

平面型半導体光変調器の特性改良

桑村 有司^{†a)} 清水 康宏[†] 山田 実[†]

Characteristic Improvement of Plane Type Semiconductor Optical Modulator

Yuji KUWAMURA^{†a)}, Yasuhiro SHIMIZU[†], and Minoru YAMADA[†]

あらまし 並列光情報処理用として光透過型でかつ平面型の半導体光変調器の特性改善を行った。特性としては7Vの電圧変化で消光比約10dB、挿入損4dBであった。動作速度は120MHzであり、試作した素子の動作速度は過去に試作した素子に比べ約100倍の高速化が実現された。

キーワード 光変調器、面型光変調器、空間光変調器、スマートピクセル、並列光情報処理

1. まえがき

光コンピュータは縦続的に接続したパネル型光デバイスを用いて2次元光信号を演算処理して工学的に有意義な2次元光信号を作り出すシステムである。その中心デバイスは空間光変調パネルであり、低電圧で高速に動作する光透過型でかつ平面型の光変調器の開発が望まれている。筆者らは、光透過型でかつ平面型の半導体光変調器(EDAC)を提案し素子試作を行っている[1]~[3]。現在までに消光比10dB(電圧7.5V)、挿入損8dB、動作速度1.2MHzの素子を実現しているが、動作速度や挿入損については更なる改善が期待できる。本論文では動作速度の高速化と低挿入損を目的として試作した素子特性について報告する。

2. 改良した平面型光変調器の構造及び特性

図1に改良した平面型光変調器の断面構造を示す。この変調器は、半導体中での電界の有無による光吸収差を利用したもので、図1のp-AlGaAs/i-GaAs/n-AlGaAs...多層膜中のi-GaAs層内部の電界を外部電圧により可変して透過光を強度変調する変調器である。光は上側から入力し、下側へ透過させる。電圧は左右に設けたp⁺-GaAsとn⁺-GaAs層上部の電極間に印加して、多層膜中のp-AlGaAs及びn-AlGaAs導電層を通じて多数のi-GaAs層内に電界を加える構造としている。この構造が我々の変調器の大きな特徴であり、低い電圧変化で高い消光比が実現できる。p側及びn電極に対して無バイアスの時には「光透過」、逆バイ

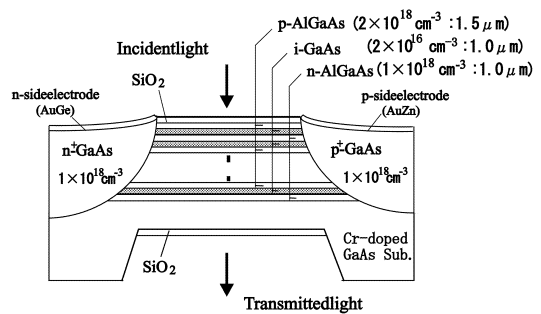


図1 改良した平面型光変調器の断面構造
Fig.1 Structure of an improved optical modulator.

アスを加えると「光遮断」となる。

本報告では、動作速度の高速化と挿入損を低くする目的で下記の2点を改良した。動作速度 f_r は光変調器の静電容量Cと駆動回路の抵抗RのCR時定数で決定される。そこで素子の小型化により静電容量Cを小さくして高速化を図った。また、低挿入損とするため多層膜中のp型とn型の導電層はGaAsよりバンドギャップの大きなAlGaAsに変更した。

19層のi-GaAsを有する図1の光変調器構造を3回の液相成長と化学エッチングを利用して試作した。図1括弧内の層厚は1層当りの層厚である。多層膜中の導電層にはAlGaAsを用いたが、再成長時のAlの酸化の問題を極力抑えるため、 $Al_xGa_{1-x}As$ 層のAl組成 x は $x < 0.05$ とした。試作した変調器のメサ上部幅は約60 μm であり、へき開により素子を切り出した。光入射窓の表面積Sは60 \times 60 μm^2 であった。

図2には切り出した五つの素子の波長890nmでの消光特性を印で示した。消光が最も大きかった波長は890nmであり、この波長での消光率は7Vの電圧変化で約90%(消光比10dB)であった。図2中の実線は

[†] 金沢大学工学部, 金沢市
Faculty of Engineering, Kanazawa University, Kanazawa-shi, 920-8667 Japan
a) E-mail: kuwamura@t.kanazawa-u.ac.jp

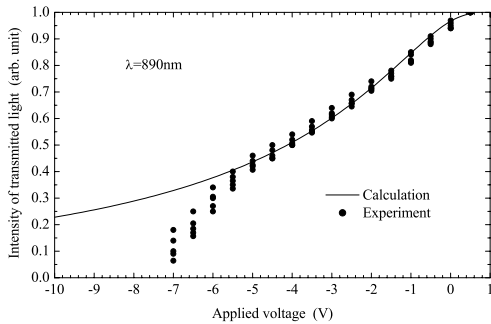


図2 光変調器の消光特性
Fig. 2 Extinction ratio of optical modulator.

