

多モード干渉計を有する高消光比電界吸収型光変調器の提案

Proposal of High Extinction Ratio Electroabsorption Optical Modulator Based on Multimode Interference Waveguide

横国大院工^{*1}, 関東学院大^{*2} ○沖津 大輔^{*1}, 山野 祐^{*1}, 盧 柱亨^{*1,2}, 荒川 太郎^{*1}
Yokohama National Univ.^{*1}, Kanto Gakuin Univ.

°Daisuke Okitsu^{*1}, Yu Yamano^{*1}, Joo-Hyong Noh^{*1,2}, and Taro Arakawa^{*1}

E-mail: okitsu-daisuke-my@ynu.jp, arakawa@ynu.ac.jp

【はじめに】

近年の電界吸収型光変調器 (EAM) は, EAM 集積 DFB レーザ[1]のほか, マッハ・ツェンダー干渉計 (MZI) を用いた低電圧・高消光比 EAM[2], 横方向に pin 構造を用いた低電圧駆動 EAM[3]などが報告されているが, 今後更なる小型化, 低電圧化, 高速化等が求められている. 一方, 多モード干渉素子 (MMI) は, 半導体レーザ[4], 光スイッチ[5], 分岐比可変カップラー[6]等, 幅広く応用されている. そこで本研究では, EAM と 1 入力-1 出力型 (1×1) MMI を組み合わせた多モード干渉計電界吸収型光変調器 (MMI-EAM) を提案する. 本デバイスでは, コア層における電界吸収効果に加えて, 電界誘起屈折率変化による MMI 内の結像位置の変化も用いる. 両者の相乗効果により, 従来型の EAM と比較して消光比の大きな改善が期待される.

本報告では, MMI-EAM を提案し, デバイス設計とその動作特性解析を行い, その優位性を示す.

【動作原理・解析結果】

Fig. 1 に本デバイスの概略図を示す. 幅 $6\ \mu\text{m}$, 長さ $152\ \mu\text{m}$ の 1×1 MMI 構造を有し, 一部が電界印加領域となっている. その周囲に電気的分離のための深さ $0.9\ \mu\text{m}$, 幅 $0.3\ \mu\text{m}$ の溝構造を設ける. 入出力導波路幅は $1.8\ \mu\text{m}$ とした. コア層には In-GaAs/InAlAs 量子井戸を想定している. 従来の EAM は, 量子閉じ込めシュタルク効果 (QCSE) による吸収係数変化のみで消光しているが, MMI-EAM では, MMI の特定の領域に電界を印加し, QCSE による吸収係数変化と同時に生じる屈折率変化を用いて, MMI 内の光伝搬の対称性を崩す. これにより, 結像点と出力ポートの位置が一致しなくなる. このように MMI 内での屈折率変化による消光作用と, 従来の EAM の電界吸収効果による消光作用の相乗効果により, 消光比の向上を図る. InGaAs/InAlAs 量子井戸の, 電界による吸収係数変化と屈折率変化の計算結果を Fig. 2 に示す. Fig. 2(a) のように QCSE により, 吸収端ピークが電界強度の増加とともに長波長側にシフトする. $160\ \text{kV/cm}$ の電界を印加した時の吸収係数変化 $\Delta\alpha$ は約 $700\ \text{cm}^{-1}$ と見積もられる. また, Fig. 2(b) より, 屈折率変化量 Δn は 0.061 となる. 以降の素子設計や特性計算では, これらの値を用いた.

Fig. 3 に MMI-EAM の消光比の電界印加領域の長さ x_2 に対する依存性を示す. 電極分離溝までの長さを x_1 , 電界印加領域の長さを x_2 , 幅を y とし, 各パラメータを動かし最適な電界印加領域を設計する. 解析にはビーム伝搬法 (BPM) を用いた. Fig. 3 より $x_1=25\ \mu\text{m}$, $x_2=88\ \mu\text{m}$, $y=1.8\ \mu\text{m}$ の時, 消光比 $47.4\ \text{dB}$ 得られることから, これらの値を最適値とする.

