

## 最近の技術から

# 最近の半導体レーザー

茂木直人

(株)東芝総合研究所 〒210 川崎市幸区小向東芝町 1

### 1. まえがき

GaAs に始まった半導体レーザーの研究も  $1.3 \mu\text{m}$  帯 InGaAsP レーザーが光ファイバ通信用光源として、また、 $750\sim900 \text{ nm}$  帯 GaAlAs レーザーがコンパクトディスク、光学式ビデオディスク、追記型光メモリディスク、レーザープリンタ用光源として実用化され、新たな展開をみせている。なかでも注目されるのは OEIC などの集積化や半導体レーザーの種々の特性（たとえば、光出力、閾値電流、線幅、発振波長、変調特性）についてその限界を見きわめ、あるいは打破しようとする動きである。このなかで最近の話題である InGaAlP レーザーによる  $600 \text{ nm}$  台室温連続発振と  $10 \text{ GHz}$  を超す半導体レーザーの直接変調技術について紹介する。

### 2. InGaAlP 赤色光半導体レーザー

InGaAlP は III-V 族化合物半導体のなかで最も大きい直接遷移型禁制帯幅 ( $\sim 2.3 \text{ V}$ ) を有する半導体であり、 $600 \text{ nm}$  前後から  $680 \text{ nm}$  域の赤色光半導体レーザー材料として注目されている。この系で半導体レーザーを製作する試みは数年前に始まったが、最近、各研究機関から相ついで赤色光室温連続発振達成が報告された<sup>1-4)</sup>。

今回報告された InGaAlP レーザーは図 1 のような GaAs 基板上に形成された内部ストライプ構造やメサストライプ構造のものである。表 1 にこれまでに発表された InGaAlP レーザーの諸特性を示したが、発振波長は  $662\sim690 \text{ nm}$ 、閾値電流は  $110 \text{ mA}$  前後、閾値電流密度はいずれも  $4\sim5 \text{ kA/cm}^2$ 、連続発振最高温度は  $60^\circ\text{C}$  である。

InGaAlP のエピタキシャル成長は従来の液相成長法では Al の固溶度が小さい上に偏析係数も大きいため困難で、近年、半導体レーザーのエピタキシャル成長法として発展してきた MOCVD (metal organic chemical vapor deposition) 法や、MBE(molecular beam epitaxy) 法により初めて可能となった。今回室温連続動作に成功した InGaAlP レーザーは使用した有機金属、成長

方式、成長条件に多少の違いはあるものの、いずれも MOCVD 法により製作されたものである。

この系の結晶成長上の大きな問題は成長層とは異なる V 族元素を含む GaAs 基板上に高品質な四元エピタキシャル成長を実現することと、Al を多く含むほど難しくなる低抵抗 p 型、n 型ドーピングを達成することにあった。現在達成されている連続発振最高温度は実用上十分な値とはいえず、その信頼性の検討もこれからの問題である。こうした問題解決のためには MOCVD 結晶成長技術のいっそうの改良を必要とするが、今回の結果は He-Ne レーザーに替わる  $600 \text{ nm}$  帯赤色光半導体レーザー実用化に明るい見通しを与えるものである。

### 3. 半導体レーザーの直接高速変調

光ファイバ通信のひとつの幹は高速変調による大容量伝送である。この方向は着実な進展を見せ、 $1.6 \text{ Gb/s}$  の光ファイバ伝送はすでに現実のものとなっている。この延長線上の問題として、注入電流による直接変調で半導体レーザーをどこまで高速変調できるかは大きな関心事である。最近、この観点からの検討が進められ、高速変調の上限を決める要因、また、その上限が実験的に明らかになってきた<sup>5)</sup>。

直接変調をリミットする要因には、光-キャリア相互作用により決まる本質的要因と、レーザー構造にまつわる寄生容量によるものがある。後者のなかで重要なものは電流挿さくのために結晶中に作り付けられる npn もしくは pnp 接合の容量と、半導体結晶に絶縁膜を介して形成される電極がつくる MIS 型接合の容量である。

一方、光-キャリア相互作用に関連するリミットは緩和振動周波数に密接に関係する。緩和振動周波数  $f_r$  は

$$f_r = \sqrt{P \cdot G_d / \tau_p} / 2\pi$$

で表わされる ( $P$ : 光子密度、 $G_d$ : 微分利得、 $\tau_p$ : 光子寿命)。この式から  $f_r$  を大きくする方法は明らかで、Lau と Yariv らを中心に種々の手法が実験的に検討確認されている。たとえば、ストライプ幅を狭くし活性層への

