

可視光半導体レーザー

Visible-light Semiconductor Laser

あらまし

光ディスク装置の高密度化の要求に伴い、発振波長の短波長化に加えて、ビーム形状や非点隔差などのビーム特性についても良好な特性を持つ半導体レーザーが要求されている。本稿では、この要求を満たすため、今回開発した独自構造のAlGaInP系赤色可視光半導体レーザーについて述べる。

富士通のレーザーは、ステップ状基板上に形成された屈折率導波のレーザーであり、ステップの内外でのp/n不純物の取込まれ方の違いを利用して電流狭容(きょうさく)部を含むレーザー構造を1回のMOVPE成長で作成できることに特長がある。電流狭容部がレーザー光を吸収しないため非点隔差が発生しにくく、また光導波路幅を狭くしても光吸収による特性劣化がないため、ビーム形状を円形に近づけた設計が可能となった。

上記特長を生かした680 nm帯の高出力レーザーを製品化し、また現在660 nmの高出力レーザーの開発を行っている。

Abstract

A semiconductor laser which oscillates at a shorter wavelength and has good beam characteristics such as a small aspect ratio and a small beam astigmatism has been requested so that the density of optical disk memories can be increased. To satisfy this request, we have developed a visible red-light AlGaInP semiconductor laser with a unique structure. This laser is a refractive-index waveguide laser formed on a stepped substrate. The self-aligned current blocking structure of this laser is formed by a 1-step MOVPE growth by exploiting the difference in p/n impurity absorption between the inside and outside of each step. Because the current blocking part does not absorb the laser light, we can obtain a very small astigmatism. In addition, because the characteristic deterioration due to optical absorption does not occur, we can obtain a very small aspect ratio, even at a narrow optical stripe width. We have already marketed a high-power 680 nm laser with the above characteristics, and we are now developing a high-power 660 nm laser. This paper describes the new 680 nm and 660 nm lasers.



古谷 章(ふるや あきら)

富士通量子デバイス(株)光デバイス事業部光デバイス開発部 所属
現在、半導体レーザーの研究開発に従事。



棚橋俊之(たなはし としゆき)

(株)富士通研究所基盤技術研究所 所属
現在、光半導体デバイスおよび材料開発に従事。

まえがき

半導体レーザーの応用分野には、大別して光ファイバ通信光源と光ディスク装置用光源の二つがある。光ファイバ通信に用いられる半導体レーザーは、発振波長が $1.3\ \mu\text{m}$ または $1.55\ \mu\text{m}$ の近赤外で、一般に長波長半導体レーザーと呼ばれるのに対し、光ディスク装置に用いられる半導体レーザーは、発振波長が $0.78\ \mu\text{m}$ または $0.65\text{-}0.68\ \mu\text{m}$ であり、これらを総称して可視光半導体レーザーと呼んでいる。

光ディスク装置は、コンパクトディスク(CD)やミニディスク(MD)、レーザーディスク(LD)、デジタルビデオディスク(DVD)、光磁気(MO)ディスクなど多様な種類があり、音楽用、映像(カラオケ)用、カーナビ用、コンピュータのデータストレージ用など、すでに日常生活の様々な用途に用いられている。しかし、インターネットを利用した動画などのマルチメディアデータの通信時代を迎えるに当たり、光ディスク装置には大量のデータを貯えるホームライブラリとしての用途が期待されており、一層の大容量化の要求が続いている。

光ディスク装置の記憶容量を増大させるためには、媒体上の記録スポットを縮小し、記録密度を上げる必要があるが、光の波長を、集光レンズの開口数を $N.A.$ とすると、光を集光した際のスポットの理論限界は $\lambda/N.A.$ に比例することが知られている。したがって、記録密度の向上のためにはレーザー発振波長の短波長化が重要である。これまでのCDやMDでは、波長 $0.78\ \mu\text{m}$ のAlGaAs系材料のレーザーが用いられてきたが、さらに高密度記録が要求される640 Mバイト以上の3.5インチMOディスク装置やDVD装置では、波長 $0.65\text{-}0.68\ \mu\text{m}$ のAlGaInP系材料のレーザーが使用されるようになってきた。

