

情報処理用半導体レーザ

Laser Diodes for Optical Information Processing Systems

デジタルオーディオディスク、ビデオディスク、レーザビームプリンタ、光ディスクファイルなどの光情報処理機器用の光源として、短波長、高信頼の半導体レーザが不可欠である。

日立製作所はこれらの用途に適した波長780nm、光出力5mWの可視光レーザ及び波長830nm、光出力20mWの近赤外レーザを製品化した。ビデオディスク応用などで最大の障害となっていたレーザ光雑音を、高周波重畳方式の開発によって低減化し、実用化の見通しを得た。更に、レーザ端面の高反射率化や高出力用導波路構造の導入による高出力化について検討し、光出力30mWの動作を確認した。

相木国男* *Kunio Aiki*
梶村 俊** *Takashi Kajimura*
茅根直樹*** *Naoki Chinone*

1 緒 言

ダブルヘテロ接合の発明による室温連続発振の成功¹⁾から13年、半導体レーザは、半導体製品特有の小形、量産性、高信頼性に加え、低電力動作、高速変調性など多くの長所が認識され、DAD(Digital Audio Disk)、VD(Video Disk)、光ディスクファイル、LBP(Laser Beam Printer)、光ファイバ通信、計測など、情報化社会を担うオプトエレクトロニクス産業のキーデバイスとして広い分野で実用化が進みつつある。

特に、DAD、VD、LBP、光ディスクファイルなどの光情報処理分野で用いられる半導体レーザは、機器の開発が急ピッチで進められていることもあり、その開発が急がれていた。このような要求にこたえるため、短波長、高信頼のGaAlAsレーザを製品化した。ここでは、その特性、信頼性について述べるとともに、VD応用などで最大の障害となっていたレーザ光雑音とその低減化について述べる。また、高速化など情報端末機器のシステム機能向上のため、現在その必要性が高まっている高出力半導体レーザについても触れる。

2 情報処理用半導体レーザの特性

表1に情報処理用光源として製品化したGaAlAsレーザの主な特性をまとめた。DAD、VD及びLBP用のHL7801は発振波長が780nmの可視光域にあり、光出力は5mWである。光ディスクファイル及びLBP用のHL8311及び8312は、830nmの近赤外域で動作し、光出力はそれぞれ15mW及び20mWである。

情報処理機器のセット内温度は室温よりも10～15℃上昇するため、最大動作温度 T_{opr} を60℃(高出力形では50℃)としている。素子は電気的にはpn接合ダイオードであり、順方向に電流を流すことによってしきい電流値 I_{th} で発振を開始し、電流増加に比例したレーザ出力が得られる。電流増分に対するレーザ光増分をスロープ効率 η で示す。電流を変化することによってDC～1GHzの広い周波数範囲でレーザ出力を変調することができる。発振スペクトルは約3mW以上では単一であり、スペクトル幅は 10^{-4} nm以下に達する。素子温度を上昇させると、発振波長(縦モード)は0.25nm/℃の割合で順次長波長側の隣接モードへジャンプする。レーザ光は接合に平行な電界成分をもつ直線偏光(TEモード)である。レーザ光を微

表1 半導体レーザの特性 民生・情報処理機器用半導体レーザ製品の主特性を示す。HL7801はDAD、VD、LBPなどに、HL8311、HL8312はLBP、光ディスクファイルなどに用いられる。

項 目	記 号	単 位	HL7801	HL8311	HL8312
最 大 出 力	P_0	mW	5	15	20
動 作 温 度	T_{opr}	℃	-10～+60	-10～+60	-10～+50
保 存 温 度	T_{stg}	℃	-40～+80	-40～+80	-40～+80
し き い 電 流	I_{th}	mA	60	60	60
ス ロ ー プ 効 率	η	mW/mA	0.3	0.3	0.3
発 振 波 長	λ	nm	780	830	830
ビーム広がり角	$\theta_{//} \times \theta_{\perp}$	deg	14×30	10×25	10×25
パ ル ス 応 答	τ_r, τ_f	ns	0.5	0.5	0.5

小スポットに集光して用いる多くの用途では、横モードの安定性が極めて重要である。上記レーザでは安定な基本モード発振を得るため、チップ内に光導波構造が組み込まれている^{2)～4)}。レーザ光はチップ端面の約 $1 \times 2.5 \mu\text{m}^2$ の微小な活性領域から放出される。このため、回折効果によって接合方向に10～14度の、接合と垂直方向に20～30度の広がり(半値全幅)をもつガウス形に近い強度分布で出射される。

素子のパッケージ及びその断面構造を図1に示す。半導体レーザチップから放射される光出力の一方を、反射防止処理した光学平面ガラス窓を通して外部に取り出す。他方は内蔵されたSiホトダイオードによって出力モニタに用いる。

3 雑音特性

VD、光ファイバ通信などの応用分野で、レーザ光源の雑音(出力の微小変動)が問題となることがある。例えばVDでは、ディスク読み出し信号が誤り訂正処理なしに直接画質に反映されるため、雑音レベルの低いことが要求される。VD画質とレーザ雑音とを比較検討した結果、相対雑音強度RIN(Relative Intensity Noise)の値にして $\sim 5 \times 10^{-14} \text{Hz}^{-1}$ 以下ならば、良好な画質が得られるという結果を得た。半導体レーザの温度を変化させて、雑音特性を測定した結果の一例を図2(a)に

