

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003年12月4日 (04.12.2003)

PCT

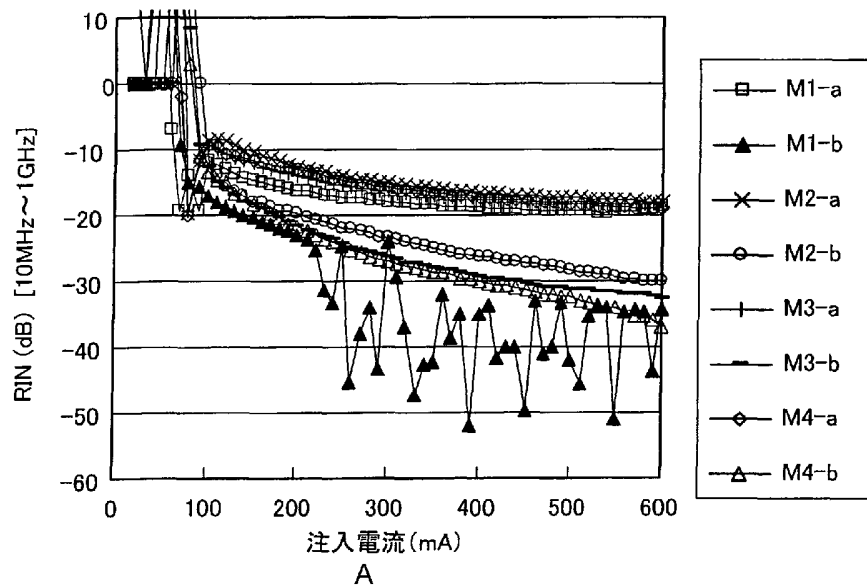
(10) 国際公開番号
WO 03/100930 A1

- (51) 国際特許分類: H01S 5/14 (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 早水 尚樹 (HAYAMIZU, Naoki) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 大木 泰 (OHKI, Yutaka) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 青柳 秀雄 (AOYAGI, Hideo) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 小磯 武 (KOISO, Takeshi) [JP/JP]; 〒299-0265 千葉県袖ヶ浦市長浦580-32 エムシー・ファイテル株式会社内 Chiba (JP). 山形 友二 (YAMAGATA, Yuji) [JP/JP]; 〒299-0265 千葉県袖ヶ浦市長浦580-32 エムシー・ファイテル株式会社内 Chiba (JP). 室 清文 (MURO, Kiyofumi) [JP/US]; 14850 ニューヨーク州イサカウォーレンロード700 ノースウッドアパートメント12-3 E NY (US).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/05766
- (22) 国際出願日: 2003年5月8日 (08.05.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2002-133219 2002年5月8日 (08.05.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 古河電気工業株式会社 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP). 三井化学株式会社 (MITSUI CHEMICALS, INC.) [JP/JP]; 〒100-6070 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: LASER MODULE

(54) 発明の名称: レーザモジュール



A...INJECTED CURRENT (mA)

(57) Abstract: A laser module in which the integrated value (hereinafter referred to as high-frequency RIN) of the relative intensity noise (RIN) over a high-frequency band from 10 MHz to 1 GHz is -40 dB or more. A semiconductor laser device comprising such a laser module and an active layer of quantum well structure satisfies the relation $\Gamma/d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$ where Γ is the light confinement factor per well layer and d (nm) is the thickness of one well layer. The active layer structure of the laser module can be a decoupled confinement heterostructure (DHC structure) or a separated confinement heterostructure (SCH structure).

[続葉有]



WO 03/100930 A1



- (74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目2番6号 東京倶楽部ビルディング Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): CN, DE, GB, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告書
— 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

高周波域 10 MHz ~ 1 GHz までの相対雑音強度 (RIN) を積算した値 (以下、高周波 RIN) が、-40 dB 以上となるようにレーザモジュールを設計する。また、該レーザモジュールが備えかつ量子井戸構造の活性層を有した半導体レーザ素子において、井戸層 1 層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層 1 層の厚みを d (nm) とした場合に、 $\Gamma/d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$ で示される関係が成立する。なお、レーザモジュールの活性層構造としては、完全分離閉じ込め構造 (Decoupled Confinement Heterostructure: DCH 構造) や分離閉じ込め構造 (Separated Confinement Heterostructure: SCH 構造) を採用することができる。

明 細 書

レーザモジュール

5 技術分野

本発明は、ファブリ・ペロー型の半導体レーザ素子と光学帰還部品とによって外部共振器を構成するレーザモジュールに関し、特に光増幅器用の励起光源として最適なレーザモジュールに関する。

10 背景技術

インターネットの急速な普及や企業内LAN間接続の急増等によって、データトラフィックの増加が問題となっており、通信パフォーマンスの低下を防止するためにも、高密度波長分割多重（DWDM：Dense-Wavelength Division Multiplexing）伝送システムがめざましい発展を遂げ普及している。

- 15 DWDM伝送システムでは、複数の光信号をそれぞれ異なる波長に乗せることにより1本のファイバで従来の100倍にも及ぶ大容量伝送を実現している。また、DWDM伝送システムでは、広帯域伝送および長距離伝送を実現するために光増幅装置の使用が必須となっている。特に、DWDM伝送システムで使用される光増幅装置としては、エルビウム添加ファイバアンプ（以下、EDFA）がよく知られている。EDFAは、エルビウムという元素を添加した特殊な光ファイバに波長1480nm帯または波長980nm帯の励起用レーザ光を通光させ、
20 この通光により、伝送信号光である波長1550nm帯の光を上記した特殊な光ファイバの中で増幅するという原理を応用した光ファイバ増幅装置である。

- よって、このような光ファイバ増幅装置は、励起用レーザ光を生成するための
25 レーザモジュールを備えている。DWDM伝送システムにおいて高品質かつ高信頼な光通信を実現するには、伝送信号光に対して安定した光増幅を行なう必要があり、結局これは、上記したレーザモジュールに高品質性が要求されることを意

味する。

励起光源用のレーザモジュールにおいて高品質を満たす条件の一つとして、単一縦モードによる高い単色性が挙げられる。レーザモジュールの光源としては通常、半導体レーザ素子が採用されているが、ファブリ・ペロー型の半導体レーザ素子は、複数の縦モード（マルチモード）で発振しており、単色性を十分に満た

5 していない。単色性の要求は信号光源用のレーザモジュールについても同様であるが、特に励起光源用のレーザモジュールにおいて単色性が満たされていないと、伝送信号光に対する利得帯域が変動し、波長多重化された信号光を設計どおりに増幅することが困難となる。

10 そこで、単色性を満たすため、換言すれば単一縦モードでの発振を実現するために、半導体レーザ素子から出射されたレーザ光の伝送路上に、所定の反射帯域幅を有するファイバブラッググレーティング（Fiber Bragg Grating：FBG）を設けたシステムが実用化されている。

FBGを用いた構成の動作を簡単に説明すると、半導体レーザ素子から出射されたレーザ光のうちFBGの反射帯域幅で特定される波長帯域の部分が反射して戻り光となり、この戻り光が再び半導体レーザ素子に帰還する。すなわち、半導体レーザ素子の反射端面（後端面）とFBGとの間で外部共振器が形成される。これにより、半導体レーザ素子から出射されるレーザ光の波長、すなわちレーザモジュールから出射される励起用のレーザ光の波長は、特定の値で安定する。

15

20 また、上記したEDFAの場合、レーザモジュールの要求仕様として、低周波域（100kHz以下程度）における安定した応答周波数特性が求められる。すなわち、低周波雑音の小さい光出力が可能なレーザモジュールが望まれる。そのため、レーザモジュールの光源として通常採用されている半導体レーザ素子では、低周波雑音を低減させるための処置が施されている。

25 半導体レーザ素子において光出力に低周波雑音が生じる原因としては、発振波長の変動とモードホッピングがよく知られている。発振波長の変動は、主に温度変化を起因とした共振器長の変化により生じる。発振波長光の強度は、半導体レ

ーザ素子の利得スペクトルに従うため、発振波長に変動があるとその光出力強度も変化する。この光出力強度の変化が、上記した低周波雑音として現われる。ここで、FBGの屈折率の温度変化率や線膨張係数は、半導体のそれと比べて低いため、FBGを採用すれば、上記した共振器長の変化による発振波長の変動はあ
5 る程度防ぐことができる。

一方、FBGを採用したとしても、上記したモードホッピングの問題は残る。半導体レーザ素子の利得ピーク（利得スペクトルの中心波長）は通常、温度変化や注入電流の変化によって変化する。そのため、この利得ピークが、共振器長で規定される隣接した2つの縦モードのほぼ中間に位置する場合があります、その場合
10 、両縦モードが交互に発振波長として入れ替わる。これが上記したモードホッピングと呼ばれる現象である。通常、異なる縦モード間では発振強度が異なるため、発振波長が入れ替わった際にその強度差に応じた雑音が生じる。この雑音が、上記した低周波雑音として現われる。

モードホッピングによる低周波雑音の発生を抑えるには、上記した単色性の要
15 求とは逆に、複数の縦モード（マルチモード）で発振させることが有効なことが知られている（IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. QE-18, No. 4, April 1982 参照）。具体的には、光帰還、温度変化、または半導体レーザ素子への注入電流変化によって半導体レーザ素子内部のキャリアの状態を変化させて単一縦モードによる時間的コヒーレンシーを破壊させ、縦モードのコヒーレンス
20 長を極端に短くする。このように、光帰還、温度変化、または半導体レーザ素子への注入電流変化によって複数の縦モード（マルチモード）で発振する現象を一般に「コヒーレンス・コラップス」と呼んでいる。よって、このコヒーレンス・コラップスを発生させれば、モードホッピングが起り難くなり、光出力の低周波域を安定させることができる。

25 しかしながら、コヒーレンス・コラップスがどの程度起れば光出力の低周波域が安定化することについては明確になっていなかった。現状では、レーザモジュールの完成後に、光出力をある一定時間出射させてその時間変動を観測し、光

出力の低周波域の安定度が所定範囲内にあるかどうかを検査しているだけであり、コヒーレンス・コラップスによる低周波域での安定度を決定する指標が得られていなかった。そのため、安定度の検査は、完成したレーザモジュールに対して行なう必要があり、生産段階早期においての良品選別が困難であるとともに、検査にも時間がかかっていた。

