

量子ドット面発光レーザー

齋藤 英彰・西 研一

面発光レーザーは、低消費電力、低コスト、2次元集積などの利点からアメリカを中心に研究開発が盛んに行われている。近年、Al酸化狭帯によって面発光レーザーの低閾値電流化が進んだが、さらに特性改善のため活性層に量子ドット構造をもつ面発光レーザーも試作されている。

ここでは量子ドット面発光レーザーについて、量子ドットによるレーザー特性改善のひとつとして偏光制御を中心に紹介し、さらに今後の展望について述べる。

1. 量子ドット面発光レーザー

GaAs 上の InGaAs のような歪み系のヘテロエピタキシャル成長を使った量子ドット成長は、自己形成的に行われるために特別な成長装置やプロセス装置を必要としない。さらに、自己形成量子ドットは欠陥が入らないことから発光効率が高く、レーザーなどの光素子に適用が可能である。自己形成量子ドットの面密度は 10^{10} cm^{-2} から 10^{11} cm^{-2} であるが、多層化によってレーザー発振に必要な利得を得ることも容易である。初めに 10 層に多層化した量子ドットを活性層として量子ドット面発光レーザーの室温 CW 発振が実現した¹⁾。図 1 は量子ドット面発光レーザーの構造断面図である。

量子ドット面発光レーザーの成長工程は次のとおりである。① n 型 (100) GaAs 基板の上に n 型 AlAs/GaAs 分布型ブラッグ反射鏡 (DBR)、中間層を成長する。② $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 量子ドット/AlGaAs 障壁層を成長する。③ p 型中間層、AlAs/GaAs DBR を成長する。①～③ までを固体ソース MBE を使って連続的に行い、量子ドットの形成は成長中に RHEED 観察により制御する。従来の面発光レーザーの量子井戸活性層を量子ドット構造 (10 周期積層構造) に置き換えただけであり、成長後の素子化プロセスも通常の面発光レーザーと同様の工程で行える。

2. 偏光制御

本来、量子ドットはエネルギー幅の狭い状態密度を有す

ることが期待されている。しかしながら、現状得られている量子ドットでは、そのサイズばらつきによって発光線幅が増大し、レーザー化した場合に、低閾値、高温特などの特性は未だ出現していない。一方、発光狭線幅以外にも量子ドットの特徴をデバイスに応用することが考えられている。そのひとつとして、量子ドットの形状異方性を利用し、面発光レーザーの偏光を制御することが行われた²⁾。

$\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 量子ドットの形状は AFM 観察や RHEED 観察から、図 2 の模式図のように $[0\bar{1}1]$ 方向が 33 nm、 $[011]$ 方向が 17 nm と、面内で $[0\bar{1}1]$ 方向に長い異方性をもつことがわかった。また、図 3 の室温 PL スペクトルにみられるように、形状異方性を反映して量子ドットか

