



## キャリア注入型光スイッチ

井上 宏 明

(株)日立製作所中央研究所 〒185 国分寺市東恋ヶ窪 1-280

### 1. ま え が き

半導体材料にキャリアを注入すると plasma 効果による屈折率の低下<sup>1)</sup>およびバンド間遷移の吸収端波長  $\lambda_g$  が短波長側へ推移すること (band-filling 効果) による屈折率変化<sup>2)</sup>が生じる。とくに  $\lambda_g$  の近傍では、後者が顕著となる<sup>3)</sup>。これらの屈折率変化には入射光波に対する偏波面依存性がなく、ポッケルス効果等の通常の電気光学効果に比べ、桁違いに大きな値が得られる<sup>4)</sup>。本稿では、InGaAsP/InP系でのキャリア注入による屈折率変化と、これを利用した小型で偏波面依存性のない光スイッチに関する最近の研究について紹介する。

### 2. キャリヤ注入による屈折率変化

マルチモード光導波路による全反射型光スイッチを用いて評価したキャリア注入による屈折率変化量の波長依存性 (キャリア濃度換算で  $N=10^{18}\text{cm}^{-3}$  のとき) を図1に示す<sup>3)</sup>。直線状光導波路を cut-back 法で評価した伝送損失の波長依存性も同時に示している。横軸は InGaAsP 光導波路の吸収端波長  $\lambda_g$  と入射光波長とのエネルギー差  $\Delta E$  である。 $\lambda_g$  の近傍 ( $\Delta E < 100\text{ meV}$ ) では band-filling 効果が顕著であり、 $\sim 0.01$  (0.3%) 以上の屈折率変化が得られている。 $\Delta E > 100\text{ meV}$  においては plasma

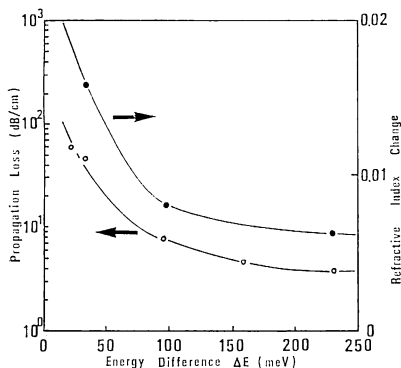


図1 エネルギー差  $\Delta E$  と屈折率変化および伝送損失の関係

効果により 0.2% 程度の屈折率変化が得られることからキャリア注入による屈折率変化を利用すると広波長域用スイッチ/変調器が構成できる。

### 3. キャリヤ注入型光スイッチとその集積化

キャリア注入型光スイッチは半導体レーザー (LD) と同様の光導波路構造を用いて構成できるので集積化が容易である。図2に、四つの分布帰還型 LD (DFB-LD) を交差角  $7^\circ$ 、光導波路幅  $10\ \mu\text{m}$  の全反射型光スイッチの端部に集積した光集積回路の概形図および写真を示す<sup>5,6)</sup>。素子寸法は  $1.6\text{ mm} \times 1.0\text{ mm}$  である。光スイッチ部中央の全反射領域では Zn 拡散で形成した pn 接合を介してキャリアを注入し、屈折率変化を得ている。集積した DFB-LD の発振波長は  $1.55\ \mu\text{m}$  (活性層の  $\lambda_g$  は  $1.53\ \mu\text{m}$ )、光スイッチ部光導波路の  $\lambda_g$  は  $1.47\ \mu\text{m}$  である ( $\Delta E \sim 44\text{ meV}$ )。スイッチングに要した電流値は  $15\text{ mA}$  である。集積した DFB-LD は発振、受光、光増幅