* 日立製作所高崎工場 理学博士 ** 日立製作所中央研究所 *** 日立製作所中央研究所 工学博士

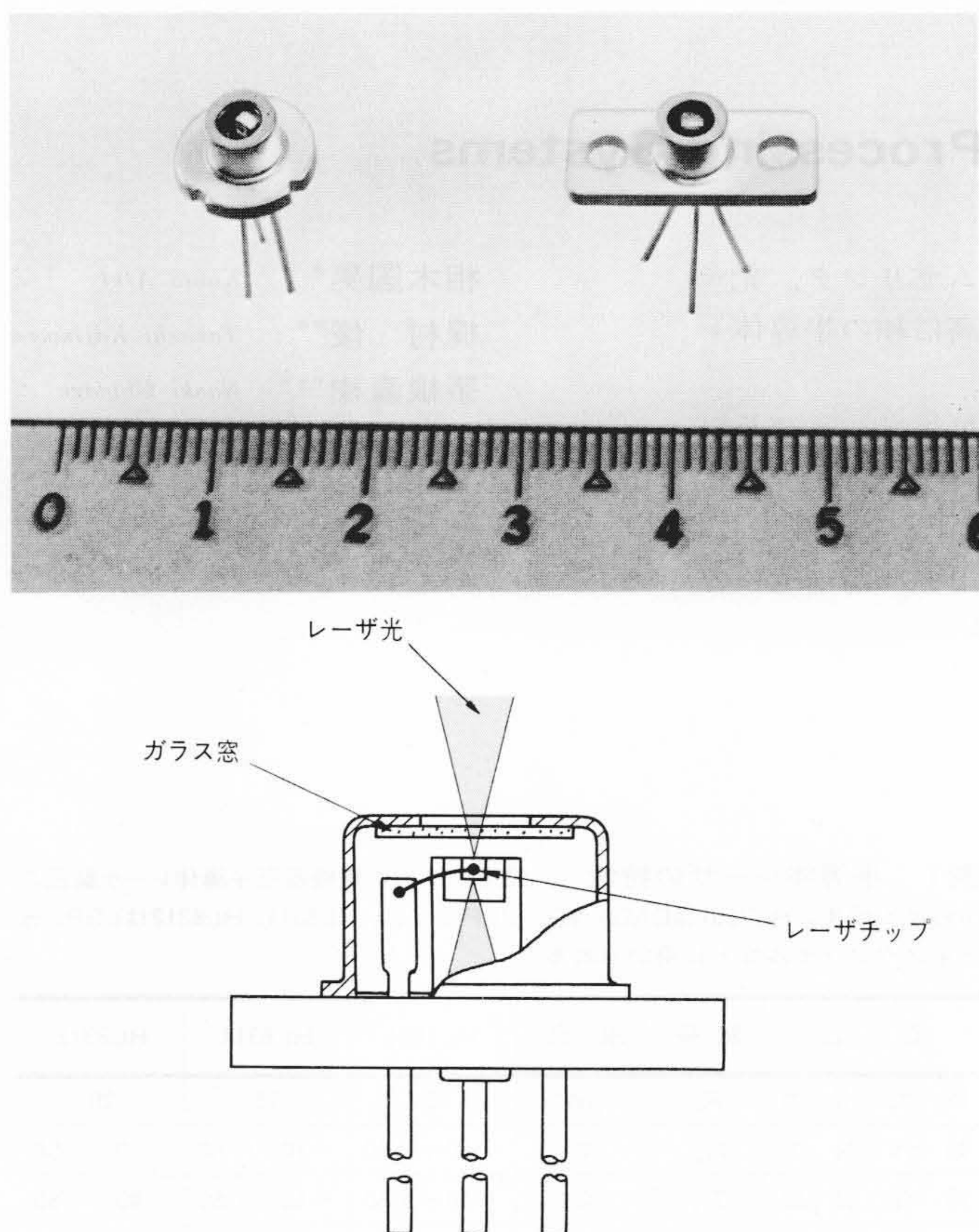


図1 半導体レーザのパッケージとその断面構造 半導体チップから放出されるレーザ光の一方を、反射防止処理した光学ガラス窓を通して外部に取り出す。他方は内蔵Siホトダイオードによって出力モニタに用いる。

示す。ピーク値は必要レベルを約1桁上回っており、これがVD用途への実用上最大の障害となってきた。

この雑音の発生原因を調べた結果、次のことが明らかとなった。すなわち前章で述べたように、素子温度や動作電流が変化すると縦モード(スペクトル)が隣接モードにジャンプする。このとき出力が約1%変動する。ジャンプを連続的に繰り返す温度(あるいは電流)範囲があって、この出力変動のフーリエ成分が図2(a)にみられる雑音ピークとなる。実システムではレンズなどの光学系によって、ディスク上にレーザ光を照射するが、ディスクからレーザへ微弱な反射光が戻ることは避けられない。反射光はレーザ発振状態を不安定化し、過剰雑音を発生する。この雑音は反射点までの距離、戻り光量によって著しく変化する。同図(b), (c)にこの測定例を示す。反射点までの距離は8cm, 戻り光量は0.5%(b)及び15%(c)である。同図(c)に示すように反射光をあるレベルまで増加すると、スペクトルがマルチ化してレーザ光の干渉性が低下し、雑音ピークが消失することを見いだした。DADではこの効果を利用し、雑音のマージンを得ることが可能である。しかし、VDでは更に低雑音化が要求される。これに対処するために素子を駆動する電流に高周波電流を重畳し、レーザ発振を高速度で断続させるとスペクトルがマルチ化して低雑音効果が得られることを見いだした。700MHzの高周波を重畳したときの雑音特性を同図(d)に示す。雑音レベルは $RIN < 5 \times 10^{-14} \text{ Hz}^{-1}$ であり、VD用として使用可能なレベルにまで低雑音化が達成できた。この方法によって低雑音化されたレーザを用いた結果、良好な画質が得られた。VD用に開発した高周波重畳モジュールを図3に示す。

