

光通信用半導体レーザ

Semiconductor Lasers for Optical Communications

広帯域、長距離光通信システムの実用化では、光源として波長0.8~1.6 μm の横モード安定化された、高信頼半導体レーザが必要である。これにこたえるために波長0.8 μm 帯用にGaAlAs三元混晶材料を、またファイバ損失の特に低い波長1.2~1.6 μm の長波長帯にはInGaAsP四元混晶材料を用い、光出力5~10mWの半導体レーザを開発した。横モード制御には、BH構造及びCSP構造を採用した。特にBH構造の採用によって、しきい電流値の大幅な低減も可能になった。

また、加速劣化試験によってこれらレーザ素子の信頼性について統計的に検討し、GaAlAsレーザ、InGaAsPレーザ共に 10^6 時間以上の寿命が期待できることを確認した。

ここでは、主として長距離光通信用の波長1.3 μm 帯InGaAsPレーザの構造、特性及び信頼性について述べ、更に中距離光通信用の0.8 μm 帯GaAlAsレーザについても簡単に述べる。

平尾元尚*	Motohisa Hirao
市来正浩**	Masahiro Ichiki
佐藤 轟***	Hitoshi Satô
中村道治****	Michiharu Nakamura

1 緒 言

半導体レーザは小形で高速の直接変調が可能のため、光通信での主要な光源として注目され、開発が進められてきた。特に最近、光ファイバの伝送損失の小さい長波長域(波長1.2~1.6 μm)で発振可能なInGaAsPレーザが実現した¹⁾ことが、長距離の無中継伝送を可能にし、光通信の実用化に拍車をかけることになった。

半導体レーザの開発初期には、レーザ光の空間的な分布、すなわち横モードが不安定で光出力-電流特性の直線性が悪く、著しい雑音(光出力のゆらぎ)が見られた。また寿命が短く、素子の信頼性が低いことも問題であり、これまでこれらの点を中心に精力的に研究開発が進められてきた。

この横モードを安定化する手段として、レーザ内に光導波路を形成する方法がとられ、横モードの安定な種々の光導波路構造をもつレーザが開発されてきた。

一方、半導体レーザの信頼性に関しては、その劣化要因がほぼ解明され、室温での推定平均寿命が $10^5 \sim 10^6$ 時間と実用レベルの信頼度に達している。

ここでは、1.3 μm 帯InGaAsPレーザを中心に、0.8 μm 帯GaAlAsレーザを含め、横モードの安定な光通信用レーザの構造、性能及び信頼性について述べる。

2 半導体レーザの構造、特性及び信頼性

2.1 1.3 μm 帯InGaAsPレーザ

図1に波長1.3 μm 帯InGaAsPレーザの素子構造を示す。InGaAsPレーザはしきい電流値が接合温度とともに急激に上昇するため高温動作が困難で、このために横モード制御とともに、温度特性をも考慮した素子設計が必要である。同図に示した構造はBH(Buried-Heterostructure)レーザ^{2),3)}として開発した屈折率導波路レーザである。本レーザでは活性層であるInGaAsPの側面をエッチング除去し、再び活性層よりも低屈折率のInPで埋め込んで光導波路を形成し、横モード制御を行なうとともに、埋込み部のP-N接合によって電流が活性層だけに有効に集中できる構造になっている。

図2に、波長1.3 μm BHレーザの発光領域である活性層の

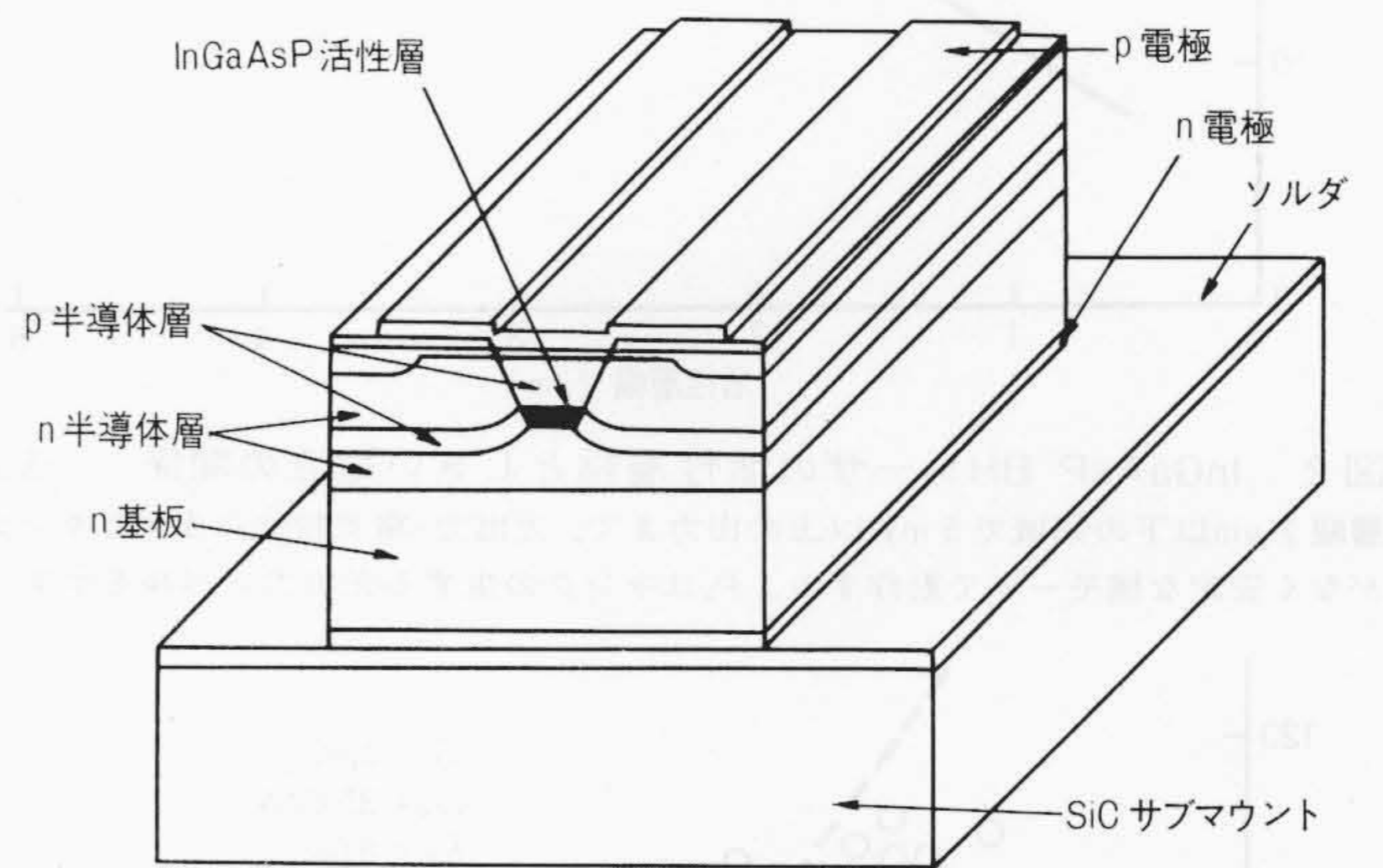


図1 InGaAsP BHレーザの構造模式図 埋込み成長によって形成された2 μm 以下の狭いストライプ状活性層をもつレーザである。高热伝導度の絶縁性SiCサブマウント上に接合面を上にもウントされている。

幅と、しきい電流値の関係を示す。BH構造レーザでは活性層幅を狭くすることによって、しきい電流値は低くなり、活性層幅1~2 μm では10~30mAの低いしきい電流値で動作する。同図中に黒点で示した素子は、光出力が5mW以下で、光出力が不安定になり、光出力-電流特性に折れ曲り(キック)の生ずるものを示している。

図2から明らかのように、活性層幅2 μm 以下では光出力5mW以上までキックの生じない安定な横モードで、低しきい電流で動作する素子が実現できる。

このような低しきい電流動作は、しきい電流値が温度に大きく依存するInGaAsPレーザでは、高温動作を可能にする上で特に重要である。連続動作が可能な限界温度 T_{th}^c は近似的に次の式で与えられる。

$$I_{th}^c = I_0 \exp \{ (T + \Delta T) / T_0 \} \dots \dots \dots (1)$$

$$\Delta T = (V_j + I_{th}^c \cdot R_s) I_{th}^c \cdot R_{th} \dots \dots \dots (2)$$

ここで I_{th}^c は連続動作時のしきい電流値、 V_j は拡散電位、 R_s は直列抵抗、 R_{th} は熱抵抗、 T_0 は半導体レーザの温度特性を示すパラメータである特性温度である。レーザ素子の温度上