また、上記した複数の縦モード（マルチモード）での発振に加えて、FBGを用いて単色性を満たそうとする場合には、FBG（主モード）以外の縦モード、特に半導体レーザ素子の発振波長（サイドモード）の強度が小さいことが好ましい。換言すれば、主モードとサイドモードとの比（サイドモード抑圧比：SMSR）が重要な指標となる。レーザモジュールにおいて各々の設計パラメータは独立ではなく、パラメータ同士が密接に関係を持っている。そのためある特性を向上させるためにあるパラメータを変えると、それによって他の特性が悪くなってしまふという場合が多い。このような理由から、光ファイバを伝搬することによって変化したレーザ光の様々な偏光状態に対し常に一定以上のSMSRと上記したコヒーレンス・コラップスによる低周波域の安定化を同時に満足する設計パラメータを見出すことは困難であった。

なお、GaAs系の半導体レーザ素子を用いたレーザモジュールの場合、出射するレーザ光における光出力の変動は、通常、0.5%以下におさめることが規格化されている。よって、この規格を満たすためには、上記したような不安定な光出力は不都合である。

本発明は上記に鑑みてなされたものであって、光出力の低周波域の安定化とSMSRとを満足した特性を備えたレーザモジュールを提供することを目的とする。

25 発明の開示

本発明にかかるレーザモジュールは、半導体レーザ素子と、その半導体レーザ素子との間で外部共振器を構成する帰還光学部品と、を備えたレーザモジュール

において、帰還光学部品からの戻り光の偏光状態に応じて変化する該レーザモジュールの電流閾値の、半導体レーザ素子の電流閾値に対する割合が所定範囲内のいずれの範囲であっても、外部共振器の共振器長に応じて定まる少なくともレーザ光の利用帯域以上の第1周波数とその第1周波数に所定数乗算して算出される第2周波数との間に亘って生じる相対雑音強度の積算値が -40 dB 以上であることを特徴としている。

また、本発明にかかるレーザモジュールは、上記半導体レーザ素子が、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、量子井戸構造の井戸層1層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層1層の厚みを d (nm) とした場合に、 $\Gamma/d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$ の関係が成立することを特徴としている。

図面の簡単な説明

第1図は、実施の形態1にかかるレーザモジュールの縦断面図であり、第2図は、実施の形態1にかかるレーザモジュールの半導体レーザ素子の構造を示す断面図であり、第3図は、DCH構造に関するバンド構造図の一例を示す概略図であり、第4図は、サンプル2の半導体レーザ素子の電流-光出力特性図であり、第5図は、サンプル2の半導体レーザ素子を組み込んだレーザモジュールのP f 変化率と I_m 変化率を示すグラフであり、第6図は、異なる注入電流に対する発振スペクトル図であり、第7図は、図6の発振スペクトル図から誘導された注入電流とスペクトル幅との関係を示すグラフであり、第8図は、電流ブロッキング層のストライプ幅とキック出力の関係を示すグラフであり、第9図は、マルチモード発振したサンプル5~15の半導体レーザ素子における、共振器長(L)と Γ/d 値とを座標上にプロットしたグラフであり、第10図は、高周波域でのR I Nと注入電流との関係を示すグラフであり、第11図は、低周波域での出力光の変動率と注入電流との関係を示すグラフであり、第12図は、低周波域での出

力光の変動率と注入電流との関係を示すグラフであり、第13図は、半導体レーザ素子の閾値電流と光ファイバに入射されたレーザ光の偏光角度との対応関係を示すグラフであり、第14図は、光出力の低周波域の変動率と注入電流との関係を異なる偏光角度ごとに示したグラフであり、第15図は、異なる偏光角度ごと

5 についての注入電流と温度とSMSRの相互の関係を示すグラフであり、第16図は、実施の形態2にかかるレーザモジュールのSCH構造を説明するための斜視図であり、第17図は、SCH構造に関するバンド構造図の一例を示す概略図である。

10 発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明にかかるレーザモジュールの実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態により本発明が限定されるものではない。

(実施の形態1)

まず、実施の形態1にかかるレーザモジュールについて説明する。実施の形態

15 1にかかるレーザモジュールは、後述する完全分離閉じ込め構造 (Decoupled Confinement Heterostructure : DCH構造) を採用した半導体レーザ素子を励起光源として備えるとともに、光出力の高周波域の相対雑音強度 (RIN) が所定値以上であることを特徴としている。特に、発明者らは、その高周波域の所定値以上のRINが、コヒーレンス・コラップス現象の発現による低周波域の安定

20 性をもたらすものであると見出した。実施の形態1にかかるレーザモジュールは、その知見、すなわち高周波域のRINと光出力の低周波域での安定性との関連性に基づいて設計されたものである。

第1図は、実施の形態1にかかるレーザモジュールの縦断面図である。第1図において、実施の形態1にかかるレーザモジュールは、パッケージ20の底板の上

25 上に半導体レーザ素子100を冷却するためのペルチェモジュール21が配置され、さらにペルチェモジュール21の上には例えばコバール (Kovar) からなるベース22が配置されている。ベース22の上には、キャリア23を介して半導

体レーザ素子100が配置され、この半導体レーザ素子100は、先端がレンズ状でありかつFBG24aを有した光ファイバ24と光結合される。

光ファイバ24はフェルール25によってベース22の上に固定され、また、その出射端側はパッケージ20の筒状孔部内に気密に取付けられたスリーブ26
5 を介してパッケージ20から引き出されている。また、半導体レーザ素子100の背面側にはフォトダイオード27が配置され、このフォトダイオード27によってレーザモジュールの光出力の大小がモニタされる。

なお、光ファイバ24に代えて、FBG24aを有した、先端がレンズ状とな
っていない光ファイバを用いてもよい。その場合、半導体レーザ素子100と光
10 ファイバとの光結合効率を高めるために、半導体レーザ素子100と光ファイバとの間にレンズを介在させる。また、光ファイバとして楔形光ファイバを用いた場合には、高い光結合効率と組み立てに要する部品点数の少ないレーザモジュールを提供することができ、結果的に総合的な製造コストを低減させることができる。

15 次に、上記した半導体レーザ素子の構造について説明する。第2図は、上記した半導体レーザ素子100の構造を示す断面図であり、特に出射端面に平行な断面を示している。第2図に示す半導体レーザ素子100は、いわゆるSAS構造 (Self-aligned Structure) を有し、長手方向に関しては所定の共振器長のファブリ・ペロー型の半導体レーザ素子と同様である。

20 この半導体レーザ素子100は、第2図に示すように、例えばn-GaAsからなる基板1の上に、n-GaAsからなる下部クラッド層2Aが形成され、さらにその上に、後述する層構造Dが形成されている。そして、その層構造Dの上にp-AlGaAsからなる上部クラッド層2B、p-GaAsからなるコンタクト層3が順次形成され、基板1の裏面にはn型電極4Aが、コンタクト層3の
25 上にはp型電極4Bがそれぞれ形成されている。

上記した層構造Dは、文献“機能材料 vol.17, No.8, pp26-33 (1997年、8月号)”において、完全分離閉じ込め構造 (Decoupled Confinement

Heterostructure : DCH構造) として提案されている層構造である。すなわち、層構造Dは、第2図に示すように、量子井戸構造の活性層5を有し、活性層5は、InGaAsで形成される2つの井戸層 $5A_1$ 、 $5A_2$ と、AlGaAsで形成されるとともに各井戸層の両側に配置される3つの障壁層 $5B_0$ 、 $5B_1$ 、 $5B_2$ とで構成される。

そして、活性層5の最下層に位置している障壁層 $5B_1$ の外側には、他の層に比べてそのバンドギャップエネルギーが大きなn-AlGaAsで形成された下部キャリアブロッキング層6Aが配置され、同様に、活性層5の最上層に位置している障壁層 $5B_2$ の外側には、他の層に比べてそのバンドギャップエネルギー
10 が大きなp-AlGaAsで形成された上部キャリアブロッキング層6Bが配置される。さらに、下部キャリアブロッキング層6Aの外側には、n-GaAsからなる下部光閉じ込め層7Aが配置され、上部キャリアブロッキング層6Bの外側には、p-GaAsからなる上部光閉じ込め層7Bが配置されている。なお、以下の説明においては、活性層5の両端に位置する障壁層 $5B_1$ 、 $5B_2$ のことを
15 それぞれサイド障壁と呼ぶ。

上部光閉じ込め層7Bの厚み方向において中間の位置であってかつ上部光閉じ込め層7Bの幅方向の中央部を除く位置には、n-AlGaAsで形成された電流ブロッキング層8が配置されており、これにより、p型電極4Bから活性層5への高効率な注入が実現されている。

20 第3図は、上記した層構造Dに関するバンド構造図の一例を示す概略図である。第3図のバンド構造図で示される層構造Dの場合、活性層5に注入されたキャリアは両側に位置するキャリアブロッキング層6A、6Bの高いバンドギャップによって外側に拡散することなく効率よく活性層5の中に閉じ込められてレーザ光の発振に寄与する。そして、レーザ光は、全体としてこのDCH構造に閉じ込められて導波していく。すなわち、このDCH構造において、キャリアブロッ
25 ング層6A、6Bの両側に位置する光閉じ込め層7A、7Bは、光導波層としても機能する。

次に、以上のようなDCH構造を有する半導体レーザ素子100の設計パラメータについて説明する。まず、井戸層5A₁、5A₂のそれぞれの厚みをいずれもd (nm)とし、また井戸層1つ当たりの光閉じ込め係数をΓとすると、それら厚みdと光閉じ込め係数Γは、

$$5 \quad \Gamma/d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1} \dots (1)$$

で示される関係が成立するような値に設計される。この関係が成立しているときにはじめて、後述するように、半導体レーザ素子100を備えたレーザモジュールは、半導体レーザ素子100への注入電流のすべてに対して、複数の縦モード(マルチモード)で発振し、その光出力が時間的に安定する。