消光率の理論計算値であり、印加電圧が $+0.5 \sim -5$ Vの範囲で実験と計算はよく一致した。しかし、 -5 Vより低い電圧範囲では実験の消光が大きくなっているのは、 -5 V近傍から逆方向電流の増加に伴う発熱によりGaAsのバンドギャップが長波長側へ移動したことが原因であった。波長890 nmでの挿入損は4 dBであり、その内訳は、光入出力面での反射損が約0.9 dB、GaAs基板での吸収損が約1 dB、残りの2.1 dBが多層膜での吸収損であると見積もっている。

動作速度は図3に示す回路で測定した。入力光源としてはピーク波長が890 nmの発光ダイオードを用い、出力光変調信号をSi-APDで受光してその電力をスペクトラムアナライザで測定した。図4に光変調信号電力の周波数依存性を示す。印が実測値である。素子の容量Cは54 pFであり、図4中の実線は容量Cと回路抵抗Rで形成されるフィルタの周波数特性の計算値を示した。実測された動作速度は約120 MHzであった。図5には5 Vの電圧変化で消光比10 dBを実現できる素子構造においてi-GaAs層のキャリア濃度 N_i と光入射窓の表面積Sをパラメータとして見積もった動作速度 f_r の計算値を実線で示した[2]。同図には今回試作した $S=60 \times 60 \mu\text{m}^2$ 素子と過去に試作した $S=600 \times 600 \mu\text{m}^2$ 素子[2]の動作速度の実測値をそれぞれ印と印で示した。今回試作した素子の動作速度は過去のものに比べ約100倍高速化することができた。

3. む す び

平面型半導体光変調器の特性改良のため小型化と構造改良を行った。動作速度は120 MHzまで高速化でき、挿入損も4 dBまで改善することができた。今後は小型した素子を数百～数千個程度集積化したアレー光変

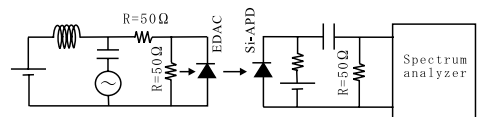


図3 駆動回路
Fig. 3 Drive circuit.

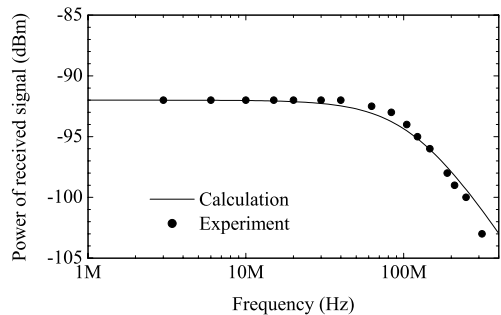


図4 光変調信号の周波数特性
Fig. 4 Frequency characteristic of optical modulation signal.

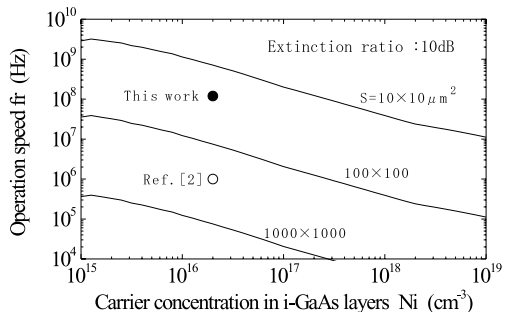


図5 動作速度の計算例と実測値
Fig. 5 Calculation example and measurement value at operation speed.

調器を作製することが課題となる。

謝辞 本研究は文部省科学研究費の補助で行われたものである。

文 献

- [1] Y. Kuwamura, M. Yamada, and M. Suzumi, "Panel-type semiconductor optical modulator using electron depletion absorption control," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.32, Pt.1, no.1B, pp.578-582, Jan. 1993.
- [2] 桑村有司, 山田 実, "電子空乏化を用いた平面型半導体変調器の設計および試作," *信学論 (C-I)*, vol.J81-C-I, no.2, pp.55-65, Feb. 1998.
- [3] 桑村有司, 寺本 誠, 山田 実, "半導体面型アレー光変調器の試作," *信学論 (C-I)*, vol.J82-C-I, no.4, pp.226-227, April 1999.

(平成14年10月2日受付)