特集 オプトエレクトロニクス技術

U.D.C. 621. 3. 049. 774'14: [621. 391. 64:681. 7. 068. 2]

集積化光デバイス

# **Integrated Optoelectronic Devices**

光ファイバ通信技術は一部実用レベルに達し、実回線に導入されつつある。この 世代を光通信の第一世代とすれば,来るべき第二世代では、システムの高機能化, 高性能化,経済化及び高信頼化が強く要求されるであろう。この要求にこたえる手 段の一つは,現在,個別の素子や部品で構成されている種々の光デバイスの集積化 である。

松枝秀明\* Hideaki Matsueda 田中捷樹\* Toshiki Tanaka

本稿では, 集積化光デバイスにつき概説するとともに, 光素子と電子素子をモノ リシックに集積化したOEIC素子の研究開発の現状を述べる。GaAs半導体基板を用 いた半導体レーザと駆動電子回路を複合集積化したOEIC試作素子につき、構造, 作製プロセス,基本特性を紹介する。

1 言 緒

1835年のモールスによる電信の発明以来, 電気通信は情報 伝達手段の主流として現在に至っているが、その歴史は、よ り多くの情報を送るための高周波化の歴史としてとらえるこ とができる。1960年のルビーレーザの発振によって、自然界 にはない連続性の強い(Coherent)光が得られたことを契機に, 従来の電波と比べ桁違いに周波数の高い光をキャリアとして 利用する光通信が,将来の夢の通信手段として考えられるよ うになった。しかし、当時はレーザ光源自体が極めて大形で あったこと,光を伝送するための低損失な伝送媒体が存在し なかったことなどの理由によって,光通信はあまり実現性の あるものとしてとらえられてはいなかった。この状況に大き なインパクトを与えたのが1970年に前後して発表された半導 体レーザの室温連続発振の成功<sup>1)</sup>,及び20dB/kmの低損失光フ ァイバの開発2)である。これらにより、光通信はにわかに現 実味をおび、以来、半導体レーザや発光ダイオードなどの光 源,及び光ファイバ,受光素子,光コネクタなどの光デバイ スについて精力的な研究開発が進められてきた。現在,光通 信技術は一部実用段階に達し、新しい通信技術として社会に 浸透しつつある。 現在の実用化光通信システムに用いられている光送・受信 機などは、レーザや受光素子などの光素子と周辺電子回路、 及びレンズ, 鏡などの個別部品によって構成されている。こ れを光通信の第一世代とすれば,来るべき第二世代では,光 デバイスのいっそうの高機能化,小形化,経済化及び高信頼 化が大きな課題となることは容易に予想される。この要求を 実現する手段の一つは、個々の素子の集積化である3)。従来、 同一基板上に構成されたモノリシック集積化光デバイスを, 光集積回路(Optical Integrated Circuit)と称し、これに対し て個別部品形光デバイスをハイブリッド形として区別する習 慣がある。しかし、今後、種々の異なる動作原理に基づく素 子の複合集積化が進むことを考えると,素子動作原理による 分類が必要と思われる。この考え方による集積化光デバイス の分類4)を図1に示す。

機能化を図ろうとするもので,実現性の高い集積化光デバイ スとして、ここ2、3年来脚光を浴びているものである。本 稿では、GaAs半導体基板を用いたOEICの研究開発の現状、 及び将来展望について述べる。

#### OEICの集積化構造 2

半導体レーザとトランジスタなどの電子素子を,半導体基 板上にモノリシックに集積化することによって、個別部品構成 で問題となる集積容量などを除去して高速化を実現すること が可能である。この場合, 光素子と電子素子の構造は大きく 異なるため、複合集積化構造が問題となる。図2にn形GaAs 基板を用いたOEICデバイスの例を示す<sup>5)</sup>。基板上にGaAs/ GaAlAsの多層エピタキシャル結晶成長により、いわゆるダブ ルヘテロ構造のレーザを形成する。更に、その上に絶縁性高 比抵抗のGaAlAs隔壁層を積層して2個のFET(Field Effect Transistor: 電界効果形トランジスタ)が集積化されている。 なお、FETの能動層はSnドープGaAsで形成されている。レ ーザ部と電子回路部は図3に示すように、隔壁層によって上 下に分離されていることから,この構造を縦形集積化構造と 呼んでいる。n 形基板を用いた場合,絶縁隔壁層はFETを作 製する上で不可欠であるが,多層にわたるエピタキシャル結