また、光ディスク装置ではレーザービームを回折限界近

くまで集光する必要があるため、その光源となるレーザー光には、収差がなく、点光源に近い光学特性が望まれている。しかし、これまでの半導体レーザーは、ビームの縦方向と横方向で発光点位置が異なって見える非点隔差を持っていたり、ビームが著しい楕円形状であったため、これらを補正する光学系を用いて装置を設計するのが一般的であった。しかし、光学システム簡略化の点から、補正光学系なしでも使用できる半導体レーザーに対する要求は大きかった。

富士通における半導体レーザーの開発は、これまで光通信用に集中してきたが、近年、光ディスク用半導体レーザーについても開発を進め、良好なビーム特性を持つAlGaInP系赤色可視光半導体レーザーを製品化した。

本稿では、開発した可視光半導体レーザーの構造、製造方法、および素子特性の特長について述べる。

レーザー構造

これまでAlGaInP系可視光レーザーによく用いられてきたリッジ埋込み型レーザーの構造(従来構造)と、富士通が開発したSelf-aligned Stepped Substrate(S^3)型レーザー⁽¹⁾の構造を図-1に示す。

リッジ埋込み型レーザーは、pクラッド層の厚さをストライプ状に厚くした光の通り道(光導波路)の側面を電流狭窄層であるn-GaAs層で埋込み、さらにその上にp-GaAsコンタクト層を形成した構造をとっている。電流は電流狭窄構造により、また光は光導波路により同じ部分に集められ、この部分でレーザー光が発生する。しかし、この構造ではGaAsが発振光を吸収する性質があるため、レーザーのビーム特性について以下の問題があった。

レーザーの出射ビーム形状は、光導波路内で光が広がっている方向には狭い放射角度、狭く閉じ込められている

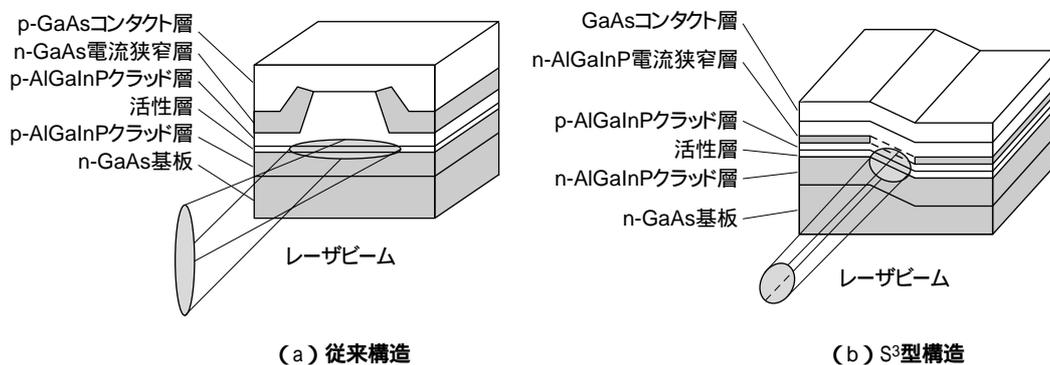


図-1 従来のレーザー構造と S^3 型レーザー構造

Fig.1-Conventional laser structure and S^3 laser structure.

方向には広い放射角度で出射される性質を持っている。従来のレーザー構造は、光導波路幅が4-5 μm程度であり、導波路内のビーム形状は光導波路の幅方向に長い楕円形状となり、出射ビームの形状は縦長の楕円状となっていた。

レーザーのビームアスペクト比(ビームの長軸方向と短軸方向の広がり角度の比)を改善するには、ストライプ幅を狭くして横方向のビーム広がりを大きくする必要がある。しかし、光導波路幅を狭くすると、光吸収層である電流狭窄層が光導波路の中心に近づくため、光導波路全体の光吸収損失が増加し、レーザーの量子効率が低下したり、閾(しきい)値電流が上昇するという問題が発生する。そのため、光導波路幅を3 μm以下にするのは難しかった。またリッジの内外で光導波路の損失が大きく異なっているため、これが非点隔差の原因ともなっていた。