* 日立製作所中央研究所 ** 日立製作所高崎工場 *** 日立製作所光技術開発推進本部 **** 日立製作所中央研究所 理学博士

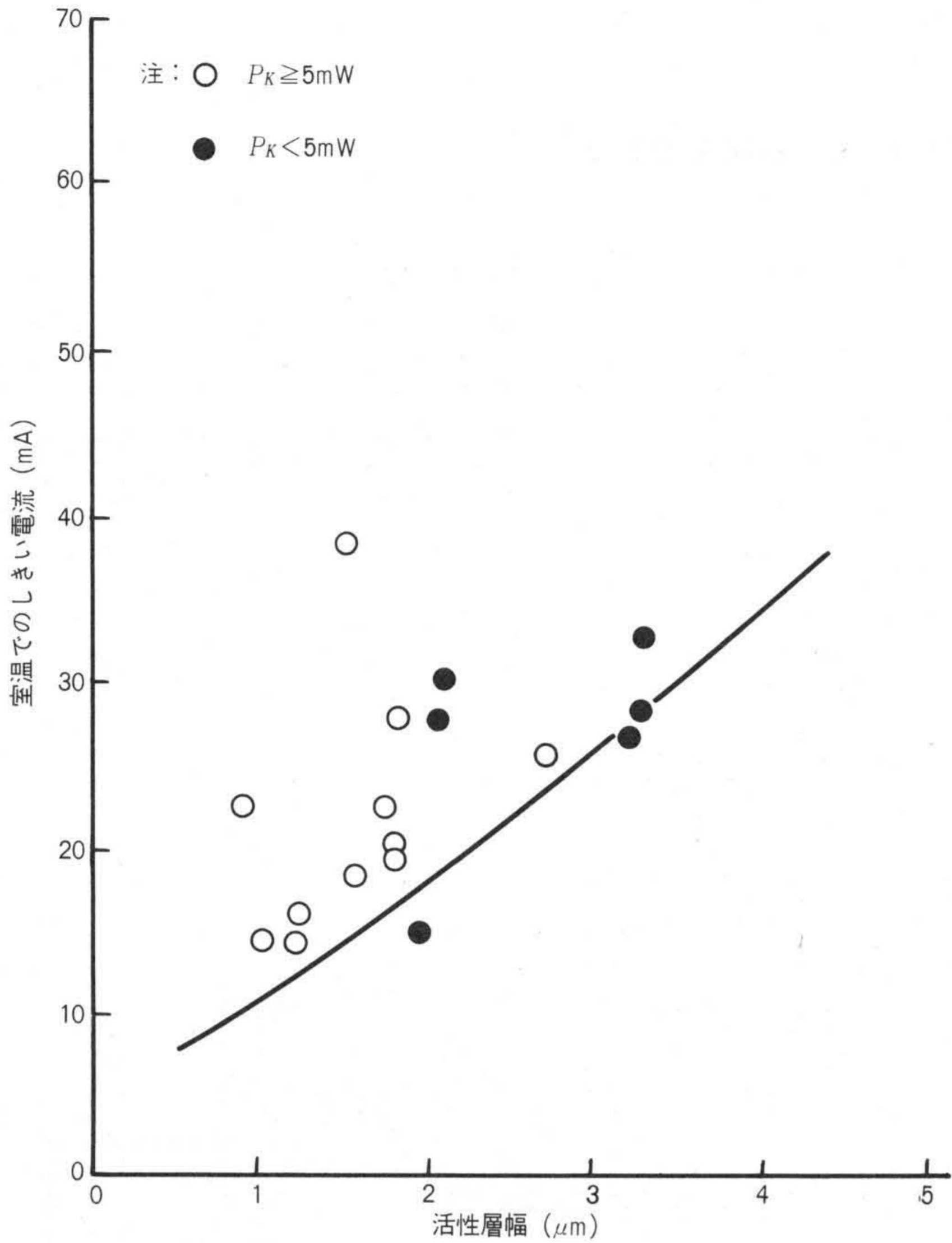


図2 InGaAsP BHレーザの活性層幅としきい電流の関係 活性層幅2 μm 以下の領域で5mW以上の出力まで、光出力-電流特性に生ずるキックがなく安定な横モードで動作する。 P_K はキックの生ずる光出力レベルを示す。

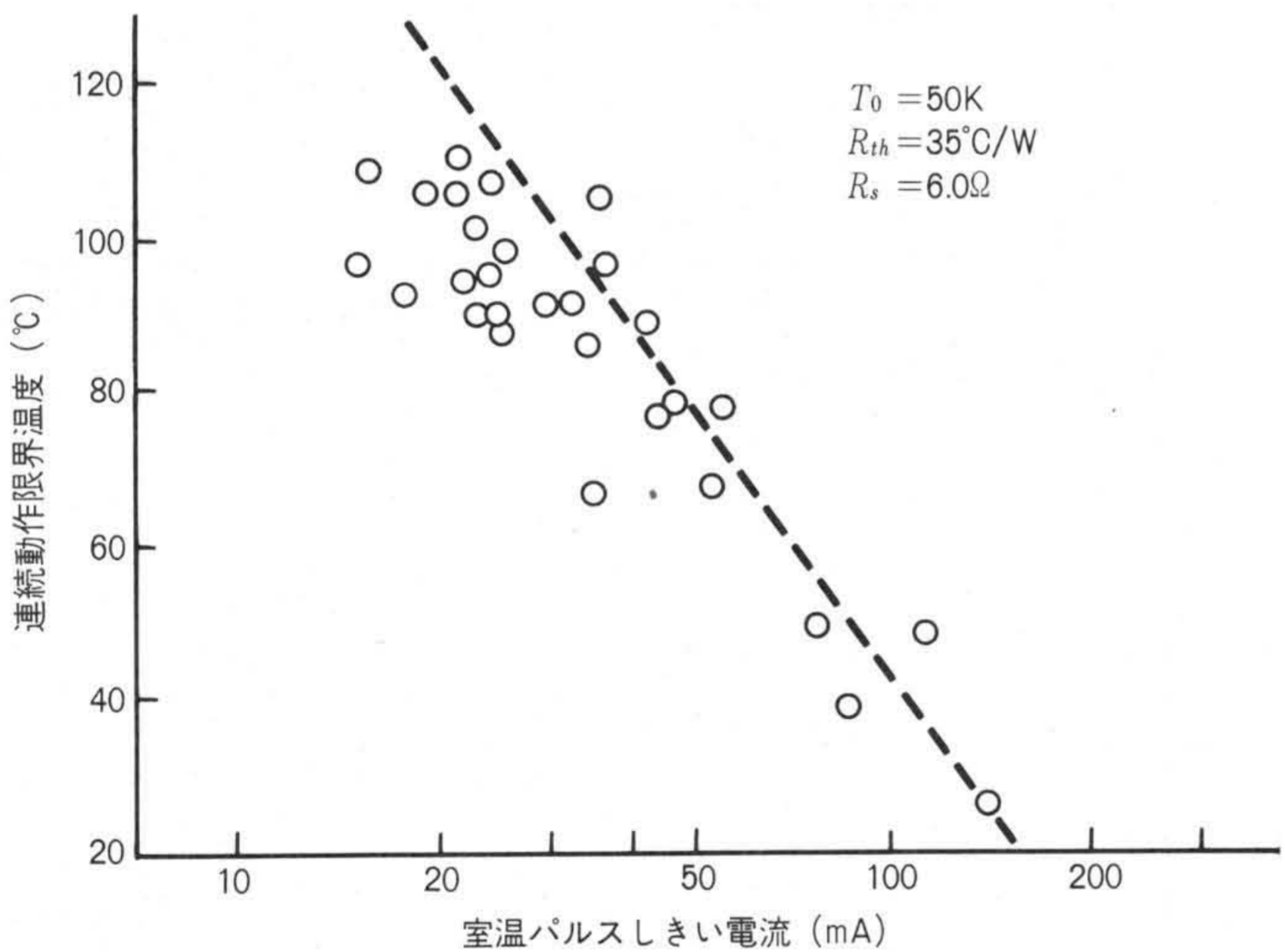


図3 InGaAsP BHレーザの室温パルスしきい電流と連続動作の限界温度 破線はレーザの特性温度 $T_0=50\text{K}$ 、熱抵抗 $R_{th}=35^\circ\text{C/W}$ 、素子の直列抵抗 $R_s=6\Omega$ と仮定した場合の計算値を示す。

昇は、しきい電流値 I_{th} 、熱抵抗 R_{th} 、直列抵抗 R_s によって定まるが、特に I_{th} 、 R_{th} を小さくすることが高温動作には有利となる。

図3に、パルス動作時の室温しきい電流値と、連続動作の限界温度の関係を示す。同図に示した破線は(1)、(2)式で $T_0=50\text{K}$ 、 $R_{th}=35^\circ\text{C/W}$ 、 $R_s=6\Omega$ として計算したしきい電流値と、連続動作の限界温度の関係を示す。同図から明らかのように、しきい電流値が連続発振の限界温度に大きく影響している。しきい電流値が30mA以下の素子では、連続動作の限界温度が $\sim 100^\circ\text{C}$ となる。図2に示したように、しきい電流値