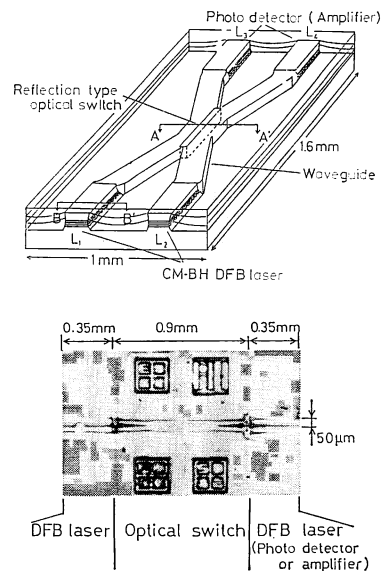


図2 キャリヤ注入型光スイッチと DFB-LD を集積した光集積回路

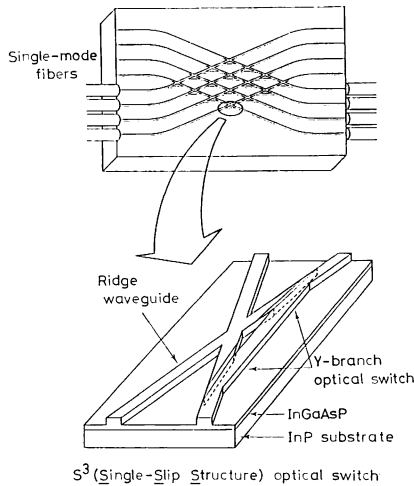


図 3 完全格子型 4×4 光スイッチアレイおよび単位光スイッチセル (S<sup>3</sup> 光スイッチ) の概形図

特性をもち、このような光素子の集積化により小型で多機能な光集積回路が実現できることが示された。

小型で偏波面依存性のないキャリア注入型光スイッチは、光交換用の空間分割光スイッチアレイの構成単位としても優れた特徴をもっている。図 3、図 4 にキャリア注入型光スイッチで構成した 4×4 光スイッチアレイの概形図および写真を示す<sup>7)</sup>。ここでは光導波路の単一モード化および素子長の短縮を目的に二つの Y 分岐光スイッチ (分岐角 5°) と X 型交差光導波路 (交差角 10°) によって構成した単位スイッチセル構造 (single-slip structure: S<sup>3</sup>) が新たに導入され、完全格子型 4×4 光スイッチアレイを形成している。幅 5 μm のリッジ型光導波路は InP 基板上に多層成長した n-InGaAsP 光導波層 (λ<sub>g</sub>=1.15 μm), n-InP クラッド層, n-InGaAsP キャップ層を RIBE (Cl<sub>2</sub>) 法によりドライエッチングし、作製されている。分岐および合流部の二つの Y 分岐光スイッチに形成したキャリア注入のための pn 接合は同一電極で駆動できるよう接続されている。光導波路間隔は、光ファイバとの結合を考慮し 160 μm となっている。素子寸法は 8.1 mm×1.5 mm である。波長 1.3 μm の LD を光源とし (ΔE~100 meV), 単一モード光ファイバを用いて光スイッチ特性を評価した結果、注入電流 120 mA で漏話 -24 dB, 挿入損失 15 dB が得られている。

#### 4. 今後の展望

キャリア注入による屈折率変化をデバイスへ応用した際の応答速度は通常注入キャリアの寿命 (~ns) によって制限される。この問題を解決し ps オーダーの高速応

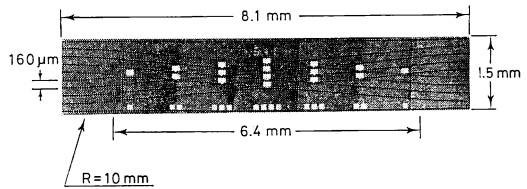


図 4 完全格子型 4×4 光スイッチアレイ

答を実現する手法として HBT<sup>9)</sup> や FET<sup>9)</sup> 構造を注入領域へ導入することが提案されている。また、キャリア注入による屈折率変化の大きさが注入キャリア量に対する材料吸収特性の変化量に依存することから、量子井戸構造における励起子吸収の bleaching 等を利用した高効率化が可能となる<sup>9,10)</sup>。

キャリア注入による屈折率変化を利用した光スイッチ/変調器の研究は歴史が浅く、解決すべき問題点、改良改善されるべき特性が数多く残されている。本稿がより小型で効率の良い光スイッチ/変調器、より多機能な光集積回路の実現のために、諸賢の興味をわずかでも惹起できれば幸いである。

#### 文 献

- 1) O. Mikami and H. Nakagome: "Waveguided optical switch in InGaAsP/InP using free-carrier plasma dispersion," *Electron. Lett.*, **20** (1984) 228.
- 2) J. Manning, *et al.*: "The carrier-induced index change in AlGaAs and 1.3 μm InGaAsP diode lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-19** (1983) 1525.
- 3) H. Inoue, *et al.*: "Semiconductor waveguides and optical switches," *Optoelectron. Dev. Technol.*, **1** (1986) 137.
- 4) K. Ishida, *et al.*: "InGaAsP/InP optical switches using carrier induced refractive index change," *Appl. Phys. Lett.*, **50** (1987) 141.
- 5) S. Sakano, *et al.*: "InGaAsP/InP monolithic integrated circuit with lasers and an optical switch," *Electron. Lett.*, **22** (1986) 594.
- 6) H. Inoue and S. Tsuji: "Optical amplification by monolithically-integrated distributed-feedback lasers," *Appl. Phys. Lett.*, **51** (1987) 1577.
- 7) H. Inoue, *et al.*: "An 8 mm length nonblocking 4×4 optical switch array," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, **6** (1988) 1262.
- 8) K. Tada and Y. Okada: "Bipolar transistor carrier-injected optical modulator/switch: proposal and analysis," *IEEE Electron Device Lett.*, **EDL-7** (1986) 605.
- 9) H. Sakaki, *et al.*: "Carrier concentration dependent absorption spectra of modulation doped n-AlGaAs/GaAs quantum wells and performance analysis of optical modulators and switches using carrier induced bleaching (CIB) and refractive index change (CIRIC)," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26** (1987) L1104.
- 10) A. Kastalsky, *et al.*: "Novel optoelectronic single quantum well devices based on electron bleaching of exciton absorption," *Appl. Phys. Lett.*, **50** (1987) 708.

(1988年6月21日受理)