- 10 なお、上記した式(1)が成立していることを前提としたうえで、井戸層5A₁、5A₂の厚み(d)は8.5nm以上に設計されていることが好ましい。井戸層をこのような厚みにすると、形成される量子井戸には基底準位に加えて高次準位が存在するようになる。そして、p型電極4Bから注入されたキャリアの一部は、上記した高次準位に捕獲され、その結果、電流注入量に対する正味の利得増
- 15 加率は小さくなる。換言すれば、厚みdが厚くなればなるほど、戻り光に基づく発振利得の微小変化による半導体レーザ素子への擾乱が拡大され、コヒーレンス・コラップス現象が発現しやすくなり、結果的に複数の縦モード(マルチモード)で発振させることができる。

- 20 なお、井戸層の厚みの上限は井戸層の形成に用いる半導体材料の臨界膜厚で規定されるが、その臨界膜厚より薄い場合であっても、あまり厚くすると第2量子準位の発振が起こり始めてレーザ光の劣化を招くので、12nm程度の厚みを上限とすることが好ましい。

- 25 この井戸層の厚みdが決定されると、その値に応じて、井戸層における光閉じ込め係数Γが上記した式(1)を満足する値として決定され、さらに井戸層の成膜時に用いる半導体材料の種類や組成などが選定される。

また、層構造Dの活性層5内では、第3図に示すように、障壁層5B₀(5B₁、5B₂)の伝導帯のバンドギャップエネルギーと井戸層5A₁(5A₂)の伝導帯

バンドギャップエネルギーの差 ΔE_c が170meV以下となるように設計されることが好ましい。

この伝導帯バンドギャップエネルギーの差 ΔE_c の値が小さいほど戻り光とのコヒーレンス・コラップス現象が発現しやすくなり、複数の縦モード（マルチモード）で発振させることができる。しかし、 ΔE_c の値が小さすぎると注入キャリアが溢れ出すので、 ΔE_c 値の下限は95meV程度に設定することが好ましい。

なお、半導体レーザ素子100の共振器長Lは格別限定されるものではないが、高出力化を意図して、その共振器長Lを1500 μ m以上に設計することが好ましい。

なお、本発明にかかる半導体レーザ素子の場合、電流ブロッキング層におけるストライプ幅が、発振レーザ光のプロファイル領域の中に注入キャリアの大部分が含まれるように最適化されている。具体的には、ストライプ幅は3.5 μ m以下に設計されている。その設計思想を以下に説明する。

15 本発明のレーザ素子における設計思想は、前記したように、活性層構造がレーザ発振しにくい構造となるように設計することにより、発振レーザ光のマルチモード化を実現しようとするものである。その場合、上記した設計思想に基づくからこそ、製作するレーザ素子に関しては、高いキンク出力を保持せしめることに配慮することが必要になる。

20 例えば、本発明のレーザ素子のように、 Γ 値が小さく、更にd値が大きく（井戸層が厚い）設計されている場合には、いわゆる発振閾キャリア密度は高くなる。そのため、層構造とは無関係に、キャリア密度の変動に対して相対的に屈折率変動が大きくなる。これにより、総じていわゆるホールバーニングは顕著になり、その結果、低出力駆動段階から横モードが不安定化して、キンク現象が発現しやすくなる。

25 このようなことから、本発明にかかる半導体レーザ素子においては、ホールバーニング現象に対する対応策が求められることになる。具体的には、活性層5の

上方に配置されている電流ブロッキング層 8 のストライプ幅 (W) を最適化してホールバーニング現象の発現が抑制される。

ところで、発振レーザ光のプロファイル領域の大小は、そのレーザ素子内に形成されているストライプ幅の広狭と、電流ブロッキング層の形成など、主にレーザ構造によって生ずるストライプ内部とそれ以外の領域との間の実効的な屈折率差で決定される。そして、電流ブロッキング層を有する半導体レーザ素子の場合、電流ブロッキング層におけるストライプ幅は、一般的には、4～6 μm 程度に設計されている。

しかしながら、IEEE, Photonics Technology Letters, vol.6, No.12, p1409～p1411, 1994 によれば、このような半導体レーザ素子の場合、注入キャリアは活性層の横方向に拡散し、そのキャリア分布領域が発振レーザ光のプロファイル領域よりも広がってしまう。そして、このことを起点として、その半導体レーザ素子は、高出力駆動時に発振レーザ光のプロファイルが不安定になる。すなわち、その半導体レーザ素子の高出力特性が損なわれる。

このようなことから、高出力駆動時にあっても発振レーザ光のプロファイルを安定化するためには、発振レーザ光のプロファイル領域内に注入キャリアの分布領域が含まれている状態を実現させれば、ホールバーニングは抑制され、高いキック出力を実現することができるものと考えられる。

そして、このことは、電流ブロッキング層におけるストライプ幅を充分に狭くして、注入したキャリアの分布領域を狭くすることによって実現可能であると考えられる。

この観点に立ち、後述するように、ストライプ幅とキック出力との関係を調べたところ、本発明にかかる半導体レーザ素子においては、ストライプ幅を 3.5 μm 以下に設計すれば、例えば 200 mW 以上の高出力駆動時においても、効果的にホールバーニングが抑制されることが見出された。

なお、その場合、発振レーザ光のプロファイル領域の大きさを概略一定に保つために、ストライプ内部とそれ以外の領域の間の実効的な屈折率差を上記ストラ

ストライプ幅に対応して適切に調節することが必要になる。

半導体レーザ素子100の製作に関しては、以上に列記した設計項目を満足するように、各層を形成する半導体材料が選定される。使用可能な半導体材料としては、例えば、GaAs系、AlGa系、AlGaAs系、InGaAs系などを挙げる事ができる。また、これら材料の種類、組成、成膜時の厚みを適宜選定することで、上記した各設計項目を充足させることができる。

例えば、活性層5内におけるサイド障壁層 $5B_1$ 、 $5B_2$ として、 $Al_xGa_{1-x}As$ (x は0以上0.1未満の数)を用いると、複数の縦モード(マルチモード)での発振、すなわち光出力の安定化を実現することができる。特に、GaAsでサイド障壁層を形成することが好適である。

DCH構造を有し、全体として、第2図で示した層構造のレーザ素子A1を製作した。このときの各層の仕様は表1に示したとおりである。なお、共振器長(L)はいずれも $2100\mu m$ である。また、いずれのレーザ素子の場合も、前端面の反射率は2%、後端面の反射率は96%に設定した。更に、電流ブロッキング層8におけるストライプ幅は、いずれも、 $3.2\mu m$ に設定した。

表 1

半導体レーザ素子		サンプル 1	サンプル 2	サンプル 3	比較例		
基板 1	材料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs		
	厚み (nm)	1×10^5	1×10^5	1×10^5	1×10^5		
下部クラッド層 2 A	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs		
	厚み (nm)	2355	2200	2750	900		
層構造 D	下部光閉じ込め層 7 A	材料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	
		厚み (nm)	520	470	550	330	
	下部キャリアブロック層 6 A	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	
		厚み (nm)	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	
	活性層 5	サイド障壁層 5 B ₁	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
			厚み (nm)	55	55	50	55
		井戸層 5 A ₁	材料	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs
			厚み (nm)	8.5	10	12	10
		サイド障壁層 5 B ₀	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
			厚み (nm)	6	6	6	6
	井戸層 5 A ₂	材料	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	
		厚み (nm)	8.5	10	12	10	
	サイド障壁層 5 B ₂	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	
		厚み (nm)	55	55	50	55	
	下部キャリアブロック層 6 B	材料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	
		厚み (nm)	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	
下部光閉じ込め層 7 B	材料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs		
	厚み (nm) (*)	520	470	550	40		
電流ブロッキング層 8	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs		
	厚み (nm)	10~300	10~300	10~300	10~300		
上部クラッド層 2 B	材料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs		
	厚み (nm)	780	800	820	900		
コンタクト層 3	材料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs		
	厚み (nm)	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3		

(*) 第 2 図において、電流ブロッキング層を挟む全体の厚み

したがって、サンプル 1 ~ 3、比較例の各半導体レーザ素子における Γ 値と Γ / d 値は表 2 で示した値となる。

表 2

	Γ	$\Gamma / d \times 10^{-3} (\text{nm}^{-1})$
サンプル 1	0.00597	0.702
サンプル 2	0.00767	0.767
サンプル 3	0.00807	0.673
比較例	0.02873	1.429

サンプル 1 ~ 3 の各半導体レーザ素子を用いて第 1 図で示したレーザモジュール

ルを組み立てた。なお、半導体レーザ素子に光結合されたFGBは、反射率4%、反射帯域幅0.5nm、中心波長975nmの波長選択特性を有するように設計されているものである。

第4図は、上記サンプル2の半導体レーザ素子が組み込まれているレーザモジュールで半導体レーザ素子の電流-光出力特性を測定した結果を示すグラフである。第4図から明らかなように、このレーザ素子は注入電流800mAまで極めて安定した状態で高光出力のレーザ光を出射している。

第5図は、上記サンプル2の半導体レーザ素子の注入電流を5mA間隔で増加させていき、その都度、レーザモジュールからの光出力(Pf)とモニタ光強度(I_m)を測定して、その変化率(%)を算出した結果を示すグラフである。

第5図から明らかなように、この半導体レーザ素子は、注入電流が変化してもその光出力の変化率は0.5%以下であり、注入電流値に対する光出力の安定性は良好である。

第6図は、上記サンプル2の半導体レーザ素子への注入電流を変化させ、それぞれの注入電流において、素子駆動開始から5秒経過した時点における発振レーザ光の発振スペクトルの測定結果を示すグラフである。第6図から明らかなように、この半導体レーザ素子は、注入電流の全ての値において、複数の縦モード(マルチモード)で発振している。

第7図は、第6図の発振スペクトルにおいて、そのピーク値から光出力で10dB低い位置におけるスペクトル幅(nm)を読み取り、それを各注入電流に対してプロットした結果を示すグラフである。

なお、第7図には、比較例のレーザ素子についても、上記と同様に、発振スペクトルのピーク値から10dB低い位置におけるスペクトル幅を読み取った結果が示されている。

第7図から明らかなように、サンプル2の半導体レーザ素子の場合、注入電流が変化しても上記したスペクトル幅の変動は少なく、マルチモード発振が維持されている。これに反し、比較例のレーザ素子の場合、そのスペクトル幅が大

