

# ZnSe 系青色面発光レーザー

横川 俊 哉

半導体レーザーは光通信、光情報処理の分野で幅広く普及し、今後ますますの需要拡大が予想される。ZnSe 系レーザーや GaN 系レーザーに代表される短波長半導体レーザーは、高密度光記録への応用を目的に開発が進められている<sup>1,2)</sup>。そして、Iga らによって提案された面発光レーザーは最初 InP 系の赤外レーザーで実現されたが<sup>3)</sup>、最近ではその短波長化も期待されている。

ここでは ZnSe 系材料を応用した面発光レーザーの特徴、今後の展望について紹介する。

## 1. 青色面発光レーザー

面発光レーザーの中で垂直共振器タイプのもは、基板に対して垂直方向にファブリー・ペロー共振器が構成されている。一般に活性層とクラッド層からなる半導体ヘテロ構造を、多層膜からなる2つの反射鏡で挟んだ構成になる。構造上の特徴は短い利得長と高い反射率である。図1は ZnSe 系面発光レーザーの構造図を示す。作製の詳細については参考文献を参照されたい<sup>4)</sup>。

現在、液体窒素温度においてレーザー発振が確認されている。図2にレーザーの基本特性を示す。閾値電流は3 mA である。微小な凹凸などによる光の散乱やキャリアのオーバーフローなどを抑制することが、閾値電流の低下と室温連続発振に向けての課題である。キャリアオーバーフローを抑制するためには ZnMgSSe などのクラッド層を用いて伝導帯のバンドオフセットを大きくすることが有効である。図3に発振スペクトルを示す。発振波長は484 nm である。面発光レーザーでは最短波長のレーザー発振である。共振器長が短くなると縦モード間隔が広がるため、利得スペクトル内にモードがごくわずかしかな存在しえない。これに起因して単一縦モード発振が得られている。

面発光レーザーでは狭放射角の円形ビームが得られるため、集光も容易で他の光部品との結合効率にもすぐれる。この特徴は光ディスクや光ファイバー通信などへの応用に

おいて低コスト化、高性能化などへのポイントとなる。発光遠視野像の測定から半値全幅が約7°の狭放射角が得られている。ビーム形状は円形で、縦と横の比（アスペクト比）はほぼ1である。したがって光ディスク応用ではビームの整形も必要ないためパワー損失も小さく、比較的低パワーでも実用できる利点をもつ。

