



## MQW エタロンを用いた空間光変調素子

富田 章久・甲賀 祐二・鈴木 明

光技術研究開発(株) 〒213 川崎市宮前区宮崎 4-1-1

### 1. ま え が き

光の高い並列性を利用した並列高速デジタル演算<sup>1)</sup>、光ニューロコンピューティング<sup>2)</sup>の実現が期待されている。並列光演算では2次元的に光信号の強度を変化させる空間光変調素子が重要である(信号の記憶機能はここでは考えない)。空間光変調素子のエレメントには小型、低動作電圧、高消光比、高速動作性などが要求される。一般に、半導体の面型光変調素子で高消光比を得るのは難しい。素子の厚さが制限され、光と物質の相互作用距離が十分でないためである。強誘電体や液晶の空間光変調素子は高消光比だが動作速度はmsからμsと遅い<sup>1)</sup>。

高消光比には屈折率変化、吸収係数変化の大きな物質と光強度変化の大きい素子構造が必要である。物質には多重量子井戸(MQW)が有望である。励起子近傍の屈折率や吸収係数がquantum confined Stark effect (QCSE)により電場で大きく変わる<sup>3)</sup>。またFabry-Perotエタロンを用いると波長の制限が厳しい半面、鋭い共振特性のため光の透過率が大きく変えられる。

われわれはInGaAs/InP MQW エタロン光変調素子を試作した。最近GaAs/AlGaAs MQWを用いた同様の素子の報告<sup>4,5)</sup>があるが、InGaAs/InP MQWを用いると高信頼の1.55 μm帯光通信用半導体レーザーを光源として利用できる。

### 2. Fabry-Perot エタロン共振器の特性

MQWの屈折率変化は吸収係数変化を伴う。媒質に吸収のあるFabry-Perotエタロンの透過率は、

$$T = \frac{(1-r)^2 \exp(-\gamma)}{1+r^2 \exp(-2\gamma) - 2r \exp(-\gamma) \cdot \cos \delta} \quad (1)$$

である。 $\gamma = \alpha \cdot d$ 、 $\delta = 4\pi n d / \lambda$ 。 $\alpha$ は吸収係数、 $n$ は屈折率、 $d$ は媒質の厚さ、 $\lambda$ は光の波長である。反射率 $r$ は両端で等しいとした。吸収係数と屈折率の変化を合わせると透過率変化が大きくなる。媒質をGaAs/AlGaAs MQWとして層厚に対する消光比と挿入損失を図1に

示す。表1に用いた値<sup>6)</sup>を示す。反射率98%のときに消光比10 dBを得るにはMQW層厚を0.23 μmとすればよい。挿入損失は2.2 dB、MQW層の電圧は1.5 Vとなる。エタロン光変調素子は高消光比、低電圧、低損失動作の可能性がある。ただし、ここではMQWでの損失のみを考えたので、他の損失があると素子特性は劣化する。

### 3. 素子の試作

図2は素子の断面構造を示す。各半導体層は減圧MOVPE法で成長した。MQWには8 nm厚のInGaAs層と10 nm厚のInP層を40周期積層した。電極に窓を明け、SiO<sub>2</sub>低屈折率層とアモルファスSi高屈折率層4周期の誘電体多層膜反射鏡を堆積した。反射率は1550 nmで97.8%、1450~1850 nmの間で96%以上であった。

図3は素子の透過スペクトルである。1540 nm付近のエタロン共振ピークが印加電圧の増加にしたがってシフトし、幅が広がって消滅する。印加電圧0~-16 Vでの消光比は5:1である。エタロンの共振ピーク波長のシフトから屈折率変化 $\Delta n$ が、共振ピークのコントラストから吸収係数 $\alpha$ が求められる。印加電圧を0 Vから-16 Vとすると吸収係数は1000 cm<sup>-1</sup>から6300 cm<sup>-1</sup>に増加する。相対的屈折率変化は-16 Vのとき最大で-0.9%であった。

### 4. む す び

InGaAs/InP MQWを用いたエタロン光変調素子を試作し、電圧-16 Vで消光比5:1を得た。この消光比は1.55 μm帯の面型光変調素子として最大でFabry-Perotエタロン構造の有効性を示している。MQW、エタロン共振器構造の最適化でさらに消光比が改善できる。

素子の2次元的集積により光信号を並列的にスイッチングできる。記憶機能をもつVSTEP<sup>7)</sup>と組み合わせるとさらに高度な処理が期待できる。ただし、Fabry-