幅に変動し、しばしばシングルモード発振が現出している。

なお、サンプル1, 3の半導体レーザ素子についても同様の試験を行ったところ、ほとんど同じ結果が得られた。

また、サンプル2の層構造において、電流ブロッキング層8におけるストライプ幅を変化させた半導体レーザ素子を製作した。第8図は、これら半導体レーザ素子の電流-光出力特性を測定してキック出力 (P_k : mW) を、ストライプ幅との関係図として示したグラフである。

なお、サンプル1, 3の半導体レーザ素子の場合も、第8図とほとんど同じ結果が得られた。

10 表1で示したDCH構造を有するサンプル2の半導体レーザ素子において、井戸層の厚みを変えることにより Γ/d 値を変化させ、また共振器長(L)も変えて、表3~5で示した各種のレーザ素子を製作した。これら半導体レーザ素子を用いてサンプル1~3の場合と同様のレーザモジュールを組み立てた。

表 3

半導体レーザ素子		サンプル 5	サンプル 6	サンプル 7	サンプル 8	
基板 1	材料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	
	厚み (nm)	1×10^5	1×10^5	1×10^5	1×10^5	
下部クラッド層 2 A		材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	
		厚み (nm)	2090	2130	2340	2240
層構造 D	下部光閉じ込め層 7 A	材料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	
		厚み (nm)	630	640	340	465
	下部キャリアブロック層 6 A	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	
		厚み (nm)	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度
	活性層 5	サイド障壁層 5 B ₁	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
			厚み (nm)	55	45	50
		井戸層 5 A ₁	材料	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs
			厚み (nm)	10	12	12
		サイド障壁層 5 B ₀	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
			厚み (nm)	6	6	6
	井戸層 5 A ₂	材料	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	
		厚み (nm)	10	12	12	12
	サイド障壁層 5 B ₂	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	
		厚み (nm)	55	45	50	45
	下部キャリアブロック層 6 B		材料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs
			厚み (nm)	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度
	下部光閉じ込め層 7 B		材料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs
			厚み (nm) (*)	630	640	340
電流ブロッキング層 8		材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	
		厚み (nm)	10~300	10~300	10~300	10~300
上部クラッド層 2 B		材料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	
		厚み (nm)	800	790	1660	840
コンタクト層 3		材料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs	
		厚み (nm)	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3
Γ/d (nm ⁻¹)		0.595238	0.588235	0.877193	0.961538	
ΔE_c (meV)		110	106	106	106	

(*) 第 2 図において、電流ブロッキング層を挟む全体の厚み

表 4

半導体レーザ素子		サンプル 9	サンプル 10	サンプル 11	サンプル 12		
基板 1	材料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs		
	厚み (nm)	1×10^5	1×10^5	1×10^5	1×10^5		
下部クラッド層 2 A	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs		
	厚み (nm)	2380	2340	2250	2590		
層構造 D	下部光閉じ込め層 7 A	材料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	
		厚み (nm)	400	340	475	475	
	下部キャリアブロック層 6 A	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	
		厚み (nm)	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	
	活性層 5	サイド障壁層 5 B ₁	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
			厚み (nm)	50	50	50	50
		井戸層 5 A ₁	材料	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs
			厚み (nm)	12	12	12	12
		サイド障壁層 5 B ₀	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
			厚み (nm)	6	6	6	6
	井戸層 5 A ₂	材料	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	
		厚み (nm)	12	12	12	12	
	サイド障壁層 5 B ₂	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs	
		厚み (nm)	50	50	50	50	
	下部キャリアブロック層 6 B	材料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	
		厚み (nm)	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	
下部光閉じ込め層 7 B	材料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs		
	厚み (nm) (*)	400	340	475	475		
電流ブロッキング層 8	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs		
	厚み (nm)	10~300	10~300	10~300	10~300		
上部クラッド層 2 B	材料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs		
	厚み (nm)	1470	1660	840	830		
コンタクト層 3	材料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs		
	厚み (nm)	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3		
Γ/d (nm ⁻¹)		0.869565	0.87793	0.917431	0.925926		
ΔE_c (meV)		106	190	106	106		

(*) 第 2 図において、電流ブロッキング層を挟む全体の厚み

表 5

半導体レーザ素子		サンプル 13	サンプル 14	サンプル 15		
基板 1	材料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs		
	厚み (nm)	1×10^5	1×10^5	1×10^5		
下部クラッド層 2 A	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs		
	厚み (nm)	2590	2230	2590		
層構造 D	下部光閉じ込め層 7 A	材料	n-GaAs	n-GaAs	n-GaAs	
		厚み (nm)	480	560	475	
	下部キャリアブロック層 6 A	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs	
		厚み (nm)	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	
	活性層 5	サイド障壁層 5 B ₁	材料	i-AlGaAs	i-GaAs	i-GaAs
			厚み (nm)	50	50	50
		井戸層 5 A ₁	材料	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs
			厚み (nm)	7	7	7
		サイド障壁層 5 B ₀	材料	i-GaAs	i-GaAs	i-GaAs
			厚み (nm)	6	6	6
	井戸層 5 A ₂	材料	i-InGaAs	i-InGaAs	i-InGaAs	
		厚み (nm)	7	7	7	
	サイド障壁層 5 B ₂	材料	i-AlGaAs	i-GaAs	i-GaAs	
		厚み (nm)	50	50	50	
	下部キャリアブロック層 6 B	材料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs	
		厚み (nm)	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	10 ~ 100 程度	
	下部光閉じ込め層 7 B	材料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs	
		厚み (nm) (*)	480	560	475	
電流ブロッキング層 8	材料	n-AlGaAs	n-AlGaAs	n-AlGaAs		
	厚み (nm)	10~300	10~300	10~300		
上部クラッド層 2 B	材料	p-AlGaAs	p-AlGaAs	p-AlGaAs		
	厚み (nm)	830	830	830		
コンタクト層 3	材料	p-GaAs	p-GaAs	p-GaAs		
	厚み (nm)	1.7×10^3	1.7×10^3	1.7×10^3		
Γ/d (nm ⁻¹)		0.588235	0.657895	0.934579		
ΔE_c (meV)		202	118	118		

(*) 第 2 図において、電流ブロッキング層を挟む全体の厚み

そして、レーザ素子を発振させてその発振レーザ光の発振スペクトルを測定し、マルチモード化の有無を観察した。サンプル 5 ~ 15 の半導体レーザ素子は全て第 6 図で示したような発振スペクトルを示した。

第 9 図は、共振器長 (L) と Γ/d ($\times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$) を座標軸とする座標上にプロットした結果を示すグラフである。図中、□印はサンプル 5、+印はサンプル 6、13、△印はサンプル 7、10、×印はサンプル 8、*印はサンプル

9、一印はサンプル11、○印はサンプル12、▲印はサンプル14、■印はサンプル15を示す。なお、参考のために、サンプル4の半導体レーザ素子の場合の結果も第9図で◆印として示した。

5 第9図から明らかなように、 Γ/d 値が $1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$ 以下となるように設計されている各サンプルの半導体レーザ素子は、共振器長(L)の長短に無依存で、いずれも、第6図で示したように、複数の縦モード(マルチモード)で発振し、しかもその光出力は安定している。このことから、発振スペクトルのマルチモード化、すなわち光出力の安定化を実現するためには、 Γ/d 値を $1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$ 以下に設定することの有効性が明らかである。

10 次に、本発明の特徴となる高周波域でのRINと低周波域での出力変動との関係について説明する。第10図は、高周波域でのRINと注入電流との関係を示すグラフである。特に、第10図は高周波域10MHz~1GHzまでのRINを積算した値(以下、高周波RIN)と半導体レーザ素子への注入電流との関係を、異なるレーザモジュールM1-a, M1-b, M2-a, M2-b, M3-a, M3-b, M4-a, M4-bごとに示している。なお、第10図において、M2(M2-aとM2-b)、M3(M3-aとM3-b)、M4(M4-aとM4-b)は、同じ設計パラメータで作製されたレーザモジュールであるが、M1(M1-aとM1-b)は、上記レーザモジュールとは異なる設計パラメータで作製されたレーザモジュールである。また、M1-aとM1-bの間ではF
15 BGと半導体レーザ素子との間を伝搬するレーザ光の偏光状態が異なる。具体的には、M1-aは、FBGからの戻り光偏光状態が半導体レーザ素子から出射された直後のレーザ光の偏光状態に一致している場合であり、M1-bはそれが最もずれた状態である。M2-aとM2-b、M3-aとM3-b、M4-aとM4-bについても同様である。

25 なお、第10図以降の図番で示されるグラフはすべて、反射率4%、反射帯域幅0.5nm、中心波長975nmの波長選択特性を有するように設計されたFBGを有したレーザモジュールに対しての測定結果である。また、第10図に示

すグラフは、半導体レーザモジュールからの光出力をPD (Discovery semiconductor 社製 PIN diode DSC40S) で検出し、10 MHz から 1 GHz までのAC成分の光出力をパワーメータ (Agilent 製 E4418 EPM series power meter, E4412A E series CW power sensor) で、DC成分の光出力をデジタル・マルチメータ (Advantest 社製 TR6846) でそれぞれ読み取ることによってRIN (相対雑音強度) の値を算出した結果である。

第11図(a)および(b)は、それぞれ第10図に示したレーザモジュールM1-aおよびM1-bについての低周波域での出力光の変化率と注入電流との関係を示すグラフである。また、第12図(a)および(b)は、それぞれ第10図に示したレーザモジュールM2-aおよびM2-bについての低周波域での出力光の変化率と注入電流との関係を示すグラフである。これら第11図および第12図に示すグラフは、半導体レーザモジュールからの光出力をPDで検出し、その光出力及び第1図のフォトダイオード27のモニター電流をそれぞれオシロスコープでモニターしながら出力の時間変動を測定した結果であり、 $P_f(t)$ 、 $I_m(t)$ は光出力変動、モニター電流変動をそれぞれ表している。なお、偏光状態は偏波面コントローラ (General Photonics 社製 Pola RITE) をFBGと半導体レーザ素子間に設置し調整した。

まずここで、コヒーレンス・コラップス現象がおきている場合、半導体レーザ素子とFBGとの間の距離に依存した高周波雑音が発生することが知られている。すなわち、高周波雑音が大きいほどコヒーレンス・コラップス現象がおきている程度が大きいと判断することができる。この知見から、第10図は、コヒーレンス・コラップス現象の程度を表わしたものであるともいえる。