#### 注:略語説明

OEIC(Opto-Electronic Integrated Circuit:光・電子集積回路)

上記分類の中でOEIC(Opto-Electronic Integrated Circuit: 光・電子集積回路)は,光素子と電子素子を同一半導体基板 上にモノリシックに集積化することによって高速化などの高

図| 集積化光デバイスの分類 本分類は集積する素子の動作原理に 基づくものである。2.のハイブリッドは、通常の電子集積回路でのモノリシッ クに対するハイブリッドとは意味が異なる。

67

\* 日立製作所中央研究所 工学博士

736 日立評論 VOL. 65 No. 10(1983-10)



図2 縦形OEICの概観 n形GaAs基板上に,レーザ | 個とFET 2 個が集 積化されている。





図4 横形OEICの概観 半絶縁性GaAs基板上に、レーザー個、モニタ 受光器 | 個及びFET6個が集積化されている。モニタ受光器はレーザと同一構 造をもっている。



図3 縦形OEICの断面 レーザ部と電子回路部は, GaAIAs隔壁層によ って分離された縦形構造となっている。レーザへの電流経路は、隔壁層を貫く Zn拡散領域によって形成されている。

置して集積化されている。

晶成長は表面欠陥を生じやすく,絶縁性の高い隔壁層などの 広い領域での均一な成長が困難なことから, 縦形集積化構造 は規模の大きい電子回路の集積化には適していない。

現在,活発に研究開発が進められているGaAs集積回路では, 半絶縁性SI(Semi-Insulating)基板を用い、イオン打込みによっ てFETの能動層を形成する技術が適用されている。したがっ て, 規模の大きな電子回路を集積化するためには, SI基板の 一部にレーザを形成し, 光素子部と電子回路部を基板上で並 置する横形集積化構造が有利と考えられる。横形集積化構造 によるOEICデバイス<sup>6)</sup>の概観及び断面構造をそれぞれ図4, 5に示す。この例では、光素子としてレーザのほかに、レー ザと同一構造をもつモニタ用受光器(半導体レーザは逆バイア ス状態で受光素子としても動作する。)を集積化してある。こ の構造で現状,問題となっているのは、レーザとFETの構造 の差から生ずるレーザ部と電子回路部間の上下の段差である。 電子回路の高速化のためには、ゲート領域のµmオーダの微細 加工が必要であり、プロセス上この段差を極力小さくしなけ ればならないが、一方、図5のレーザ構造では、段差の低減 は発振モードなどレーザの光学的特性を劣化させる方向に働 く。しかし、このようなトレードオフ関係は必ずしも横形集 積化構造に本質的な問題ではなく、今後、レーザ構造及び作 製プロセスの最適化によって回避できるものと考えられる。 以上は、半導体レーザとFETとの複合集積化デバイスの例

であるが、受光素子と増幅器のOEIC<sup>7),8)</sup>についても検討が進 められている。

## 3 OEICの製作プロセス

GaAsなどの化合物半導体を用いたOEICデバイスの製作プ ロセスは,光素子部,電子回路部,両領域の結合部などの製 作プロセスから成っている。ここでは, 前章で紹介した横形 OEICを例に取り、その製作プロセスについて述べる。

製作プロセスの流れを図6に示す。まず半絶縁性GaAs基板 にレーザ活性領域を形成するための段差を食刻形成する。こ の上にレーザ下部電流経路となるn<sup>+</sup>形GaAsの導電層を,更に n形GaAlAsクラッド層, P形GaAlAs活性層, P形GaAlAsク ラッド層及びn形GaAsキャップ層を, LPE(Liquid Phase Epitaxy:液相エピタキシー)結晶成長法によって、合計3~ 5µmの厚さに成長させる。次に、レーザを構成する部分をホ トレジストで被覆しておき、電子回路部を作製する領域に成 長した余分なエピタキシャル層を食刻により除去してSI基板 を露出させる。このときレーザのn側電極であるn+導電層を 一部残し、電子回路との接続に用いる。この状態で露出した 半絶縁性基板表面のFETを構成すべき箇所に、通例のGaAs IC作製プロセスに従ってn形不純物であるSiを打ち込み、ア ニールによる活性化を行なってFETの能動領域を形成する。 レーザのp側の電流経路はレーザ活性領域上部のキャップ層

