

## 大規模並列光ファイバ通信のためのアレー状光送信システム

### Arrayed emitter systems for large scale parallel optical fiber communications

代表研究者 横浜国立大学工学部電子情報工学科講師 馬場 俊彦  
Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Yokohama National Univ.  
Toshihiko BABA

In this study, we have investigated the possibility of arrayed emitter systems based on long wavelength GaInAsP/InP vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs) for large scale parallel optical fiber communications. We demonstrated the room temperature operation of  $4 \times 2$  laser array with maximum light output power of 5 mW, which is the maximum power so far reported. We theoretically and experimentally showed the effectiveness of newly employed thermally conductive MgO/Si multilayer mirror for continuous wave operation of VCSELs. In addition, we investigated the possibility of extreme high performance of this device by utilizing various microcavity quantum effects. We also invented a novel microconnector to realize an easy packaging technique to build up final systems.

#### 研究目的

近年の光ファイバ通信は光インターコネク  
ト, 加入者系への導入など新しい局面を迎え,  
高性能で安価, 取扱いが易しく, 多数本の光  
ファイバにも対応できる光システムの実現が  
強く望まれている. 本研究ではこれらの要求  
を満たす次世代の光源として, 従来型のレー  
ザとは異なる新しい構造と特長をもつ面発光  
レーザを取り上げ, これを用いた図1に示す  
アレー状並列光システムのための基礎研究を  
行った.

#### 研究経過

我々のグループでは以前の研究において,  
光通信波長帯(1.3~1.55 ミクロン)で使用でき  
る GaInAsP/InP 系半導体面発光レーザの世界  
初の室温連続動作に成功した. そこで本研究  
においては, 1) アレー集積化面発光レーザの  
試作, 2) 室温連続発振の成功に重要な役割を  
果たした熱伝導性の高い MgO/Si 多層膜反射  
鏡の実験的・理論的な詳しい評価, 3) 3種類  
の微小共振器効果を利用した高性能化の検討,  
4) 面発光レーザと光ファイバアレーとを一  
括接続し, 光システムを組み立てるための実

装法の考案, の4点について研究を行った.  
以下にその研究成果を詳しく示す.

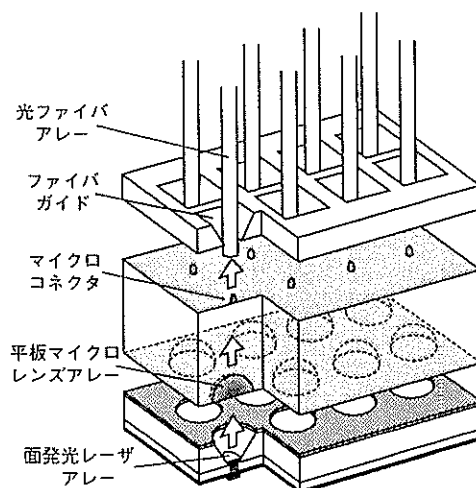


図1 アレー状光システム概念図

#### 研究成果

##### (1) 面発光レーザアレーの試作

これまでに得られている技術を用い, 図2  
に示すような複数個の面発光レーザのアレー  
集積化を実際に試みた. この技術とは高い電

流閉じ込めが実現できる半導体平坦円形埋め込み構造、小さな電気抵抗を実現する窓コンタクト構造、および高熱伝導 MgO/Si 反射鏡である。8つのデバイスを光ファイバアレー接続に都合のよい500mmピッチで集積化し、パルス電流を電極に流して同時に駆動したところ、5つのデバイスにおいて発振を得た。その発光の様子を図3に示す。残りの3つのデバイスは発振にはいたらず、原因として共振器構造の面内不均一性が考えられる。5つのデバイスからの最大光出力は5mW程度であり、この波長帯の面発光レーザとしてはこれまで報告されている最高の値を記録した。