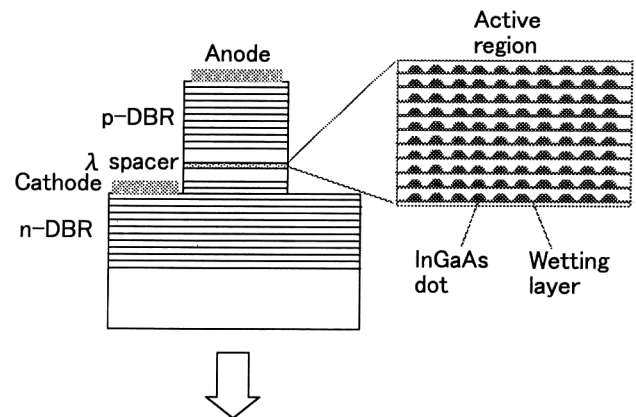


図 1 量子ドット面発光レーザーの構造。

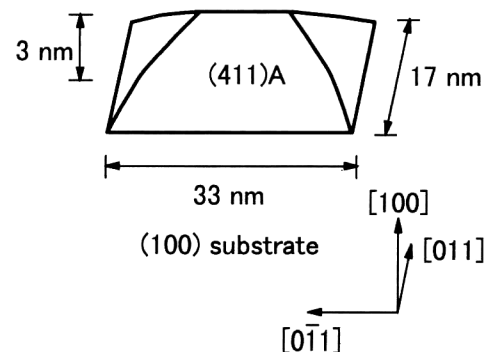


図 2 InGaAs 量子ドット形状の模式図。

NEC 光・超高周波デバイス研究所 (〒305-8501 つくば市御幸が丘 34)
E-mail: saito@obl.cl.nec.co.jp

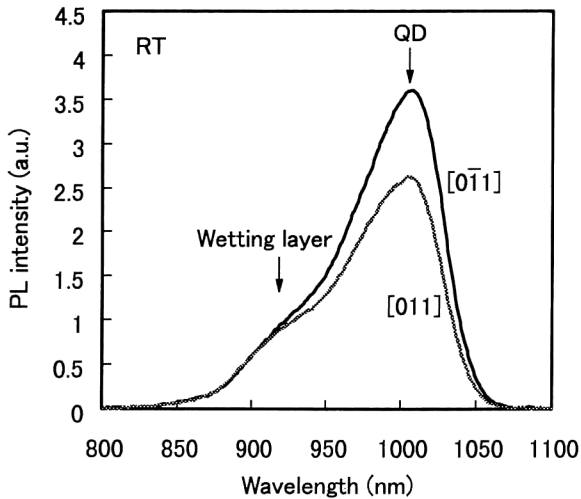


図3 InGaAs量子ドットからの偏光PLスペクトル(室温)。

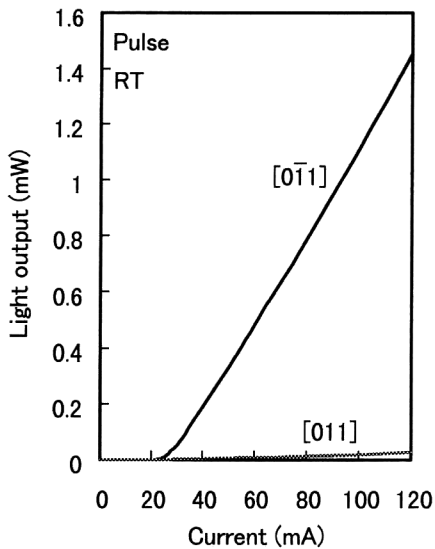


図4 室温における量子ドット面発光レーザーの発振特性(素子サイズ $25 \times 25 \mu\text{m}$)。

らの発光(波長 1000 nm)は、 $[0\bar{1}1]$ 方向での強度が大きい光学異方性を示す($[0\bar{1}1]/[011]=1.37$)。

図4は、形状異方性をもつ量子ドットを活性層とした量子ドット面発光レーザーのI-L特性(室温)である。発振波長は 985 nm で、量子ドットの基底準位の利得による発振である。レーザー発振は $[0\bar{1}1]$ 方向に偏光しており、 $[0\bar{1}1]$ 方向 1 mW 出力時の $[011]$ 方向との消光比 18 dB が得られた。レーザー発振の偏光は、PLスペクトルでみられたように、 $[0\bar{1}1]$ 方向に大きい光学利得によるものと考えられる。

3. 今後の展望

現在複数の研究機関から量子ドット面発光レーザーの発振が報告され、高反射DBRを使った単層量子ドットによ

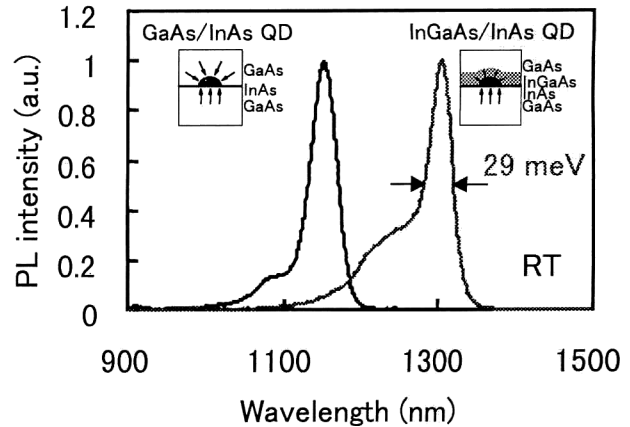


図5 GaAs基板上でのInGaAs埋め込みInAs量子ドットのPLスペクトル。

るレーザー発振や³⁾、酸化狭窄構造の採用による低閾値化($200 \mu\text{A}$ 以下)⁴⁾が相次いで実現している。ただし、今後レーザー特性を改善する上では、量子ドットのサイズ均一化が不可欠なものとなると予想される。

一方、GaAs基板上のIn(Ga)As量子ドットでは、従来の量子井戸では困難なGaAs基板上で $1.3 \mu\text{m}$ 以上の発光を得ることが可能となっている⁵⁾。これは、量子ドットが3次元で歪み緩和を起こすので、In組成が高くInGaAs量子井戸の臨界膜厚以上の大きさのものが形成できるためである。図5はGaAs基板上InAs量子ドットをInGaAs歪み緩和層で埋め込んだもののPLスペクトルである。InAsドットのサイズが直径 42 nm 、高さ 14 nm と大きいため長波長の発光が得られる。さらにInGaAs埋め込み層のIn組成を高くしてInAs量子ドットの歪み緩和を大きくすることによって、量子ドットのバンドギャップが狭くなり、発光波長はより長波長化して $1.3 \mu\text{m}$ の発光が観測された。今後、GaAs基板上で長波長量子ドットとGaAs/AlAs DBRを使った長波長面発光レーザーの実現が期待される。

文 献

- 1) H. Saito, K. Nishi, I. Ogura, S. Sugou and Y. Sugimoto: Appl. Phys. Lett., **69** (1996) 3140-3142.
- 2) H. Saito, K. Nishi, S. Sugou and Y. Sugimoto: Appl. Phys. Lett., **71** (1997) 590-592.
- 3) D. Huffaker, O. Baklenov, L. Graham, B. Streetman and D. Deppe: Appl. Phys. Lett., **70** (1997) 2356-2358.
- 4) J. Lott, N. Ledentsov, V. Ustinov, A. Egorov, A. Zhukov, P. Kop'ev, Zh. Alferov and D. Bimberg: Electron. Lett., **33** (1997) 1150-1151.
- 5) 斎藤英彰, 西 研一, 李 定植, 菅生繁男: 応用物理学会10年春予稿集, **1** (1998) p. 491.

(1998年6月3日受理)