68

ザ

69



を貫通するZnの拡散によって形成する。絶縁膜及び金属電極 の被着プロセスは、GaAs IC作製プロセスと同じである。オ ーミック電極はAuGeNi合金及びAuの蒸着とアロイング、シ ョットキー電極はTi, Pt, Auの蒸着によって形成したが、い ずれもパターニングにはリフトオフの手法を用いている。電 極間配線とボンディングパッドの形成は、Mo, Auの金属蒸 着とイオンミリングにより行なった。最後にレーザとモニタ 受光器を食刻によって分離し、同時に素子内部にレーザの片 側の反射鏡面を形成した。

チップの切り出しは図4でレーザビームに垂直な方向では 結晶のへき開、平行な方向ではスクライブによって行なった。 したがって、レーザの一対の反射鏡面の一方はへき開面、他 方は食刻面によって構成されている。

なお縦形集積化構造デバイスの製作プロセスもレーザのn 側電極用n<sup>+</sup>層が不要なことなど二,三の差異はあるが,大略 上述のプロセスと同じである。また将来は, MBE(Molecular Beam Epitaxy:分子線エピタキシー)やMOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, 別名Organo Metallic Vapor Phase Epitaxy: 有機金属化学蒸着)などの新しいプロセ ス技術を取り入れることによって、より精密なデバイスの実 現が図られるであろう。

## 4 OEICデバイスの特性

本章では試作したOEICデバイスの特性について述べる。 図7は2章で断面を示した縦形集積化構造OEICのチップ写 真であり、 $0.6 \times 0.3 \text{mm}^2$ のチップにレーザ1個とFET2個が 集積化されている。このOEICデバイスの1個のFETをレー



図8 OEICの高速動作 レーザのバイアス電流値を適当に設定すること によって、レーザ光の2GHz以上での高速変調ができる。



OEICの論理動作 図 9 二つのFETのゲート入力パルスに対し, AND光 出力が得られている。

ザのバイアス電流印加用に用い、他方のFETのゲートに高周	
波電気信号を入力した場合の光の変調特性を測定した結果を	
図8に示す。レーザのIth(発振しきい電流)は27mAであったが、	ることも可能である。図9にAND動作の例を示す。両ゲート
$I_b(バイアス電流)をI_{th}の1.2倍程度とすることによって、2GHz$	にパルスが入力された場合にだけレーザにはしきい値以上の
以上の変調が可能である。また、本デバイスではレーザのし	電流が流れ、光出力が得られている。
きい値特性を利用して、2個のFETのそれぞれのゲートに独	図10に横形集積化構造によるOEICのチップ写真を示す。
立したパルス信号を入力し, 論理動作結果を光出力として得	このデバイスは、横形集積化構造での問題点を洗い出すとと

738 日立評論 VOL. 65 No. 10(1983-10)



図10 横形OEIC 横形集積化構造デバイスであり、レーザ部及び駆動電子回路、レーザ光モニタ用受光器、フィードバック回路などが含まれている。



# 5 結 言

以上,集積化光デバイスの研究開発の現状を,OEICを中 心に述べた。OEICの将来の応用としては,ワンチップ光送 信機や光受信機,更にこれらを一体化した光中継器,光をい ったん電気に変換して電子回路で切り換えを行ない,再び光 に変換する光スイッチ<sup>7)</sup>など種々の機能デバイスが考えられ る。また,光素子の集積化では,多数個のレーザをアレイ化 した高出力光源<sup>9)</sup>や波長の異なるレーザを集積化した波長多 重光源なども手がけられており<sup>10)</sup>,将来は更に,電気光学効 果,磁気光学効果,音響光学効果などの導入によって,変調, 分波,スイッチング,偏光処理などの多機能化が進むものと 期待される。

また,光による論理処理を可能とする半導体を用いた光双 安定デバイスの基礎研究も進められており<sup>11)</sup>,広い意味での 集積化光デバイス技術は,単に光通信だけでなく,光情報処 理への応用など,来るべき世紀でのキーテクノロジーである と考えられている。

なお、本稿で述べたOEICデバイスは通商産業省工業技術 院の大型プロジェクト「光応用計測制御システムの研究開発」 の一環として実施されたものである。



2V Div. 200ns Div.



