

量子細線構造と面発光レーザー

羽鳥 伸明・小山二三夫・伊賀 健一

超並列光伝送システム、複数のコンピューターやLSIチップ間を結ぶ並列光インターコネクション、さらには光並列情報処理システムなど、いわば新しい並列光エレクトロニクスの実現が強く望まれる。このような光の並列性を十分に活用した超並列光システムを構築するために、低消費電力、二次元集積性といった特徴をもつ面発光レーザーが生み出された^{1,2)}。面発光レーザーの研究は、現在世界数十か所の研究機関で精力的に研究開発が進められ、マイクロアンペアのオーダーの低閾値素子の実現や最近米国で波長 $1\mu\text{m}$ 付近の近赤外波長での商品化の動きもでている。また、面発光レーザーは極微小共振器構造を有するため、フォトンリサイクリングや自然放出光制御といった新しい物理現象の具現化のためにも注目されている。

一方で、量子細線や量子箱などの低次元量子構造を用いた低閾値半導体レーザーの可能性が検討され、それを実現するための方法も研究されている³⁻⁵⁾。特に、量子細線構造は、大きな利得と強い偏波依存性をもつことから、面発光レーザーの活性層に導入することにより、いっそうの低閾値動作が期待され、これまで低温光励起でのレーザー発振の試みが報告されている^{6,7)}。また、量子細線構造により、面発光レーザーの残された課題である偏波面の制御を実現できると期待できる。

ここでは、量子細線構造面発光レーザーの実現を目指し、その構造設計と微小垂直共振器内での量子細線構造形成、および量子細線面発光レーザーの可能性について述べる。

1. 量子細線構造面発光レーザーの構造設計

図1は、量子細線面発光レーザーの概念図を示している。量子細線の利得を計算して、量子細線構造を面発光レーザーに導入したときの発振閾値を見積もり、量子細線構造面発光レーザーの構造設計を行った。量子細線を

活性層に用いることにより利得は増大するが、体積が従来のバルク・量子薄膜レーザーに比べ低くなり光閉込め係数が減少し、低閾値化には高密度の細線形成が必要になる。横方向の量子細線密度を考慮し、閾値電流密度を求めたところ、横方向の細線充填密度が50%で、反射率99.9%の高反射率を得ることができれば、 100 A/cm^2 以下まで閾値電流密度を下げるができることがわかった。また、図2は、量子細線構造の充填密度を向上させるために、V溝基板を用いてVの山と谷の部分に同時形成する構造を提案している⁸⁾。垂直共振器面発光レーザーでは、この構造で定在波と細線の位置の整合をとることにより、細線密度を実効的に2倍まで増加させることができる。

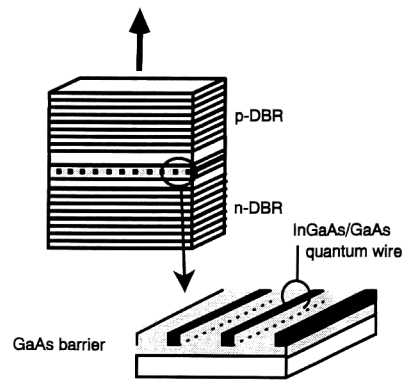


図1 量子細線構造面発光レーザーの構造図。

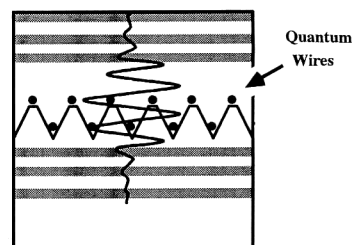
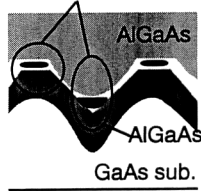


図2 V溝基板上の量子細線形成⁸⁾。

Quantum wire structures for surface emitting lasers (1996年4月12日受理)
Nobuaki HATORI, Fumio KOYAMA, Kenichi IGA 東京工業大学精密工学研究所 (〒226 横浜市緑区長津田 4259)

(a) InGaAs/GaAs Quantum Wire



(b)

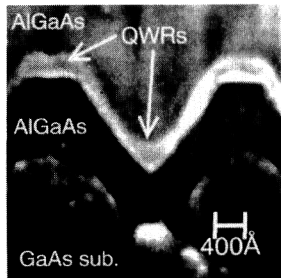


図3 (a) 製作した量子細線構造, (b) 電子顕微鏡写真⁹⁾.

