

## 最近の技術から

# 面発光レーザー

伊賀 健一

東京工業大学精密工学研究所 〒227 横浜市緑区長津田町 4259

## 1. ま え が き

筆者は、画像などのきわめて大容量情報の伝送・処理を行なうために、光の並列性を十分に活用した並列光通信や並列光演算・処理システムの実現を念願している。このような光の空間的な並列性を利用したシステムをつくるためには、二次元的に多数のレーザーを集積した大規模アレーが一つのキーデバイスであると考えられる。著者は1977年に、結晶の表裏面を反射鏡とする面発光レーザーを提案して、1979年に初めて温度77Kでのパルス発振に成功し、その後、室温パルス発振に成功以來、その性能向上に努めてきた<sup>1,2)</sup>。とくに、光波長の数倍程度の大きさをもつマイクロ構造面発光レーザーとそれに他の光機能素子を積層した積層光集積回路の開拓を進め、閾値6mAの低閾値動作<sup>3)</sup>、2次元レーザーアレー<sup>4)</sup>、および室温連続動作を世界に先駆けて実現<sup>5)</sup>するなど、高性能な2次元並列デバイスを実現するための基盤技術を蓄えてきた。

本論文では、面発光レーザーの特徴、研究の状況、現在得られている特性、考えられる応用範囲、発展性などについて解説する。とくに、2次元高密度並列性はこの形式の大きな特徴であり、光並列処理、並列光通信などへの期待感が大きい。

## 2. 面発光レーザーの特性

面発光レーザー、とくにわれわれが開拓を進めている垂直共振器型の特徴としては、1) モノリシックな共振器形成が可能、2) 素子分離前にウェハ単位の検査が可能、3) 容易な実装、4) 動的単一波長動作、5) 大放射面積で鋭い円形ビーム、6) 高密度2次元レーザーアレー、7) 積層による3次元アレーデバイスの集積化が可能、などが挙げられる。

図1に、面発光レーザーの構造を示す。波長の数倍程度の大きさの円筒状活性領域と結晶表面を用いたレーザー反射鏡から構成される。光情報処理や光計測に重要な

GaAs系および光通信光源として重要なGaInAsP系の2種類の混晶半導体を用いて、面発光レーザーを製作し、その動作特性を明らかにしてきた。閾値電流を小さくするためには、活性領域の微小化が不可欠である。そのため、選択メルトバック法により界面の劣化の防止が可能な液相成長法による円形埋込み構造(CBH)を基本構造として、活性領域の直径は10 $\mu\text{m}$ 程度まで小さくする技術を確立した。共振器の長さは6~8 $\mu\text{m}$ と従来のレーザーに比べて50分の1である。これに伴い、縦モード間隔は100~250 $\text{\AA}$ と広い。

埋込み型GaAs系面発光レーザーで、室温パルス動作における最低閾値電流6mAを得ている<sup>3)</sup>。77Kでは閾値4.5mAで連続動作をする。このときの活性領域径は発光近視野像から約6 $\mu\text{m}$ となっている。さらに、最近、有機金属気相成長(MOCVD)法を導入したGaAs系面発光レーザーで、室温における連続発振に成功した<sup>6)</sup>。これは、波長の数倍程度のマイクロ共振器をもつ面発光レーザーとしては、初めての室温における連続発振である。図2は、室温連続発振時の電流対光出力特性と発振スペクトルを示しており、測定系の分解能以下のスペクトル幅で、安定な単一モード発振が得られている。また、GaInAsP系でも77Kで、閾値6mAの連続動作を得ている<sup>6)</sup>。

垂直共振器面発光レーザーでは、活性領域の径をさらに微小化することにより、極低閾値動作が期待できる。これまで得られた実験結果は、理論的予測に従い、閾値が活性領域の径の2乗に比例して減少しているため、直径を2~3 $\mu\text{m}$ 以下とすることにより、1mA以下の極低閾値動作が期待できる。このような低閾値化は、大規模な2次元アレーや光電子集積回路を実現する上で不可欠な点である。