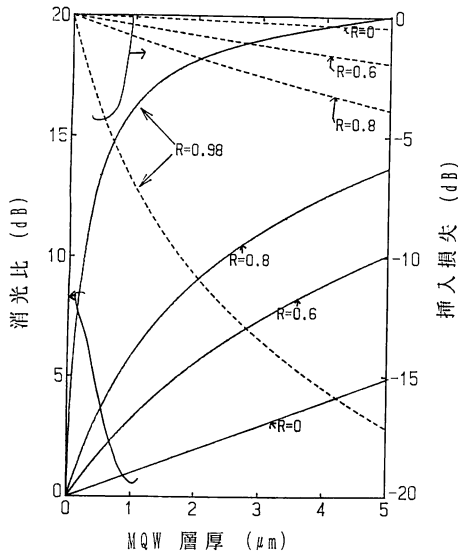


図1 エタロン光変調素子のMQW層厚に対する消光比と挿入損失

表1 計算に用いたMQWのQCSEの値

電場 (kV/cm)	0	65
吸収係数 (cm <sup>-1</sup> )	250	2500
屈折率変化	—	0.01
光エネルギー (eV)	1.445	

Perot エタロン型の素子特性は層厚に敏感なので多数個集積する場合結晶成長における高い均一性が必要である。また、素子の数だけ独立の制御配線が必要であり実装上重要な問題となる。この解決には二次元的な光-光制御が有効である。たとえばフォトダイオードの集積化が考えられるが、そのほかに外部回路による帰還で光双安定性の発現が予想される<sup>9)</sup>のでこの効果の利用も可能である。

文 献

- 1) 谷田貝豊彦: “光コンピュータ研究の現状と課題”, 応用物理, 57 (1988) 1136-1150.
- 2) 武田光夫: “光ニューロ・コンピューティング”, 情報処理, 29 (1988) 984-992.
- 3) H. Nagai, Y. Kan, M. Yamanishi and I. Suemune: “Electroreflectance spectra and field-induced varia-

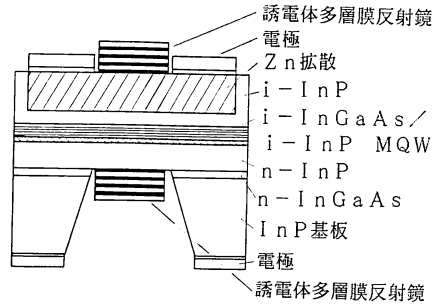


図2 MQW エタロン光変調素子の断面構造

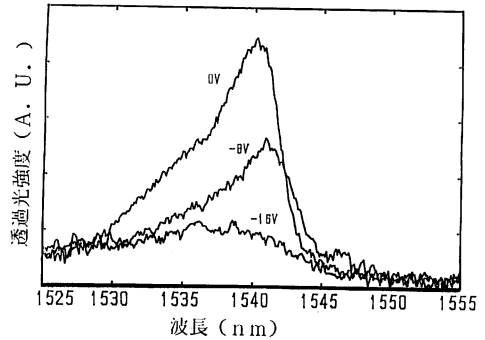


図3 MQW エタロン光変調素子の透過スペクトル

tion in refractive index of a GaAs/AlAs quantum well structure at room temperature,” Jpn. J. Appl. Phys., 25 (1986) L640-L642.

- 4) R. J. Simes, R. H. Yan, R. S. Geels, L. A. Coldreen, J. H. English, A. C. Gossard and D. G. Lishan: “Electrically tunable Fabry-Perot mirror using multiple quantum well index modulation,” Appl. Phys. Lett., 53 (1988) 637-639.
- 5) Y. H. Lee, J. L. Jewell, C. W. Tu, J. P. Harbison and L. T. Florez: “Electrodispersive multiple quantum well modulator,” Appl. Phys. Lett., 53 (1988) 1684-1686.
- 6) J. S. Weiner, D. A. B. Miller and D. S. Chemla: “Quadratic electro-optic effect due to the quantum-confined Stark effect in quantum wells,” Appl. Phys. Lett., 50 (1987) 842-844.
- 7) 笠原健一: “光演算用機能デバイス”, 光学, 18 (1989) 330-360.
- 8) A. Tomita, A. Suzuki and K. Komatsu: “Dispersive-type optical bistability in a self-electrooptical effect etalon,” Jpn. J. Appl. Phys., 28 (1989) 1523-1524.

(1989年7月29日受理)