

10Gbit/s 1.3 μm AlGaInAs DFBレーザの開発

武政 敬三 杉山 直
八田谷 洋一

近年、インターネットの普及による通信トラフィックの急増に伴い、メトロネットワークやアクセス系ネットワーク等の短距離伝送においても10Gbit/sの高速性が求められている。10ギガビットイーサネットやOC-192用の10Gbit/sクラスの光トランシーバ用光源には、低コスト・低消費電力が要求されており、温度制御を不要とした直接変調型DFBレーザモジュールの開発が盛んに行われている。使用される素子には、85 $^{\circ}\text{C}$ においても10Gbit/s動作を可能とする高い変調特性が必要となる。長波長帯のレーザ素子の材料として従来から用いられているGaInAsP系では、高温におけるレーザ特性の劣化が大きく、85 $^{\circ}\text{C}$ 、10Gbit/s動作には必ずしも十分な特性が得られない。そのため、GaInAsP系に替わる材料として、AlGaInAs^{1) 2) 3) 4)}を用いたレーザが注目されている。沖電気では、現在AlGaInAsを用いたDFBレーザの開発を進めており、その10Gbit/s変調特性について述べる。

AlGaInAs DFBレーザ構造

AlGaInAsの特徴をGaInAsPと対比して述べる。

AlGaInAs量子井戸 (quantum well, QW) が、GaInAsP量子井戸と異なる点は、電子側のバンドオフセット ΔE_c が大きいことである。図1に示すようにGaInAsP量子井戸は、 $\Delta E_c = 0.4 \Delta E_g$ と小さいのに対して、AlGaInAs量子井戸は、 $\Delta E_c = 0.72 \Delta E_g$ と大きなバンドオフセットを有し、電子の閉じ込めを大きくできる。そのため、高温における量子井戸からの電子のリークを抑制でき、CW、変調特性ともに温度特性に優れたレーザが作製可能になる。また、ホール側のバンドオフセットが小さいため、変調特性を上げるために量子井戸数を増やしても、有効質量の大きいホールの不均一注入が起りにくく、高速変調に適した設計が容易になる。

図2にAlGaInAs-DFBレーザの構造を示す。AlGaInAs材料は酸化しやすいため加工により空气中に表面層が露出しない構造で、かつ低容量、低抵抗、低閾値電流化のため逆メサリッジ構造を採用した。また、リッジ構造は結晶成長を1回しか行わないため、低コスト化に適した構

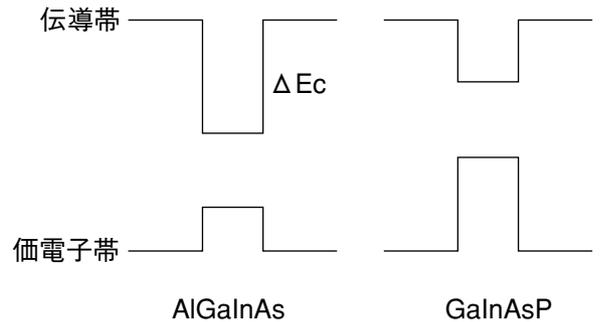


図1 バンド構造

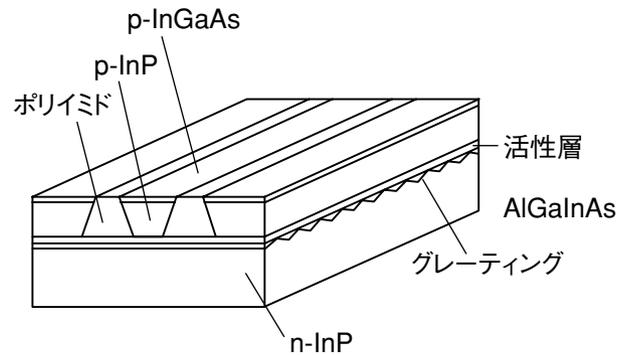


図2 レーザ構造

造である。

グレーティング (回折格子) を作製したn型InP基板上に有機金属気相成長法 (Metalorganic vapor phase epitaxy: MOVPE) を用いてMQW、クラッド層、コンタクト層を成長した。原料としてIII族には有機金属であるトリエチルガリウム (TEG)、トリメチルインジウム (TMI)、トリメチルアルミニウム (TMA)、V族にはアルシン (AsH_3)、ホスフィン (PH_3)、ドーパントにはジメチル亜鉛 (DMZn)、ジシラン (Si_2H_6) を用いた。成長温度は、AlGaInAsで最適温度である630 $^{\circ}\text{C}$ に設定した。MQWは、歪補償型MQWで1%圧縮歪のAlGaInAs井戸層 ($\lambda_g = 1.4 \mu\text{m}$, $d = 6\text{nm}$) と0.2%伸張歪のAlGaInAs障壁層 ($\lambda_g = 1.0 \mu\text{m}$, $d = 10\text{nm}$) で構成されている。量子井