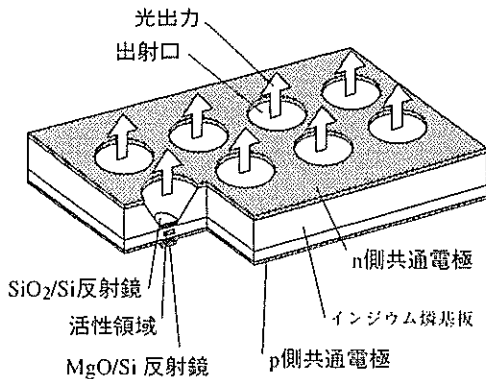


図2 製作した面発光レーザアレーの構造

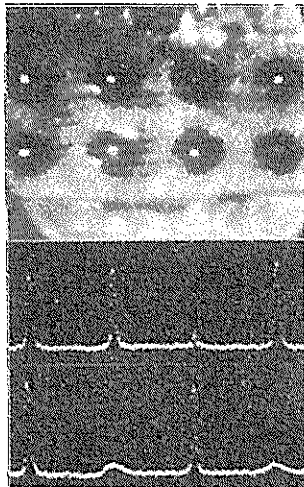


図3 観測された発光の様子と光強度分布

## (2) 高熱伝導反射鏡の評価

以前の研究で、MgO(酸化マグネシウム)という熱伝導性の高い材料を試験的に反射鏡材料として導入し、素子の温度特性の大幅な改善を実現した。本研究ではあらためてこの反射鏡の効果を実験で評価した。従来用いられてきた熱伝導性の低いSiO<sub>2</sub>を用いたデバイスと同一条件で比較した結果、MgOを導入したほとんどのデバイスでは30~60Kという大幅な最高発振温度の改善が確認された。すなわち、MgOによってデバイスの熱特性が大幅に改善されることを実証できた。面発光レーザアレーを同時に駆動するには、発熱を減らすことが重要な課題となるが、この反射鏡によって放熱効率が増したことで、アレー集積化を行うための準備が整った。

実験に対応させ、反射鏡の理論的評価も行った。有限要素法によって数値計算した素子内部の温度分布の一例を図4に示す。計算の結果、MgOの導入によって素子の熱抵抗が従来の約1/2に低減できること、動作状態にある実際のデバイスの温度上昇は15~20Kであること、等がわかった。また他の機関で検討されている半導体多層膜共振器構造と比較しても、熱抵抗は1/3~1/4と小さく、MgOを用いた誘電体多層膜が現在考えられる最高の反射鏡であることがわかった。さらにデバイスの直径を5μm(現在の約半分)にまで微小化することにより、動作電流は最低3mAにまで低減できることもわかった。この値は量子井戸活性層の導入、および後に述べる自然放光制御効果によりさらに低減できる。

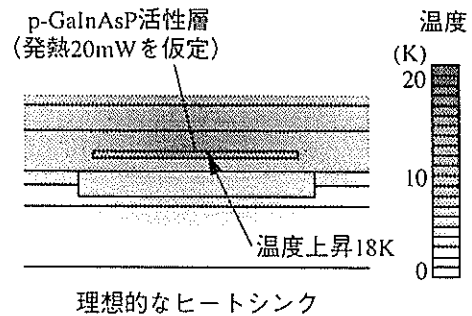


図4 有限要素法による素子内部の温度分布の計算結果

### (3) 面発光レーザの極限性能の探求

本来、レーザ発振と関係ない自然放出光が有効に働き、レーザ性能を向上させることを自然放出光制御という。本研究では面発光レーザ特有の3種類の効果による自然放出光制御の可能性を探索した。

微小共振器効果は、反射鏡によって光を強く閉じ込め、共振器モードの数を減らす効果である。これによりレーザモードへの自然放出結合効率が增大し、レーザの動作電流が激減することが予測されている。本研究で3次元波動方程式によりこの効果を厳密に解析した結果、共振器を0.5ミクロンまで微小化すれば効果がかなり顕著に現れる見通しを得た。

また面発光レーザは周囲も金属などの膜で覆われている。したがって、レーザモードとは関係のない光が活性層に戻ってキャリアとして再生されるフォトンリサイクリング効果が期待できる。本研究ではレート方程式解析によりこの効果の大きさを調べた結果、20～30%の電流節約が可能であり、微小共振器効果と併用すれば、さらにその電流を1/100にできるという興味深い結論が導かれた。

