

2.4 Gビット/sを超える高速光伝送用半導体レーザと受光素子

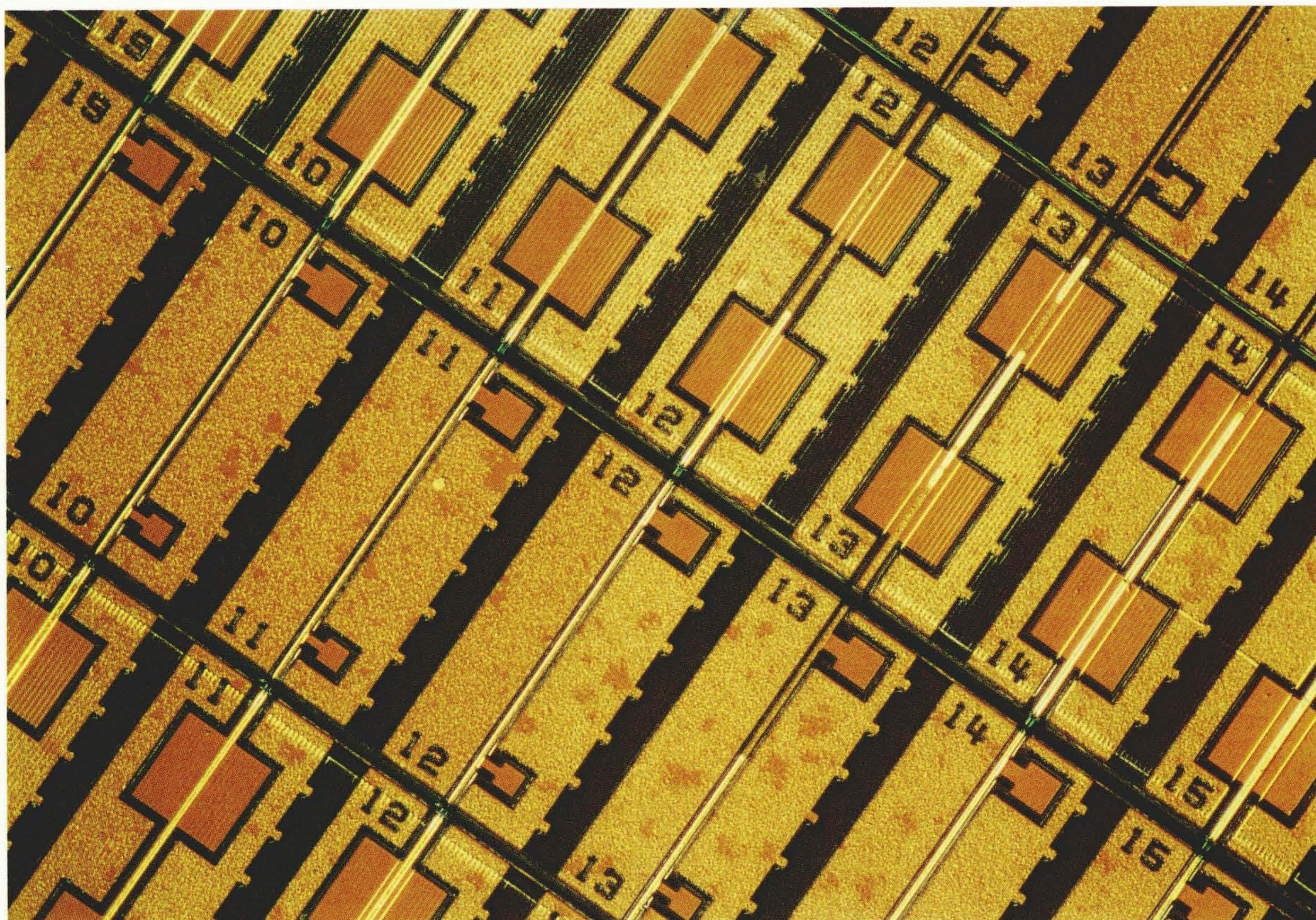
Laser Diodes and Photodiodes for High-speed Transmission Systems