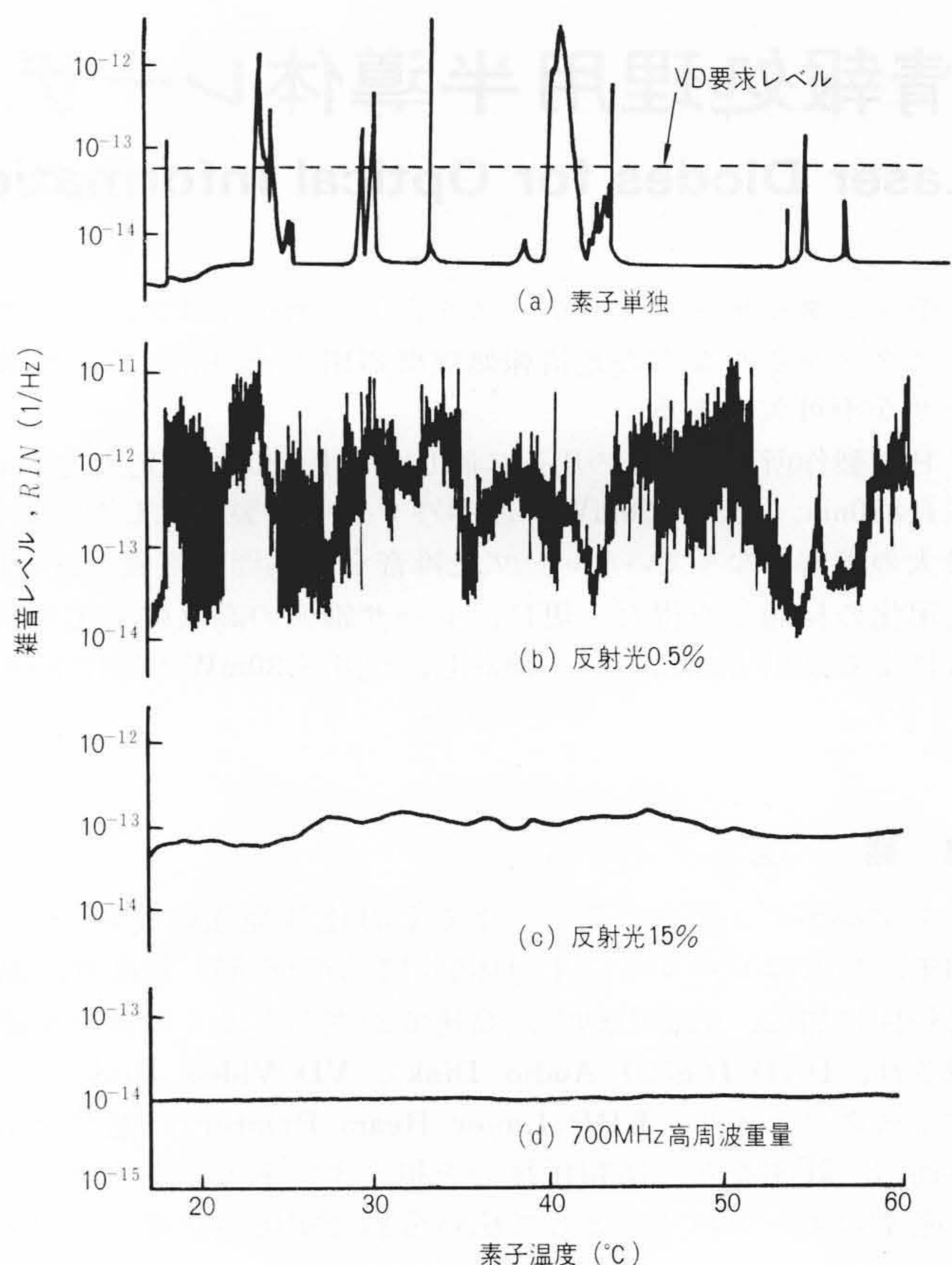


図2 半導体レーザの雑音特性例 (a) 素子単独, (b) 反射光0.5%, (c) 反射光15%, (d) 700MHz高周波重畳, 測定条件: HL780I, 3mW, 20~60℃温度変化での雑音特性を示す。