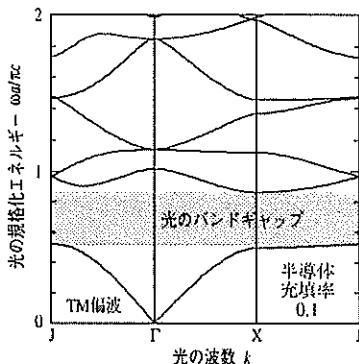
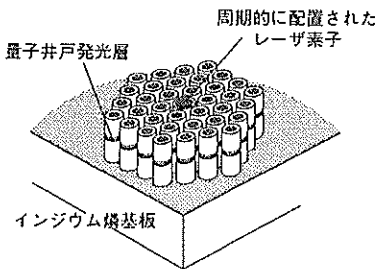


図5 フォトニックバンド構造とバンド図

微小な素子を図5のように周期的に並べると、相互の干渉によって発光効率増大が生まれることを、フォトニックバンド効果と呼ぶ。これは面発光レーザアレーにおいて特に大きな効果が期待できる。そこで図5に示すようにこの効果に対して電子のバンド計算と類似のフォトニックバンドを計算を行った。そして多数個のサブミクロン円形デバイスを配列させることによって、面方向への発光確率を数倍に高められることが明らかとなった。

したがって以上の効果を総合し、将来、システムの聴講生の羽化に役立つことがわかった。

### (4) アレー化実装法の検討

多数のレーザを光システムに用いるには、多数の光ファイバと一括接続させなければならないが、これを安価に精度よく行うのは、現状では非常に難しい。そこで一括自動接続が可能な微小コネクタを考案・試作した(図1)。これは光の集まる接合部に自動プロセスで数ミクロンオーダーの突起とくぼみをつくり、これらを接続させるだけで光結合を完成させるものである。実際に4本のファイバに対して光結合実験を行い、損失数dB以下の接続が素手によって一瞬に行えることを示した。(従来は、微動ステージなどを用いて数時間かけて行う作業。)今後、損失をいっそう低減させることにより、大規模送信回路の組立にも対応できる夢の技術になり得る可能性を示した。

### 今後の課題と発展

以上をあらためてまとめると、面発光レーザの特性向上に最も重要な反射鏡の最適化を行い、実際に複数個のデバイスの集積化してその動作を確認した。さらにここの素子の製作技術の高精度化、高性能化、安定化、実装技術の開発など総合的な研究を行って成果を得た。

今後の研究において、微小共振器効果を実際のデバイスに反映させて素子性能を向上させるとともに、実装の簡便・高効率化をはかることで、並列光システムの実用化は十分可能と考える。

## 発表論文リスト

### (1) 学会誌投稿論文

1. T. Baba, et.al., "Continuous wave GaInAsP/InP surface emitting laser with a thermally conductive MgO/Si multilayer mirror", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 33, 4A, 1905-1909, 1994.
2. D. Intani, T. Baba, et.al., "Simple optical wavelength-division multiplexer component that uses the lateral focusing scheme of a planar microlens", *Appl. Opt.*, 33, 16, 3405-3408, 1994.
3. 浜野哲子, 馬場俊彦, 伊賀健一, "極微共振器中面発光レーザーにおける境界条件の違いによる自然放出と光出力の変化", 電子情報通信学会論文誌, J78-C-1, 2, 80-87, 1995.
4. T. Baba, et.al., "1.3  $\mu\text{m}$  vertical cavity surface emitting laser array for parallel optical fiber transmissions", *IEICE Trans. Electron.*, E77-C, 2, 201-203, 1995.
5. T. Baba and M. Koma, "Possibility of InP-based 2-dimensional photonic crystal --- an approach by anodization technique ---", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 34, 2B, 1405-1408, 1995.
6. T. Baba, et.al., "Finite element analysis of thermal characteristics in continuous wave long wavelength surface emitting lasers (I) --- dielectric cavity structures ---", *Opt. Rev.*, 2, 2, 123-127, 1995.
7. T. Baba, et.al., "Finite element analysis of thermal characteristics in continuous wave long wavelength surface emitting laser (II) --- semiconductor cavity structures ---", *Opt. Rev.*, 2, 1995.
8. T. Baba and T. Matsuzaki, "Theoretical calculation of photonic gap in semiconductor 2-dimensional photonic band structures with various shapes of optical atoms", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 34, 9, 1995.