表 1 InGaAlP 半導体レーザーの特性 (室温)

素子構造 (活性層組成)	内部ストライプ (In <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> P)	内部ストライプ (In <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> P)	内部ストライプ (In <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.45</sub> Al <sub>0.05</sub> P)	メサストライプ (In <sub>0.5</sub> Ga <sub>0.5</sub> P)
共振器長 × ストライプ幅 ( $\mu\text{m} \times \mu\text{m}$ )	250 × 7	200 × 8 ~ 10	225 × 8	250 × 6
発振波長 (nm)	679	685 ~ 690	661.7	(674)
閾値電流 (mA)	109	110	120	80
閾値電流密度 (kA/cm <sup>2</sup> )	4.8	3.6 ~ 3.9	6.7	4.6
連続発振最高温度 (°C)	51	60	—	33
特性温度 $T_0$ (K)	89	122 ~ 133	—	—
光出力 (mW)	10	15	—	—
文 献	3)	4)	4)	2)

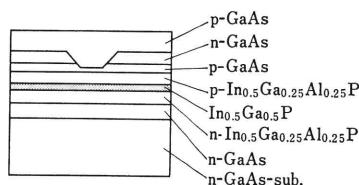


図 1 内部ストライプ構造 InGaAlP レーザーの断面図

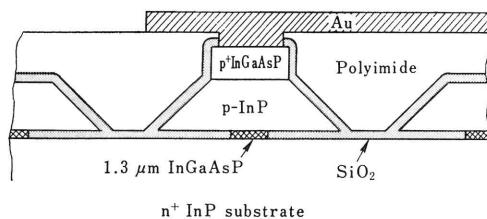


図 2 高速変調用マッシュルーム構造 InGaAsP レーザーの断面図

光閉じ込めを強くし光子密度を上げる方法、端面に窓構造を採用し端面破壊を防ぎ高出力動作を行なう方法、共振器長を短くし、あるいは端面に低反射膜を施し光子寿命を短くする方法、低温動作や活性層に高濃度の p 型不純物をドープ ( $>1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) することにより微分利得を向上させる方法などである。また、微分利得を向上させるには活性層を量子井戸構造化するのが有効であることも確認されている<sup>6)</sup>。

以上の高速変調に対する理解からひとつの理想を実現する構造として作成されたレーザーが、図 2 に示すマッ

シュルーム構造 InGaAsP レーザーである。この構造では電流狭さくのための npn 接合は存在せず、1  $\mu\text{m}$  以上と厚いポリイミド層の挿入によって MIS 型接合の容量の低減が図られている。また、活性層幅を 1  $\mu\text{m}$  と狭くし光子密度を上げている。このレーザーでは -60°C で 26.5 GHz, 20°C では 16 GHz (-3 dB バンド幅) と従来にない高速変調特性が実現されている<sup>7)</sup>。

大容量、長距離光ファイバ伝送応用の上では、高速変調に伴う利得変動によって生じる発振線幅増大、チャーピング、マルチモード化などの半導体レーザーの問題、光検出器の高速化、駆動回路などの周辺技術の問題など、解決すべき問題は多いが、10 Gb/s の超高速の光ファイバ伝送の可能性がかなり現実的なものとして捕えられてきたといえよう。

## 文 献

- 1) 小林健一, ほか: 昭和 60 年度電子通信学会半導体・材料部門全国大会予稿集, S1-11 (1985).
- 2) 池田昌夫, ほか: 同上, S1-10 (1985).
- 3) 石川正行, ほか: 電子通信学会技術研究報告, OQE 85-130 (1985) 85.
- 4) 小林健一, ほか: 同上, OQE 85-132 (1985) 95.
- 5) R.S. Tucker: "High speed modulation of semiconductor lasers," J. Lightwave Technol., LT-3 (1985) 1180.
- 6) 魚貝和久, ほか: 電子通信学会技術研究報告, OQE 85-75 (1985) 61.
- 7) J.E. Bowers: "26.5 GHz bandwidth InGaAsP lasers with tight optical confinement," Electron. Lett., 21 (1985) 1090-1091.

(1986年1月27日受理)