

面型半導体レーザー

馬場 俊彦

基板面に対して垂直方向に光を射出する面型半導体レーザー（あるいは面発光レーザー、垂直共振器型レーザーなどと呼ばれる）は、1970年代より東工大を中心に基礎研究が行われてきたが、1988年の室温連続動作達成¹⁾、1989年の半導体マイクロキャビティ構造²⁾の発明以降、世界的に研究が拡大し、いまや半導体レーザー研究のほぼ1/3を占める主要な研究分野となった。特に今年はAlAs層の選択酸化と呼ばれる新しいプロセスの導入によって、従来のストライプレーザーを凌駕する性能改善が次々に報告された。また動作波長域も、光ファイバー通信に用いられる赤外から青色に至るまで、広範囲に及ぶようになった。本稿ではこれらの進展を総括すると共に、光LANや光インターコネクションをターゲットとした製品化の動向についても紹介する。

1. AlAs層の選択酸化プロセス

近年報告される多くの面型半導体レーザーは、AlAs/(Al)GaAs多層膜の超高反射率によって、小さな素子でのレーザー発振を可能にしている。この多層膜は電流の通り道を兼ねているので、高反射率を維持しながら電流を中央部に集中させる工夫が必要となる。これまでは多層膜を小さなメサ形状にエッチングする、あるいはプロトンイオン注入によって電流の流れを制限する、などの方法がとられてきた。しかし10 μm 以下まで素子を小さくしてゆくと、非発光現象や加工損傷の影響で無効電流が増え、一般に性能が劣化する。微小化による性能向上はここ数年頭打ちの状況にあった。

AlAs層の選択酸化³⁾とは、多層膜に含まれるAlAs層が特に酸化されやすいという特徴を利用して、電流集中機構を作り込む方法である。プロセス自体は驚くほど簡単なのだが、上記の無効電流も不思議なほど少ない。

2. 0.98 μm 帯InGaAs系素子

面型レーザーの中でも最高の性能を示しているのは、

波長0.98 μm 帯InGaAs半導体系の素子である。とりわけ今年話題は、発振しきい値電流8.7 μA の報告⁴⁾であろう。この報告の直前にもAlAs選択酸化による100 μA 以下のしきい値が報告され話題となっていたが、それと比べても桁違いに低い値である。あまりの低さにスペクトル評価の不十分さを指摘する向きもあるが、動作特性をみるとLEDとは思えない効率を示しており、ほとんど無しきい値レーザーと呼んでも差し支えないほどである。おそらくすべてのレーザー装置の中でも、最も少ない消費電力で発振を起こした例であろう。

これ以上に重要な成果として、電気-光パワー変換効率50%の達成⁵⁾がある。その動作特性を図1に示す。ここでは1mWの光を出すのに1.3mA程度の電流しか必要としない。異種エネルギー間の変換効率としては驚くほど高い数字である。選択酸化による無効電流の低減に加え、電気抵抗を実用レベルまで減らしたことが要因であろう。面型レーザーの大きな特徴のひとつは2次元アレイ集積が可能という点にあるが、ここまで電流が小さいと動作時の素子の温度も数度以下に抑えることができ、1000素子を超える大規模集積でも実用的な動作が期待できる。

この他の性能として、現在までの最高発振温度は200°C、最高光出力は多モード発振時で100mW以上と、ストライプ型と比べ遜色ないレベルとなっている。当初は寿命に対する懸念があったがAlAsにGaをわずかに添加することで改善されつつあるようだ。

3. その他の波長域の素子

他の波長域、材料においても最近の進歩は目を見張るものがある。まず波長がやや短い0.85 μm 帯GaAs系の素子は、Siフォトダイオードと組み合わせた光インターコネクションの光源として待望する声が高い。この系は発光層の性能がInGaAs系に比べて劣るものの、基本的にはほとんど同じ材料、同じプロセスを用いることができる。性能は0.98 μm 帯の素子に準じた値となっている。

一方、石英系ファイバー通信にとって重要な

Surface emitting lasers (1995年10月30日受理)
Toshihiko BABA 横浜国立大学工学部電子情報工学科 (〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156)