楠 浩典* Hironori Kusunoki

松田広志** Hiroshi Matsuda

竹中智彦* Tomohiko Takenaka

中村 均** Hitoshi Nakamura



半導体レーザと変調器を1チップに集積したウェーハの顕微鏡写真 通信用のDFB(Distributed Feedback)レーザと光変調器を一つのチップに搭載したものである。将来の10 Gビット/s以上の光伝送に十分な性能を持つことを確認している。

光通信分野では、CCITT(国際電信電話諮問委員会)が勧告したSDH(Synchronous Digital Hierarchy)を基にして、中継伝送システムの標準化が行われている。これを基にした幹線系の大容量化の進歩は急であり、日本・欧州・北米で2.4 Gビット/sのシステム導入・実用化が始まっている。

この動向にこたえて日立製作所は、光伝送システムのキーとなる2.4 Gビット/s光伝送用光素子を製品化した。すなわち、DFB(Distributed Feedback)

レーザダイオードおよびAPD(Avalanche Photodiode)である。

レーザダイオードはMQW(Multiple Quantum Well)構造を採用した初めての製品であり、2.4 Gビット/s以上の高速変調が可能である。また、APDは50 GHzの利得帯域積を持つだけでなく、暗電流が小さいという特長を持つ。これらの光素子は2.4 Gビット/s、70 km以上の光伝送に適用できることを確認した。

* 日立製作所 半導体事業部 ** 日立製作所 中央研究所

1 はじめに

光通信での高速・長距離化の進歩は目覚ましく、すでに2.4 Gビット/s・40 km以上のシステムが実用化され、さらには、10 Gビット/s以上の伝送システムの開発が加速している。これらのシステムでは、高性能な半導体レーザと受光素子が必要となる。

ここでは、2.4 Gビット/sシステム用として製品化された $\frac{\lambda}{4}$ シフト型DFB(Distributed Feedback：分布帰還)型半導体レーザとプレーナ型APD(Avalanche Photodiode)の基本構造・性能・伝送システム評価について述べる。

2 高速光伝送用半導体レーザ

近年、光伝送の長距離・大容量化に伴い、従来のファブリペロー型に代わり、高速変調時に単一モード(動的単一モード)で動作する半導体レーザが必要となってきた。動的単一モードレーザとして、DFBやDBR(Distributed Bragg Reflector：分布ブラッグ反射器型)などがある。日立製作所は、しきい電流の低減、注入電流や温度に対する特性の安定性、および高信頼性の確保の観点から、BH(Buried Heterostucture：埋込ヘテロ)構造によるDFBレーザの開発・製品化を進めてきた。

(1) 基本構造

2.4 Gビット/s高速光伝送用半導体レーザの基本構造であるBH構造は、電流狭窄(さく)と横モード制御を可能にしている。また、ファブリペロー型半導体レーザの場合は、へき開面を利用して光帰還を行っているのに対し、DFBレーザでは回折格子によるブラッグ反射を利用して、動的単一モードを実現している。

しかし、レーザ共振器中の進行波と回折格子からのブラッグ反射波の位相が π だけずれるため、共振器端面からの反射のない理想的な状態で二つのモードが発振することとなる。

日立製作所は、動的単一モード発振の安定性に優れた構造として、回折格子を共振器の中央部で $\frac{\pi}{2}$ だけ位相シフトさせた「 $\frac{\lambda}{4}$ シフト型DFB構造」を高速光伝送用レーザに採用した。

DFBレーザは単一モードで発振するが、高速変調時にはそのスペクトル幅が広がり(この現象をチャープイングと言う。)、これが光ファイバの分散によって伝送速度や伝送距離を制限する。したがって、2.4 Gビット/sクラスの長距離・大容量伝送を実現するためにはチャープイング