## 2. 今後の展望

垂直共振器型面発光レーザーは、活性領域の層厚程度にまで共振器長が短い。共振器長が短くなるにともない活性領域の体積も減少することが、面発光レーザーの飛躍的な

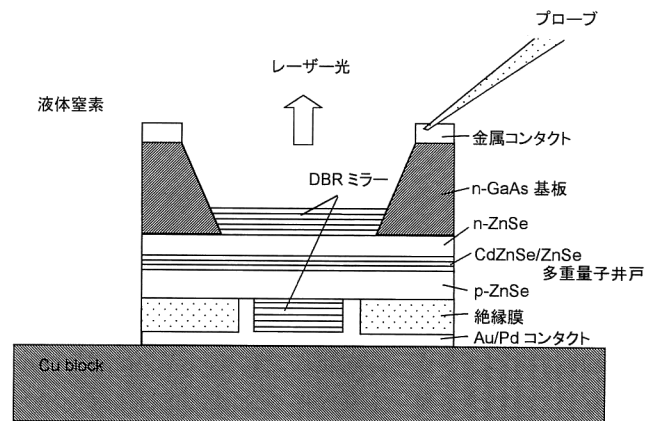


図1 青色面発光レーザーの構造。

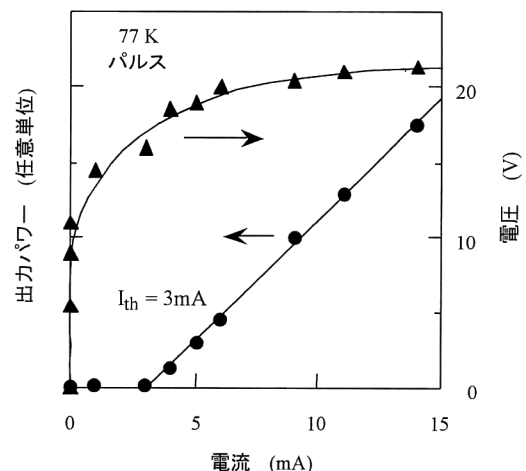


図2 青色面発光レーザーの電流-光出力、電流-電圧特性。

松下電器産業(株)中央研究所 (〒619-0237 京都府相楽郡精華町光台 3-4)  
E-mail: yokogawa@crl.mei.co.jp

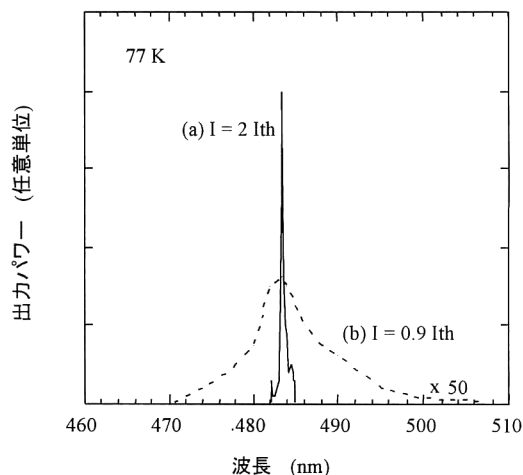


図3 青色面発光レーザーの発振スペクトル。

閾値低減の機構に深く関わっている。

レーザーの発振閾値  $I_{th}$  をレート方程式を用いて解析できる<sup>5)</sup>。詳細は参考文献を参照されたい<sup>4)</sup>。

$$I_{th} = e\gamma(1/\beta)(1+\xi)(1+\tau_{sp}/\tau_{nr}) \quad (1)$$

となる。ここで  $\xi = N_0\beta V/\gamma\tau_{sp}$  としている。

$e$  は電子の電荷、 $V$  は活性層の体積、 $\tau_{sp}$  および  $\tau_{nr}$  は放射および非放射再結合寿命、 $\gamma$  は共振器の損失、 $\beta$  は自然放出光係数、 $N_0$  は透明キャリア密度である。

式(1)の関係から、 $\xi$  が比較的大きいときは活性領域の体積  $V$  に比例して閾値電流は減少する。また  $\xi$  が十分小さいときは  $1/\beta$  にしたがって閾値電流は減少する。すなわち閾値を下げるためには、活性領域の体積を減らすこと、自然放出光係数を増やすことが重要となる。

微細加工技術を用いて活性領域の体積を微小化することにより、閾値は体積とともに減少するはずであるが、実際にはサイズの微小化とともに減少の度合いが緩やかになる。これは式(1)右辺の再結合寿命の項が示すように、活性層の側面などでの非発光再結合によるキャリア損失で、閾値の低減に限界が生じるためである。この非発光再結合低減の解決策として、選択酸化法やイオン注入法の利用が注目されている。

筆者らは端面発光型の青色レーザーにイオン注入の応用を試みている<sup>4)</sup>。基本構造、作製の詳細については参考文献を参照されたい。図4に基本特性を示す。室温連続発振が得られる。閾値の温度変化は小さく、310 K 付近までの連続動作における特性温度は  $T_0 = 271$  K である。イオン注入レーザーでは素子の放熱特性が向上する。将来このイオン注入の技術が青色面発光レーザーに応用されれば、さらなる特性の改善が期待される。

自然放出光係数  $\beta$  を大きくできれば、この場合も閾値電流を減らすことができる。微小共振器の共鳴励起実験でみ

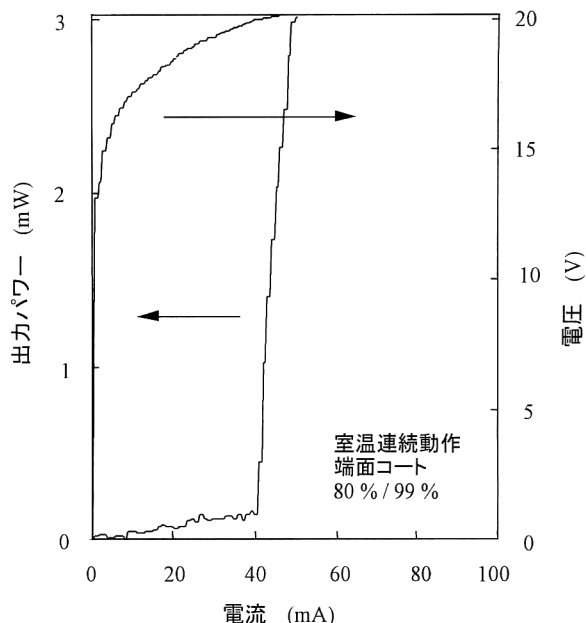


図4 酸素イオン注入レーザーの電流-光出力、電流-電圧特性。

られる閾値消失の現象は、コヒーレント（位相のそろった）励起子による自然放出光が、100% ( $\beta=1$ ) の割合で特定の共振器モードに結合することによるものとされており、コヒーレントな励起子が重要な役割を担っていることが示唆されている<sup>6)</sup>。ZnSe や GaN などのワイドギャップ半導体はその低誘電率と大きな有効質量から、励起子の結合エネルギーが大変大きい。そのため微小共振器レーザーにおける励起子ポラリトンの効果は注目され、新しい物理とその応用の可能性を秘めるものと期待される。

## 文 献

- 1) S. Taniguchi, T. Hino, S. Itoh, K. Nakano, N. Nakayama, A. Ishibashi and M. Ikeda: "100 h II-VI blue-green laser diodes," *Electron. Lett.*, **32** (1996) 552-553.
- 2) S. Nakamura, M. Senoh, S. Nagahama, N. Iwasa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kiyoku, Y. Sugimoto, T. Kozaki, H. Umemoto, M. Sano and K. Chocho: "Violet InGaN/GaN/AlGaIn-based laser diodes with an output power of 420 mW," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37** (1998) L627-L629.
- 3) H. Soda, K. Iga, C. Kitahara and Y. Suematsu: "GaInAsP/InP surface emitting injection lasers," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **18** (1979) 2329-2330.
- 4) 横川俊哉: "ZnSe 系面発光レーザー", *レーザー研究*, **25** (1997) 514-519.
- 5) G. Bjork and Y. Yamamoto: "Analysis of semiconductor microcavity lasers using rate equations," *J. Quantum Electron.*, **QE-27** (1991) 2386-2396.
- 6) 山西正道: "半導体中の輻射場の量子制御", *応用物理*, **63** (1994) 885-897.

(1998年6月3日受理)