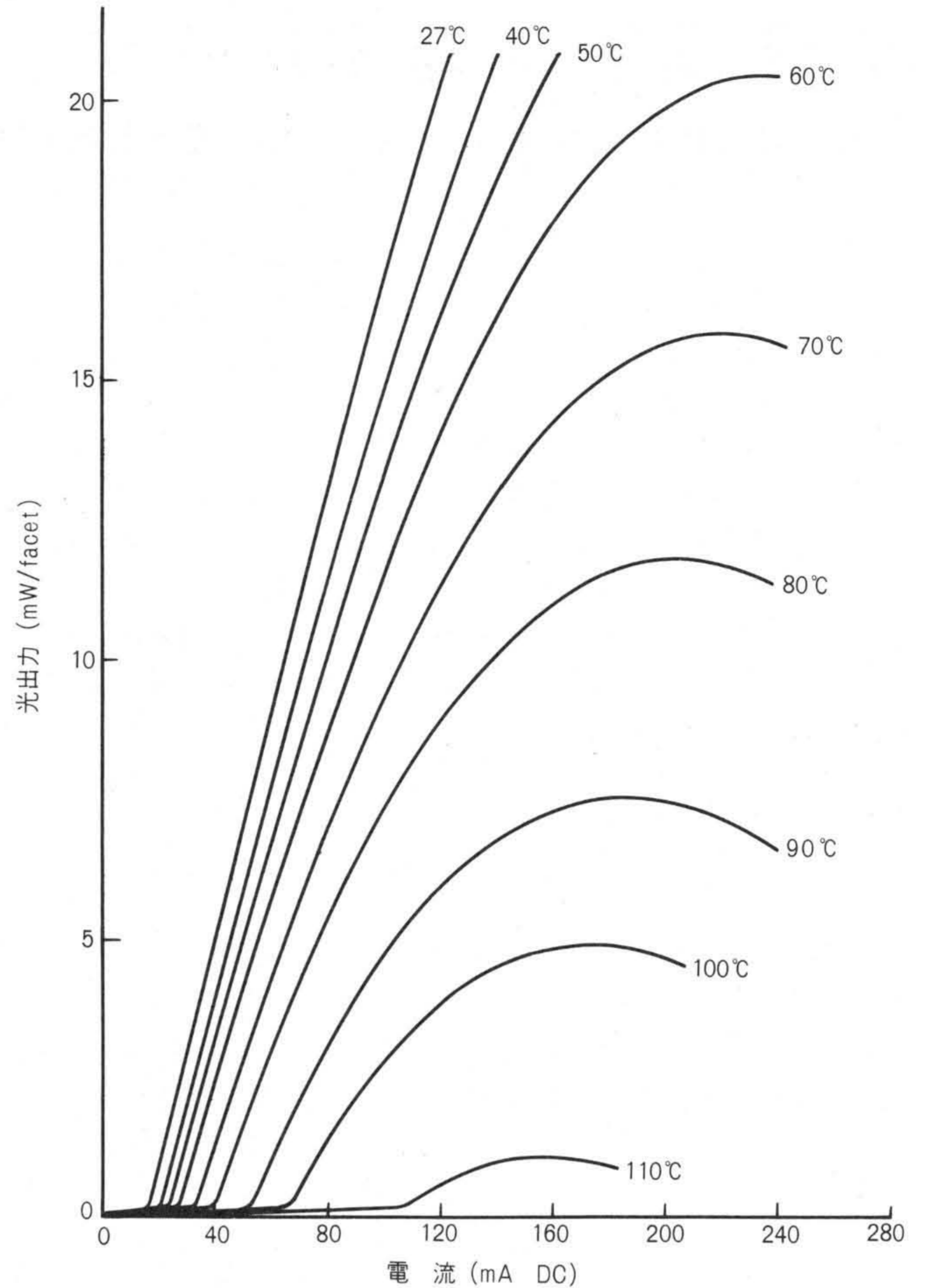


図4 InGaAsP BHレーザの光出力-電流特性の温度依存性 直流動作時の接合面を上を組み立てたBHレーザの光出力-電流特性、70°Cで10mW以上の光出力で安定な動作が可能である。

は活性層幅と対応関係があり、横基本モードで動作する活性層幅1 \sim 2 μm の素子は、高温特性も優れている。図3中で、実際の測定値と計算値のずれが高温側で大きい。これは60°C以下の温度では $T_0 \approx 70\text{K}$ であるのに対し、70°C以上の温度では $T_0 \approx 40\sim 50\text{K}$ と小さく温度特性が悪くなること、及び高温では活性層を通らないリーク電流成分が増加するためである。このように、InGaAsPレーザで活性層に有効に電流を集中できるBH構造を用い、活性層幅を1 \sim 2 μm に制御することによって、横モードが安定な10 \sim 30mAと低いしきい電流値で動作するレーザを作ることが可能となった。このようなレーザ素子の代表的な光出力-電流(DC)特性の温度依存性を図4に示す。特性の良好な素子は室温では20mW以上の出力までキックの生じない直線的な光出力-電流特性を示す。室温でのスロープ効率 $\sim 20\sim 25\%$ である。温度の上昇とともに、光出力は飽和する傾向を示し、 T_0 の値が40 \sim 50°Cになる70°C以上の温度では熱的な出力飽和が著しくなる。BH構造レーザでは70°Cの温度でも $\sim 10\text{mW}$ 以上まで比較的直線性の良い光出力-電流特性が得られ、出力5mWで安定な長期間の動作が可能であった。

表1に実用レベルのInGaAsP BHレーザ(HLP-5400)の主要な光・電気特性を示す。この素子の最大定格値としては、光出力5mW、動作温度範囲0 \sim 50°C、保存温度0 \sim 60°Cである。発振スペクトルのピーク波長は中心波長1.3 μm のものについて同表中に示してあるが、1.2 μm 、1.25 μm の中心波長の素子も製造されている。

表1 InGaAsP/InP BHレーザの室温(25°C)での主要な光-電気特性を示す。最大定格は光出力5mW動作温度範囲は、0~50°Cである。

項目	記号	試験条件	単位	BHレーザ		
				最小値	代表値	最大値
しきい電流	I_h		mA	—	30	80
光出力	P_0	横単一モード	mW	5	—	—
				1.5	—	—
モニタ光出力	P_m	$I = I_h + 20\text{mW}$		1	—	—
ピーク波長	λ_p		nm	1,270	1,300	1,330
遠視野像半値全角	$\theta_{//}$	$P_0 = 3\text{mW}$	deg	—	30	—
	θ_{\perp}			—	40	—
立上り, 立下り時間	t_r, t_f		ns	—	—	0.5

図5に示すように、InGaAsP BHレーザは縦多モード動作を示し、出力及び温度の増加とともにピーク波長は変位する。ピーク波長の変化の温度係数は $\sim 0.35\text{nm}/^\circ\text{C}$ である。

次に同InGaAsP BHレーザの信頼性について述べる。InGaAsPレーザはGaAlAsレーザと比べ、開発の初期から室温で 10^4 時間に及ぶ動作寿命が報告されてきた⁴⁾。しかし、温度特性が悪いため高温での加速試験が困難であり、InGaAsPレーザの信頼性に関する検討結果は少ない。

BHレーザ素子は図1に示すように、高熱伝導度SiCセラミックサブマウントに、発光部である接合面が上になるように

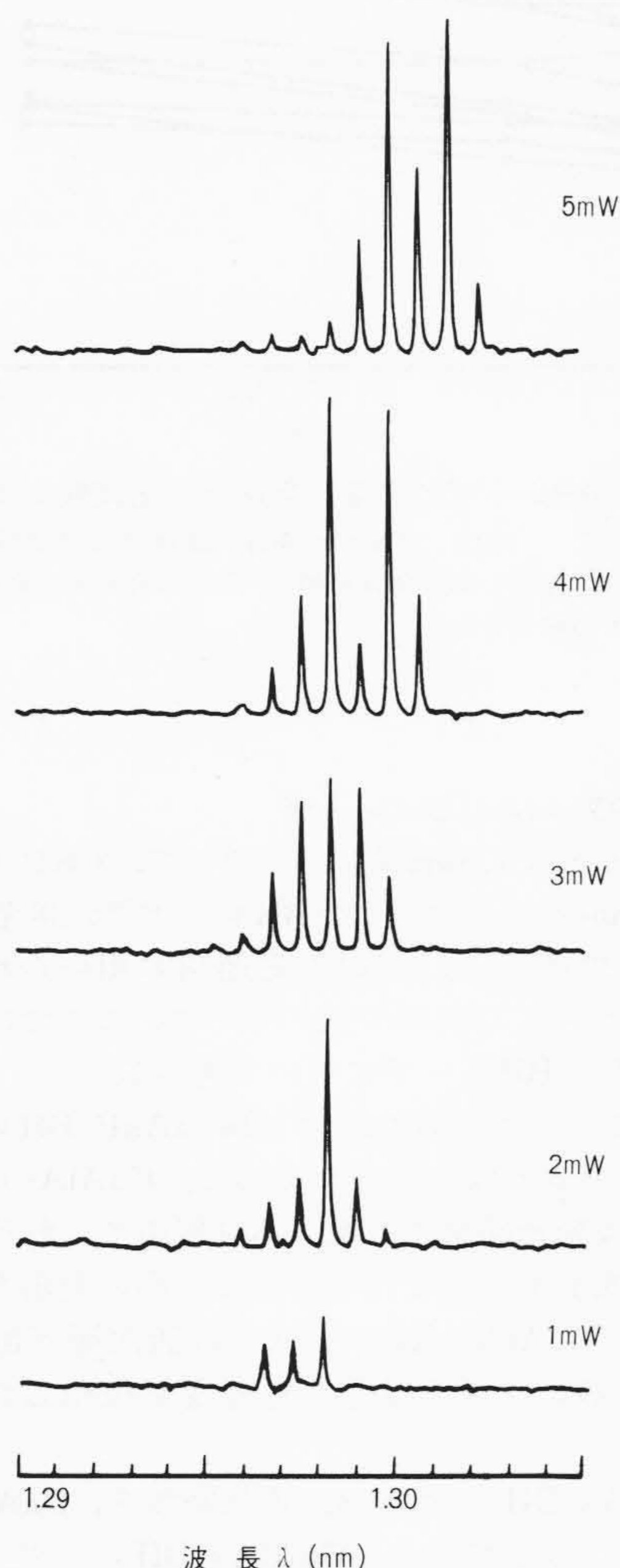


図5 InGaAsP BHレーザの発振スペクトル InGaAsP BHレーザは、 $2\mu\text{m}$ 以下の狭い活性層幅では光出力レベルによらず縦多モード動作になる。