一方、第11図および第12図は、低周波域での光出力及びモニター電流の時間変動を表わしているが、光出力の時間変動の許容範囲を0.5%以下及びモニター電流の時間変動を1%以下とすると、第12図(a)、(b)に示すようにレーザモジュールM2のいかなる偏光状態においても注入電流が100 mA付近以上であれば変動の小さい安定した動作になっている。なお、M3およびM4のレ

レーザモジュールはM2のレーザモジュールと同じ設計パラメータを用いているためM2と同様の特性を示す。しかしながら、レーザモジュールM1については、第11図(a)に示すように偏光状態を合わせたM1-aの場合は安定性を満たすものの、偏光状態をずらしたM1-bの場合は要求仕様を満たさないことが第11図(b)から分かる。再び、第10図を見ると、第11図および第12図において許容範囲に収まるM1-a、M2-a、M2-b、M3-a、M3-b、M4-a、M4-bはいずれも高周波RINが-40以上となっている。この結果から、発明者らは、高周波域10MHz~1GHzまでのRINを積算した値が-40dB以上であれば、安定した低周波域の光出力が得られることを見出した。

次に、上記したレーザモジュールM2、M3、M4のように、コヒーレンス・コラップス現象の発現とともに低周波域で安定した光出力を実現するレーザモジュールについて、その光出力と光ファイバ24へ入射されるレーザ光の偏光角度との関係について説明する。

第13図は、半導体レーザ素子100の閾値電流(I_{th})と光ファイバに入射されたレーザ光の偏光角度との対応関係を示すグラフである。第13図に示すように、光ファイバ24に入射されたレーザ光の偏光角度は、半導体レーザ素子100の閾値電流の違いとして現われることが一般的に知られている。特に第13図は、いくつかの偏光角度と閾値電流の実測値から作成されたマッピングデータであり、以下においては、偏光角度が 0° 、 35° 、 45° について順に対応する閾値電流64.9mA、71.0mA、78.1mAを偏光角度とみなして解析を行なう。

第14図は、光出力の低周波域の変動率と注入電流との関係を異なる偏光角度ごとに示したグラフである。第14図に示すように、閾値電流が64.9mAの時、すなわち偏光角度が 0° の時以外では、どの注入電流においても光出力の変動率は0.5%以内に収まっており、非常に安定したレーザ光が得られていることがわかる。なお、偏光角度が 0° の時であっても、注入電流が100mA

以上の時は安定しており、これはレーザモジュールの高出力時には、いずれの偏光角度でも低周波域において安定した光出力が得られることを意味する。

第15図は、上記した各偏光角度について、注入電流と温度とSMSRの相互の関係を示すグラフである。特に、第15図(a)は、閾値電流が64.9mAの時、すなわち偏光角度が0°の時のSMSRを表わし、第15図(b)は、閾値電流が71.0mAの時、すなわち偏光角度が35°の時のSMSRを表わし、第15図(c)は、閾値電流が78.1mAの時、すなわち偏光角度が45°の時のSMSRを表わす。

第15図に示すように、いずれの偏光状態においても、実用的な環境温度範囲ではSMSRが0dBよりも大きい。ゆえに本発明のレーザモジュールにおいては、偏光状態が異なる場合であっても、第14図および第15図から光出力の低周波域の安定化とFBGを主モードとした発振が同時に実現されている。

特に、第15図から、戻り光の偏光角度が0°～45°の間で変化した場合、換言すれば、それら偏光状態に応じてレーザモジュールの電流閾値が変化した場合であっても、本レーザモジュールは安定した特性を示すということがわかる。特に、発明者は、戻り光の偏光状態に応じて、レーザモジュールの電流閾値が、半導体レーザ素子の電流閾値の90～95%以下として算出されるいずれの電流値を示す場合であっても、本発明にかかるレーザモジュールが安定した特性を示すことを見出した。なお、第15図に示す例では、偏光角度が0°から45°に変化し、それに伴ってレーザモジュールの電流閾値が半導体レーザ素子の電流閾値の約83% (=64.9mA/78.1mA)まで変化した場合であっても、レーザモジュールは安定な動作を示している。

さらに、発明者等は、上述した設計パラメータを満たした本レーザモジュールを用いることにより、FBGとの間で形成される外部共振器に関するパラメータについても有利な使用条件を得ることができることを見出した。その有利な使用条件とは、ファイバブラックグレーティングの有効反射率 R_{eff} を、半導体レーザ素子と光ファイバとの間の結合効率 η およびFBGの反射率 R_g によって、R

$R_{\text{eff}} = \eta^2 R_g$ と表わし、半導体レーザ素子の前端面（出射端面）の反射率を R_{chip} とした場合に、これら有効反射率 R_{eff} と前端面反射率 R_{chip} の関係が従来のように制限されないことである。FBGに光結合された従来のレーザモジュールにおいては、一般に、 $R_{\text{chip}} \geq 3 R_{\text{eff}}$ の関係が満たされなければ仕様どおりの特性
5 を得ることができないことが知られている。これに対して、本発明にかかるレーザモジュールでは、 $R_{\text{chip}} \geq 3 R_{\text{eff}}$ の関係はもちろんのこと、

$$R_{\text{chip}} < 3 R_{\text{eff}} \quad \dots (2)$$

の関係を満たす場合であっても、要求仕様どおりのレーザ発振を実現することが可能である。

10 以上に説明したとおり、実施の形態1によれば、少なくともDCH構造の半導体レーザ素子100とFBG24aとを備えたレーザモジュールにおいて、高周波域のRINの積算値が所定値以上であるという条件を満たすことで、コヒーレンス・コラップス現象の発現と十分な単色化とを同時に実現することができ、低周波域の光出力を十分に安定して得ることができる。さらに、同条件で作製され
15 たレーザモジュールは、光ファイバのねじれ等によって生じるいかなる戻り光の偏光状態に対しても、すなわちそれに伴う閾値電流の変動に対しても、SMSRを満足した特性を有することができる。

なお、上述した実施の形態1の説明では、FBG24aと半導体レーザ素子100との間の共振器長 f_d を1mとした場合の測定結果を示している。よって、
20 その共振器長 f_d が異なる場合には、光出力の低周波域の安定を実現する条件は異なる。例えば、上記した例では、RINを高周波域10MHzから1GHzまで積算した値が-40dB以上であるレーザモジュールを示したが、共振器長が2mの場合には、RINを高周波域5MHz～500MHzまで積算した値が-40dB以上であることが条件となる。このように、共振器長に応じてRINを
25 積算する高周波範囲を変更する必要があるが、いずれにしても所定の高周波域でのRINの積算値が-40dB以上であれば、低周波域において安定した光出力が得られるという相関は変わらない。但し、上記した高周波範囲の下限は、少な

くとも出射されるレーザ光の利用帯域に影響がない程度に高い周波数である必要がある。

(実施の形態2)

つぎに、実施の形態2にかかるレーザモジュールについて説明する。実施の形態2にかかるレーザモジュールは、実施の形態1にかかるレーザモジュールが、DCH構造の半導体レーザ素子を備えていたのに対し、SCH構造の半導体レーザ素子を備えて構成されることを特徴とする。特に、実施の形態2においても、上述したように、所定の高周波域でのRINの積算値が -40 dB 以上であれば、低周波域において安定した光出力が得られるという相関は維持され、そのため
5
10
に必要な設計パラメータは実施の形態1で詳述した範囲で容易に決定することができる。よって、ここではSCH構造の説明のみを行ない、効果等については実施の形態1に従うものとする。

第16図は、実施の形態2にかかるレーザモジュールのSCH構造を説明するための斜視図である。第16図に示すように、実施の形態2にかかるレーザモジュールに備えられる半導体レーザ素子200は、上部がリッジ導波路形状であり、全体は所定の共振器長Lを有している。そして、 $n\text{-GaAs}$ からなる基板10の上に、 $n\text{-AlGaAs}$ からなる下部クラッド層11Aが形成され、さらにその上に後述する層構造Eが形成され、基板10の裏面にはn型電極12Aが形成され、層構造Eの上面には窒化ケイ素(SiNx)等からなる保護膜13を介してp型電極12Bが形成されている。
15
20

層構造Eは、 InGaAs からなる3個の井戸層 $14A_0$ 、 $14A_1$ 、 $14A_2$ 、と各井戸層の両側に位置して GaAsP からなる4個の障壁層 $14B_1$ 、 $14B_2$ 、 $14B_3$ 、 $14B_4$ とで構成された量子井戸構造の活性層14を有する。そして、活性層14の両端に位置する障壁層 $14B_1$ 、 $14B_4$ の両側には、 AlGaAs からなる下部光閉じ込め層15Aと AlGaAs からなる上部光閉じ込め層15Bがそれぞれ配置されている。
25

この層構造Eは分離閉じ込め構造 (Separated Confinement Heterostructure

: SCH構造) と呼ばれるものである。第17図は、上記した層構造Eに関するバンド構造図の一例を示す概略図である。なお、本実施の形態においては、このSCH構造を有する半導体レーザ素子200の場合であってもそのSCH構造は実施の形態1で説明したような設計項目を充足するように設計されている。

- 5 具体的には、半導体レーザ素子200は、以下の表6に示した設計項目に従って作製される。なお、共振器長(L)は1500 μ mと2000 μ mの2種類とした。また、これらのレーザ素子の場合、前端面の反射率は1%、後端面の反射率は92%に設定した。

表6

半導体レーザ素子			サンプル4	
基板10		材料	n-GaAs	
		厚み(nm)	1×10^5	
下部クラッド層11A		材料	n-AlGaAs	
		厚み(nm)	4×10^3	
層構造E	下部光閉じ込め層15A		材料	n-AlGaAs
			厚み(nm)	5
	活性層14	障壁層14B ₁	材料	i-GaAsP
			厚み(nm)	5
		井戸層14A ₁	材料	i-InGaAs
			厚み(nm)	9
		障壁層14B ₂	材料	i-GaAsP
			厚み(nm)	5
		井戸層14A ₀	材料	i-InGaAs
			厚み(nm)	9
	障壁層14B ₃	材料	i-GaAsP	
		厚み(nm)	5	
障壁層14A ₂	材料	i-InGaAs		
	厚み(nm)	9		
障壁層14B ₄	材料	i-GaAsP		
	厚み(nm)	5		
上部光閉じ込め層15B		材料	p-AlGaAs	
		厚み(nm)	5	
上部クラッド層11B		材料	p-GaAs	
		厚み(nm)	2×10^3	
コンタクト層16		材料	n-GaAs	
		厚み(nm)	0.5×10^3	