戸数は高速動作を実現するため10とした。成長終了後、逆メサ形成、ポリイミド埋め込み、p、nの電極形成を行い、へき開、反射膜を施す。素子長はCW、変調特性を考慮し、250 μm に設定した。反射膜は前端面1%、後端面83%とした。

CW特性

図3に25, 85 $^{\circ}\text{C}$ の光出力-電流特性を示す。85 $^{\circ}\text{C}$ においても20mW以上の光出力が直線性よく得られている。0, 25, 85 $^{\circ}\text{C}$ での閾値電流 I_{th} 、スロープ効率 η 、光出力10mW時の駆動電流 I_{op} を表1に示す。閾値電流の温度依存性を示すパラメータ T_0 は25~85 $^{\circ}\text{C}$ において96K、スロープ効率の変動量 ($\Delta \eta$) は70%が得られた。GaInAsP レーザでは、 $T_0=46\text{K}$ 、 $\Delta \eta=65\%$ であり、AlGaInAs材料系が温度特性に優れていることがわかる。また、図4に25, 85 $^{\circ}\text{C}$ の駆動電流 $I_{\text{th}}+20\text{mA}$ でのスペクトルデータを示す。サイドモード抑圧比が40dB以上得られており、広温度範囲においても良好な単一波長性が確認できた。

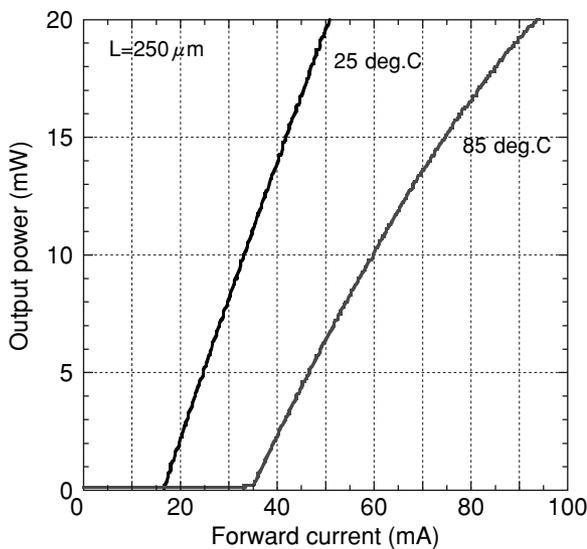


図3 25, 85の光出力-電流特性

表1 光出力-電流特性の温度依存性

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	I_{th} (mA)	SE(W/A)	$I_{\text{op}@10\text{mW}}$ (mA)
0	14	0.49	34
25	15	0.48	36
85	28	0.35	57