組み立てている。半導体レーザは高電流密度($> 2\text{kA}/\text{cm}^2$)で動作する素子であり、一般に接合温度の上昇を防ぐため発光部を下に組み立てられる。しかし、この組立方法では発光部である活性層直下のソルダと、結晶の反応による劣化現象が認められる場合がある。このような劣化は、高温加速試験で長期間安定に動作してきた素子が、突然急速な劣化を示す現象として現われ、素子の信頼性という観点から大きな問題となる。接合面を上を組み立てる方法は、素子の熱抵抗を増加させる点で不利であるが、BHレーザはしきい電流値が小さく、熱抵抗の増加による接合温度の上昇は小さいこと、また高熱伝導度SiCセラミック(熱伝導度: $2.5\text{W}/\text{deg}\cdot\text{cm}$)の使用によって熱抵抗の上昇を緩和することなどにより、高温特性を損なわずに、接合面を上を組み立てることが可能になった。また同時に、n側電極としてAnGeNi/Pd/Auの多層電極を用い、パラジウムのバリア効果を用いて、ソルダと結晶の反応を防止し、高温加速試験時に認められる突発的な劣化といったレーザチップ以外の外因的原因による劣化モードは、完全に防ぐことが可能になった。

図6に、上記の組立法を用いたInGaAsP BHレーザを高温加速試験したときの動作電流の時間変化の様子を、 40°C 、 50°C 、 60°C の温度について、各1素子ずつの代表例を示す。同図に示すように $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP BHレーザは、初期に比較的劣化速度が大きく、時間の経過とともに劣化速度が小さくなるという、劣化速度の飽和現象を示す。この飽和傾向は、同図に明らかなように温度依存性が大きく、高温ほど飽和に至る時間は短くなる。 60°C では $\sim 10^3$ 時間で飽和を示し、緩慢な劣化モードに移行するが、 40°C では $\sim 10^4$ 時間と約1桁長い時間で飽和傾向を示し始める。

このため、ここでは約100素子の 10^4 時間以上の温度加速試験の結果を統計的に処理することによって、温度加速係数を求めた。図7に、各温度レベルでの動作電流の増加率の中央値と経過時間の関係を示す。初期の比較的速い劣化モードに対する活性化エネルギーを 40°C 、 50°C 、 60°C の温度レベルから求めると、 1.3eV となり強い温度依存性があることを示し

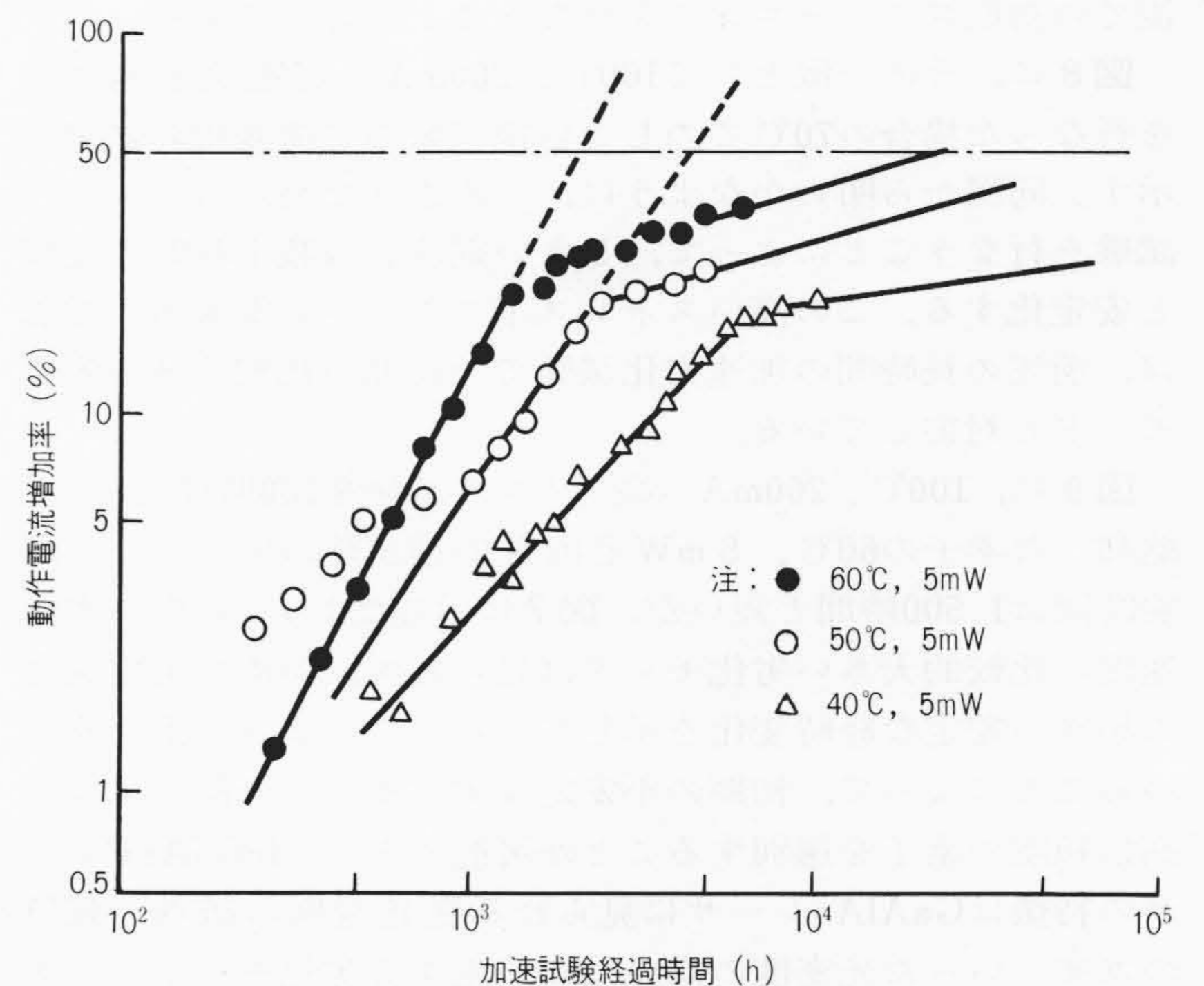


図6 InGaAsP BHレーザの定出力寿命試験の代表例 $40\sim 60^\circ\text{C}$ での長期間の定出力寿命試験時の代表的動作電流の変化、初期に比較的速い劣化を示し、時間経過とともに劣化速度は減少、飽和する傾向を示す。