これらのレーザ素子における井戸層の光閉じ込め係数 (Γ) は 0.011 である。したがって、 Γ/d 値は $1.2 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$ になっている。

この半導体レーザ素子についても、表 1 に示したサンプル 1 ~ 3 の場合と同様に複数の縦モード (マルチモード) で発振することを確認することができた。

- 5 この半導体レーザ素子 200 の場合は、各井戸層の厚み d が発振レーザ光の発振スペクトルのマルチモード化を規定する主たる要因である。具体的には、各井戸層の厚み d を厚くすることが、発振スペクトルのマルチモード化にとって有用である。なお、このレーザ素子 200 の場合、リッジ導波路の幅を調整して p 型電極 12B からの注入電流を制御することができる。
- 10 なお、以上に説明した実施の形態 1 および 2 においては、外部共振器を構成する帰還光学部品を FBG としたが、同様な機能を有すれば、ハーフミラー等の他の帰還光学部品を採用してもよい。

- 以上に説明したように、本発明にかかるレーザモジュールによれば、半導体レーザ素子と、外部共振器を構成する FBG 等の帰還光学部品とを備えたレーザモ
- 15 ジュールにおいて、高周波域の RIN の積算値が -40 dB 以上であるという条件を満たすことで、コヒーレンス・コラップス現象の発現と十分な単色化とを同時に実現することができ、低周波域の光出力を十分に安定して得ることが可能になり、さらには、戻り光の偏光状態に応じて変化するいかなる閾値電流に変化に対しても SMSR を満足した特性を得ることができるという効果を奏する。

20

産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかるレーザモジュールは、安定した光増幅器用の励起光源として利用するのに適している。

請求の範囲

1. 半導体レーザ素子と、前記半導体レーザ素子との間で外部共振器を構成する
5 帰還光学部品と、を備えたレーザモジュールにおいて、
前記帰還光学部品からの戻り光の偏光状態に応じて変化する該レーザモジュールの電流閾値の、前記半導体レーザ素子の電流閾値に対する割合が所定範囲内のいずれの範囲であっても、
前記外部共振器の共振器長に応じて定まる少なくともレーザ光の利用帯域以上
10 の第1周波数と当該第1周波数に所定数乗算して算出される第2周波数との間に亘って生じる相対雑音強度の積算値が -40 dB以上であることを特徴とするレーザモジュール。
2. 前記所定範囲は、前記半導体レーザ素子の電流閾値の95%以下のすべての
15 範囲であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。
3. 前記所定範囲は、前記半導体レーザ素子の電流閾値の90%以下のすべての
範囲であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。
- 20 4. 前記共振器長が1 mである場合に、前記第1周波数は10 MHzであり、前記第2周波数は1 GHzであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。
5. 前記半導体レーザ素子から出射されたレーザ光と前記帰還光学部品を通過し
25 たレーザ光の両方または一方が光ファイバに光結合されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

6. 前記帰還光学部品は、ファイバブラッググレーティングであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

7. 前記帰還光学部品は、ファイバブラッググレーティングであり、前記ファイバブラッググレーティングの反射率を R_g とし、前記ファイバブラッググレーティングと前記半導体レーザ素子との間の結合効率を η とし、前記ファイバブラッググレーティングの有効反射率を $R_{\text{eff}} = \eta^2 R_g$ とし、前記半導体レーザ素子の前端面の反射率を R_{chip} とした場合、

10 $R_{\text{chip}} < 3 R_{\text{eff}}$ を満たすことを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

8. 前記帰還光学部品は、ファイバブラッググレーティングであり、

15 前記半導体レーザ素子から出射されたレーザ光と前記ファイバブラッググレーティングを通過したレーザ光の両方または一方が光ファイバに結合され、所定温度範囲において前記光ファイバを伝播するレーザ光の偏光状態によって変化する前記レーザモジュールの電流閾値の前記半導体レーザ素子の電流閾値に対する割合が95%以下のすべての範囲であっても、サイドモード抑圧比(SMSR)が0dBより大きいことを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

20

9. 前記帰還光学部品は、ファイバブラッググレーティングであり、

25 前記半導体レーザ素子から出射されたレーザ光と前記ファイバブラッググレーティングを通過したレーザ光の両方または一方が光ファイバに結合され、所定温度範囲において前記光ファイバを伝播するレーザ光の偏光状態によって変化する前記レーザモジュールの電流閾値の前記半導体レーザ素子の電流閾値に対する割合が90%以下のすべての範囲であっても、サイドモード抑圧比(SMSR)が0dBより大きいことを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール

。

10. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射することを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

11. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

前記活性層の両側に光閉じ込め層が形成され、前記活性層と前記光閉じ込め層の間に、前記活性層の障壁層と前記光閉じ込め層の各伝導帯におけるバンドギャップエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有するキャリアブロック層が形成されたことを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール

15。

12. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

20 前記活性層の両側に、前記活性層の障壁層の伝導帯におけるバンドギャップエネルギー以上のバンドギャップエネルギーを有する光閉じ込め層が形成されたことを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

13. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

前記活性層が InGaAs の歪量子井戸からなることを特徴とする請求の範囲

第1項に記載のレーザモジュール。

14. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

前記活性層の両側に光閉じ込め層が形成され、前記活性層と前記光閉じ込め層の間に、前記活性層の障壁層と前記光閉じ込め層の各伝導帯におけるバンドギャップエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有するキャリアブロック層が形成され、

- 10 前記光閉じ込め層はAlを含まないGaAsからなることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

15. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

前記活性層の両側に、前記活性層の障壁層の伝導帯におけるバンドギャップエネルギー以上のバンドギャップエネルギーを有する光閉じ込め層が形成され、

前記光閉じ込め層はAlを含まないGaAsからなることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

20

16. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

- 前記量子井戸構造の井戸層1層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層1層の厚みを d (nm) とした場合に、

$$\Gamma/d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$$

の関係が成立することを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール

17. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

前記量子井戸構造の井戸層1層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層1層の厚みを d (nm) とした場合に、

$$\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$$

の関係が成立し、

- 10 前記井戸層1層の厚みは8.5 nm以上であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

18. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

前記量子井戸構造の井戸層1層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層1層の厚みを d (nm) とした場合に、

$$\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$$

の関係が成立し、

- 20 前記活性層における障壁層の伝導帯のバンドギャップエネルギーと井戸層の伝導帯のバンドギャップエネルギーの差が170 meV以下であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

19. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

前記量子井戸構造の井戸層1層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層1層の厚

みを d (nm) とした場合に、

$$\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$$

の関係が成立し、

- 5 注入キャリアの主要部分が発振レーザ光のプロファイル領域内で最適化されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

20. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

- 10 前記量子井戸構造の井戸層1層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層1層の厚みを d (nm) とした場合に、

$$\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$$

の関係が成立し、

- 15 電流ブロッキング層のストライプ幅を選定することにより、注入キャリアの主要部分が発振レーザ光のプロファイル領域内で最適化されていることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール。

- 20 21. 前記半導体レーザ素子は、量子井戸構造からなる活性層を有する層構造を備えたファブリ・ペロー型であり、複数の縦モードで発振するとともに前記外部共振器の作用によって単色性を満たしたレーザ光を出射し、

前記量子井戸構造の井戸層1層当たりの光閉じ込め係数を Γ 、井戸層1層の厚みを d (nm) とした場合に、

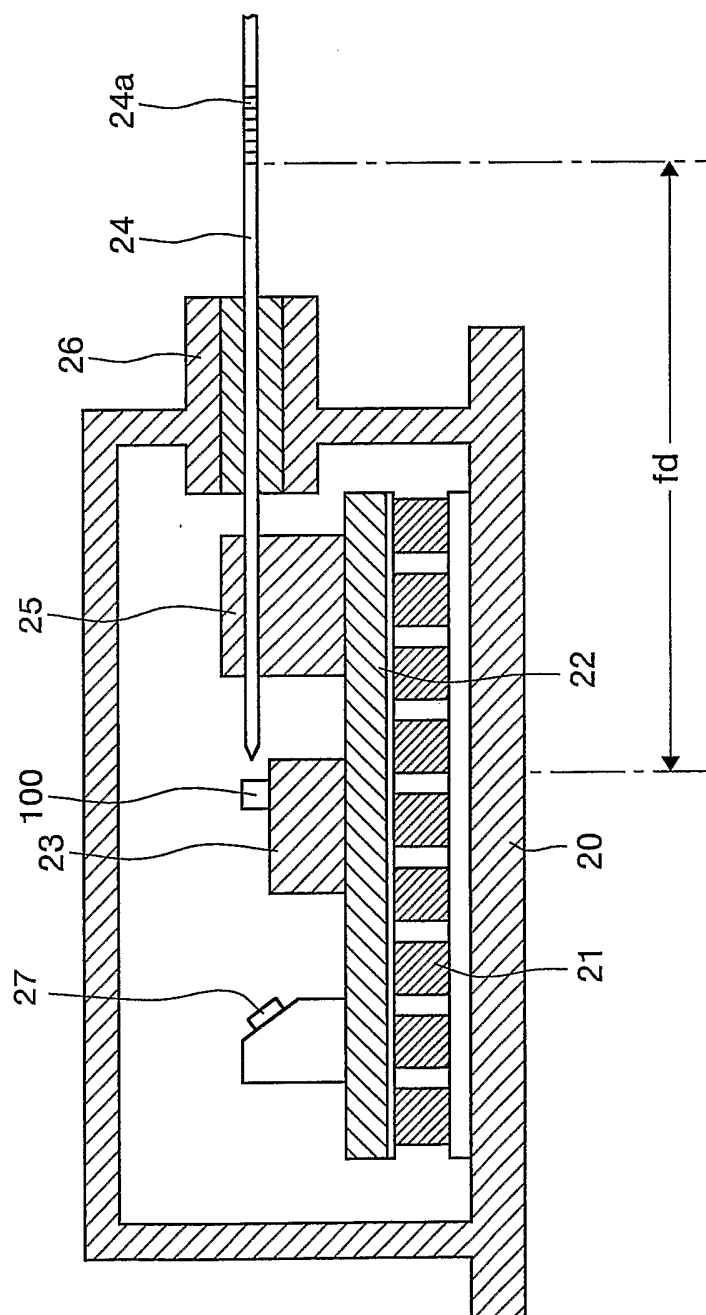
$$\Gamma / d \leq 1.3 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$$