の低減が不可欠である。

低チャープイング化を図るため、半導体レーザの活性層に量子井戸構造を適用することが理論的に有効であると報告されている¹⁾。したがって、上記の $\frac{\lambda}{4}$ シフト型DFBレーザでは、MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition：有機金属気相成長)法によってMQW(Multiple Quantum Well：多重量子井戸)活性層を形成している。

(2) 基本特性と伝送特性

幹線系光通信では、SDH(Synchronous Digital Hierarchy)による伝送速度の標準化が進んでおり、その最上位のハイアラキに要求される伝送速度が2.4 Gビット/sである。

2.4 Gビット/s用の光源として、発光領域にMQW構造を採用した1.55 μm 帯 $\frac{\lambda}{4}$ -DFB-LD“HL1551A”を開発した。MQW構造を用いることにより、高出力化とスペクトル幅を狭くすることが可能となった。

HL1551Aの2.4 Gビット/s変調時のスペクトル形状を図1に示す。駆動条件は、バイアス電流 $I_b = I_{th}$ 、変調電流は40 mA_{p-p}である。このとき、-25 dBでのスペクトル幅 $\Delta\lambda$ は0.47 nmであり、従来のバルク構造の製品に比べると50%程度にまで低減されており、チャープイングが抑えられていることがわかる。

