

最近の技術から

位相同期型高出力半導体レーザー

池田 健志・生和 義人・日向 進

三菱電機(株) LSI 研究所 〒664 伊丹市瑞原 4-1

1. ま え が き

半導体レーザーでは、光出射端面の光密度が大きくなると、その部分が熔融損傷し高出力化が妨げられる。

1978年頃から開発されていた位相同期型レーザーは、レーザーをモノリシックに集積することにより各発光スポットから出たレーザー光を合わせて高出力化を図るものである。100個のレーザーを集積したもので5.4Wのcw発振¹⁾、さらに、レーザーが高密度に集積され発光領域が1cmにわたるものでは幅150 μ sのパルス動作で134Wの出力が得られている²⁾。

各発光スポットからのレーザー光の位相を同じにすれば、横モード、すなわちスーパーモードは基本モードとなり、出射ビームの拡がりの小さい質の良いレーザー光が得られる。近年、100mW以上の高出力まで基本モード発振を得たとの報告が相次いだので紹介する。

2. 横モードの制御

図1に内部ストライプ構造を有する5連の位相同期型レーザーの断面図を示す。このようにレーザー光を導波するストライプを N 本近接して形成すると、 $\nu=1, 2, \dots, N$ と記される N 個のスーパーモードが許容される。図2に $N=5$ の場合の各スーパーモードの電界分布を示す。通常のレーザー構造では、ストライプとストライプの間の利得が小さいため、この部分で電界強度がゼロになる $\nu=5$ の最高次のスーパーモードが励起されやすく、次に $\nu=1$ の基本のスーパーモードが励起されやすい³⁾。このようなモード利得の性質をもつ位相同期型レーザーで、基本モード発振させるためにさまざまな方策がとられている。

その一例として、ストライプとストライプの間の利得を大きくする構造を採用することにより、基本スーパーモードの利得を一番大きくし、cwで100mWまで基本モード発振を得た例をあげることができる⁴⁾。

ほかに、隣接するストライプを半導体レーザー内部でY状に結合させる方法がある。これでも、150mWまで

のcw動作で基本モード発振を得ている⁵⁾。

チップ外部に細工したものでは、最高次のスーパーモードが一番発振しやすいという性質を利用し、構成するストライプの1本おきにレーザー端面に180°の位相差を補正する位相シフターを取り付けたものがある。これでは、cw動作で200mWまで基本モード発振が得られている⁶⁾。

横モードの制御性をより良くする方法として、ストライプ幅とストライプとストライプの間隔を小さくして一番利得の大きな最高次のスーパーモードをカットオフすることが考えられている⁷⁾。この方法はInP系の長波長帯のレーザーで試みられ、パルスで150mWまで基本モード発振が得られたとの報告がある⁸⁾。

より完全に基本モードだけで発振させるために、条件は厳しくなるがすべての高次モードをカットオフすることが提案されている。その条件を図3に示す。光出力はストライプ数を2~3本にすれば、現実的な加工精度で単一ストライプレーザーに比して3倍程度増やせると見積られている⁹⁾。

3. 応用の展望

限りなく続くであろう高出力化の流れのなかで、通常の単一ストライプレーザーが限界に達するとき、それに代わりうるのは基本モードの位相同期型レーザーであろう。また、出射ビームが単一ストライプレーザーに比べて一桁程度狭く、比較的簡単な光学系を介して長距離まで伝播するため、宇宙空間でとくに望まれる長寿命、小

