



研究ノート

# 半導体光増幅器の現状と将来

三上 修\*

## Semiconductor Optical Amplifier ; present and future

**Key words** : Optical Amplifier, Semiconductor, Gain, Saturation

### 1. はじめに

光信号を電気に変換せず光のまま直接増幅する光増幅技術は、半導体レーザが開発された1960年代より研究が開始され、いくたびかの空白期間を経て、ここ数年急速な展開を示している。光伝送分野のみならず、光交換、光情報処理などの次世代光エレクトロニクス技術を支える基盤技術のひとつとして大いに期待されている。代表的な光増幅器として、希土類元素を添加した光ファイバ増幅器と、半導体光増幅器の2種類とがある。ここでは、半導体光増幅器について最近の研究動向と今後の方向について述べる。半導体光増幅器は、MBE, MOCVDなどの最近の超薄膜成長技術の進歩に支えられ、多重量子井戸(MQW)構造さらには歪MQW構造の採用によって、興味ある結果が報告されている。

### 2. 技術動向と課題

#### 2.1 個別デバイス

##### (a) 高利得化

半導体光増幅器では素子端面の反射率を出来るかぎり低くすることが望まれる。反射率が有

限の場合、利得に山谷のリップルが生じる。0.2dB以下のリップルに抑えるためには、単一通過利得Gと残留反射率Rとの積は $GR < 0.01$ とする必要がある。したがって高利得になるほど低反射率が要求されることになる。この低反射率を実現するため、(i)反射防止(AR)膜装荷、(ii)斜めストライプ構造、あるいは(iii)窓領域形成などがこれまで検討されている。またこれら単独では要求条件を満足することが困難なため、AR膜と他の構造との組み合わせで用いられる場合が多い。現在得られている利得特性を研究機関名を挙げながら図1にまとめ

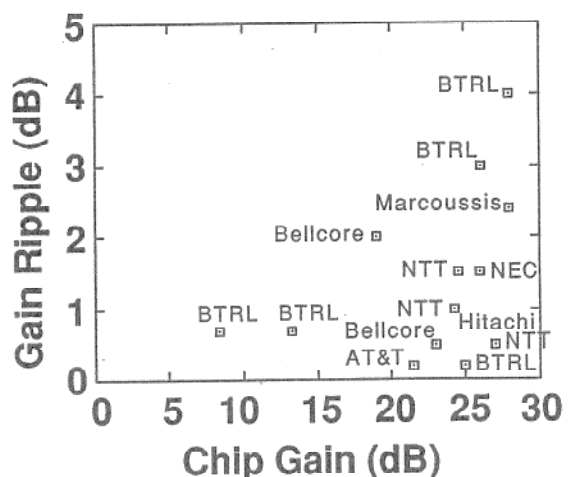


図1 デバイス利得とリップル

て示す。リップルは1dB以下で25dB程度の高利得が実現されている。

##### (b) 高出力化

増幅器中に形成された反転分布が信号光の増



\*Osamu MIKAMI  
1946年6月15日生  
1971年大阪大学大学院工学専攻科修士課程修了  
現在、東京大学先端科学技術研究センター、客員助教授、工学博士、光エレクトロニクス  
TEL 03-3481-4517

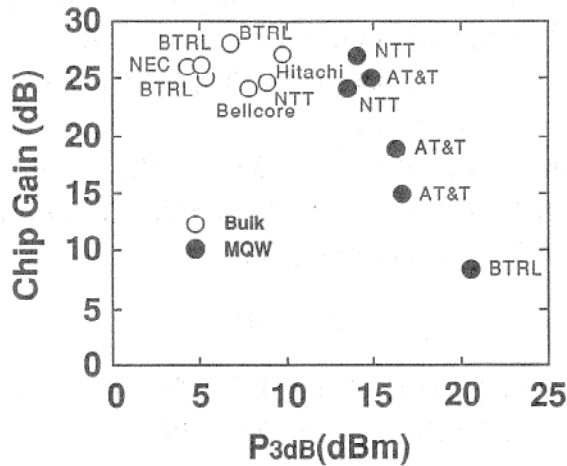


図2 飽和出力とデバイス利得

幅に伴って減少することから、利得の飽和が生じる。図2に飽和出力の特性をまとめる。活性層にバルク構造を採用するよりも、MQW構造を採用した増幅器の方が高出力が得られ、15dBm前後が実現されている。光増幅器は高注入状態で用いられるため、飽和出力を高めるためには、MQW構造を採用し、キャリア密度の変化に対して利得の変化が小さい特徴を利用するのが有効である。