次に、2.4 Gビット/sでの1.3 μm ゼロ分散ファイバ70 km伝送符号誤り率特性を図2に示す。駆動条件は、 $I_b =$

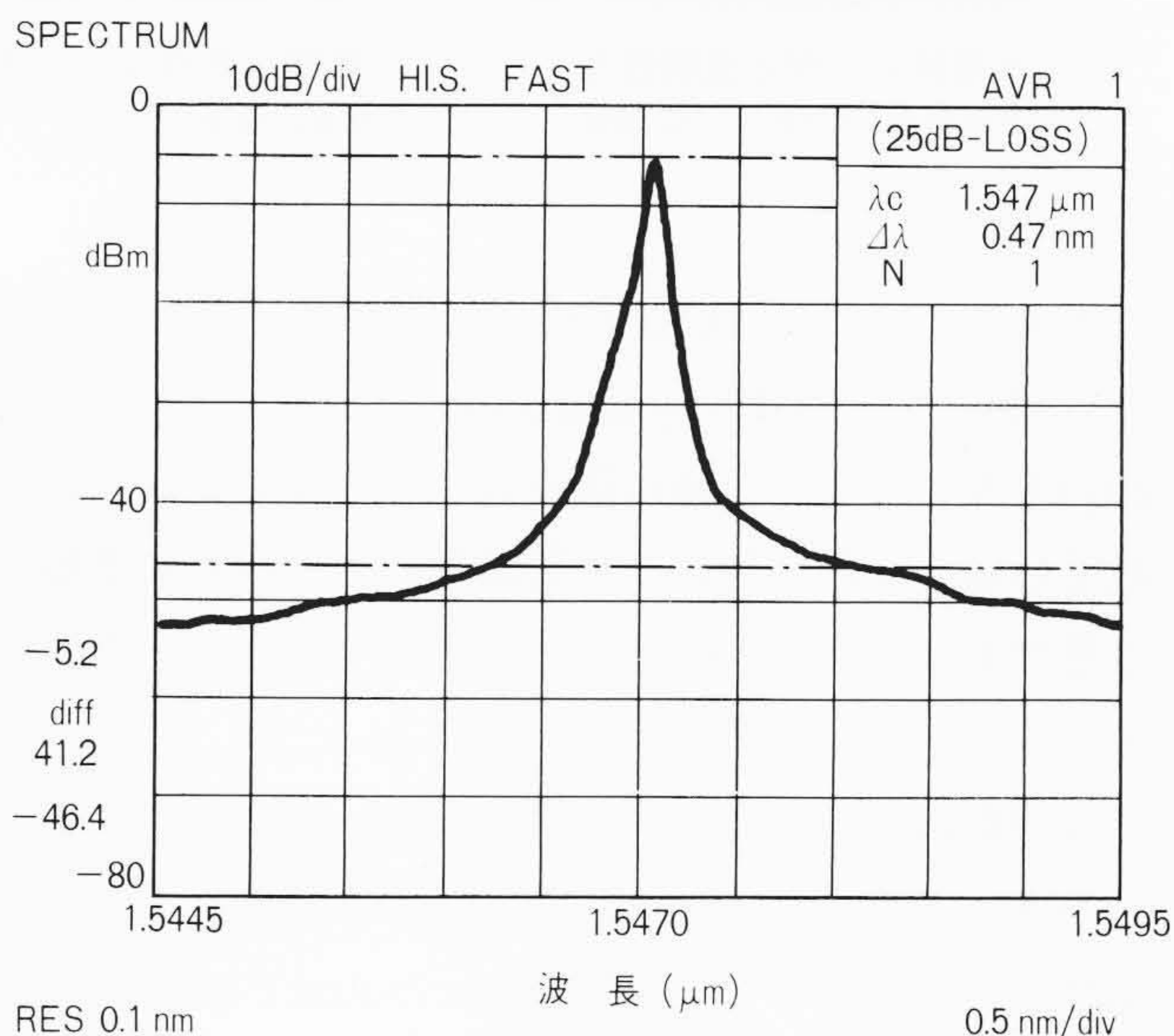


図1 $\frac{\lambda}{4}$ シフト型DFB半導体レーザの2.4 Gビット/s変調光スペクトラム $I_b = I_{th}$ 、変調電流40 mA_{p-p}駆動での光スペクトラム波形を示す。