の関係が成立し、

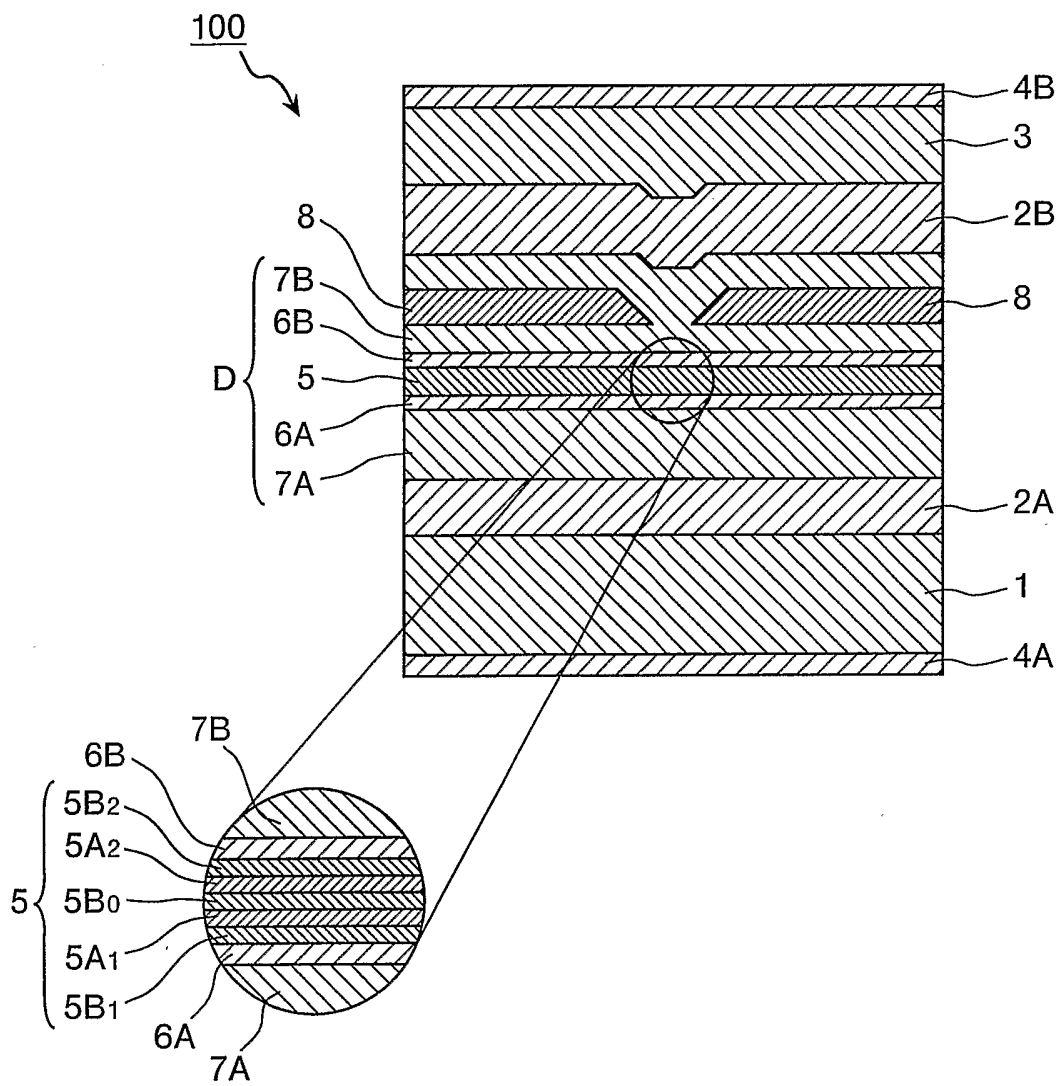
- 25 注入キャリアの主要部分が発振レーザ光のプロファイル領域内で最適化され、前記活性層の両側に光閉じ込め層が形成され、前記活性層と前記光閉じ込め層の間に、前記活性層の障壁層と前記光閉じ込め層の各伝導帯におけるバンドギャ

