

透過型半導体空間光変調パネルの高性能化・高機能化

著者	桑村 有司
著者別表示	Kuwamura Yuji
雑誌名	平成14(2002)年度 科学研究費補助金 基盤研究(C) 研究成果報告書
巻	2001-2002
ページ	5p.
発行年	2003-03
URL	http://doi.org/10.24517/00053971



透過型半導体空間光変調パネルの高性能化・高機能化

13650040

平成13年度～平成14年度科学研究費補助金 基盤研究^c(2) 研究成果報告書

平成15年3月

桑村 有司

(金沢大学 工学部 講師)

金沢大学附属図書館



0300-02162-3

は し が き

3次元空間に広がりを持つ光は並列演算に適した物理媒体であり、並列光コンピュータの構想が推し進められている。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。図1のように光源アレーと光検出アレーの間に数枚の空間光変調パネルを挿入して、変調パネルにデータを入力し、光源アレーで演算則を定め、光検出アレーで演算結果を得るといような構想である。既に半導体を用いた光源アレー（面型半導体レーザ等）や光検出アレーは開発されているが、透過型の半導体空間光変調パネルは存在しない。動作速度の遅い液晶や電子管を利用した空間光変調器が存在するだけである。半導体を用いた光変調パネルでは動作速度が数桁早くできると予想される。

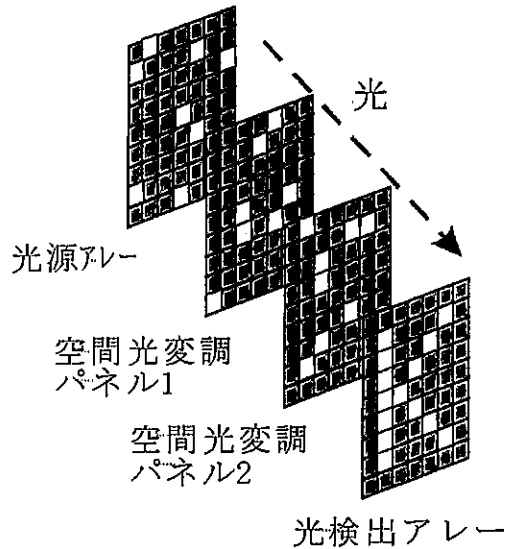


図1. 並列光コンピュータの構想

本研究では当該研究グループが独自に提案し、開発を進めてきた半導体の面型光変調器を光コンピュータ用として利用するために行なった開発研究である。

研究組織

研究代表者：桑村 有司（金沢大学工学部講師）
研究分担者：山田 実（金沢大学工学部教授）

交付決定額

(金額単位：千円)

	直接経費	直接経費	合計
平成13年度	1,900	0	1,900
平成14年度	1,100	0	1,100
総計	3,000	0	3,000

研究発表

ア) 学会誌等

- (1) Higashi, T., Yamamoto, T., Ishikawa, T., Fujii, T., Soda, H., and Yamada, M.
"Temperature dependence of gain characteristics in 1.3- μm AlGaInAs/InP strained multiple-quantum-well semiconductor lasers",
IEICE Trans. Electron, Vol. E84-C, No. 5, pp. 648-655, (2001, 5).
- (2) Yamada, M., Yamamura, S., and Okamoto, T., "Characterization of the feedback induced noise in semiconductor laser under superposition of high frequency current",
IEICE Trans. Electron, Vol. E84-C, No. 10, pp. 1588-1596, (2001, 10)
- (3) Ahmed, M., Yamada, M., and Saito, M., "Numerical modeling of Intensity and phase noise in semiconductor lasers",
IEEE J. Quantum Electron, Vol. 37, No. 12, pp. 1600-1610, (2001, 12)
- (4) Ahmed, M., Yamada, M., and Abdulrhmann, S., "A multimode simulation model of mode-competition low-frequency noise in semiconductor lasers", Fluctuation and Noise Letters, Vol. 2, No. 3, pp. L163-L170 (2001, 12)

- (5) Yamada, M., Kawasaki, D., and Awabayashi, H., "Theoretical proposal of an optical detection system using DFB laser with a very small aperture",
IEICE Trans. Electron. Vol. E85-C, No. 3, pp. 831-838, (2002. 3)
- (6) Ahmed, M., and Yamada, M. "Influence of instantaneous mode competition on dynamics of semiconductor lasers",
IEEE J. Quantum Electron., Vol. 38, No. 6, pp. 682-693, (2002. 6)
- (7) Abdulrhmann, S., Ahmed, M. and Yamada, M., "Influence of nonlinear gain and nonradiative recombination on the quantum noise in InGaAsP.
Semiconductor lasers", Optical Review, Vol. 9, No. 6, pp. 260-268 (2002, 6)
- (8) 桑村有司, 清水康宏, 山田実, 「平面型半導体光変調器の特性改良」,
電子情報通信学会論文誌, Vol. J85-C, No. 12, pp. 1230-1231 (2002, 12)
- (9) K. Noda, H. Sato, H. Itaya and M. Yamada "Characterization of Sn-doped InO Film on Roll-to-Roll Flexible Plastic Substrate",
Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, No. 1, pp. 217-222, (2003, 1)
- (10) Abdulrhmann, S., M. Ahmed and M. Yamada "New model of analysis of semiconductor laser dynamics under strong optical feedback",
Proceeding of SPIE, Vol. 4986, pp. 1-12, (2003, 1)