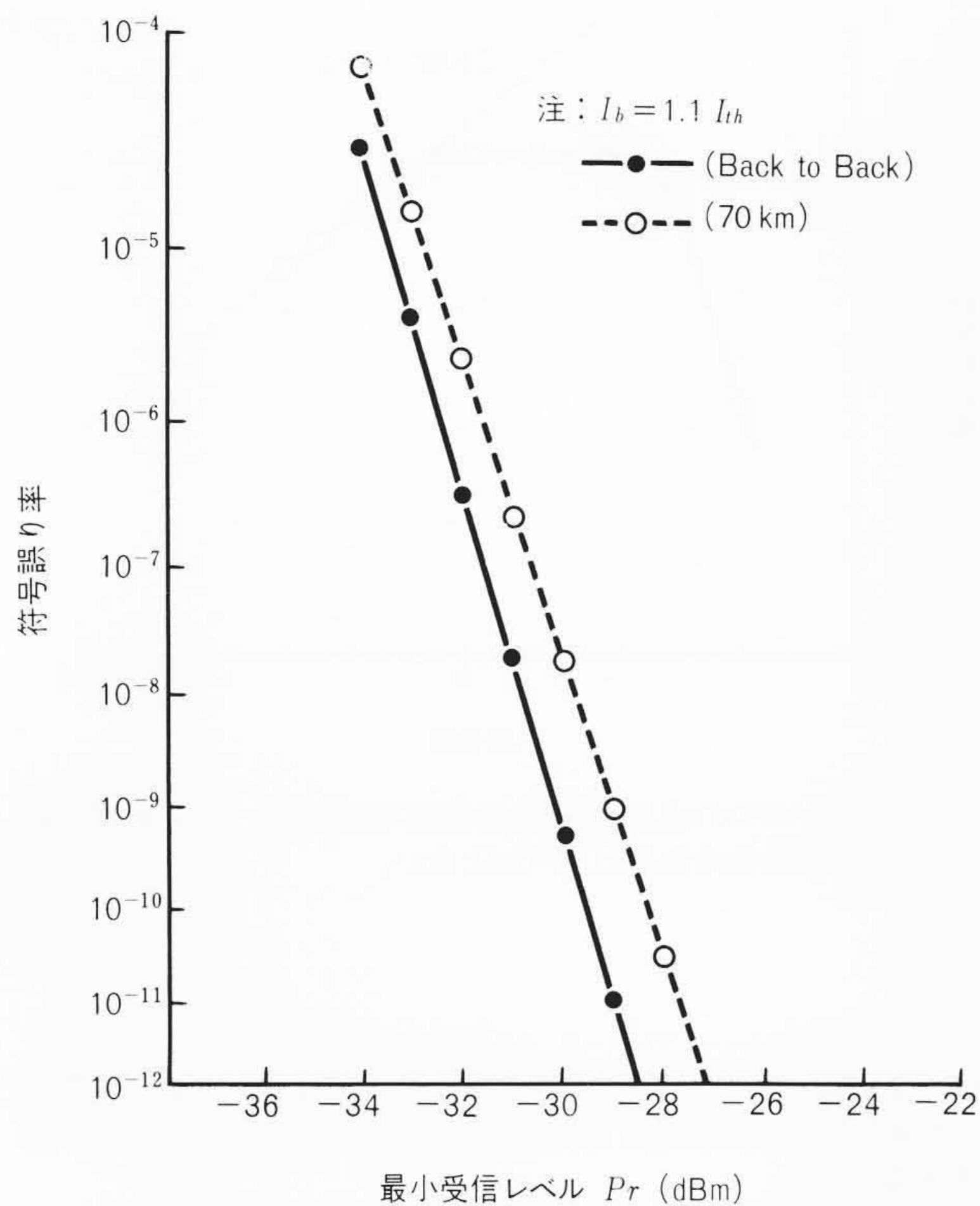


図2 2.4 Gビット/sでの70 km伝送符号誤り率特性 LD駆動条件： $I_b=1.1 I_{th}$ 、変調電流40 mA_{p-p}で、70 km伝送による劣化は1.3 dBに抑えられている。

1.1 I_{th} 、変調電流40 mA_{p-p}である。10⁻¹¹での70 km伝送後の分散ペナルティは1.3 dBと良好な特性を得た。

以上から、この製品は2.4 Gビット/s光通信用のLDとして、70 km以上の伝送が可能であることを確認した。今回開発した半導体レーザの諸性能を従来品と比較して表1に示す。

また、今後10 Gビット/s以上へとシステムの大容量化の要求が高まっている。大容量化の手段に波長多重方式があり、このためには、波長の制御性がよいLDが必要となる。MOCVDを用いたMQW-LDでは、波長のばらつきを±1.0 nm以内に抑えることが可能である。さらに高速変調には従来のLD直接変調に加え、外部変調が期待される。このため、51ページの写真に示すような変調器集積化LDの開発を進めている²⁾。

3 高速光伝送用受光素子

この章では1～1.6 μm帯光通信用受光素子である2.4 Gビット/sシステム対応のAPDについて述べる。

開発した2.4 G-APDの素子構造の特長は、光吸収領域と増倍領域とを分離し、その間に障壁緩和層を挿入した構造である。この構造は低暗電流、低雑音、高速応答を

表1 半導体レーザの特性比較 今回の開発により、2.4 Gビット/sの光伝送システム構築に必要なLDを製品化した。

	従 来		今 回	
品 名	HLI341A	HLI541A	HLI362A	HLI551A
波 長	1.3 μm	1.55 μm	1.3 μm	1.55 μm
スロープ効率*	0.2 mW/mA	0.1 mW/mA	0.25 mW/mA	0.15 mW/mA
スペクトル線幅**	0.8 nm	1.0 nm	0.8 nm	0.4 nm
スペクトルサイドモード比*	33 dB	33 dB	33 dB	40 dB
変調速度	1.2 Gビット/s	1.2 Gビット/s	2.4 Gビット/s	2.4 Gビット/s
伝送距離	40 km	80 km	40 km	80 km