図|| 横形OEICのスイッチング動作 入力電気パルスに対応したレ ーザのパルス発振動作を示している。

もに、Gビット/秒オーダの高速ディジタル変調用レーザ光 源を目的に試作したもので、レーザ駆動回路部は2個のFET による高速差動スイッチング回路、FET1個による定電流回 路及びバイアス電流印加用FET1個で構成されている。また、 温度変化による光出力変動を補償するため、モニタ用受光器 及びFET2個、抵抗1個から成るAPC(Automatic Power Control)用フィードバック回路が同時に集積化されている。

現在,本デバイスはその基本特性を測定中であるが,駆動 電子回路部とレーザとの連携動作測定例を図11に示す。測定 パルスレートは約2Mビット/秒と低いが,入力電気パルス信 号に対応するレーザの動作を,横形集積化構造による比較的 規模の大きなOEICデバイスで初めて確認することができた。 また,モニタ用受光器とフィードバック回路についても,レ ーザ光出力とフィードバック出力電圧の関係など,その基本 機能を確認できた。 今後,構造,プロセスの検討を進め,特性の向上を図って ゆく予定である。

70

#### 参考文献

- F. P. Kapron, et al. Radiation Losses in Glass Optical Waveguides, Appl. Phys. Lett. 17, 10, 423~425(1970)
- I. Hayashi, et al.: Junction Lasers which Operate Continuously at Room Temperature, Appl. Phys. Lett. 17, 3, 109~111(1970)
- S. E. Miller : Integrated Optics : An Introduction, Bell Syst. Tech. J., 48, 7, 2059~2069(1969)
- 4) 松枝,外:光速度を追うIC技術,日本の科学と技術,22,207 (1981,1-2)
- 5) H. Matsueda, et al.: Integration of a Laser Diode and a Twin FET, Japan J. Appl. Phys. 20, S-20-1, 193~197 (1980)
- 6) H. Matsueda, et al.: GaAs Optoelectronic Integrated Light Sources, IEEE J. Lightwave Technology, LT-1, 261~269 (1983); CLEO(Conf. Lasers & Electro-Optics) Technical Digest, May. 17-20, (1983) Baltimore, p. 120~121
- R. F. Leheny, et al.: Integrated In<sub>0.53</sub> Ga<sub>0.47</sub> As p-i-n
   F.E.T. Photoreceiver, Electronics Lett. 16, 10, 353~355 (1980): P.K. Tien: 私信
- 8) J. Barnard, et al. : Integrated Double Heterostructure Ga<sub>0.47</sub>
   In<sub>0.53</sub> As Photoreceiver with Automatic Gain Control,
   IEEE Electron Device Lett. EDL-2 1, 7~9(1981)
- 9) D. R. Scifres, et al.: High-power Diode Lasers, CLEO (Conf. Lasers & Electro-Optics) Technical Digest May 17~20, (1983) Baltimore, p. 32~33; D. R. Scifres et al.:
   High Power Coupled Multiple Stairs Operator W H L i

High Power Coupled Multiple Stripe Quantum Well Injection Lasers, Appl. Phys. Lett. 41, 2, 118~120(1982)
10) K. Aiki, et al.: Frequency Multiplexing Light Source with Monolithically Integrated Distributed-feedback Diode Lasers, Appl. Phys. Letters 29, 8, 506~508(1976)
11) H. M. Gibbs, et al.: Room-temperature Excitonic Optical Bistability in a GaAs-GaAlAs Superlattice Etalon, Appl. Phys. Lett., 41, 221(1982)