### (2) 国際会議発表論文

1. T. Mukaiharu, N. Ohnoki, T. Baba, et.al., "A novel polarization control structures for surface emitting lasers by a birefringent distributed Bragg reflector with a metal/dielectric polarizer", *Conf. on Lasers and Electro-Optics*, Anaheim, CMI-2, 1994.
2. K. Iga and T. Baba, "Self aligned fiber micro connectors", *Gradient-Index Optical Systems Topical Meeting*, Rochester, GWC2 (Invited Paper), 1994.
3. T. Kato, T. Baba and K. Iga, "A new put-in micro-connector-II using GRIN microlenses", *Gradient-Index Optical Systems Topical Meeting*, Rochester, GWC3, 1994.
4. T. Baba, et.al., "Observation of photon recycling effect in quasi-closed cavity light emitters", *Optoelectronic Conf., Makuhari*, 14D4-2, 1994.
5. T. Hamano, T. Baba, et.al., "Spontaneous emission

factors and its injection level dependences of microcavity surface emitting lasers using quantum-films and boxes", *Optoelectronic Conf.*, Makuhari, 14D4-3, 1994.

6. T. Kato, T. Baba and K. Iga, "A self-alining optical coupling method using put-in micro-connector-II". *5th Optoelectronic Conf.*, Makuhari, 15E3-3, 1994.
7. T. Baba and M. Koma, "InP based 2-dimensional photonic band structure --- fabrication by anodization method and design", *Int. Conf. Solid State Devices and Materials*, Yokohama, PB3-2, 1994.
8. F. Koyama, T. Baba and K. Iga, "Present status and future prospects of long wavelength surface emitting lasers", *20th European Conf. Opt. Commun.*, Firenze, Tu.B.4.1 (Invited Paper), 1994.
9. T. Baba and T. Matsuzaki, "Theoretical calculation of photonic gap in 2D photonic band structures with various shapes of optical atoms", *Int. Workshop Mesoscopic Phys. Electron.*, J-2, 1995.
10. T. Baba and T. Matsuzaki, "2D photonic crystal with multiple refractive index steps", *NATO ASI "Photonic Bandgap Materials"*, Crete, 18 (Invited Paper), 1995.
11. T. Baba, T. Kondo, F. Koyama and K. Iga, "Finite element analysis of thermal characteristics in GaInAsP/InP surface emitting lasers --- comparison between dielectric and semiconductor cavities", *Conf. Laser and Electro-Optics Pacific Rim.*, Makuhari, P23, 1995.
12. T. Baba, et.al., "A novel short cavity laser with deep grating DBRs", *Int. Conf. Solid State Devices and Materials*, Osaka, 1995.
13. T. Baba and T. Matsuzaki, "Polarization controlled spontaneous emission from a GaInAsP/InP strained QW 2D photonic crystal", *Int. Conf. Solid State Devices and Materials*, Osaka, 1995.
14. T. Baba, "GaInAsP/InP photonic crystals", *NATO ASI "Quantum Optics in Wavelength Scale Structures"*, Corsica, (Invited Paper), 1995.
15. T. Baba and T. Matsuzaki, "Gradient-index photonic crystals for the control of photonic band diagrams", *Microoptic Conf.*, Hiroshima, 1995.

### (3) 著書

1. T. Baba and K. Iga, "Spontaneous emissions in microcavity surface emitting lasers" in "Spontaneous emission and laser operation in microcavities" (Edited by K. Ujihara and H. Yokoyama), CRC Press, 1995.
2. T. Baba and T. Matsuzaki, "2-dimensional photonic crystals with multiple refractive index steps", in "Photonic Band Gap Materials", (Ed. C. M. Soukoulis), NATO Book Series, 1995.