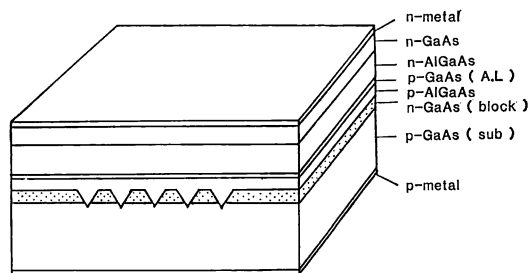


図1 内部ストライプ構造の5連位相同期型レーザー

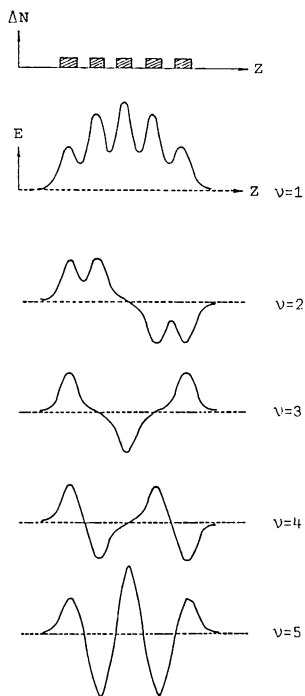


図 2 $N=5$ の場合のスーパーモード

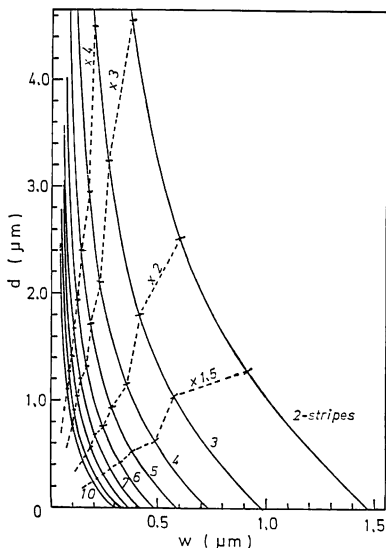


図 3 高次モードカットオフ条件と光出力
 ……: 最大光出力 (単一ストライプに比較し何倍高出力化できるかを示す)

型という要請を満たしていることと合わせて、衛星間通信、ランデブーやドッキング時の測距用等新しい分野での実用化が期待される。

一方、横モードの制御をそれほど重視しない新しい応用分野がある。たとえば、その高出力を利用して、YAG レーザーの励起用光源として実用化されつつある。1.2 W の半導体レーザーの入力に対して YAG レーザーからの最大出力は、cw で 370 mW と報告されている⁹⁾。YAG レーザー自体は、リモートセンシング、加工、医療、通信など今後も幅広く応用が期待されているもので、この励起を半導体レーザーで行なうことにより全体が小型化され、寿命や効率が良くなる。このため、横モード制御は当面目をつぶり、高出力化する研究開発が活発である。しかし、励起効率も横モードが制御されているほうが当然高いと考えられるので、将来的には基本モード動作する位相同期型を目指すことになるであろう。

文 献

- 1) G. L. Harnagel, D. R. Scifres, H. H. Kung, D. F. Welch and P. S. Cross: "Five watt continuous-wave AlGaAs laser diodes," *Electron. Lett.*, **22** (1986) 605-606.
- 2) G. L. Harnagel, P. S. Cross, C. R. Lennon, Mark Devito and D. R. Scifres: "Very high power quasi-cw monolithic laser diode linear arrays with high power conversion efficiency," *CLEO '87 post dead-line paper*, Thu 7, Baltimore, Md (1987).
- 3) 池田健志, 日向 進, 生和義人, 金野信明, 門脇朋子, 青柳利隆: "位相同期集積レーザの基本横モード化と光出力", 電子通信学会技術研究報告, **OQE 86-64** (1986) 25.
- 4) J. Ohsawa, S. Hinata, T. Aoyagi, T. Kadowaki, N. Kaneno, K. Ikeda and W. Susaki: "Triple-stripe phase-locked diode lasers emitting 100mW cw with single-lobed far-field patterns," *Electron. Lett.*, **21** (1985) 779-780.
- 5) D. F. Welch, P. S. Cross, D. R. Scifres, W. Streifer: "Single-lode 'Y' coupled laser diode arrays," *Electron. Lett.*, **23** (1987) 270-272.
- 6) 種谷元隆, 松本晃広, 松井完益, 矢野盛規, 土方俊樹: "位相シフタによる位相同期レーザアレイの 0° 位相モード変換 (I)", 昭和62年度春季応用物理学会予稿集, 30a-ZH-7 (1987).
- 7) Y. Seiwa, S. Hinata, T. Aoyagi, T. Kadowaki, N. Kaneno and K. Ikeda: "Achieving a stable fundamental supermode in phased-array lasers up to high power," *Tech. Dig. CLEO '86*, paper TUM5, San Francisco, CA (1986).
- 8) 和田 浩, 的場昭大, 小川 洋, 堀川英明, 川原正人, 川井義雄: "長波長帯位相同期型レーザアレイ", 昭和62年度春季応用物理学会予稿集, 30a-ZH-10 (1987).
- 9) J. Berger, D. F. Welch, D. R. Scifres, W. Streifer and P. S. Cross: "370mW, 1.06 μm, cw TEM₀₀ output from a Nd:YAG laser rod end pumped by a monolithic diode array," *CLEO '87 post dead-line paper*, ThT 10, Baltimore, Md (1987).

(1987年9月10日受理)