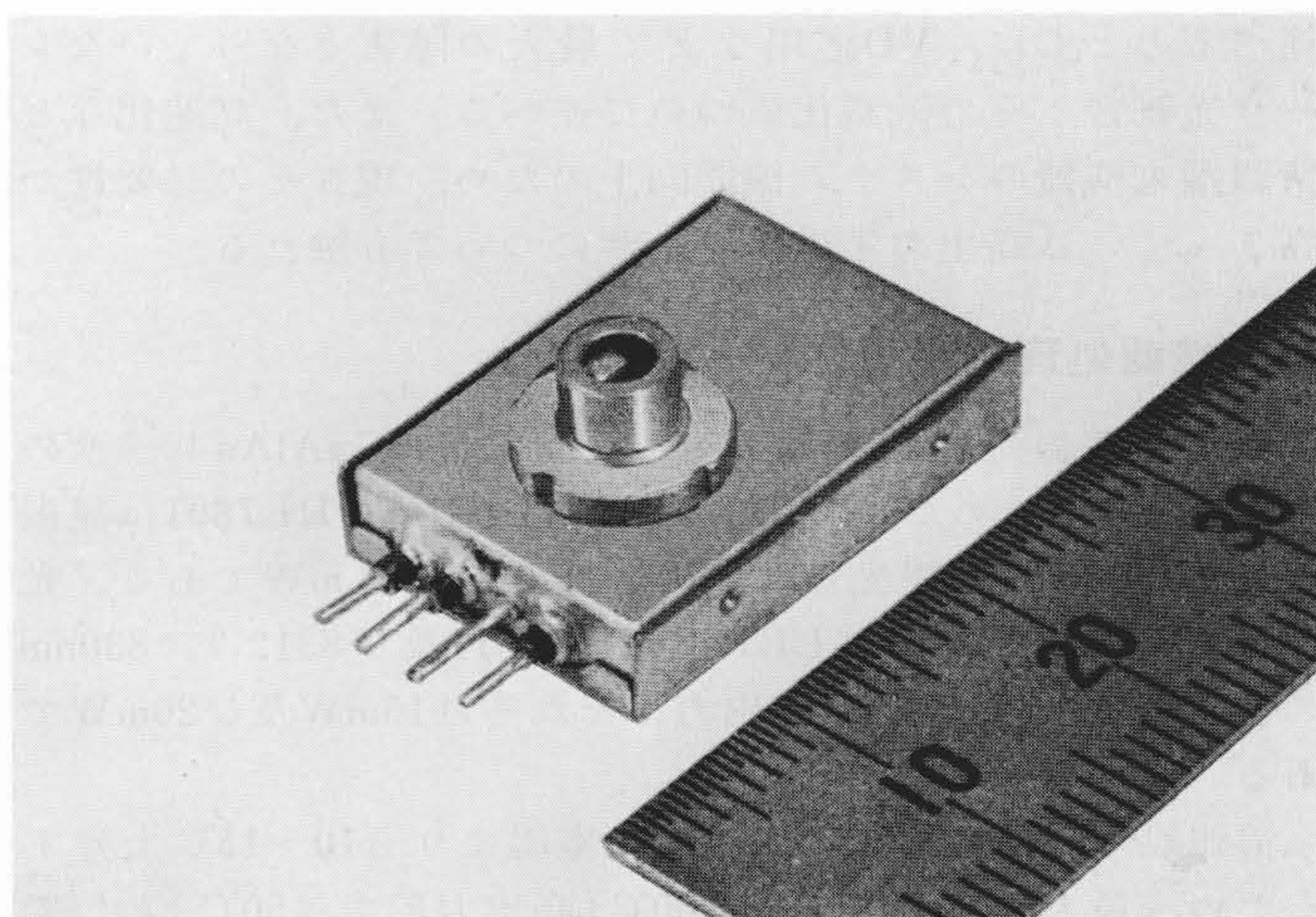


図3 VD用に開発された高周波重畳モジュール 700MHzの高周波電流を重畳することによって、VDに必要な雑音レベル($RIN < 5 \times 10^{-14} \text{ Hz}^{-1}$)を達成できる。

4 信頼度

4.1 素子寿命の推定

半導体レーザを一定出力で長期間動作させると、動作電流がしだいに増加し、ついには発振しなくなる。この素子劣化は動作時の温度、出力のほか、発振波長などレーザチップ構造上の種々の因子に依存する。動作温度 T と素子寿命 τ との関係は数多く調べられており、経験的にアレニウスの関係：