注：* 代表値
** ピーク光出力の-25 dBで定義

実現する上で不可欠であり、日立製作所の特許となっている。

結晶はn⁺-InP基板上にn型のInPバッファ層、InGaAs光吸収層、InGaAsP障壁緩和層、増倍領域となるInP電界緩和層(Hi層)、InP窓層(Lo層)を成長したものである。APDは成長層の厚さ、組成、キャリア濃度などの仕様が特に厳しく要求されるため、成長には均一性と制御性に優れたMOVPE法(有機金属気相成長法)³⁾を用いた。

主接合はZnの熱拡散法によって形成、階段型分布のキャリア濃度を持つ。主要な増倍領域は主接合フロント直下にあるLo層部分である。主接合の外周にガードリングを設けた。ガードリングは主接合エッジを覆い、低電圧で発生するエッジ降伏を防止して大きなアバランシェ増倍を可能にするものであり、p型不純物であるBeをイオン注入して形成した傾斜型分布の接合である。受光面には反射防止膜としてSiNx膜が被着してある。Znの拡散は拡散深さの制御性が優れ、主接合の平滑性を向上し、受光面内での増倍率の均一性をよくする効果がある⁴⁾。

この素子の電圧-電流特性を図3に、遮断周波数の増倍率依存性を図4に示す。受光径は50 μmである。遮断周波数2.5 GHz以上の増倍率Mの範囲は3～20であり、利得帯域積は50 GHzである。降伏電圧の90%バイアス時での暗電流は1 nAと低く、素子容量は0.4 pFである、また、M=1での量子効率85～90%と高い。信頼度に関しては、1,000時間の通電試験(環境温度200℃、暗電流100 μA)中、降伏電圧変動は±1%以内であり、約20年の寿命が期待できる。今回開発したAPDの諸性能を従来品と比較して表2に示す。