(c) 無偏波化

半導体光増幅器の競争相手である光ファイバ増幅器はその断面が丸く、どんな偏波でも増幅できる特徴がある。これに対し、半導体光増幅器は活性層の断面が矩形であることから、光電界の閉じ込め係数に差異が生じ、信号利得に偏波依存性が生じる。これを解消するためには、従来活性層厚を大としたり、LOC(Large Optical Cavity)構造の導入など導波路構造の最適化による方法が主流であった。これに対して格子定数の異なる超薄膜を順次成長した歪MQW構造の導入により、従来固有と考えられていた各偏波に対する利得係数を、設計パラメータとして制御することが可能になった。これを応用することにより、偏波依存性を解消する方法が試みられている<sup>1)</sup>。一例としてバリア層に引っ張り歪(-1.7%)を導入した歪MQW光増幅器の利得特性を図3に示す。駆動電流200mAで信号利得27dBを実現できた。偏波依存性は0.5dB以下である。

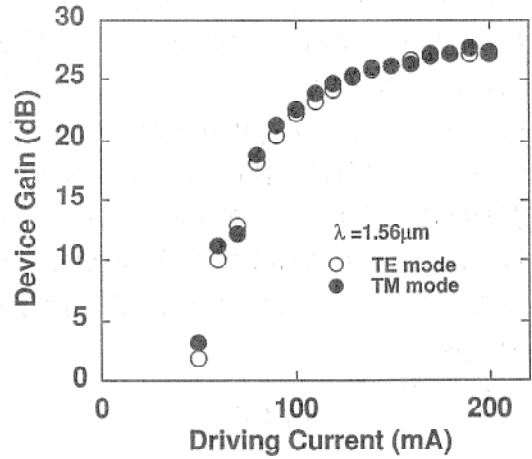


図3 歪MQW光増幅器の無偏波利得特性

(d) ファイバモジュール

光増幅器本体の素子利得と光ファイバ間利得との関係を図4に示す。両者の間には、8~15dBの差異が存在する。これは接続損失であり、現在半導体光増幅器が直面する大きな問題である。半導体光増幅器と光ファイバとを低損失で結合するモジュール化技術の確立が強く望まれている。

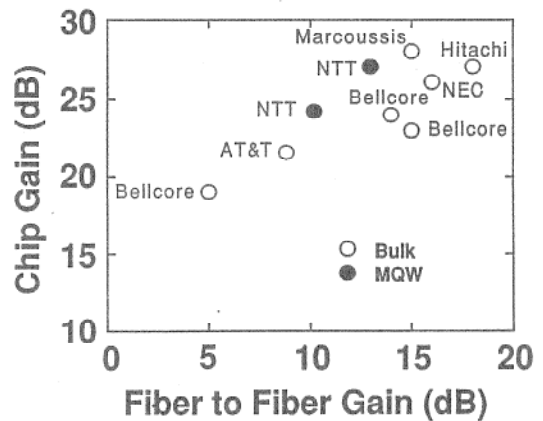


図4 ファイバ間利得のデバイス利得

2.2 モノリシック集積応用

半導体光増幅器は構成が簡単、小型かつ低消費電力であり、他の半導体機能素子との整合性がよい。この点から、光集積回路の中における基本素子として、期待感が高まっている。モノリシック集積応用の例については、導波路の伝播損失を補償することを目的としたマトリックス光スイッチ<sup>2)</sup>、マッハツエンダ型光変調器<sup>3)</sup>

などとの集積,あるいはブースタ応用のためのDBRレーザとの集積<sup>4)</sup>,またプリアンプ機能を目的としたPINフォトダイオードとの集積<sup>5)</sup>が報告されている。集積化を進めるには,他の光デバイスへのASE(増幅された自然放出光)の影響を除去する工夫,他のデバイスとの低損失な接続技術,さらには光増幅器への戻り光を除去するアイソレータ機能の導入などを検討する必要がある。

### 3. 今後の方向

半導体光増幅器は光を増幅するだけでなく,波長変換,位相変調,ゲートスイッチなど多種多様な機能を有している。2015年には電話加入者である各家庭に光ファイバによる通信サービスの開始が計画されている。その実現のためには小型で高性能な半導体光増幅器は不可欠な要素であろう。

今後,半導体光増幅器の研究は(i)駆動電流の低減化,(ii)高利得化,(iii)高出力化,(iv)モノリシック多機能化,を重点的に進める必要があると思われる。

謝辞 本稿をまとめるに際し,ご討論いただいたNTT光エレクトロニクス研究所 曲克明氏,鈴木安弘氏に感謝致します。

### 文 献

- 1) K. Magari, et al.: IEEE Photon. Technol. Lett., 3, 998, (1991).
- 2) H. Inoue, et al: IEEE Photon. Technol. Lett., 2, 214, (1990).
- 3) J. E. Zucker, et al: IPR, WE4, Monterey (1991).
- 4) U. Koren et al: Appl. Phys. Lett., 54, 2056 (1989).
- 5) D. Wake, et al: CLEO, CPDP19, Anaheim (1990).