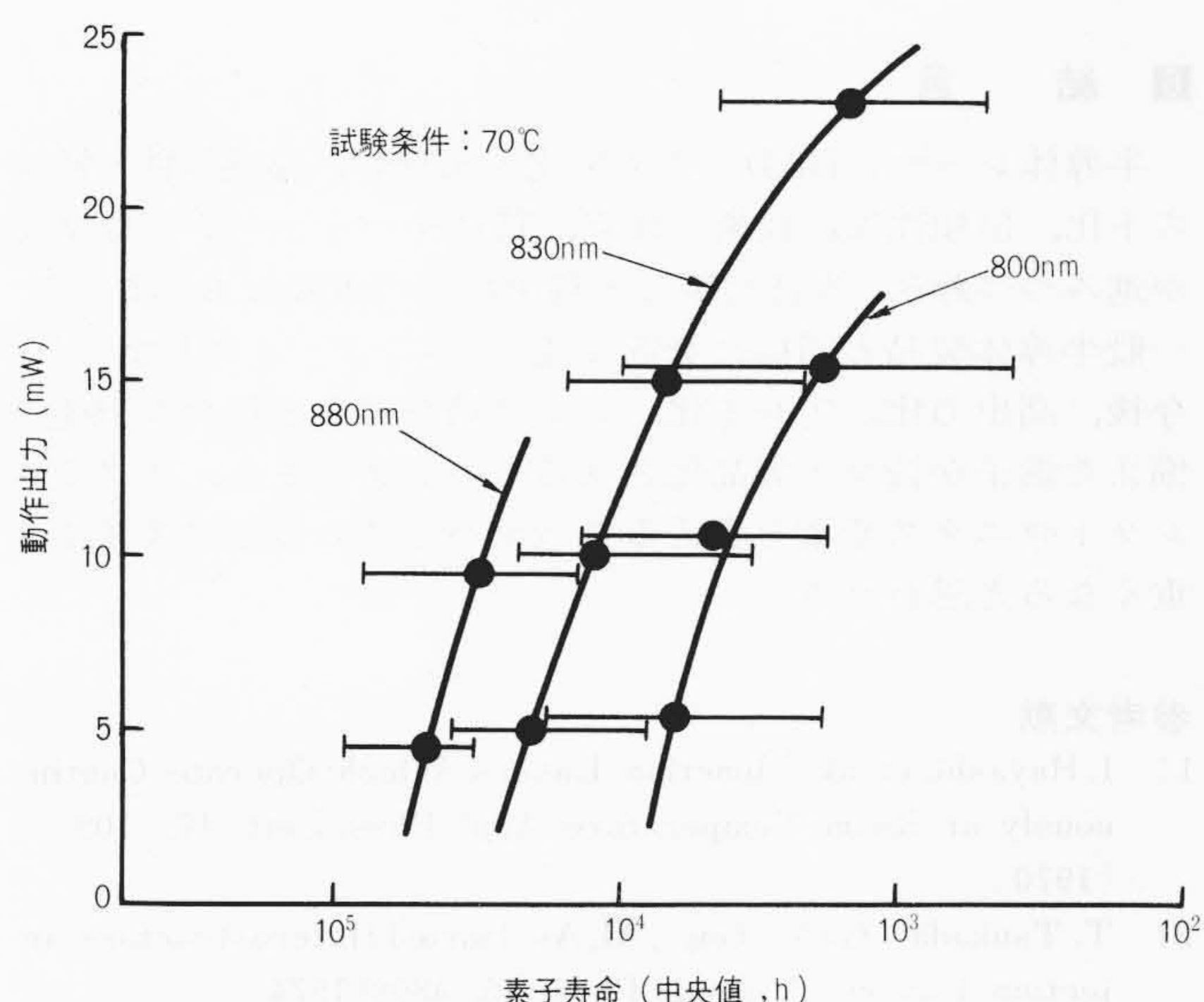


図4 半導体レーザの加速寿命試験結果(波長, 出力依存性)
図中の●は70℃加速条件での寿命中央値(半数の素子が劣化する時間)を示す。

$\tau \propto \exp(E_A/kT)$ で近似できる。素子寿命は通常70～90℃の高温で素子を動作させ、加速劣化させる。この結果、上記関係式の活性化エネルギー E_A が得られる。 $E_A=0.8\text{eV}$ 程度が実測されており、これを用いて低温での寿命を推定できる。すなわち20℃での寿命は70℃の場合のおよそ100倍となる。このため、素子になるべく低温で動作するようにシステム設計をすることが望ましい。

図4に、発振波長及び動作出力を変化した場合の70℃加速寿命試験の結果を示す。短波長の素子ほど劣化が著しい。また、20mWの高出力動作では5mW動作の約7倍の劣化速度となっている。波長780nmの素子(HL7801)では50℃、5mW、5,000時間動作後の不良率は0.1%と推定される。

4.2 サージ電流による素子破壊

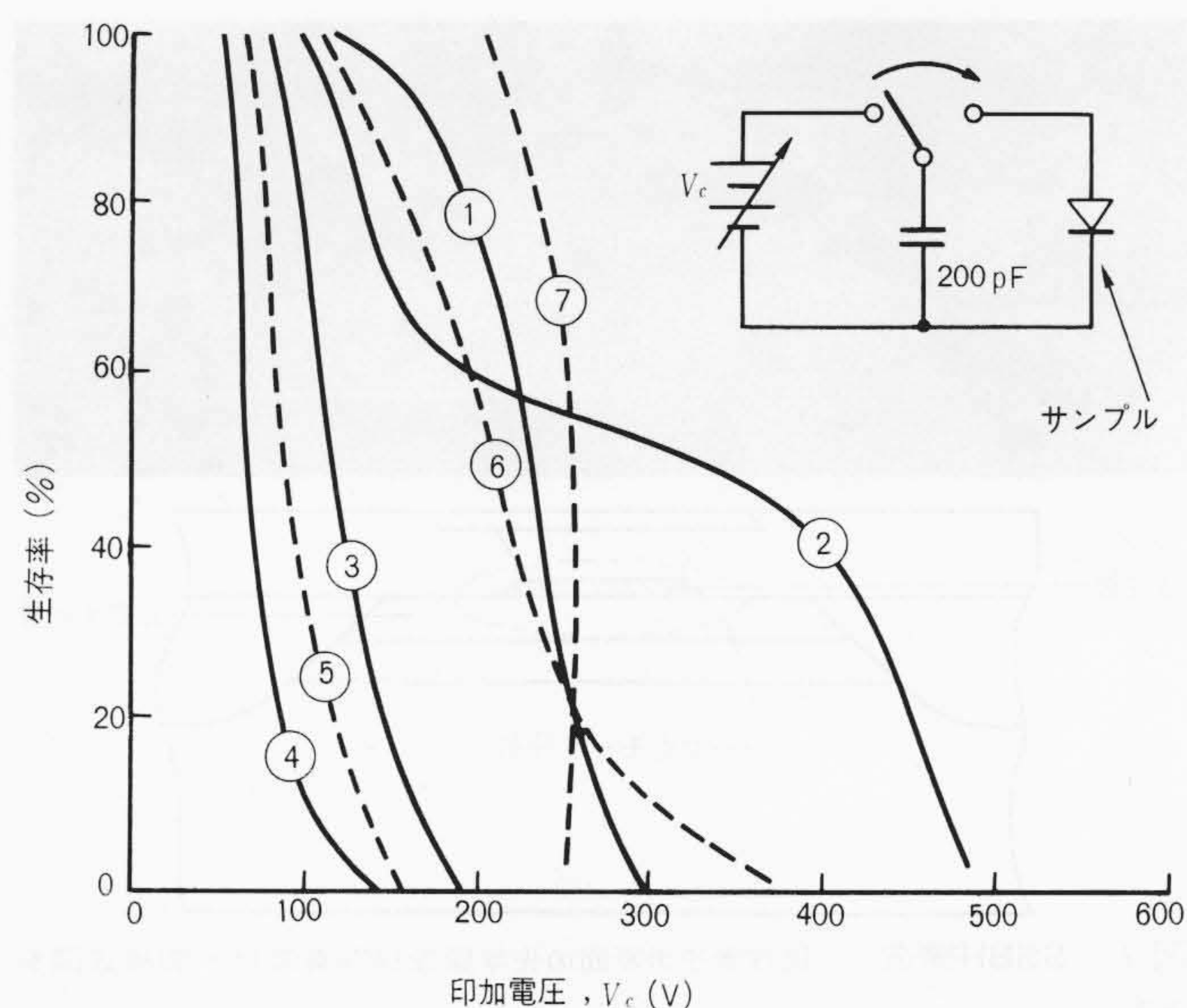
半導体レーザにサージ電流が加わると一時的に過大な光出力を発生し、光出射面が損傷を受け劣化する。逆方向のサージ電流によっても接合が破壊することがある。順方向サージに対する耐久性の結果を幾つかのSi半導体製品と比較して図5に示す。200pFのコンデンサに一定電圧を充電後、これを素子に印加し、劣化しなかった素子の割合をプロットしたものである。製品の取扱い時での静電気の放電や駆動電源の過渡特性に、十分な注意が必要なことを示すものである。