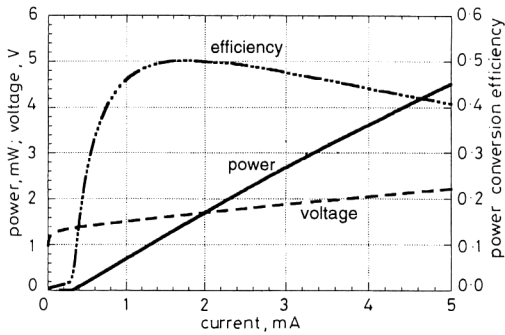


図1 光-電気変換効率50%を記録した面型レーザーの動作特性⁵⁾。

1.3~1.55 μm 帯 GaInAsP 系は、研究の長い歴史に反してなかなか室温動作する素子が得られなかった。山積する問題を何とか抑え込む素子設計で、筆者らが初めて室温領域 14°C での動作にこぎつけたのが 2 年前だが、最近では技術がもう一歩進み、補償歪量子井戸と GaAs/AlAs 多層膜反射鏡の張り合わせ技術によって、室温以上 (33°C) までの発振が得られるようになった。しきい値も 2~3 mA と低く、今後の進展が期待される。

赤色の AlGaInP 系でも AlAs 選択酸化が取り入れられ、0.6 mA の低しきい値発振、最短波長 615 nm (オレンジ色) が実現されている。光出力はいまだに 3 mW 程度と低いが、2 年前に初めて発振が観測されてからの進歩は早い。今後、プラスチックファイバー通信や光ディスクヘッドに用いられるかもしれない。

一方、青緑色でも最近のレーザーや LED の話題に促されるように面型レーザーの基礎研究が熱を帯びてきている。77 K パルス条件ではあるが、CdZnSe 系材料により電流注入での発振がすでに報じられた。MgZnSSe 系、GaN 系などの材料も並行して研究されており、今後の展開には目が離せない。特に GaN 系ではストライプレーザーがようやく実現されて大きな話題となっているが、反射鏡を作るのが難しいストライプ型よりも面型

がむしろ高性能化に有利とする声もあり、すべての意味でストライプ型を超えた面型となるかもしれない。

4. 製品化の動向

以上、今回の特集である光インターコネクションとは一部関係ない範囲を含めて、面型半導体レーザーの研究動向を述べてきたが、最後に製品化について触れておきたい。現時点での面型レーザーの製品としての魅力は、ウェハー単位で製造・検査、アレイ化や光ファイバーとの接続が簡単、それらにともなう低価格といった点にある。したがって PC 間を結ぶ光 LAN などの簡易バスシステムに組み込んで販売しようという動きが、アメリカのメーカーを中心に活発となってきている。主な波長域は 0.98 μm と 0.85 μm である。今のところ製品化されている構造に選択酸化は用いられていないが、今後この技術による高効率化、高速化、高密度集積化が進めば、適用範囲は大きく広がるであろう。すなわち面型レーザーアレイによるボード間大規模空間光インターコネクション、コヒーレントアレイによる高速イメージ処理などが早晩、実現されるに違いない。

文 献

- 1) F. Koyama, S. Kinoshita and K. Iga: "Room-temperature cw operation of GaAs vertical cavity surface emitting laser," Trans. Inst. Electron. Inf. Commun. Eng., E7 (1988) 1089.
- 2) J. L. Jewell, A. Scherer, S. L. McCall, Y. H. Lee, S. J. Walker, J. P. Harbison and L. T. Florez: "Low-threshold electrically pumped vertical-cavity surface emitting microlasers," Electron. Lett., 25 (1989) 1123.
- 3) S. A. Maranowski, A. R. Sugg, E. I. Chen and N. Holonyak, Jr.: "Native oxide top-and-bottom-confined narrow stripe p-n AlGaAs-GaAs-InGaAs quantum well heterostructure laser," Appl. Phys. Lett., 63 (1993) 1660.
- 4) G. Mo Yang, M. H. MacDougal and P. D. Dapkus: "Ultralow threshold VCSELs fabricated by selective oxidation from all epitaxial structure," Dig. CLEO '95, CPD4 (1995).
- 5) K. L. Lear, K. D. Choquette, R. P. Schneider, Jr., S. P. Kilcoyne and K. M. Geib: "Selectively oxidised vertical-cavity surface-emitting lasers with 50% power conversion efficiency," Electron. Lett., 31 (1995) 208.