これに対し、富士通の開発したS³型レーザーは、ストライプ状のステップに加工されたn-GaAs基板上に、このステップ形状を保存するようにダブルヘテロレーザー構造が形成されているのが特徴である。電流は、n型AlGaInP電流狭窄層により、また光は、活性層の屈曲による横方向の実屈折率差により、いずれもステップ部分に閉じ込められる。したがって、本レーザーでは、ステップの幅がリッジ埋込み型レーザーの光導波路幅に相当する。n型AlGaInP電流狭窄層は、レーザー光に対し透明であり、光導波路幅を狭くしても吸収損失の増加によるレーザー特性の劣化を起こさない。そのため、ビームアスペクト比の改善が可能となる。また、光導波路内外の光吸収の差もほとんど存在しないため、非点隔差の低減も可能な構造となっている。

製造方法

S³型レーザーでは、製造方法も従来のレーザーと異なった特徴を有している。

現在、半導体レーザーの結晶成長法として一般的なMOVPE法(有機金属気相成長法)を用いてリッジ埋込み型レーザー構造を製作するには、3回の成長工程が必要である。まず、平板状のn-GaAs基板上に、n-AlGaInPクラッド層、活性層、p-AlGaInPクラッド層のダブルヘテロ構造を形成する。その後、pクラッド層をリッジ状に加工し、2回目の成長でリッジ側面に電流狭窄層を選択成長する。さらに、3回目の成長でコンタクト層を形成してレーザー構造が出来上がる。

これに対してS³型レーザーでは、1回のMOVPE成長で、電流狭窄層を含むレーザー構造のすべてを製作できるのが特長である。そのポイントは、半導体の導電型(p型, n

型)を決める不純物の取込まれ方が結晶の成長面方位によって異なることを利用した電流狭窄層の製作法にある。図-2は、p型不純物であるZnとn型不純物であるSeが、クラッド層となるAlGaInP中に取り込まれる際の基板面方位依存性を示したものである。Seを単独でドーピングした場合()には、基板オフ角度{結晶の(100)面からの基板表面の傾き}が増すにつれてn型キャリア濃度が減少する傾向を示すのに対して、Znを単独でドーピングした場合()には、基板オフ角度が増すにつれてp型キャリア濃度が増加する傾向を示している。

そこで、SeとZnを短周期の多層状にドーピングする構造を製作すると、基板オフ角度に対して反対の取込まれ方を持つ性質から、オフ角度の小さい基板に成長した場合には、多層構造全体がn型の導電型を示し(), オフ角度の大きい基板に成長した場合には、多層構造全体がp型の導電型を示す()ようになる。

このSeとZnを短周期の多層状にドーピングした構造を、ステップ状に加工した基板上に形成すると、平坦部ではn型、ステップ部ではp型の導電型を示す横方向npn型構造が形成されることになる。

S³型レーザーでは、この構造をレーザーのp型クラッド層中に用いることにより、ステップ部分に自己整合したn型の電流狭窄構造を製作している。(2)そのため、1回の結晶成長のみで素子構造が製作可能である。製作プロセスが簡単であるため、特性ばらつきの小さい素子を安定して製作できる。

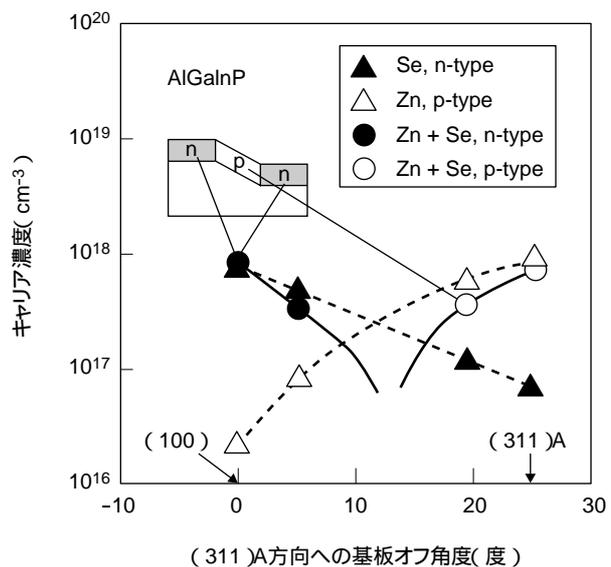


図2 p型, n型不純物の取り込まれの基板面方位依存性
Fig.2-Doping dependence of p-type and n-type impurities on substrate orientation.