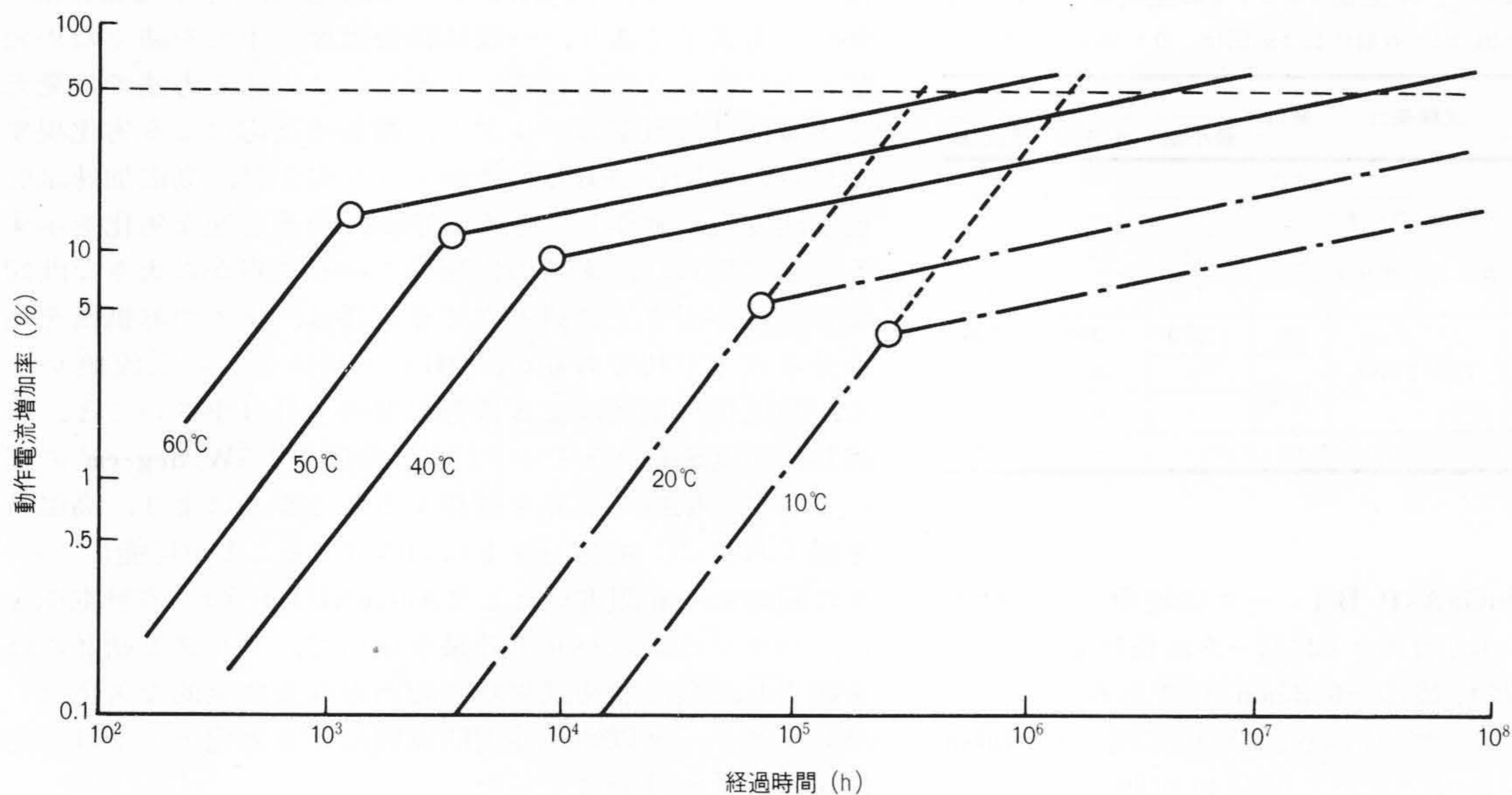


図7 高温加速試験によるInGaAsP BHレーザの平均劣化特性
約100個の素子の40℃, 50℃, 60℃での平均劣化特性, 鎖線で10℃, 20℃での推定劣化特性を示す。動作電流増加率が50%になる時間が素子寿命の目安を与える。

ている。一方、飽和後の劣化速度の小さい劣化モードの活性化エネルギーは、 0.3eV と温度依存性は極めて小さい。これらの活性化エネルギーを用いて、 $1.3\mu\text{m}$ InGaAsP BHレーザの10℃及び20℃の温度での動作電流の増加率を推定した結果を、同図中に鎖線で示してある。レーザの寿命を動作電流が50%増加した時点と定義すると、10℃, 20℃の周囲温度では、初期の劣化速度の大きいモードだけを考慮しても、推定平均寿命はそれぞれ 3×10^5 時間、 1.2×10^6 時間となる。実際には劣化速度の小さい劣化モードに移り変わることを考慮すれば、更に長期の寿命が期待できる。すなわち、室温で 10^6 時間以上の寿命が確保でき実用上十分な信頼度レベルにあると考えられる。

以上述べたように、InGaAsP BHレーザは実用上十分な信頼度レベルの素子であるが、初期の速い劣化モードを除去できれば、より高信頼度の素子を選別できる。このためには、初期の劣化モードの強い温度依存性を利用し、高温かつ大電流での初期スクリーニングを行なうことが有効である。

図8に、その一例として100℃, 200mAの定電流加速試験を行なった場合の70℃でのしきい電流値の時間変化の結果を示す。同図から明らかなように、このような高いストレスの試験を行なうことによって、しきい電流値は数十時間で飽和し安定化する。この高いストレス下でのしきい電流値の増加は、前述の長時間の加速劣化試験での初期の比較的速い劣化モードと対応している。

図9に、100℃, 200mAの高ストレス試験を100時間行ない、飽和した素子の60℃, 5mW定出力加速試験の例を示す。試験時間は1,500時間と短い、図7に示したような初期の劣化速度の比較的大きい劣化モードは見られず、極めて劣化速度の小さい安定な経時変化を示している。このような手法を用いることによって、初期の不安定な劣化モードを除き、より高信頼度の素子を選別することが可能である。InGaAsPレーザの特徴はGaAlAsレーザに見られる発光端面の破壊、転位の増殖といった光密度の高いために生ずる劣化モードは認められない。したがって、GaAlAsレーザで有効な発光端面のパッシベーションなどは素子寿命の改善という意味ではInGaAsPレーザでは効果が認められない。

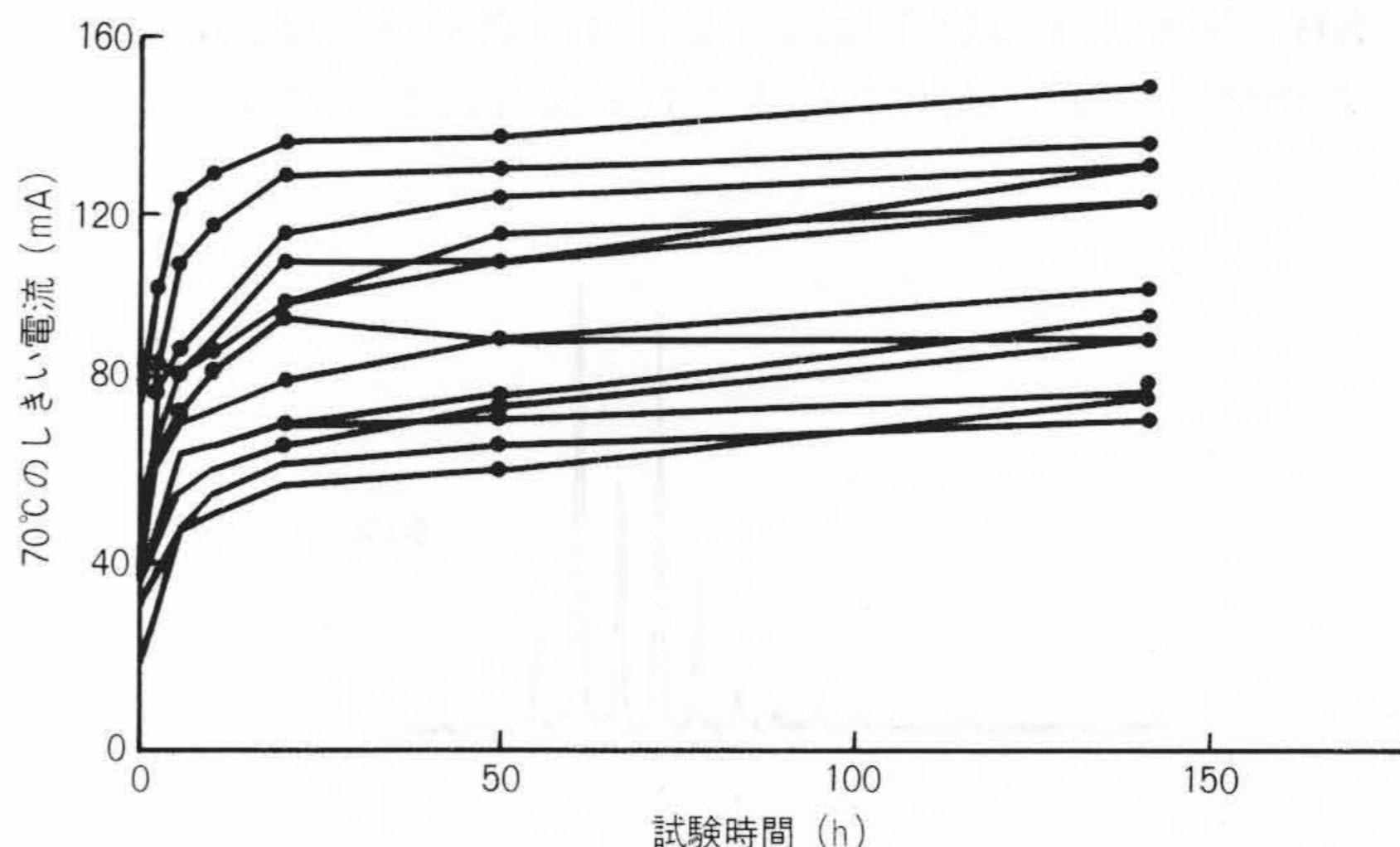


図8 InGaAsP BHレーザの高温、高電流加速試験による70℃, しきい電流値の変化
100℃, 200mAの高温、高電流加速試験により、100時間以内の短時間で、しきい電流値は飽和し、図6に見られる初期の速い劣化モードを除くことが可能になる。

2.2 0.8μm帯GaAlAs BHレーザ

横モードの安定な0.8μm帯レーザとして、CSP(Channeled Substrate Planer)レーザ⁵⁾及びBHレーザ⁶⁾が開発されており、いずれも中距離(<10km)の光通信に用いられている。CSPレーザについては別稿で述べるので、ここでは主要な用途が光通信分野のBHレーザについて述べる。

GaAlAs BHレーザは基本的にはInGaAsP BHレーザと類似の構造の屈折率導波管レーザである。GaAlAsレーザは高い光密度下では発光端面の破壊、活性層中での転位の増殖を招き信頼度が低下する。これを防止し、高い光出力動作を可能にするため、GaAlAs BHレーザでは活性層下部に導波用のGaAlAs層を設け、活性層中の光密度を緩和した構造になっている。

表2にGaAlAs BHレーザの光・電気特性を、GaAlAs CSPレーザと対比して示してある。GaAlAs BHレーザの特徴はしきい電流値が $\sim 35\text{mA}$ と小さく、遠視野像の半値全角が $\theta_{\parallel} \approx 25^\circ$, $\theta_{\perp} \approx 35^\circ$ とビームの対象性の良いことが特徴である。CSPレーザに比べ狭ストライプ構造であるため、光出力の点