イ) 口頭発表, 報告書

- (1) 粟林博文, 川崎大輔, 山田実, Jamshid Nayyer, 「電流源・磁流源を用いた境界面からの近接場放射の解析」, 電子通信学会技術報告, LQE2002-1 (2001, 5)
- (2) Ahmed, M., 山田実, 「半導体レーザにおけるモード・ホッピング現象の動作特性への影響」,
電子通信学会技術報告, LQE2002-4, (2001, 5)
- (3) 山田実, 「一方向性光増幅器の試作」,
Telecom Frontier, No. 32, pp. 29-32, (2001, 8)
- (4) 山田実, 桑村有司, 「電子ビーム励起による光発生および光増幅現象の観測」 科学研究費特定領域研究 波長集積・操作フォトニクス 平成 13 年度第 1 回研究会 名古屋工業大学
(2001, 8)
- (5) 山田実, 桑村有司, 「電子ビームによる光進行波増幅の可能性」 科学研究費特定領域研究 波長集積・操作フォトニクス 平成 13 年度公開シンポジウム 文部科学省学術総合センター
(2002, 1)
- (6) 桑村有司, 清水康宏, 山田実, 「平面型半導体光変調器の動作特性改良」
電子通信学会技術報告, LQE2002-4, (2002, 5)
- (7) 山田実, 桑村有司, 「電子ビーム励起による光発生および光増幅現象の観測」 科学研究費特定領域(A) 波長集積・操作フォトニクス 平成 14 年度第 4 回研究会 メルパルク東京
(2002, 8)
- (8) 山田実, 桑村有司, 「超広帯域光増幅器の開発」 科学研究費特定領域(A) 波長集積・操作フォトニクス 平成 14 年度公開シンポジウム KKR Hotel Tokyo
(2003, 1)

ウ) 印刷物

- (1) 山田実 半導体レーザ入門 (I~III), 技術情報協会, (2001. 5~7)

研究成果

1. 面型光変調器の構造と高性能化

当該研究グループで独自に提案し開発を進めている平面型光変調素子の断面構造を図2に示す。この変調素子は、直接遷移型半導体中に電界を加えると光吸収が増加する現象を利用したもので、図2の p-AlGaAs / i-GaAs / n-AlGaAs...多層膜中の i-GaAs 層の内部電界を外部電圧により可変制御して透過光を強度変調するものである。光は上側から入力し、下側へ透過させる平面型でかつ透過タイプであり、面内に多数集積することで空間光変調器を構成できる。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 および 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 側電極に対して無バイアスの時には「光透過」、逆バイアスを加えると「光遮断」となる。

変調器の高性能化では、高速化と挿入損の低減を目的として以下の2点の改良を行なった。動作速度 f_r は変調画素の静電容量 C と回路の抵抗 R の CR 時定数 ($f_r = 1/\pi CR$) で決定される。そこで素子の小型化により静電容量を小さくして高速化をはかった。図3は素子サイズ S と予想される動作速度の見積もりで、数 GHz までの高速化が実現可能である。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。