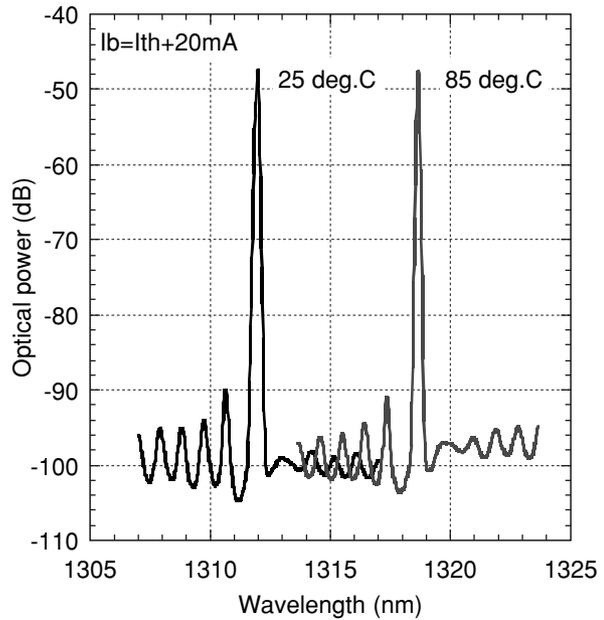


図4 25, 85 $^{\circ}\text{C}$ のスペクトル特性

高速変調特性

図5に25, 85 $^{\circ}\text{C}$ での小信号応答特性を示す。レーザチップを50 Ω の伝送ライン付きAINキャリアに実装して評価した。測定は光ネットワークアナライザで行った。バイアス電流 I_b は25, 85 $^{\circ}\text{C}$ ともに $I_{\text{th}}+50\text{mA}$ とした。

85 $^{\circ}\text{C}$ において、緩和振動周波数 f_r は9GHz以上、3dB帯域12GHzが得られ、良好な変調特性を確認した。 f_r は

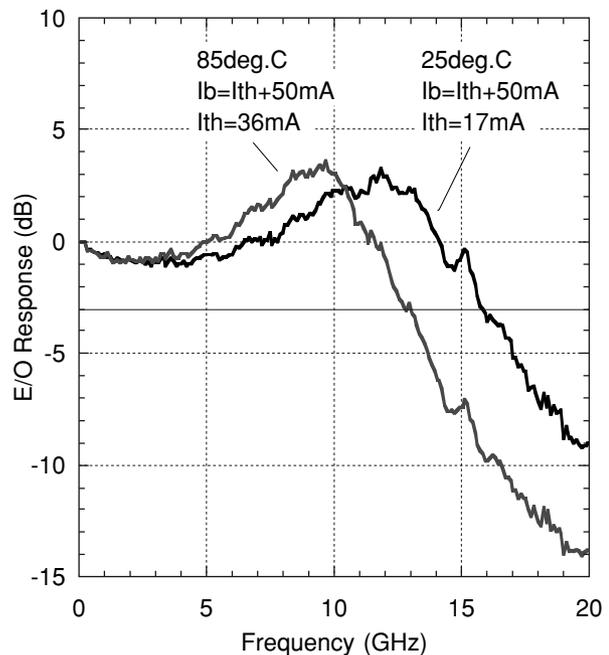
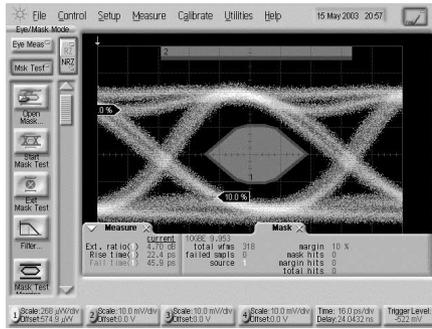
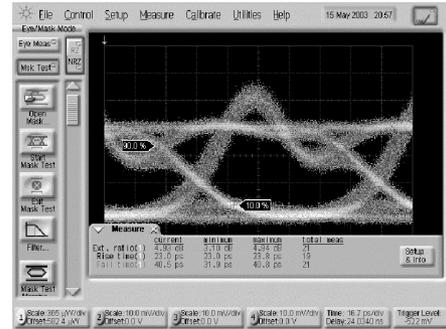