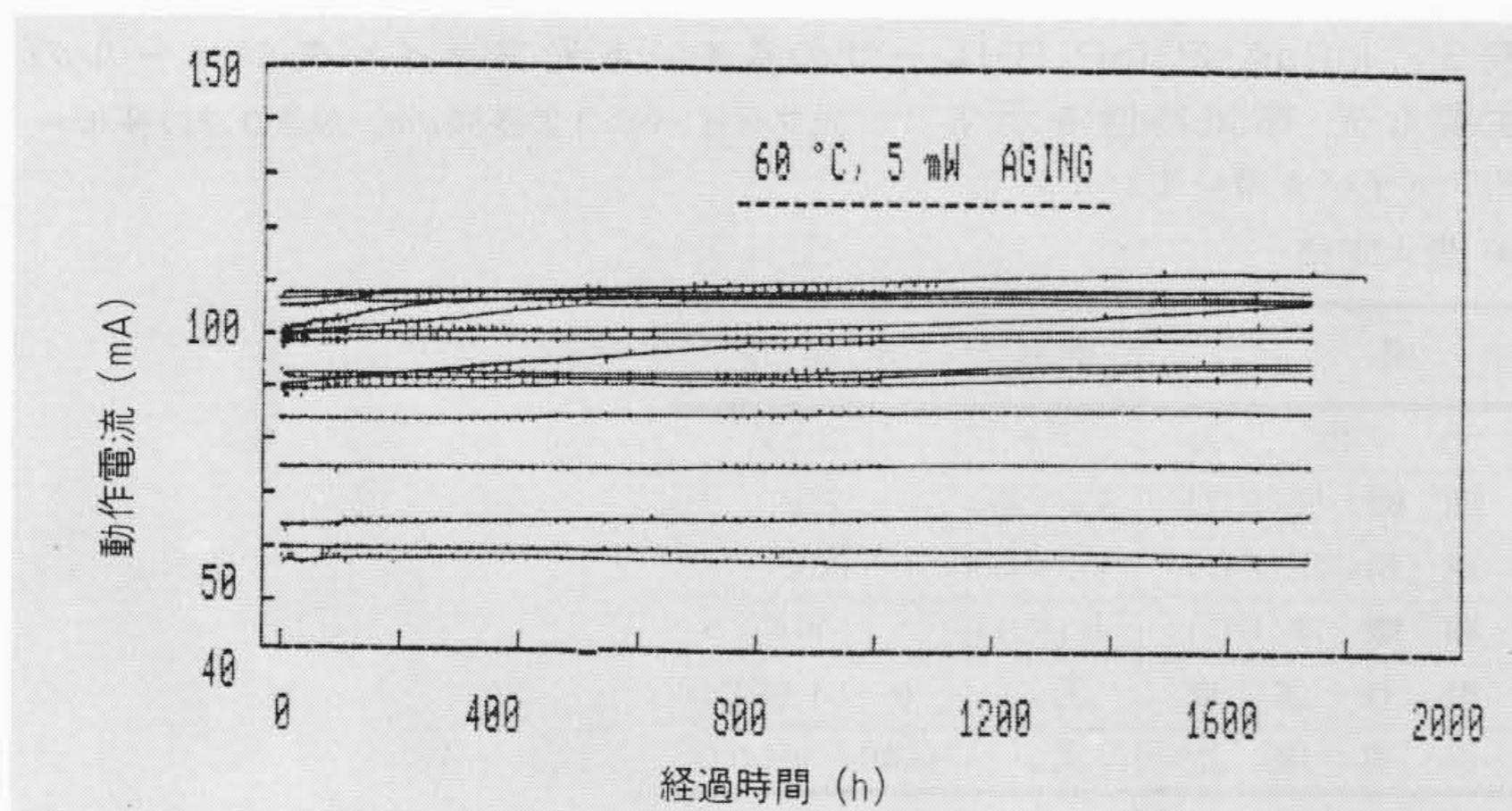


図9 100°C, 200mA, 24時間加速テスト後のエージング試験での動作電流の経時変化 100°C, 200mAの定電流動作後の定出力高温加速試験での動作電流の経時変化を示す。この初期LED加速後の素子には、加速試験初期に見られる比較的速い劣化モードは認められない。

ではCSPレーザに比べて低いが、10mW以上まで横基本モードで動作し、光通信用光源として十分な光出力をもっている。またInGaAsP BHレーザと異なり、3 mW以上の出力では縦単一モード発振をし、そのピーク波長の温度係数は0.05nm/°Cである。縦単一モードレーザは特定の温度、出力レベルで縦モードが不連続に変化するが、その変化の幅は0.2~0.3nm程度である。

GaAlAs BHレーザは、光出力-電流特性の直線性の良い点で他のレーザに比べ優れている。このため、このレーザはアナログ通信用の光源として適している。

図10に、正弦波変調時の二次及び三次高調波ひずみをしきい電流値に対しプロットした結果を示す。変調周波数は100 MHz、変調効率0.7である。しきい電流値が~20mAでの二次及び三次高調波ひずみは、それぞれ-48dB、~-45dBと低く、しきい電流値の増加、すなわち活性層幅の増加とともに高調波ひずみは増加していく傾向が明らかである。

この結果は、活性層幅を小さくすることのできるBH構造が、レーザ構造として高調波ひずみを小さくする上で有利なことを示している。

GaAlAsレーザの信頼性については、別稿で述べているので、ここでは詳細に述べることは省略する。

GaAlAsレーザでは動作中の活性層内での転移の増殖、高い光密度での端面損傷などが主要な劣化原因として知られている。前者に対しては、低転移結晶を基板として用いるなどの結晶成長技術の改善、またストレスが低く、ソルダと結晶の間の反応を防止する組立技術の改善などが行なわれてきた。また後者に対しては、SiO₂などによる発光端面保護などの技術が開発された。更に最近では不純物の種類、ドーピング量によってもGaAlAsレーザの寿命が異なることが明らかになり、この点でも最適条件が確立されつつある。これらの技術の進歩によって、GaAlAsレーザの推定平均寿命は室温で1×10⁶時間と推定されている。

3 通信用レーザモジュール

通信用レーザは光ファイバと結合して用いられ、レーザ光が効率良く光ファイバと結合されることが必要である。

ここでは主として、多モード光ファイバと結合した長波長レーザ用光モジュールの性能について述べる。

光ファイバとレーザ光の結合方式には、レーザとファイバを直接対向させる直接対向方式と、レンズなどの光学系を介

表2 GaAlAs/GaAs BHレーザの室温(25°C)での主要な光-電気特性を示す。最大定格は光出力10mW動作温度範囲は0~50°Cである。

項目	記号	試験条件	単位	CSPレーザ			BHレーザ		
				最小値	代表値	最大値	最小値	代表値	最大値
しきい電流	I_{th}		mA	—	60	90	—	35	50
光出力	P_0	横単一モード	mW	15	—	—	10	—	—
				4	5	—	4	6	—
モニタ光出力	P_m	$I = I_{th} + 25mA$		2	—	—	1	—	—
ピーク波長	λ_p		nm	800	830	850	800	830	850
遠視野像	$\theta_{//}$	$P_0 = 10mW$	deg	—	10	—	—	25	—
半値全角	θ_{\perp}			—	25	—	—	35	—
立上り立下り時間	t_r, t_f		ns	—	—	0.5	—	—	0.5

して結合させる方式がある。多モードファイバのコア径は50 μmと比較的大きいため、直接対向方式の結合が構造も簡単で結合効率も30~40%得られるので有利である。

図11に、直接対向方式によるLDモジュール(HL1321P形)を示す。このモジュールは箱形の扁平な構造をもち、光出力モニタ用のInGaAsP PINホトダイオードを内蔵している。