680 nm 帯レーザー

前述の製造技術を用いて、ストライプ幅を $1.5\ \mu\text{m}$ 程度まで低減した680 nm帯レーザー(FLD6A2TK)を製品化した。活性層には、GaInAsP 4元層を井戸層とする圧縮歪量子井戸活性層を採用し、膜厚や歪量など波長680 nm帯の動作に対する最適化を行っている。FLD6A2TKの特性を表-1にまとめた。70 °CでCW35 mW、パルス55 mWの高温・高出力動作を実現し、MOディスク装置など、録音再生型の光ディスク装置に適用可能な仕様となっている。

パッケージには、CD用のレーザーパッケージとして広く用いられている外径5.6 mmの窓付きのキャンタイプを採用している。レーザーチップ実装の概略を図-3に示した。レーザーチップは、放熱性を改善するため、サブマウントを介してアップサイドダウンでステムにマウントさ

表-1 680 nm帯レーザー(FLD6A2TK)の特性一覧

(a) 絶対最大定格 (25 °C)

光出力	CW	35 mW
	パルス	55 mW
動作温度		0 ~ 70

(b) 電氣的・光学的特性 (25 °C)

項目	条件	標準値
しきい値電流		25 mA
発振ピーク波長	35 mW	685 nm
動作電流	35 mW	50 mA
動作電圧	35 mW	2.5 V
水平拡がり角	35 mW	13度
垂直拡がり角	35 mW	17度
アスペクト比	35 mW	1.3
非点隔差	< 35 mW	1 μm

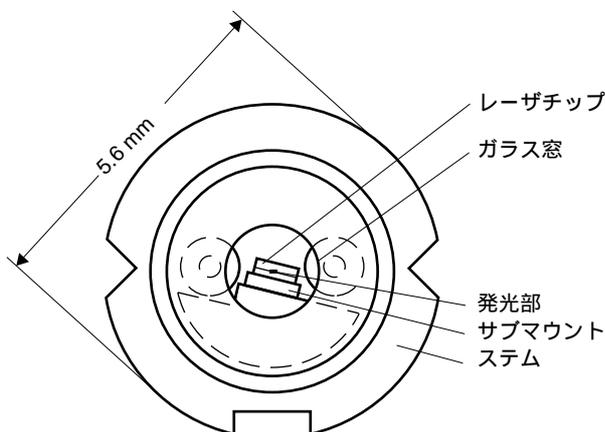


図-3 レーザチップの実装形態
Fig.3-Package feature of laser device.

れている。

S³型レーザーは、発光部がステップ部分になるため、チップの水平面に対し、ステップの傾きの分だけ回転した形状でレーザー光が射出されることになる。そこで、レーザーがマウントされる部分をレーザーのステップの傾き方向とは反対に回転させた構造のパッケージを採用することにより、ビームの長軸、短軸方向をステムの切りかけ方向に合わせた実装方法を採用している。そのため、素子構造によるビームの回転を気にすることなく、従来のレーザーと同様の取付け方法で本レーザーを使用することが可能である。

温度を変化させた場合の電流-光出力特性の例を図-4に示す。25 °Cにおける35 mW動作時の駆動電流は約50 mAであり、70 °Cにおいても約65 mAと低動作電流を実現している。これらは、狭ストライプ化による閾値電流低減と光導波路の損失低減による量子効率向上の結果と言える。

レーザーの放射パターン(遠視野像)を図-5に示す。光出力によらず、放射パターンは安定に保持されている。また、垂直方向、水平方向のビーム半値角度は、各々17度と13度であり、ビームアスペクト比1.3の円形に近いビーム特性が実現できている。非点隔差の光出力依存性を図-6に示す。従来型のレーザーは、非点隔差が5 μm 以上と大きく、また光出力に依存して変化しているのに対し、S³型レーザーは光出力に依存せず、1 μm 以下の小さい非点隔差特性を示している。

