

最近の技術から

導波路形 MQW 光スイッチ

河野 健治

NTT 光エレクトロニクス研究所 〒243-01 厚木市森の里若宮 3-1

1. ま え が き

半導体導波路形光スイッチは将来の大容量光通信方式に有用なデバイスと考えられ、各機関において盛んに研究が行われている¹⁻³⁾。実際に光スイッチを方式実験に使用する場合には、挿入損失・駆動電圧・切替え速度など、スイッチとしての特性が優れているだけでなく、ファイバーが光導波路の端面に固定されたモジュールとしての形態が要求される。ところが、半導体光導波路のスポットサイズ (光パワーが $1/2e$ となる半径) は $1\mu\text{m}$ もしくはそれ以下と、単一モード光導波路のもの ($4\sim 5\mu\text{m}$) と比較して小さく、かつ導波路がアレイ状に並んでいるためモジュール化が困難である。したがって、半導体光スイッチの開発に当たっては、高効率なスイッチ部のみならず低損失で製作歩留りの良いスポット変換技術の開発が重要となる。

筆者は、これまでにスイッチ部の光導波路として、量子井戸に InGaAlAs を、バリアに InAlAs を用いる多重量子井戸 (multi-quantum well: MQW) 光導波路を適用し、電界印加時の量子閉込めシュタルク効果 (quantum-confined Stark effect: QCSE) に伴う屈折率変化を利用した方向性結合器形光スイッチについて検討を行ってきた。また、スポット変換光導波路としては、低損失かつ製作性の良い薄膜コアリッジ形スポット変換光導波路を提案するとともに、これを適用した 2×2 光スイッチモジュール³⁾を開発し、その高速動作を確認した⁴⁾。ここでは、さらに 4×4 光スイッチモジュール⁵⁾について紹介する。

2. 4×4 光スイッチモジュールの構造と試作

スイッチ部は方向性結合器形光導波路構成を採用した。MOVPE により n-InP 基板上に成長した各層の構成は、 $1\mu\text{m}$ 厚の n-InP クラッド、 $0.08\mu\text{m}$ 厚の n-InGaAsP ($\lambda_g=1.1\mu\text{m}$) 薄膜コア、 $0.2\mu\text{m}$ 厚の n-InP、 $0.4\mu\text{m}$ 厚の InGaAlAs (13 nm)/InAlAs (5 nm) MQW コア、 $0.04\mu\text{m}$ 厚の non-InP サイドクラッド、 $0.01\mu\text{m}$ 厚の

non-InP エッチストップ、 $1.5\mu\text{m}$ 厚の p-InP クラッド、 $0.2\mu\text{m}$ 厚の p-InGaAs キャップとした。スイッチを使用する波長が $1.55\mu\text{m}$ であることを考慮し、MQW のエキシトンピーク波長は $1.39\mu\text{m}$ に設定した。また、方向性結合器の結合長は 1.2mm である。なお、これらの設計に当たっては有限要素法を用いた。リッジの幅と間隔は各々 $2\mu\text{m}$ 程度であり、 Cl_2 ガスを用いた反応性イオンビームドライエッチングとウェットエッチングにより製作した。

図1には、半導体光導波路の小さなスポットを拡大するために提案した薄膜コアリッジ形スポット変換光導波路³⁾の斜視図を示す。本スポット変換光導波路では、スイッチ部を伝播してきた半導体光導波路の微小スポットをテーパ導波路により拡大し、最終的に放射する。この放射された光は前述の n-InGaAsP 薄膜コアにより垂直方向に閉じ込めるとともに、水平方向には幅 $10\mu\text{m}$ 程度の拡大リッジにより閉じ込める。また、拡大リッジ部の p-InP クラッドの厚みは領域選択成長により $5\mu\text{m}$ 程度にまで厚くしている。なお、テーパ長はビーム伝播法により $300\mu\text{m}$ と決定した。