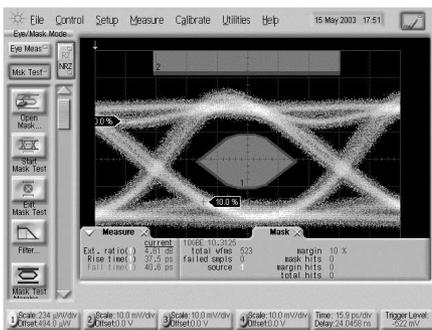
図5 25, 85 $^{\circ}\text{C}$ の小信号応答特性



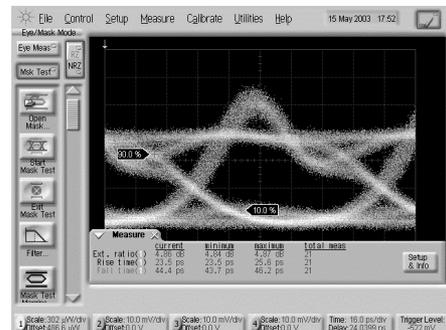
(a) 25°C, フィルタあり



(b) 25°C, フィルタなし



(c) 85°C, フィルタあり



(d) 85°C, フィルタなし

図6 25,85°Cのアイパターン

$(lb-lth)^{1/2}$ に比例するため、その直線の傾き $\Delta fr / \Delta I$ は高速性を評価する重要な指標になる。今回試作したレーザの $\Delta fr / \Delta I$ は25, 85°Cでそれぞれ $1.8 \text{ GHz}/\text{mA}^{1/2}$, $1.2 \text{ GHz}/\text{mA}^{1/2}$ であり、また温度による変化量は67%であった。GaInAsレーザでは、25, 70°Cで $\Delta fr / \Delta I$ はそれぞれ $1.6 \text{ GHz}/\text{mA}^{1/2}$, $1.0 \text{ GHz}/\text{mA}^{1/2}$ で、変化量は63%であった。AlGaInAsレーザの高温での変調特性は、GaInAsレーザよりも優れていることがわかる。

図6に25, 85°CでのBack-to-Backのアイパターンを示す。変調速度は10.3125Gbit/s (擬似ランダムパターン $2^{31}-1$)、マスクには10ギガビットイーサネット規格マスクを用いた。(a), (c) は電気フィルタを挿入した波形、(b), (d) はフィルタなしの波形を示す。消光比4.5dBを達成するバイアス電流、変調電流は、25°Cでは40mA, 34mApp, 85°Cでは70mA, 37mAppであった。マスクマージ10%においても、マスクヒットなく良好なアイ開口が得られ、実使用上問題ないと思われる。以上、10ギガビットイーサネット規格に対しては十分な特性であるが、OC-192のSONET規格に対してはまだ不十分な点もあり、MQW構造、井戸数、素子長の最適化を図っていく。

今後の展望

本素子は現在開発中のMSA規格 (業界団体標準規格) XFP, XPAKに対応したTOSA (Transmitter Optical Subassembly) モジュールに搭載予定である。今後は、パッケージサイズが小型になり放熱設計が難しい構造になるため、高温特性の優れたレーザの必要性がますます高まると思われる。本稿でご紹介したAlGaInAsレーザの高温特性を活かし、85°C, 10ギガビットイーサネットやテレコム市場向けの商品化を進める。◆◆

参考文献

- 1) C. E. Zah, *et al.*: High-performance uncooled 1.3 μm Al_xGa_{1-x}In_{1-x-y}As/InP strained-layer quantum well lasers for subscriber loop application, IEEE J Quantum Electron., vol.30, p.511, 1994
- 2) K.Takemasa *et al.*: 1.3- μm AlGaInAs-AlGaInAs Strained Multiple-Quantum-Well Lasers with a p-AllnAs Electron Stopper Layer, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 10, p.495, 1998
- 3) M.Aoki *et al.*: 85°C-10Gbit/s operation of 1.3- μm InGaAlAs MQW-DFB laser, ECOC2000, vol.1, p.123, 2000
- 4) Takiguchi *et al.*: High speed 1.3- μm AlGaInAs DFB-LD with $\lambda/4$ -shift grating, 13th IPRM WP-03, p.140, 2001

TIPS

【基本用語解説】

直接変調型 (方式)

半導体レーザーに注入する電流を直接変調することで光出力を変調する方式。

緩和振動周波数

半導体レーザーにパルス状の電流を注入した時に光出力が振動する現象を緩和振動と呼び、その時の周波数を緩和振動周波数という。光密度とキャリア密度の過渡応答特性中に現れる現象で、活性層構造に依存する。この周波数以上では応答特性が急激に低下する。

バンドオフセット

エネルギーギャップの異なる半導体を接合させた時に、伝導帯、価電子帯に生ずるエネルギー差のこと。

DFBLレーザー (Distributed feedback laser)

分布帰還型レーザー。レーザー内部に回折格子を有し、単一波長発振可能なレーザー。

T₀

閾値電流 I_{th} の特性温度で、値が大きいほど温度依存性が小さいことを示す。

$$T_0 = (T_2 - T_1) / \ln(I_{th2} - I_{th1})$$

● 筆者紹介

武政敬三：Keizo Takemasa. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部

杉山直：Takashi Sugiyama. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部

八田谷洋一：Yoichi Yatagai. オプティカルコンポーネントカンパニー 開発部