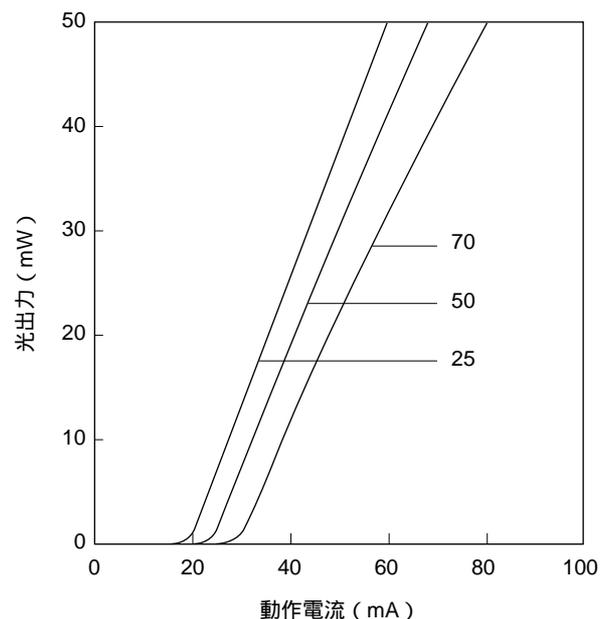


図-4 680 nm帯レーザーの電流-光出力特性
Fig.4-Light-current characteristics of 680 nm laser.

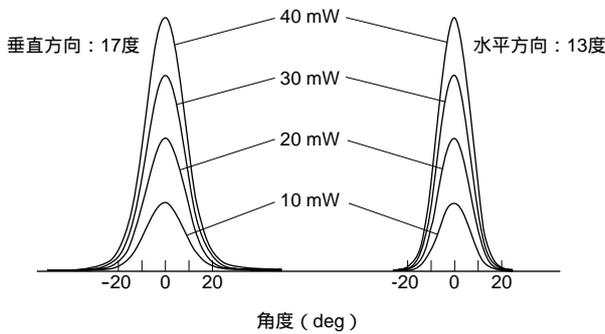


図-5 680 nm帯レーザーの放射パターン(遠視野像)
Fig.5-Far field patterns of 680 nm laser.

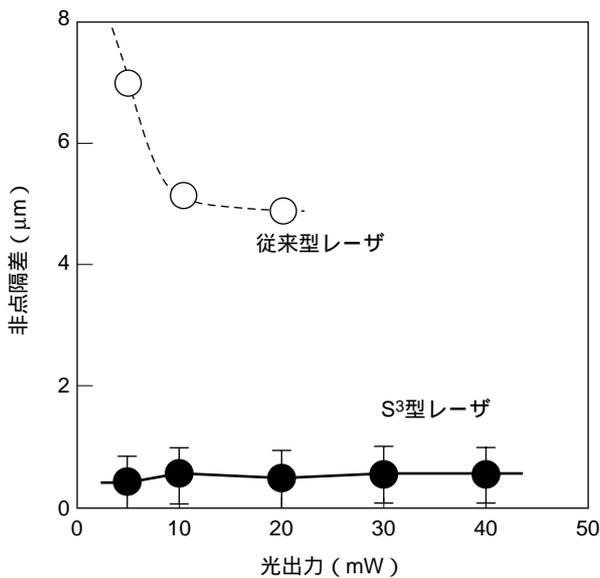


図-6 680 nm帯レーザーの非点隔差の光出力依存性
Fig.6-Beam astigmatism-light characteristics of 680 nm laser.

このように、狭ストライプ幅および低損失・実屈折率型の S^3 型レーザー構造を採用することにより、低アスペクト比・低非点隔差の点光源に近いビーム特性を実現している。

70℃, 35 mWで、光出力を一定とした条件下での動作電流変化を図-7に示す。 S^3 型レーザーは、斜面上への結晶成長や多層構造による電流狭窄構造形成などの新しい技術要素が取り入れられているが、このための欠陥発生はなく、高温・高出力の条件下においても安定した動作が実現されている。

660 nm レーザ

680 nm帯レーザーに続き、現在、DVD-RAMやDVD-RWへの適用を想定した波長660 nmの高出力 S^3 型レーザーの開発を行っている。

660 nmレーザーは、680 nm帯レーザーに比べて高温動作時

の特性低下が著しい傾向がある。これは、活性層内に閉じ込められ、発光に寄与すべき電子が、クラッド層内にあふれてしまう割合が680 nm帯レーザーに比べて大きいことが原因と考えられている。良好な特性を得るためには、680 nm帯レーザーとは異なった素子設計が必要となる。検討の結果、GaInPを井戸層とする圧縮歪み量子井戸構造を最適化して活性層に用いること、p-クラッド層のキャリア濃度を増加させることなどにより、前述の S^3 型レーザーの特長を損なわずに特性を向上させる目処を得た。