次に MMI-EAM の DC 変調特性を Fig. 4 に示す. 比較として, 導波路幅 $1.8\ \mu\text{m}$, 素子長を $150\ \mu\text{m}$ の従来型 EAM の特性も示す. Fig. 4 より, 印加電圧 $3\ \text{V}$ では従来の EAM と比較して, $25\ \text{dB}$ 以上消光比が向上したことがわかる. また, MMI-EAM では, 印加電圧 $2.0\ \text{V}$ までは, ほぼ消光比に変化が見られないので, バイアス電圧を $2.0\ \text{V}$ とすることで, 動作電圧を $1.0\ \text{V}$ に低減できる. また電界印加領域も $158.4\ \mu\text{m}^2$ となるため, 比較対象とした従来型 EAM ($270.0\ \mu\text{m}^2$) より小さいため, 高速変調にも有利である. 以上のことから, 従来の EAM に比べて MMI-EAM が優位であることがわかった.

謝辞

本研究の一部は, 科研費・基盤研究(B) (15H03577) およびフジクラ財団の補助を受けた.

参考文献

- [1] Y. Morita *et al.*, OFC 2013, OTh4H.5 (2013).
- [2] Y. Ueda *et al.*, Opt. Express, **22**, 14610 (2014).
- [3] K. Hasebe *et al.*, J. Lightwave Technol., **33**, 1235 (2015).
- [4] M. N. Uddin *et al.*, IEICE Trans. Electron., **E97-C**, 781 (2014).
- [5] S. Nagai *et al.*, J. Lightwave Technol., **20**, 675 (2002).
- [6] S. Kashima *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **52**, 04CG02 (2013).

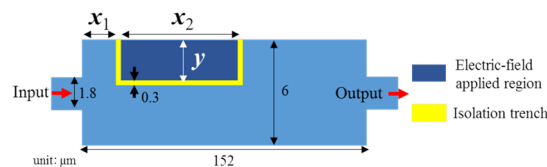


Fig. 1. Schematic top view of proposed MMI-EAM.

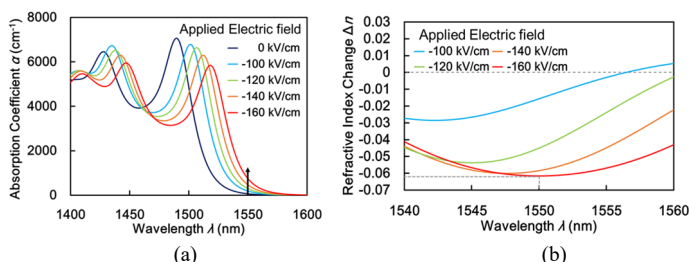


Fig. 2 (a) Calculated absorption coefficient spectra of QW and (b) calculated refractive index change of QW under various electric fields.

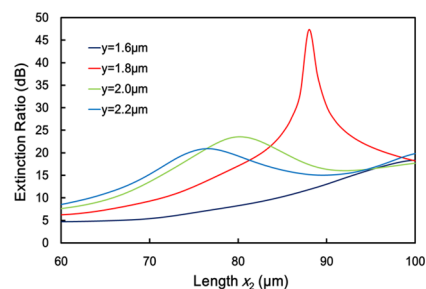


Fig.3. Dependence of the extinction ratio of the MMI-EAM on the length of the electric-field-applied region, x_2 .

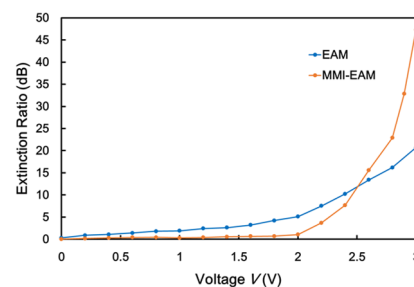


Fig.4. Extinction ratio of conventional EAM and proposed MMI-EAM as functions of the applied reverse voltage.