5 半導体レーザの高出力化

高速化などシステム機能を向上させるため、レーザの高出力化が不可欠である。半導体レーザを高出力動作させると、横モードの不安定化と劣化の促進という二つの難題に直面する。ここでは、これを解決する二つのアプローチについて述べる。

5.1 レーザ端面の高反射率化による高出力化

通常の半導体レーザでは、素子両端面の反射率はいずれも約30%で、等しい出力が両面から放射される。記録、再生などには、このうち一方の端面(前方端面)からの放射光が用いられている。後方端面からの放射光は出力のモニタに用いられているため、前方端面からの放射光との間に比例関係があれば低出力で十分である。この点に着目して、レーザの後方



注: ① HL7801(780nm,LD) ⑤ HM2510(1K Bip-RAM)
② HL8311(830nm,LD) ⑥ HD74S(S-TTL)
③ HLP3000(830nm,LD) ⑦ HD74LS(LS-TTL)
④ HLP5000(1,300nm,LD)

図5 半導体レーザのサージ破壊レベル(順方向結果) 半導体レーザとSiデバイスのレベル比較を示す。

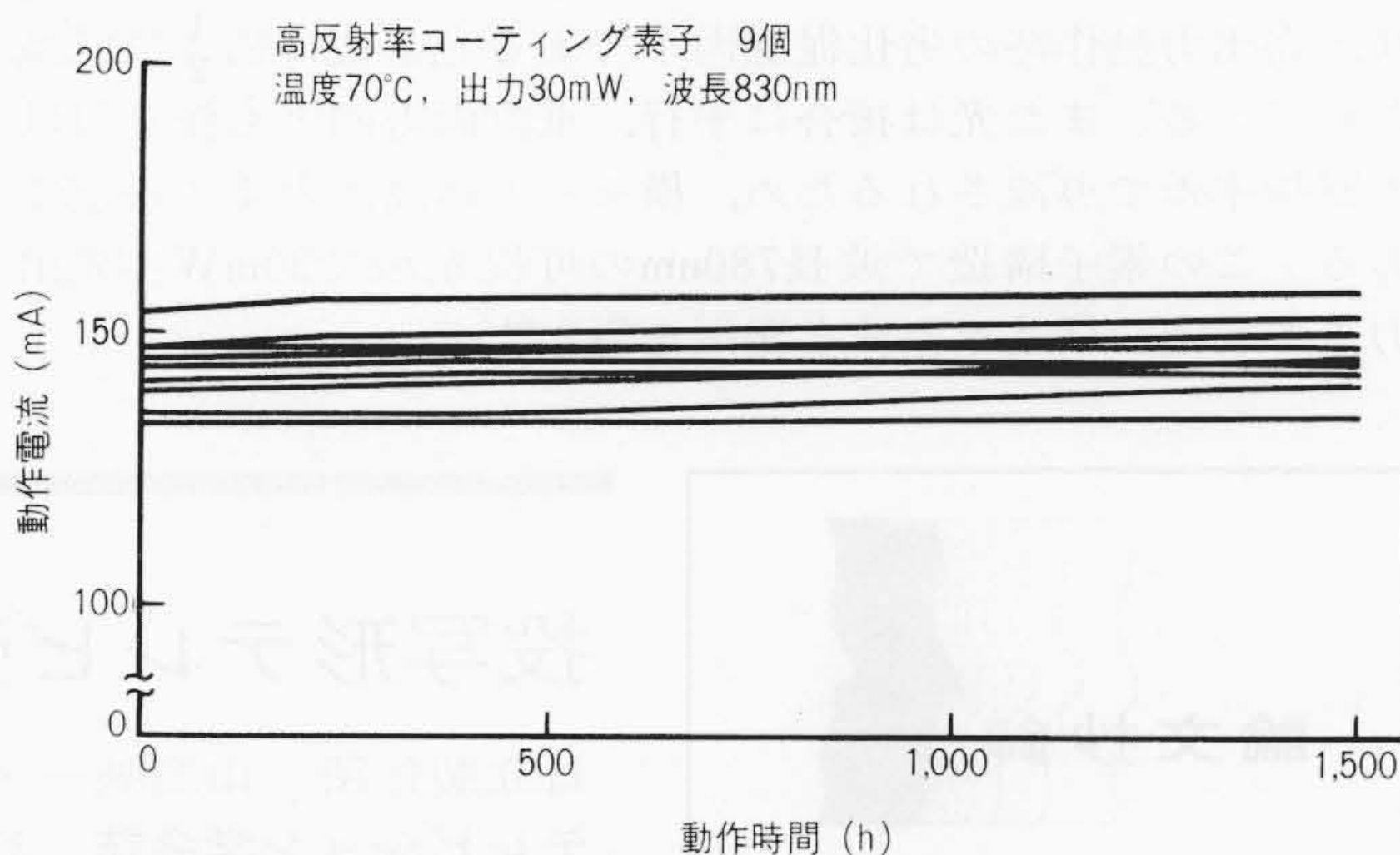


図6 高反射率コーティングによる高出力 高反射率コーティング素子の加速寿命試験結果を示す。

端面の高反射率化⁵⁾による前方端面放射光の高効率、高出力化を図った。

後方端面に誘電体複合膜を形成して、高反射率化(反射率～90%)した結果、前方放射光の微分量子効率及び出力を約2倍に向上させることができ、30mWの光出力まで安定な横基本モード発振を得た。この場合の前方放射光と後方放射光の出力比は約10:1である。