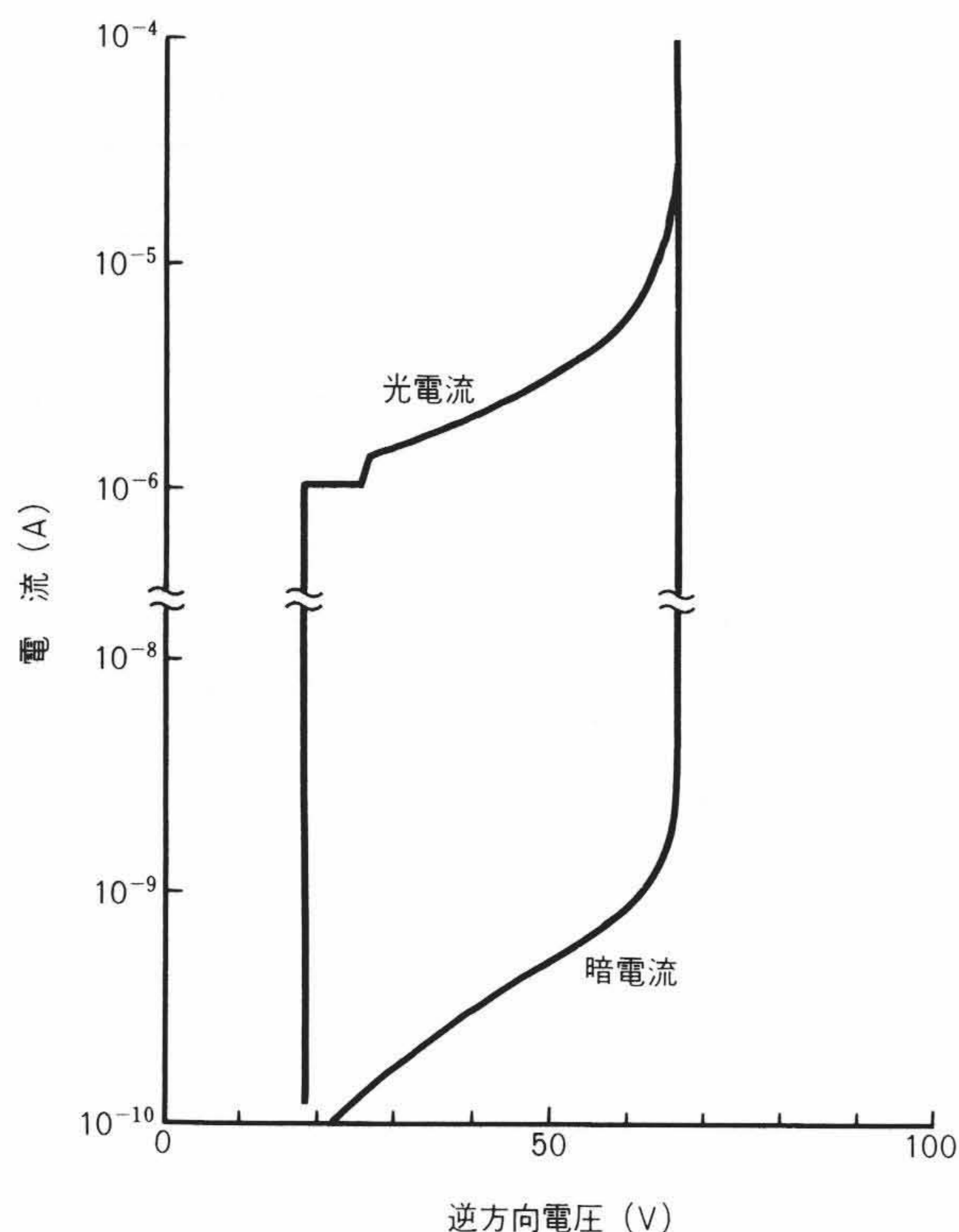


図3 2.4 G-APDの電圧-電流特性 降伏電圧まで暗電流は低い。

4 おわりに

以上、日立製作所での2.4 Gビット/s以上の高速伝送用の半導体レーザと受光素子について述べた。これらの素子は2.4 Gビット/s、70 km以上の長距離光伝送システムの構築を可能にした。今後ますます高速・長距離化の進む光通信での光デバイス、とりわけ半導体レーザと受光素子の役割は大きい。