660 nmレーザーのI-L特性の温度依存性を図-8に示す。25℃における30 mW出力時の動作電流は55 mA程度であり、60℃においても70 mAという低動作電流を実現している。また、この素子のビーム広がり角は、縦方向21度、

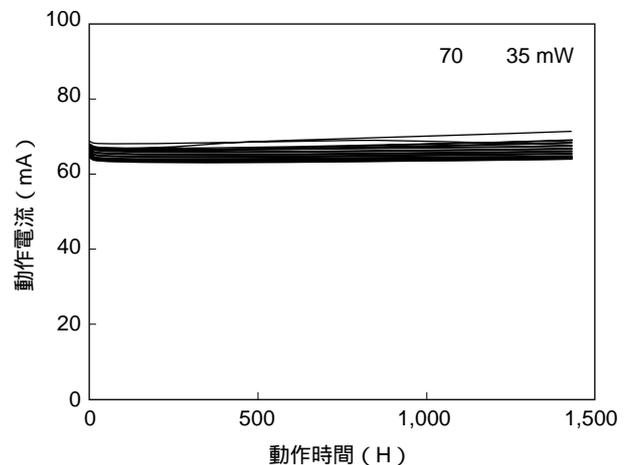


図-7 680 nm帯レーザーのエージング特性
Fig.7-Aging characteristics of 680 nm laser.

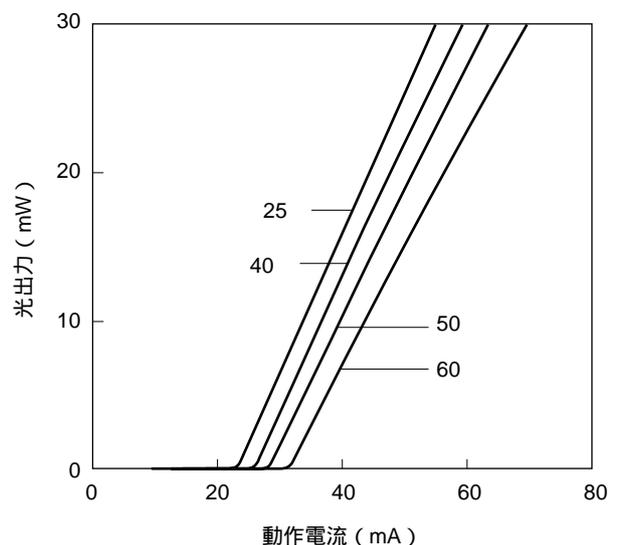


図-8 660 nmレーザーの電流-光出力特性
Fig.8-Light-current characteristics of 660 nm laser.

横方向16度であり、ビームアスペクト比は約1.3、非点隔差は1 μm 以下と S^3 型レーザーの特長を生かした特性を実現している。

次世代の光ディスク装置では、高密度化に加えて、書き込み・読出しの高速化が要求されており、半導体レーザーには680 nm帯レーザーを上回る高出力動作が要求されている。現在、パルス駆動(100 ns, duty 50%)で70 mWクラスの動作が可能な素子を開発中である。

む す び

光ディスク用半導体レーザーとして、富士通独自の構造である S^3 型レーザー構造を紹介し、動作電流やビーム特性

において従来のレーザーに勝る特性を持つことを述べた。

今後も、これらの技術をもとに、年々高密度化が要求される光ディスク装置用半導体レーザーをタイムリに提供していく所存である。

参考文献

- (1) C. Anayama et al. : One-Step-MOVPE-Grown Index-Guide GaInP/AlGaInP Visible Laser Using Simultaneous Impurity Doping. Ext. Abs. of SSDM, Tsukuba, pp.619-621, 1992.
- (2) C. Anayama et al. : Alternate Doping of p-type and n-type Impurities for AlGaInP Self-Aligned Stepped Substrate(S^3) Lasers. *Electron. Lett.*, 30, pp.565-566(1994).