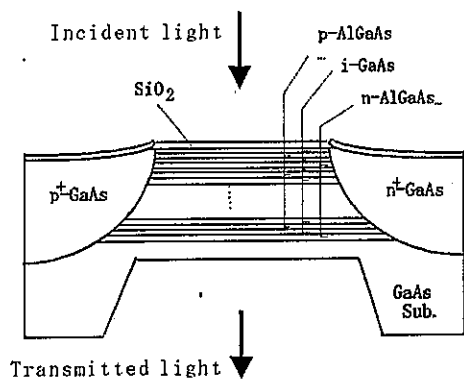


図2 改良した面型光変調器の構造

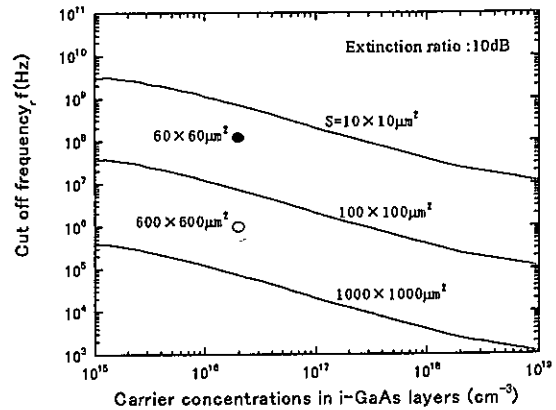


図3 動作速度の見積もり

2. 改良した素子試作と特性

素子試作には3回の液相結晶成長法を利用した。まず、絶縁性 GaAs 基板上に n-AlGaAs ($1 \mu\text{m}: 1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、i-GaAs ($1 \mu\text{m}: 2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$)、p-AlGaAs ($5 \mu\text{m}: 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) の各層を図2に示すように順次積み重ね、20層の i-GaAs 層を有する多層膜を成長した。Al の酸化の問題を極力抑えるため、AlGaAs 層の Al 組成 x は $x < 0.05$ とした。その後、化学エッチングにより多層膜の左右を溝形状に取り除いてストライプ形状のメサを形成した。メサ上部の幅は約 $60 \mu\text{m}$ である。2回目と3回目の結晶成長では、 SiO_2 膜を用いた選択成長により多層膜の左右の溝部に n⁺-GaAs と p⁺-GaAs をそれぞれ埋め込み成長した。埋め込み成長ではメサ上部の左右端において結晶成長速度が速くなり、ピラミッド形状の異常成長が発生する問題が生じたが、異常成長を極力抑えるように再成長条件を調整した。素子サイズとしては約 $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ 程度までの小型化を行なった。

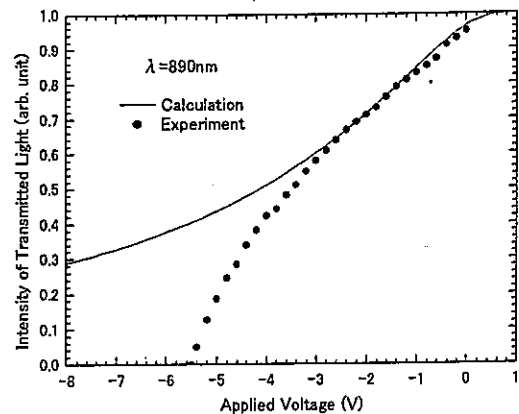


図4 消光特性

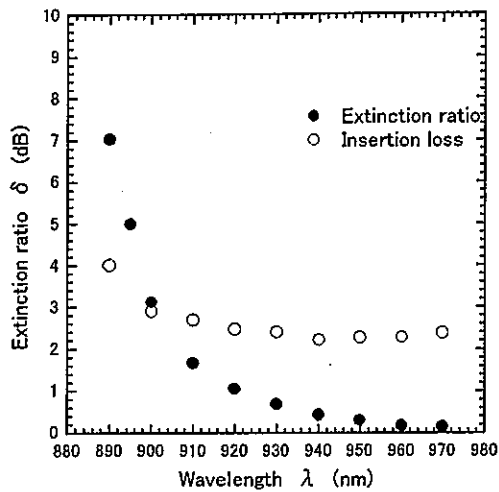


図5 消光比と挿入損の波長特性

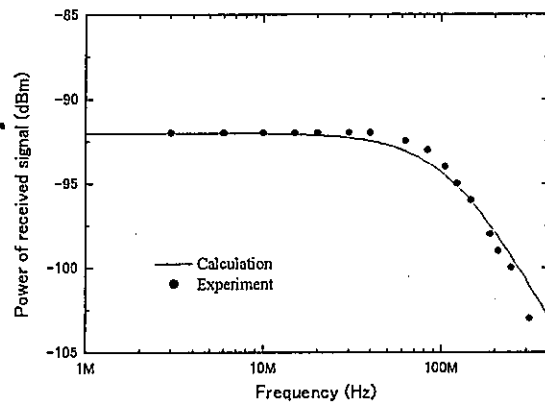


図6 動作速度

試作した素子の消光特性を図4に示す。波長890nmの光入射に対する消光特性は図4中の黒丸印で示すように6Vの電圧変化で約90%（消光比10dB）の消光であった。図5には挿入損と5.5Vの電圧変化時の消光比との波長依存性をそれぞれ白丸印と黒丸印で示した。消光のピーク波長は890nmであり、ピーク波長での挿入損は4dBまで改善できた。また、素子の動作速度については図6に示すように120MHzまで高速化することができた。

3. 集積化の課題

集積化における課題としては低電力化と大規模集積化（1000×1000）における各種プロセス技術の開発があった。1000×1000程度に大規模集積化した空間変調器の実現までは達成できなかったが、下記の成果が得られた。低電力化としてはpin接合での逆方向耐電圧が低く漏れ電流による電力消費の問題があった。この原因について調査し、p型不純物であるZn原子の拡散が1原因であり、各層の不純物濃度の最適化で耐電圧を高くできることを確認できた。また、微細加工技術及びプロセス技術の改善や電気配線法などの実験的検討を行い、大規模集積化に向けての基盤技術が確立できた。

4. まとめ

当該グループで提案し開発を行ってきた面型光変調器を光コンピュータ用として利用するための高性能化・高機能化に関する研究を行なった。高性能化として変調画素の高速化と挿入損の低減を目的とした。速度は120MHz（従来1.2MHz）までの高速でき、挿入損は4dB（従来8dB）まで低減することができた。一方、1000×1000程度に大規模集積化した空間変調器の実現までは達成できなかったが、低電力化への問題解決策や微細加工技術及びプロセス技術の改善や電気配線法などの実験的検討を行い、大規模集積化に向けての基盤技術が確立できた。