## 3. 2次元レーザーアレーと積層集積化への発展

面発光レーザーの大きな特徴として、光の特徴を十分

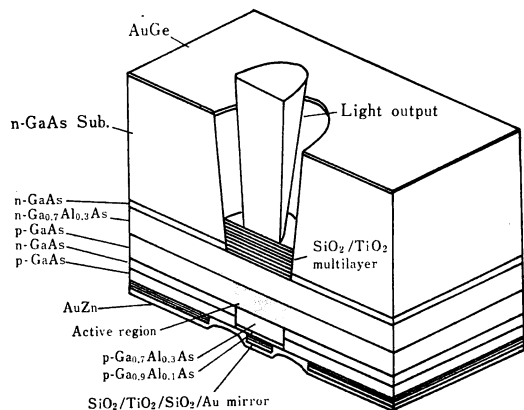


図1 面発光レーザーの構造

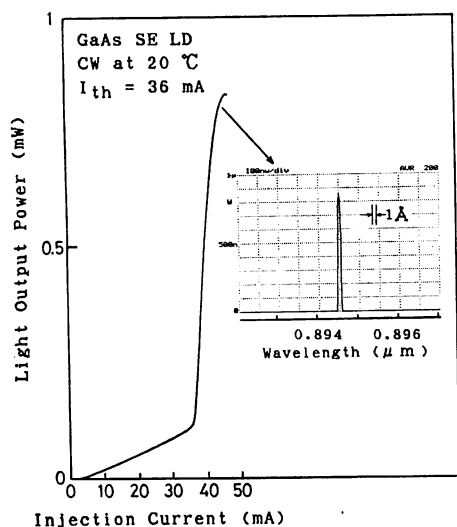


図2 電流対光出力特性と室温連続動作時の発振スペクトル

や均一性に優れた化学ビーム成長 (CBE) 法などの優れた成長技術の導入により、より大面積の2次元レーザーアレーの実現が可能と考えられる。

2種類の異なる半導体を交互に組み合わせた半導体多層膜反射鏡を用いた DBR あるいは DFB 構造の面発光レーザーでは、結晶成長中に共振器の形成が可能であり、さらに、面発光レーザーへの他の光機能素子の積層集積が可能になる。この目的で、MOCVD 法により DBR 型面発光レーザーを試作した。活性層の片側に 20 対の AlAs と Ga<sub>0.9</sub>Al<sub>0.1</sub>As から構成される半導体多層膜を有する。この半導体多層膜はレーザー反射鏡と注入キャリアの閉じ込めを兼ね備えており、ピーク反射率は、0.90 μm で約 90% である。GaAlAs 系で、初めて DBR 型面発光レーザーの室温パルス発振が得られた。閾値電流は 40 mA であり、この値は同一直径の通常的面発光レーザーと同程度でしかも出力が大きく、半導体多層膜により良好な反射鏡が形成されていることがわかる。また、ピークで 14 mW 以上の光出力が得られ、金反射鏡に比べて高効率化が期待できる。

さらに、超格子構造を用いた光変調器や光双安定素子の動作特性についても研究を進めており、これら光機能素子と面発光レーザーの積層集積などが将来重要になると考えられる。

文 献

- 1) H. Soda, K. Iga, C. Kitahara and Y. Suematsu: "GaInAsP/InP surface emitting injection lasers," Jpn. J. Appl. Phys., **18** (1979) 59-60.
- 2) K. Iga, F. Koyama and S. Kinoshita: "Surface emitting semiconductor lasers," IEEE J. Quantum Electron., **QE-23** (1988) 1845-1855.
- 3) K. Iga, S. Kinoshita and F. Koyama: "Microcavity GaAlAs/GaAs surface emitting laser with  $I_{th} = 6\text{mA}$ ," Electron. Lett., **23** (1987) 134-136.
- 4) S. Uchiyama and K. Iga: "Two-dimensional array of GaInAsP/InP surface-emitting lasers," Electron. Lett., **21** (1985) 162-164.
- 5) F. Koyama, S. Kinoshita and K. Iga: "Room temperature CW operation of GaAs vertical cavity surface emitting laser," Trans. IEICE, **E71** (1988) 1089-1090.
- 6) M. Oshikiri, F. Koyama and K. Iga: IQEC '88, Post-Deadline Paper, PD-22 (1988).

(1989年2月28日受理)

に生かした並列光通信や情報処理への発展性をもつ2次元レーザーアレーを構成できることが挙げられる。ここでは、初期的な実験として、100 μm 角に 5×5 の面発光レーザーを高密度に集積した2次元レーザーアレーを製作した。各素子の構造は MOCVD 法による埋込み構造であり、各素子の直径とその間隔はそれぞれ 10 μm と 20 μm である。各レーザーの電極は共通であり、すべて同時に電流注入を行なった。現在進めている平坦性