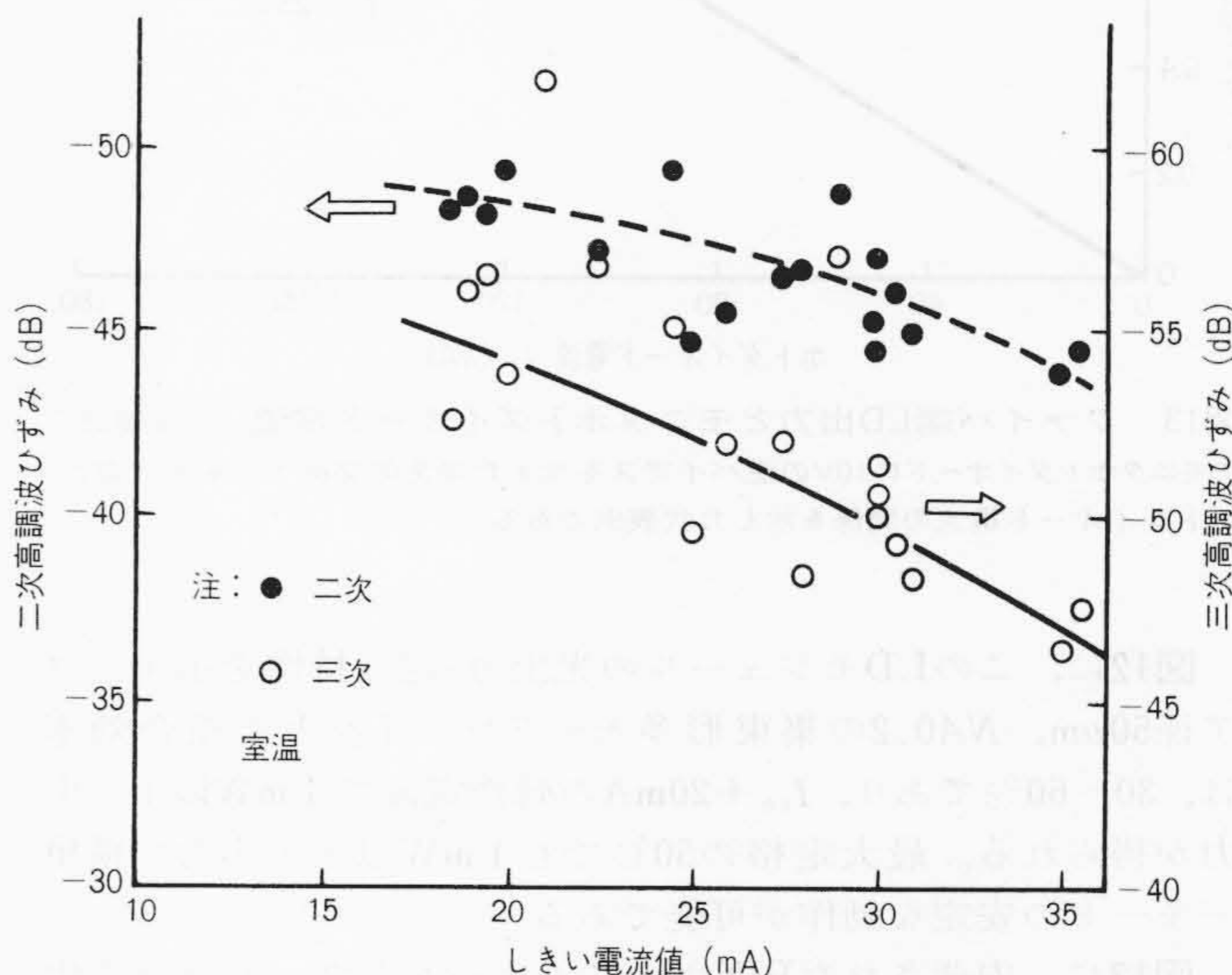


図10 GaAlAs BHレーザの高調波ひずみ GaAlAs BHレーザの高調波ひずみとしきい値の関係を示す。しきい値の小さい、すなわち活性層幅の狭いほど高調波ひずみは小さくなる。

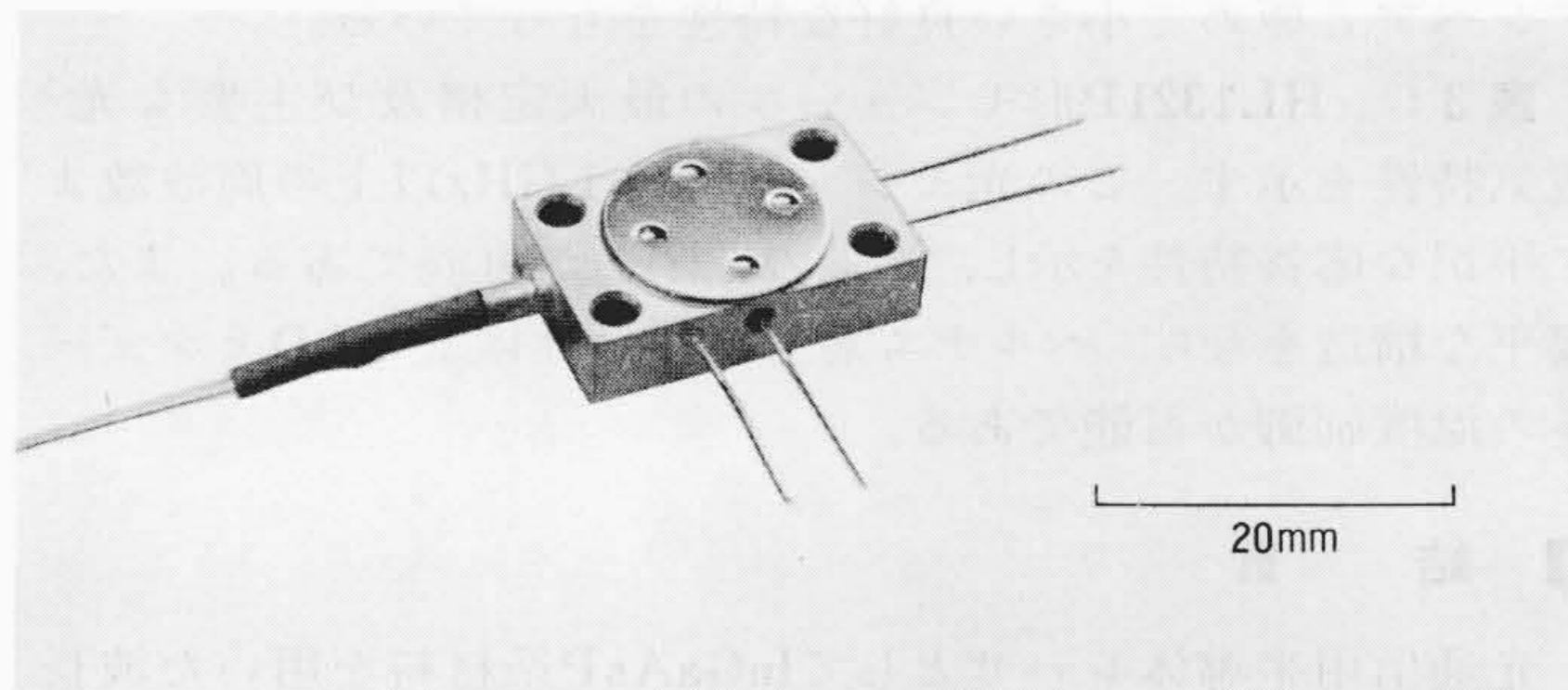


図11 扁平形(HL1321P形)モジュール TEクーラなどの外付けが可能なレーザモジュール出力モニタ用受光素子を内蔵し、ファイバ、レーザ直接対向結合方式としている。

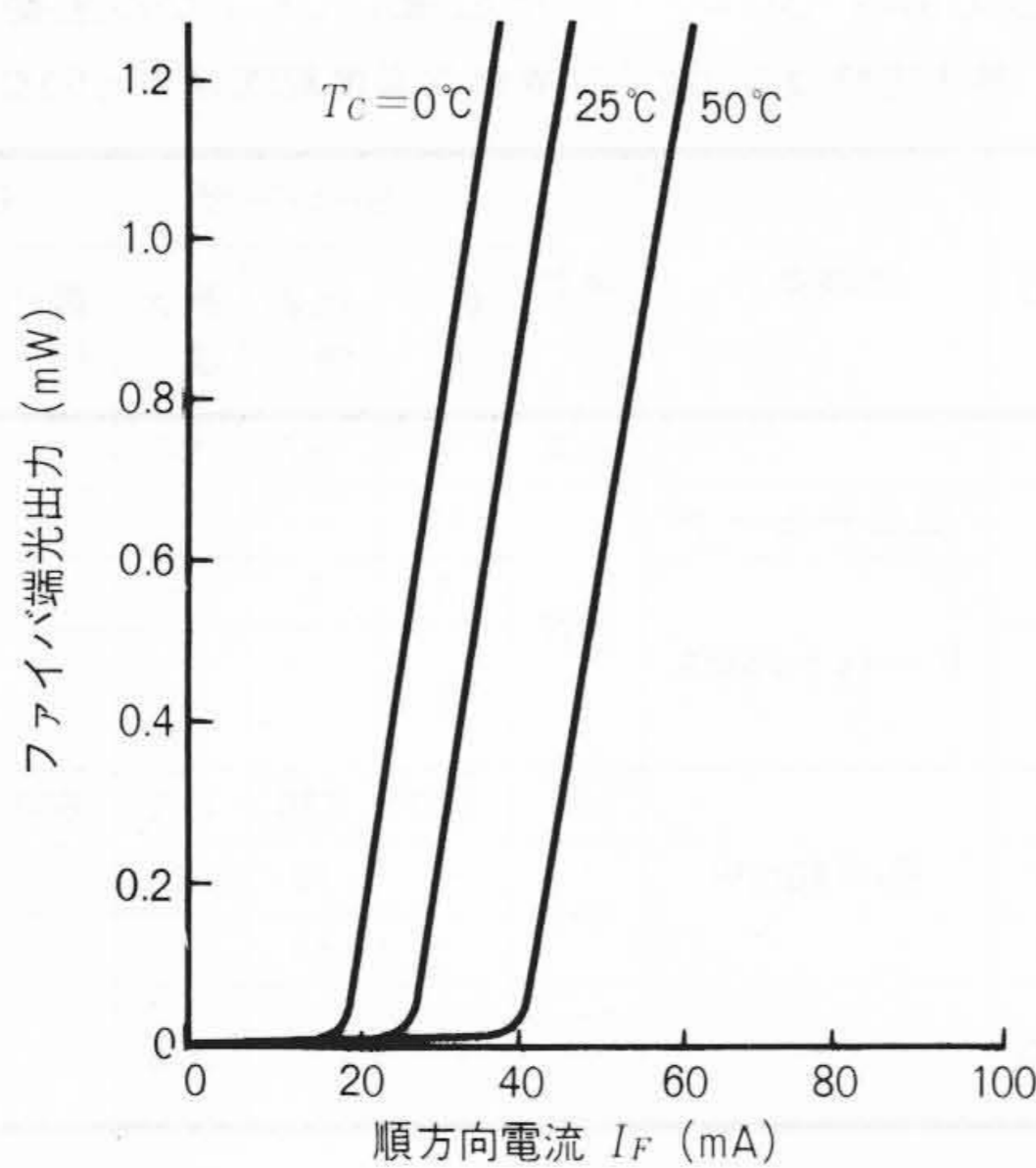


図12 HL1321P形モジュールの光出力-電流特性 1.2mW以上の光出力まで横単一モード動作が可能である。集束形光ファイバ(コア径50 μ m, 外径125 μ m, NA0.2)ピッグテイルを使用している。

