

面型光増幅器

中村 優・大橋 真

面型レーザーの性能向上に伴い、光増幅器を同じ面型で実現すべく研究が行われている。現在検討されているのは、垂直共振器型面発光レーザー（vertical cavity surface emitting laser: VCSEL）同様、光波が活性層に対して垂直方向に伝搬するタイプである。この面型光増幅器は2次元集積化に適するので、面型レーザーを光源として組み合わせれば種々の光並列情報処理が可能となる。特に、光検出・光分岐等による信号光のパワー損失をこれによって補償すれば、信号光を光のまま多段に伝送することができ、大容量かつ高速の超並列情報処理システムの実現も可能となる¹⁾。

このように面型光増幅器は非常に高いポテンシャルを備える素子であるが、活性層を厚くできない、つまり光波が活性層を1回通過する際の利得（1パス利得）が小さいという面型特有の問題を抱えている。このため、信号利得、利得帯域幅等の特性間におけるトレードオフが著しく、その克服あるいはバランスのとれた設計が大きな課題となっている。ここでは筆者らの研究を交えて最近の研究成果を紹介する。

1. 光励起による面型光増幅器

1.1 反射型

通常の端面発光型半導体レーザー同様、VCSELも光増幅器として動作する。この場合、1パス利得が小さくても共振器構造による多重反射効果で大きな信号利得を得ることができる。ただし、共振器構造の導入は利得帯域幅、飽和出力を制限し、雑音指数を劣化させてしまう。このように、VCSEL構造は基本的にはファブリー・ペロー型光増幅器として動作するが、反射光を取り出す反射型では前面ミラーに比べ背面ミラーの反射率を高くして動作させられるため、進行波型光増幅器における動作に近くなり、上記利得帯域幅等の点で透過型よりも優れている²⁾。

RajらはVCSEL構造を用いてこの反射モードによる増幅動作を初めて確認した³⁾。1パス利得増大のために

厚い多重量子井戸（MQW）活性層を用い、光によって励起を行った。光励起の利点は厚いMQW層を均一にしかも高速に励起できることである。作製した素子は130周期のGaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As MQW活性層をDBR（distributed bragg reflector）ミラーで挟んだ構造である。共振器構造を用いているため励起効率には波長に依存するが、励起光波長752 nm、信号プローブ光波長843 nm（共振時）においておよそ1.9 dBの利得を得ている。

1.2 透過型

反射型に対する透過型の最大のメリットは入出力結合系を簡便にできることである。しかし、透過型の場合には、進行波型はもちろん共振器型でも1パス利得が小さいことによる制約が大きい。そのため、鄭らは1パス利得の増大を目指し、長波長系材料を用いたMQW活性層の検討を行った。その結果、バリア層にp型の選択ドーピングを施した100周期のInGaAs（圧縮歪み）/InGaAlAs（引張歪み）歪み補償型MQWを作製し、進行波型に近い動作ながら1.1 dBの利得値を得た（信号光波長は1.57 μm）⁴⁾。

2. 電流注入による面型光増幅器

面型光増幅器を前述超並列処理系へ適用する場合、(1)励起経路や信号光への影響を考えると電流励起方式が望ましい。また、(2)高密度の光配線を必要とするので簡便な光結合系で済む透過型が有利となる。さらに、(3)信号利得は多少犠牲にしても利得帯域幅の広さが重要になる。ここでは、これらの点を考慮して行った筆者らの研究を紹介する。まず信号利得に関しては、光検出等で信号光の半分が消費されるとして現在2倍（3 dB）を想定している。また、広利得帯域という点では進行波型に近い動作、あるいは高いQ値を有するVCSEL型との中間的な動作が望ましい。そのためにはVCSEL以上に大きな1パス利得が必要であり、材料利得そのものの増大とともに厚い活性層が必要となる。しかし、電流注入方式では厚い活性層を均一に励起することが難しい。そこで新たに多重活性層構造を導入し、この問題の解決を図った。つまり厚い活性層を薄い層に分割し、各活性層へのキャリア注入を容易とした。したが

Vertical incident optical amplifier (1995年11月10日受理)
Masaru NAKAMURA, Makoto OHASHI RWCP 光東芝研究室 (〒210 川崎市幸区小向東芝町1)