図2に示すように、網構成としては 2×2 スイッチ要

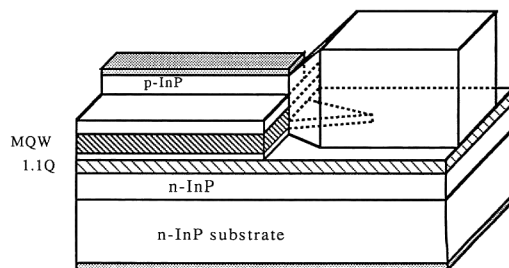


図1 スポット変換光導波路の斜視図

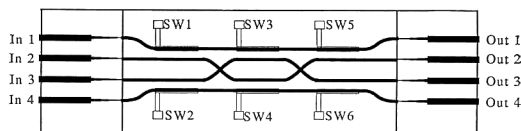


図2 4×4 光 MQW スイッチの網構成

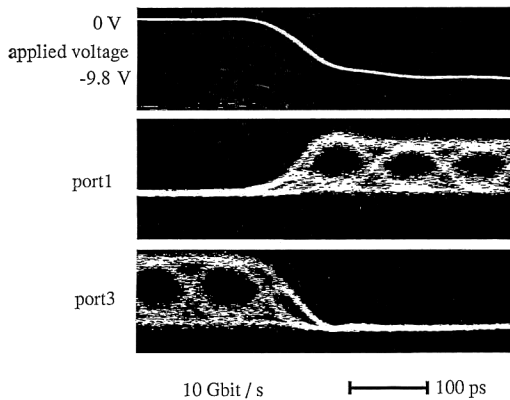


図3 光スイッチの動特性

素を6個有するベネス網⁶⁾を採用した。スイッチの入出力端に前述の薄膜コアリッジ形スポット変換光導波路を集積することによりモジュール化を可能とした。入出力の導波路のピッチは $1.55\ \mu\text{m}$ の偏波保存ファイバーアレイのものと同一 $250\ \mu\text{m}$ とし、端面にはARコートを実施している。また、電気信号を給電するためのマイクロ波線路を実装した。

3. 光スイッチの特性

バイアス印加時における 4×4 光スイッチモジュールの特性としては、挿入損失 $19\ \text{dB}$ 、クロストーク $-13\ \text{dB}$ 以下、駆動電圧 $-9\sim -10\ \text{V}$ であった。スポット変換損およびファイバーとの結合損の和は片端 $2.3\ \text{dB}$ であり、設計値とよく一致した。図3には、スイッチの一つにRF電圧を印加し、 $10\ \text{Gbit/s}$ の光パルスを切り替えた結果を示す。図から、スイッチング時間は立上り・立下りとも $70\ \text{ps}$ 以下と十分速いことがわかる。なお、

これらはドライバの速度で制限されていることを確認している。

4. むすび

スポット変換光導波路を集積した 4×4 光スイッチモジュールを試作するとともに、その高速動作を確認した。

文 献

- 1) K. Komatsu, K. Hamamoto, M. Sugimoto, A. Aji-sawa and A. Suzuki: "4x4 GaAs/AlGaAs optical matrix switches with uniform device characteristics using alternating electrooptic guided-wave directional couplers," J. Lightwave Technol., **LT-9** (1991) 871-878.
- 2) T. Kirihara, M. Ogawa, S. Tsuji and H. Inoue: "High-speed signal-transmission performance in a lossless 4x4 optical switch for photonic switching," Tech. Dig., OFC '94, paper TuM3 (1994).
- 3) K. Kawano, M. Kohtoku, N. Yoshimoto, S. Sekine and Y. Noguchi: "2x2 InGaAlAs/InAlAs multiple-quantum well (MQW) directional coupler waveguide switch modules with spots size converters," Electron. Lett., **30** (1994) 353-354.
- 4) T. Ito, M. Kohtoku, N. Yoshimoto, K. Kawano, S. Sekine and M. Yanagibashi: "Dynamic response of 2x2 multiquantum well (MQW) directional coupler waveguide switch module," Electron. Lett., **30** (1994) 1936-1937.
- 5) K. Kawano, S. Sekine, H. Takeuchi, M. Wada, M. Kohtoku, N. Yoshimoto, T. Ito, M. Yanagibashi, S. Kondo and Y. Noguchi: "4x4 InGaAlAs/InAlAs multiple-quantum well (MQW) directional coupler waveguide switch modules with spots size converters and their 10 Gbit/s operation," Electron. Lett., **31** (1995) 96-97.
- 6) 石川 宏, 行松健一: 光スイッチング技術入門 (電気通信協会, 1993).

(1995年2月2日受理)