2 に歪 SiGe 層を用いた Si 光変調器の断面 TEM 像を示す. PN 接合が形成された Si リブ導波路上部に歪 SiGe 層が平滑に積層されていることが分かる. この時の Si 光変調器の光導波損失は, 1310 nm 波長帯域において, 1dB/mm を実現出来ており, キャリアプラズマ吸収を考慮した理論値に近い光導波損失が実現出来た. また, 変調効率($V_{\pi}L$)は, 0~-2V の逆バイアス電圧(V_{dc})印加時に 1.05Vcm が得られており, Si 光変調器の性能指標である $\alpha V_{\pi}L$ (α : 光伝搬損失)として, 10dBV 程度の比較的良好な値が得られた.

図 3 に位相シフター長が 500 μm の非対称マッハ・ツェンダー構造からなる Si 光変調器において, -3dB の動作点で駆動電圧を 1.5V_{pp} とし, 逆バイアス電圧を -2V_{dc} とした時の 25Gbps (2^{31} -1 pseudo-random bit sequence (PRBS))での出力アイパターンを示す. 低電圧駆動で 3dB 程度の消光比が得られており, 光電子集積回路の低消費電力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 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」により委託を受けたものである.

【文献】[1] M. Takenaka et al., J. Quantum Electron., vol. 48, no. 1, pp. 8 - 15, 2012.

[2] Y. Kim, et al., OFC2015, Tu2A.7 (2015).

[3] J. Fujikata, et al., GFP2015, WD2 (2015).

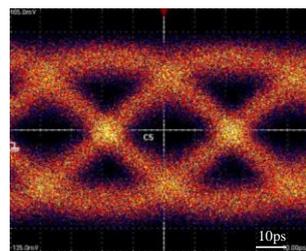


Fig. 3: 25Gbps output waveform with 2^{31} -1 PRBS.