図6に、後方端面を高反射率化した素子の加速寿命試験の結果を示す。試験は環境温度70℃、光出力30mWで素子を定光出力動作させることによって行なった。同図には9素子についての結果が示されている。1,500時間経過時点での動作電流の増加は5mA以下と小さく、従来の半導体レーザと比べ劣らない寿命レベルにある。

5.2 SSBHレーザ

高出力化を目的として開発した導波路構造、SSBH(Self-aligned Strip Buried Heterostructure)レーザの断面光学顕微鏡写真及び構造の模式図を図7に示す。幅約 $2.5\mu\text{m}$ 、厚さ $0.07\mu\text{m}$ の活性層に隣接して、幅約 $5\mu\text{m}$ 、厚さ $0.8\mu\text{m}$ の光

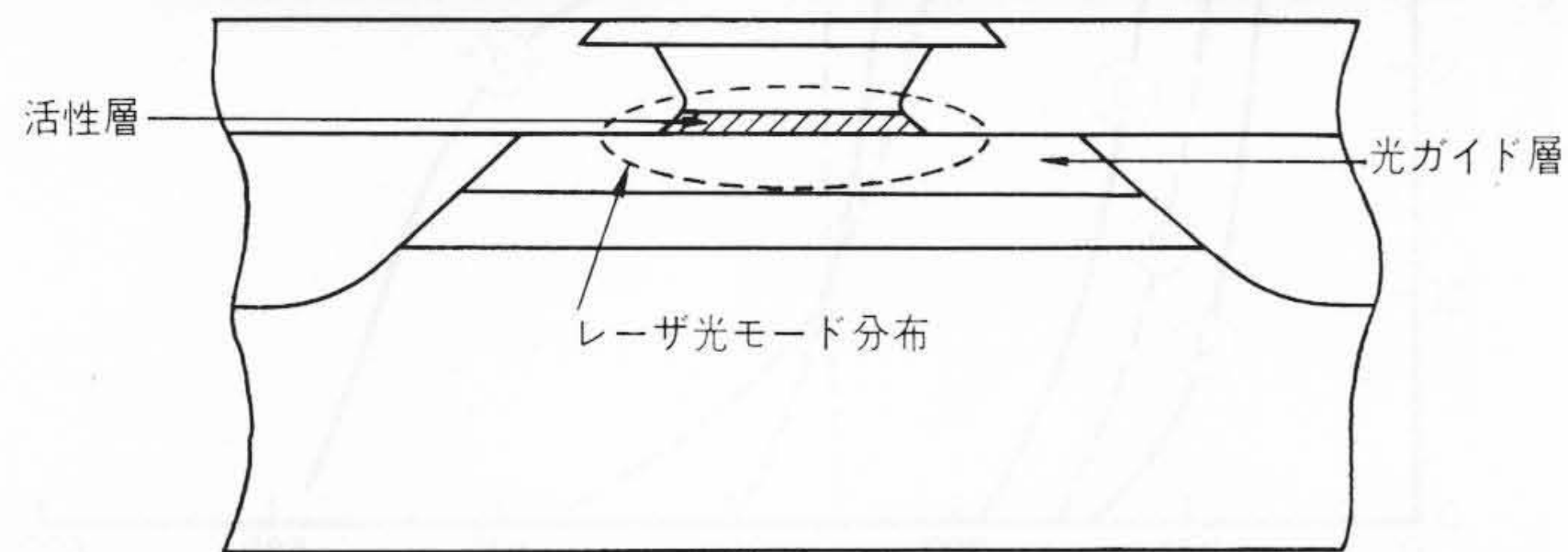
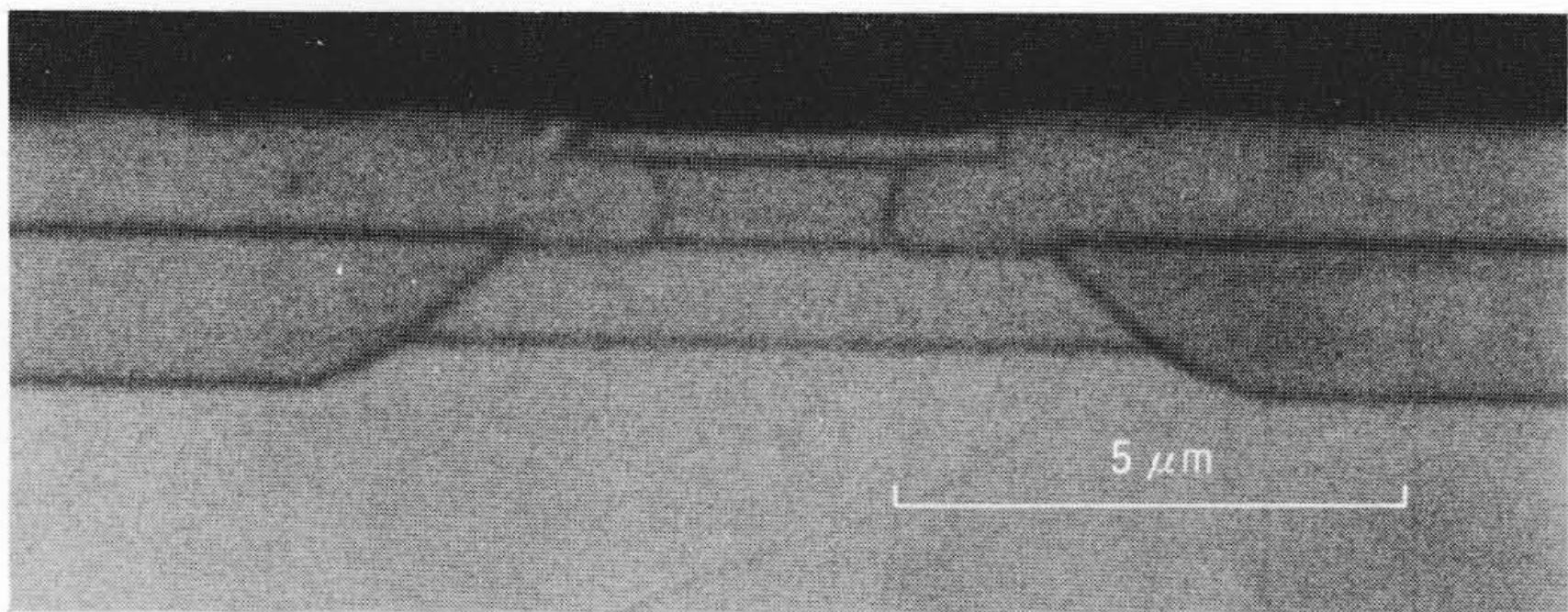