2. V溝基板を用いた有機金属気相成長法による量子細線構造の形成

本研究では、量子細線を形成する方法として、V溝を形成し結晶の(100)面と(111)面における成長速度差を利用する方法⁹⁾を採用することにした。V溝の形成には干涉露光法描画とウェットエッチングを用いる。V溝の周期は約2500 Åである。結晶成長法としては減圧有機金属気相成長法を用いた。成長温度を650°CとしてGaAsの変形を抑え、さらに結晶面を形成するためにAlGaAsバッファ層を挿入した。図3に、微細V溝上に形成したInGaAs量子細線の構造とその電子顕微鏡写真を示す。V溝の底の部分に、幅400 Åの量子細線が成長されており、また、山の部分にも量子細線の同時形成の可能性が示された⁹⁾。このサンプルのフォトルミネッセンス測定による偏波特性を図4に示す。強い偏波依存性が観測され、量子細線構造による面発光レーザーの偏波面制御の可能性が示された。また、量子細線構造を面発光レーザーに導入する場合、量子細線形成後に表面の平坦化プロセスが必須であり、この点については、半導体多層膜を数層積層することで、平坦化が可能であることが明らかにされている。

量子細線構造などの低次元量子井戸構造を面発光レーザーに応用することは、偏波面の制御や低電流化の観点

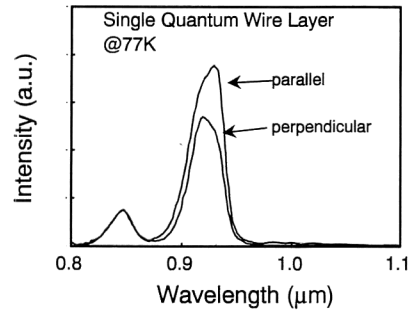


図4 量子細線からのフォトルミネッセンスの偏波特性⁹⁾.

から魅力的である。また、面発光レーザーを用いた自然放出光制御のような場合にも、最終的には自然放出の偏波面制御が必要である。量子細線面発光レーザーの実現には、量子細線構造の細線幅の微小化、充填密度向上や高い反射率の共振器形成技術確立など、残された課題も多い。今後のプロセス技術の進展により、低次元量子井戸を用いた面発光レーザーの展開を期待したい。

文 献

- 1) K. Iga, F. Koyama and S. Kinoshita: "Surface emitting semiconductor lasers," IEEE J. Quantum Electron., **24** (1988) 1845-1852.
- 2) Y. Hayashi, T. Mukaiyama, N. Hatori, N. Ohnoki, A. Matsutani, F. Koyama and K. Iga: "Record low-threshold index-guided InGaAs/AlGaAs vertical-cavity surface-emitting laser with a native oxide confinement structure," Electron. Lett., **31** (1995) 560-561.
- 3) Y. Arakawa and H. Sakaki: "Multidimensional quantum well laser and temperature dependence of its threshold current," Appl. Phys. Lett., **40** (1982) 939-941.
- 4) A. Tsukamoto, Y. Nagamune, M. Nishioka and Y. Arakawa: "Fabrication of GaAs quantum wires by metalorganic chemical vapor selective deposition growth," Appl. Phys. Lett., **63** (1993) 355-357.
- 5) R. Bhat, E. Kapon, D. M. Hwang, M. A. Koza and C. P. Yun: "Patterned quantum well heterostructures grown by OMCVD on non-planar substrates: applications to extremely narrow SQW lasers," J. Cryst. Growth, **93** (1988) 850-855.
- 6) A. Chavez-Pirson, H. Ando, H. Saito and H. Kanbe: "Polarization properties of a vertical cavity surface emitting laser using a fractional layer superlattice gain medium," Appl. Phys. Lett., **62** (1993) 3082-3084.
- 7) Y. Arakawa: Tech. Digest for OEC '94, 14 D 4-4 (1994).
- 8) N. Hatori, T. Mukaiyama, Y. Hayashi, N. Ohnoki, F. Koyama and K. Iga: "Design and fabrication of InGaAs/GaAs quantum wires for vertical-cavity surface-emitting lasers," Proc. of SSDM '95 (1995) pp. 794-796.