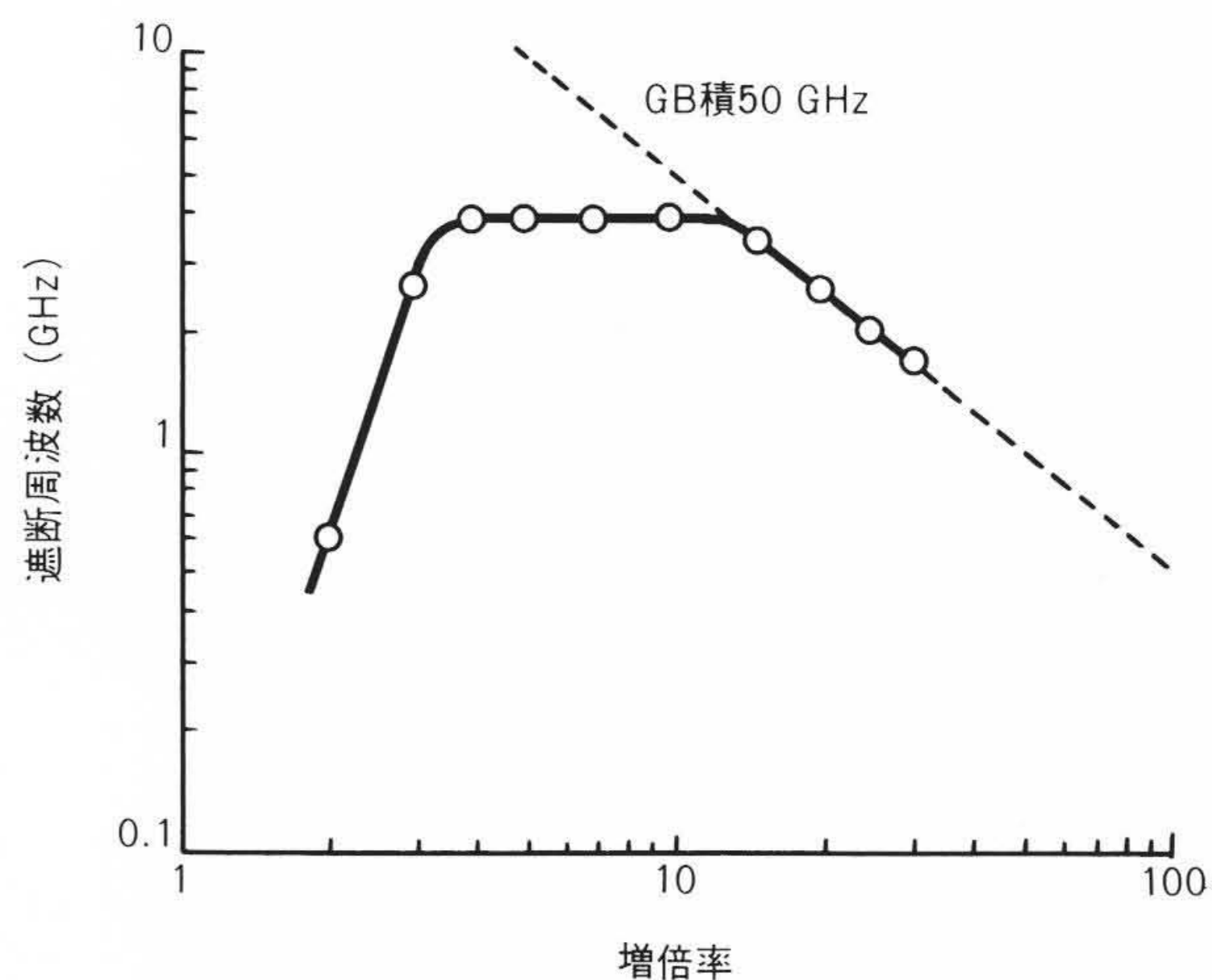


図4 2.4 G-APDの遮断周波数の増倍率依存性 遮断周波数2.5 GHz以上の増倍率範囲は3～20と広い。

表2 APDの特性比較 今回開発したAPDは50 GHzの利得帯域積、1 nA以下の低い暗電流を持ち、2.4 Gビット/s光伝送システム構築を可能にした。

	従 来	今 回
品 名	HRI201CX	HS9626
波 長	1.0～1.6 μm	1.0～1.6 μm
GB 積*	30 GHz	50 GHz
量子効率*	85～90%	85～90%
暗 電 流*	5 nA	2 nA

注：* 代表値

今後、半導体レーザと受光素子の高性能化に努め、システムの要求に合う信頼性の高い光デバイスをタイムリーに製品化し、光通信の発展に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) Y. Arakawa, et al.: Theory of Gain, Modulation Response, and Spectral Linewidth in AlGaAs Quantum Well Lasers, IEEE Journal of Quantum Electronics., QE-21, p.1666～1674(1985)
- 2) 佐々木, 外: 将来の大容量光伝送システムを目指す研究開発, 日立評論, 75, 3, 201～206(平5-3)
- 3) 松田, 外: OMVPE法によるInGaAs/InP APD, 第34回応用物理学関係連合講演会予稿集, 31p-ZK-3, p773(1987春)
- 4) 松田, 外: “Zn接合・自己ガードリング型InGaAs/InP APD's”, 第50回応用物理学会学術講演会予稿集, 29p-ZM-1, p927(1989秋)