図7 SSBH構造 試作素子の断面の光学顕微鏡写真及び断面模式図を示す。

ガイド層が設けられており、更にこれらの層が低屈折率の層に埋め込まれた構造となっている。この構造では、活性層で発生した光は主に光ガイド層を導波されるため、レーザ光モード分布(スポットサイズ)は従来のレーザに比べ約2倍になり、高出力動作時の劣化促進因子である光密度は約 $\frac{1}{2}$ に低減されている。また光は接合に平行、垂直両方向とも作り付けの屈折率差で導波されるため、横モードは高出力まで安定である。この素子構造で波長780nmの可視光域で30mWの光出力まで安定な横基本モード発振を得た⁶⁾。

6 結 言

半導体レーザはDADへの実用化を契機に、量産に伴う低コスト化、信頼性保証技術の確立、特性やパッケージの標準化が進みつつある。雑音対策など利用技術の進歩とあいまって、一般半導体製品と同様に身近な使いやすいデバイスとなった。今後、高出力化、アレイ化、レンズ結合形など新たな機能を備えた素子が続々と製品化されるものと予想され、オプトエレクトロニクス産業を支えるキーデバイスの役割はますます重くなると思われる。

参考文献

- 1) I. Hayashi, et al.: Junction Lasers Which Operate Continuously at Room Temperature, Appl. Phys. Lett., 17, 109 (1970)
- 2) T. Tsukada: GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs Buried-Heterostructure Injection Lasers, J. Appl. Phys. 45, 4899(1974)
- 3) K. Aiki, et al.: Channeled-Substrate Planar Structure (AlGa)As Injection Lasers, Appl. Phys. Lett. 30, 649 (1977)
- 4) T. Kajimura, et al.: Highly Reliable GaAlAs Visible-Light-Emitting MCSP Lasers, Japan. J. Appl. Phys, Suppl. 22, 325(1983)
- 5) M. Ettenberg, et al.: A New Dielectric Facet Reflector for Semiconductor Lasers, Appl. Phys. Lett., 32, 724 (1978)
- 6) T. Kajimura, et al.: (GaAl)As High Power Visible Lasers with Self-aligned Strip Buried Heterostructure, Fourth International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication, June 27-30, 1983, Tokyo

論文抄録

投写形テレビ受像機

日立製作所 山崎映一・萩野正規

テレビジョン学会誌 37-2, 82~89 (昭58-2)

画面の大形化を目指した投写形テレビジョンは、業務用だけでなく最近では一般家庭でのホームシアター用として、VTRやビデオディスクと組み合わせて用いられる新しいテレビジョンとして発展しつつある。

方式としては前面投写形と背面投写形があるが、最近では全体をコンパクトにできる背面投写形が主流となりつつある。初期のころには受像管を1個使用した単管投写方式もあったが、明るさが本質的に不足するため現在では3管投写によりスクリーン上で3色画像を合成する方式が主体である。また使用する受像管も、投写結像用の凹面鏡を管内に配置した反射形投写管と管外に投写用屈折レンズを配置し、これに通常形式の受像管を組み合わせた屈折形投写管とがあるが、最近ではF1.0以下の極めて明るいプラスチック屈折レンズが比較的安価に入手できるようになったため、後者が広く用いられている。

蛍光面上の電流密度が通常受像管に比べて極めて高いため、蛍光体としては電流

飽和の少ない特殊なものが使用され、また蛍光面温度の上昇を防ぐため、液冷方式も使用されている。電子銃は低電流域から高電流域にかけてのスポット径の変動の少ないHi-UPFあるいはB-Uタイプが一般に用いられている。

投写用レンズは投写形テレビジョンの主要部品であり、セット全体のシステムと大きくかかわっている。最近広く使用されているプラスチックレンズは、非球面形状を実現できるという長所があり、比較的少ないレンズ枚数で明るくフォーカスの良い性能を得ることができる。また、セットのコンパクト化のために、レンズ鏡筒中にミラーを内蔵させる形式のものも実用化されている。一方、ガラスレンズは高性能化を指向して改良が進められており、OA端末用の高精細ディスプレイ用あるいは高品位テレビジョン用のものが開発されている。

投射用スクリーンとしては、反射式、透過式のものがある。反射式は通常凹面状に成形され、異方性拡散反射特性をもつよう

なアルミはくで構成されている。コンパクトな一体形投写形テレビジョンには透過形スクリーンが使用される。メタクリル樹脂を加圧成形して作られ、通常フレネルレンズ、レンチキュラーレンズ、拡散層の組合せにより構成され、これを1枚構成あるいは2枚構成により実現している。

高品位テレビジョンの画像を十分に再生するためには40形以上が適しており、直視形での実現は難しい。投写形で電子銃、レンズに改良を加え十分な特性のものを得ている。

以上に述べたとおり、投写形テレビジョン受像機は光学系を中心に種々の改良が積み重ねられており、大迫力画面の特長に加えて、画質面でもシャドウマスク方式のブラウン管のレベルに近づきつつある。今後更に大きく伸びてゆくためには、低価格化、小形・軽量化及び画質の向上について、更にいっそうの革新が期待される。