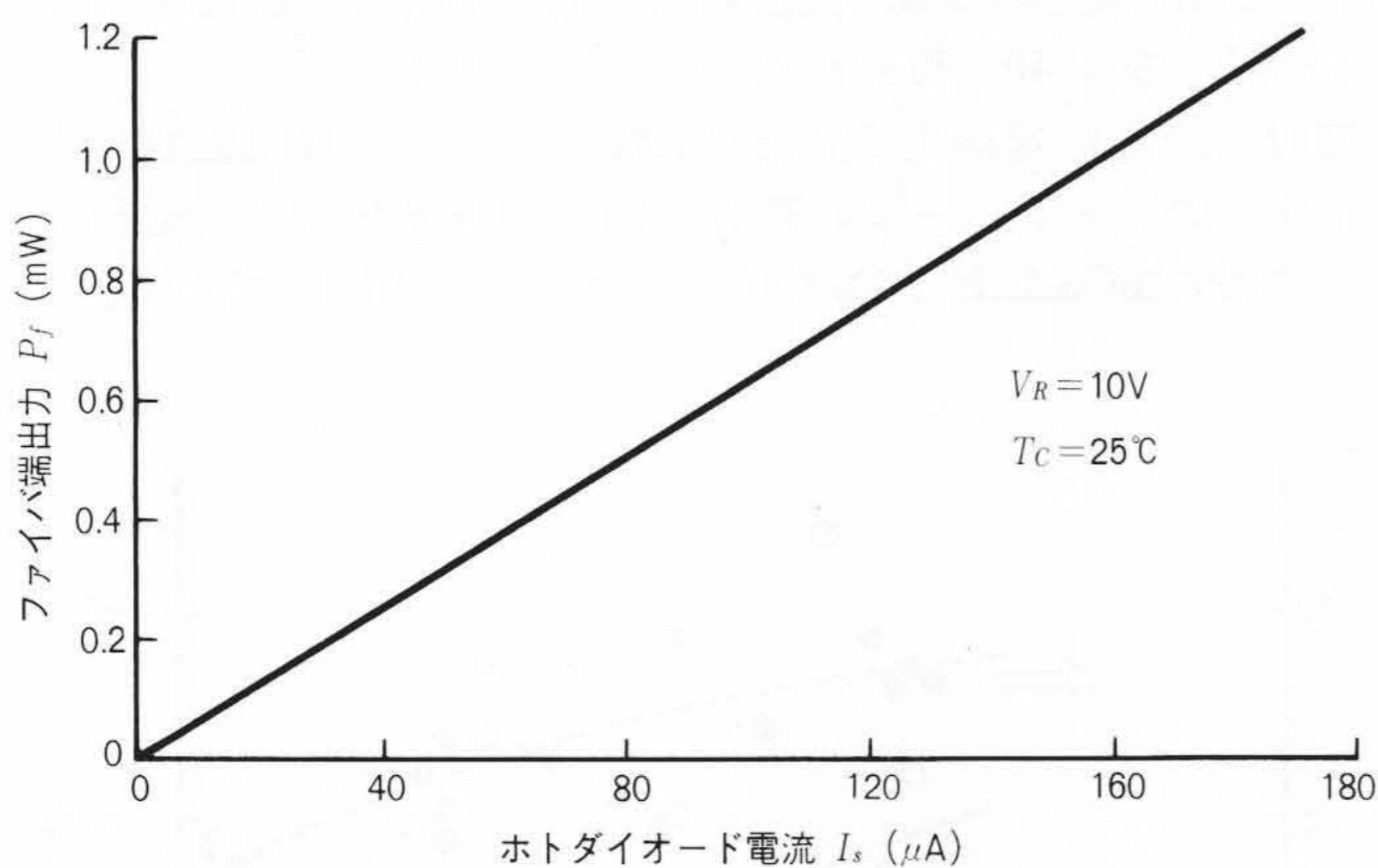


図13 ファイバ端LD出力とモニタホットダイオード電流 室温25°Cでモニタホットダイオードに10Vの逆バイアスを加えた場合のファイバ端光出力と、ホットダイオード電流の関係を示した代表例である。

図12に、このLDモジュールの光出力-電流特性を示す。コア径50 μ m, NA0.2の集束形多モードファイバとの結合効率、30~60%であり、 $I_{th} + 20$ mAの動作電流で1 mW以上の出力が得られる。最大定格の50°Cでも1 mW以上の出力で横単一モードの安定な動作が可能である。

図13に、内蔵されたPINホットダイオードとファイバ端出力の関係を示す。1 mWのファイバ端出力に対し10Vの逆バイアス条件で100~150 μ Aと高感度のモニタ電流が得られ、光出力-モニタ電流の直線性も良い。このホットダイオードの暗電流レベルは10V逆バイアス時に、50°Cの高温でも数十ナアンペアと極めて小さい良好な特性をもっている。

表3に、HL1321P形モジュールの最大定格及び主要な光-電気特性を示す。この光モジュールは1 GHz以上の周波数まで平坦な応答特性を示し、高速の光伝送が可能である。また、偏平な構造をもち、ペルチエ素子の外付けによりLDモジュールの温度制御が可能である。

4 結 言

光通信用半導体レーザとしてInGaAsP系材料を用いた波長1.3 μ m帯BHレーザを開発した。このレーザは20~30mAの低しきい電流、安定な横モードで70°C、5 mW以上の出力での高温動作が可能である。

表3 InGaAsP/InP BHレーザの多モード光ファイバモジュールの主要な光-電気特性を示す 光ファイバはコア径50 μ m, NA0.2の多モードファイバを用いている。

(a) 最大定格

項 目	記号	定 格 値
光 出 力	P_f	1.2mW
逆 耐 圧(LD)	$V_R(LD)$	2 V
逆 耐 圧(PD)	$V_R(PD)$	20V
順 電 流(PD)	$I_F(PD)$	1 mA
動 作 温 度	T_{opr}	0 ~ +50°C
保 存 温 度	T_{stg}	-40 ~ +60°C

(b) 光・電気特性

項 目	記号	試験条件	単 位	HL1321P		
				最小値	代表値	最大値
しきい電流	I_{th}	—	mA	—	30	80
光 出 力	P_f	$I_F = I_{th} + 10$ mA	mW	0.4	0.7	—
ピーク波長	λ_p	$P_f = 0.5$ mW	nm	1,270	1,300	1,330
モニタ電流	I_S	$V_R(PD) = 10$ V, $P_f = 1$ mW	μ A	70	—	—
暗電流	I_D	$V_R(PD) = 10$ V	nA	—	—	200

温度特性の良いInGaAsP BHレーザ約100素子を用い、40~60°C、10⁴時間以上の高温加速試験を行なった。その結果、初期の比較的劣化速度の大きいモードから、時間の経過とともに劣化速度の小さいモードに移り変わる、2種の劣化モードがあることが確認された。これらの劣化モードの活性化エネルギーは、それぞれ1.3eV、0.3eVであった。劣化速度の大きいモードだけを考慮しても、10°Cの推定平均寿命は2 × 10⁶時間以上に達し、InGaAsP BHレーザが高い信頼性のあることが確認された。

GaAlAs BHレーザは、その光出力-電流特性の直線性の良いことが特徴で、アナログ通信用光源として最適である。

半導体レーザと光ファイバを結合したレーザモジュールを開発した。これらのモジュールは集束形多モードファイバに対し30~60%の結合効率、平均ファイバ端出力1 mW以上($I_{th} + 20$ mA)が得られる。

以上の結果、光通信用光源として波長1.3 μ m帯、及び0.8 μ m帯で、横モードの安定化された高信頼レーザ及びそのモジュール化が実現し、今後のシステム開発への貢献が期待される。

参考文献

- 1) J. J. Hsieh : Room Temperature CW Operation of InGaAsP/InP Double-heterostructure Diode Lasers Emitting at 1.1 μ m, Appl. Phys. Lett., Vol.28, 709~711 (1976)
- 2) T. Tsukada : GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs Buried-heterostructure Injection Lasers, J. Appl. Phys., Vol.45, 4899~4906 (1974)
- 3) M. Hirao, et al. : Long Wavelength InGaAsP/InP Lasers for Optical Fiber Communications, J. Opt. Commun. Vol.1, 10~14(1980)
- 4) T. Yamamoto, et al. : 10000h Continuous Operation of InGaAsP/InP DH Lasers at Room Temperature, IEEE J. Quantum Electron., Vol. QE-15, 684~687 (1979)
- 5) K. Aiki, et al. : Channeled-substrate Planer Structure (AlGa)As Injection Lasers, Appl. Phys. Lett., Vol. 30, 649~651(1977)
- 6) K. Saito, et al. : Buried-heterostructure AlGaAs Lasers, IEEE, J. Quantum Electron., 16, 205~215(1980)