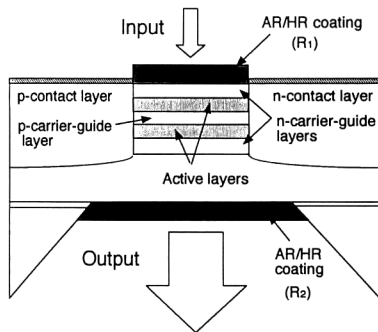


図1 多重活性層構造を有する面型光増幅器の断面図。

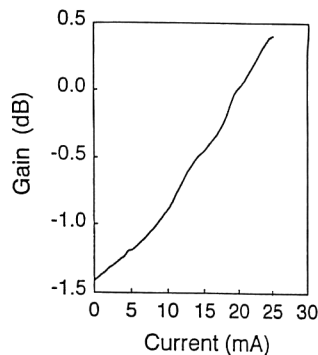


図3 利得の注入電流依存性。

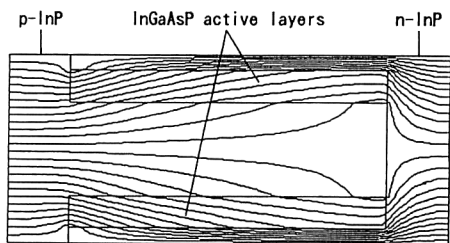


図2 多重活性層構造における電流分布。各活性層の厚さは $1 \mu\text{m}$ 、幅は $10 \mu\text{m}$ 。

って、これらの層を多数積層すればトータルとして厚い活性層を実現することができる。

図1に素子の断面概略図を示す。前面および背面でのコーティングにより動作モードの調整を行う。コーティングミラーの反射率は信号利得や利得帯域幅の他に雑音や消費電力の観点からも検討を加えなければならないが、雑音や不安定性の原因となる反射光を抑える必要がある。この場合、前面の反射率 R_f と背面の反射率 R_b 、および1パス利得 G_s との間に $R_f/R_b = G_s^2$ なる条件を課すことにより反射光をゼロにすることができる⁵⁾。

大規模並列処理系には高い信頼性が要求されるため、InGaAsP/InP系を用いて増幅動作の確認を行った。まず、多重活性層構造におけるキャリア注入を確認するため、活性層厚 $1 \mu\text{m} \times 2$ 層の最少構成で電流分布の2次元解析を行った(図2)。この結果、注入長がキャリアの拡散長によって制限される通常の横注入に比べて横方向の注入領域を大幅に拡大できることがわかった。次に、この構成で素子を作製し、ミラーコートをしきない進行波型に近い動作モードで利得測定を行った。その結果、透過型、電流注入型としては初めて利得を確認

し⁶⁾、信号光波長 $1.31 \mu\text{m}$ で利得値 0.4 dB 以上を得た。図3に利得の注入電流値依存性を示す⁷⁾。活性層の多重化や材料の検討、共振器構造の導入などにより利得のさらなる向上が可能である。

光増幅器の面型化へ向けた研究動向を紹介したが、現在は動作原理の確認と素子単体での特性向上を目指している段階である。今後、高機能化・多機能化への流れとともに、光結合方式や雑音、集積化などシステムへの応用を目指した検討が進展するものと思われる。

文 献

- 1) M. Ohashi, H. Hamasaki, K. Kaminishi and M. Nakamura: "A surface emitting laser amplifier for parallel optical buses," RWC Tech. Rep., **B-10** (1994) 159.
- 2) クレイグ・トンプリング, 齊藤 正, 向井孝彰: "垂直共振器型半導体レーザー増幅器の性能予想", 電子通信情報学会技報, **OQE91-145** (1991) 79-86.
- 3) R. Raj, J. A. Levenson, J. L. Oudar and M. Bensoussan: "Vertical microcavity optical amplifying switch," Electron. Lett., **29** (1993) 167-169.
- 4) 鄭 期太, 花泉 修, 柏田伸也, シュアイブ・イブラヒム, 川上彰二郎: "光励起 MQW 面型光増幅器の作製", 1995年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演予稿集, C-204 (1995) p. 204.
- 5) 波多腰玄一, 上西克二, 大橋 真, 濱崎浩史, 古山英人, 中村 優: "面型光増幅器における増幅特性の検討", 1995年電子情報通信学会総合大会講演予稿集, C-366 (1995) p. 336.
- 6) M. Ohashi, H. Hamasaki, M. Kushibe, S. Nunoue, G. Hatakoshi and M. Nakamura: "First measurement of a single pass gain through a vertical transmission optical amplifier," Tech. Dig. IOOC '95, Vol. 3, ThD3-5 (1995) pp. 118-119.
- 7) 大橋 真, 布上真也, 波多腰玄一, 中村 優: "多重活性層面型光増幅器の増幅特性", Microoptics News, **13**, 3 (1995) 17-22.