ップエネルギーよりも大きなバンドギャップエネルギーを有するキャリアブロッ
ク層が形成されたことを特徴とする請求の範囲第1項に記載のレーザモジュール
。

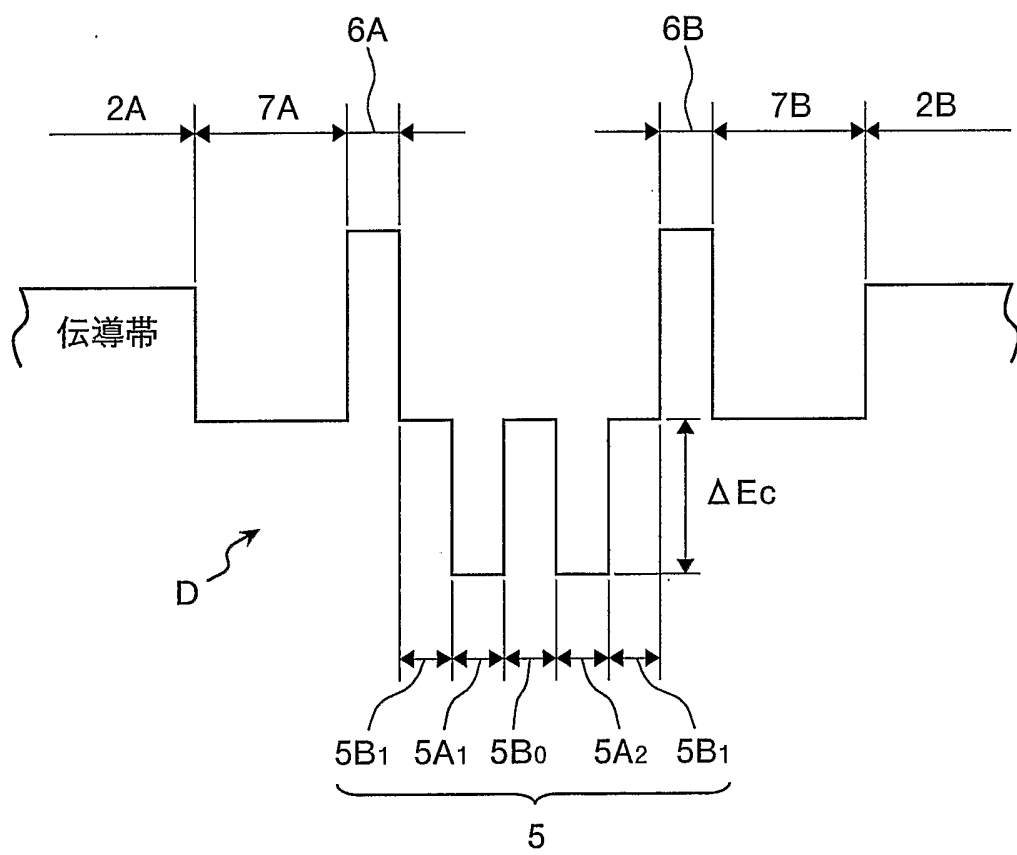
第1図



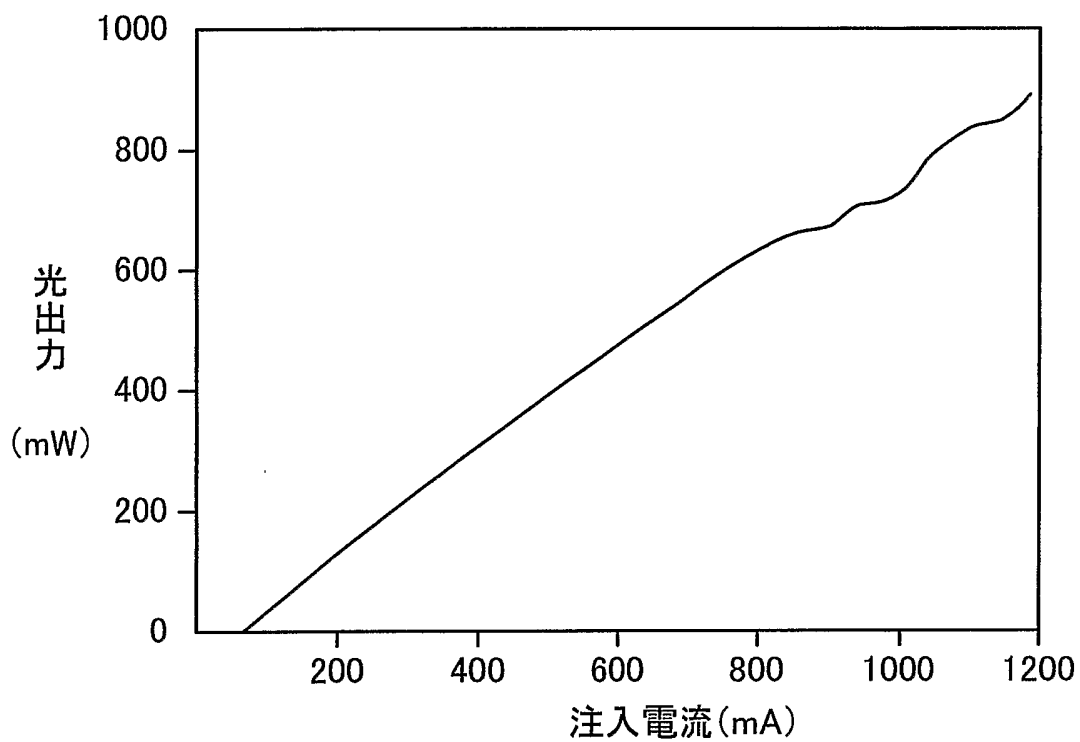
第2図



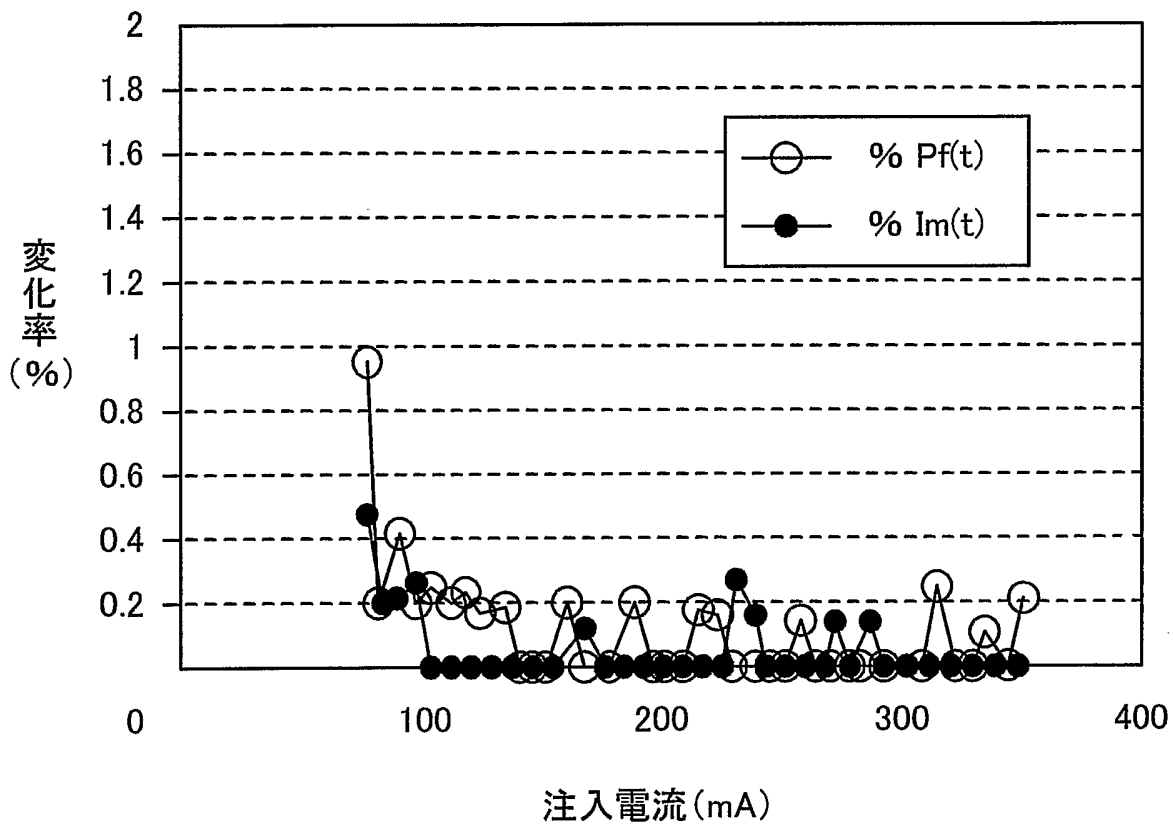
第3図



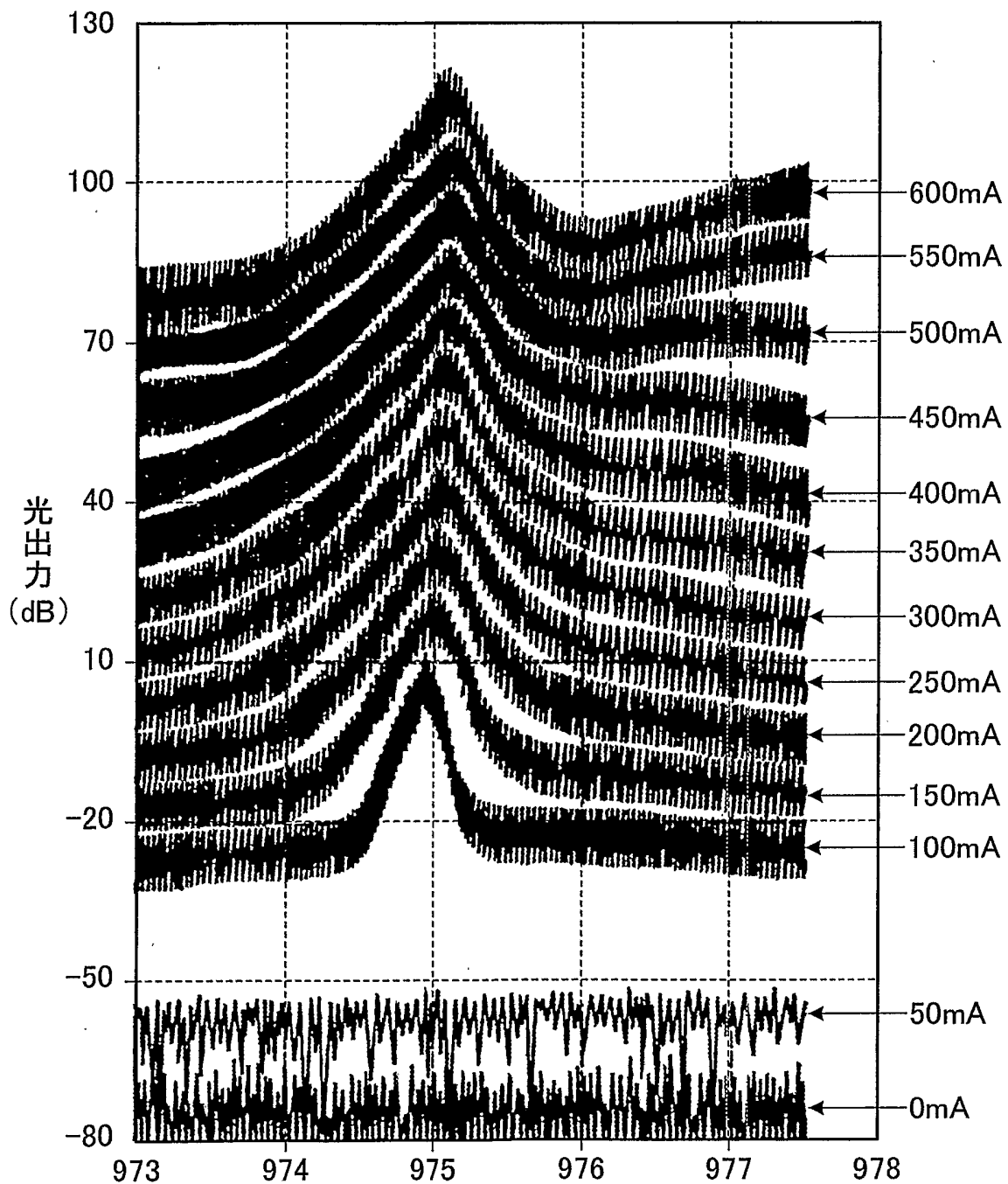
第4図



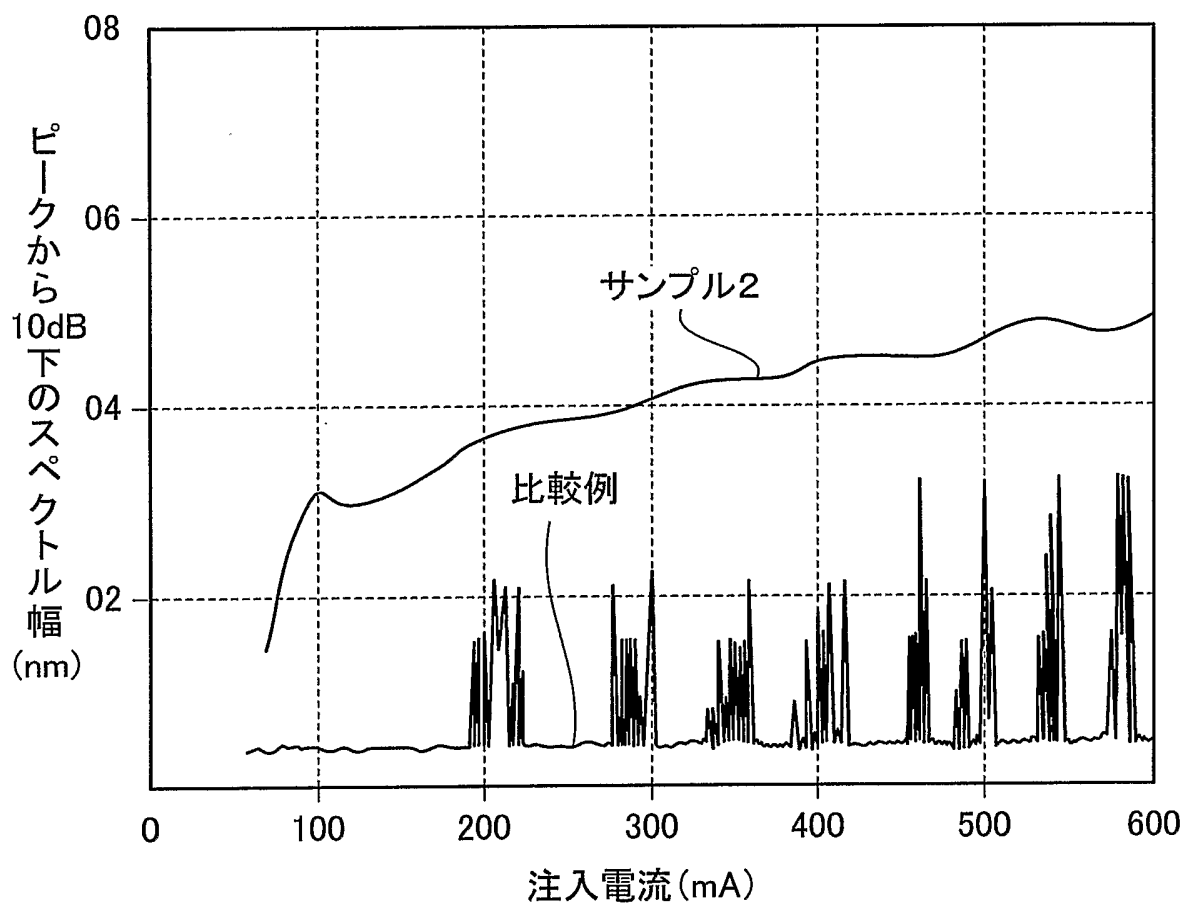
第5図



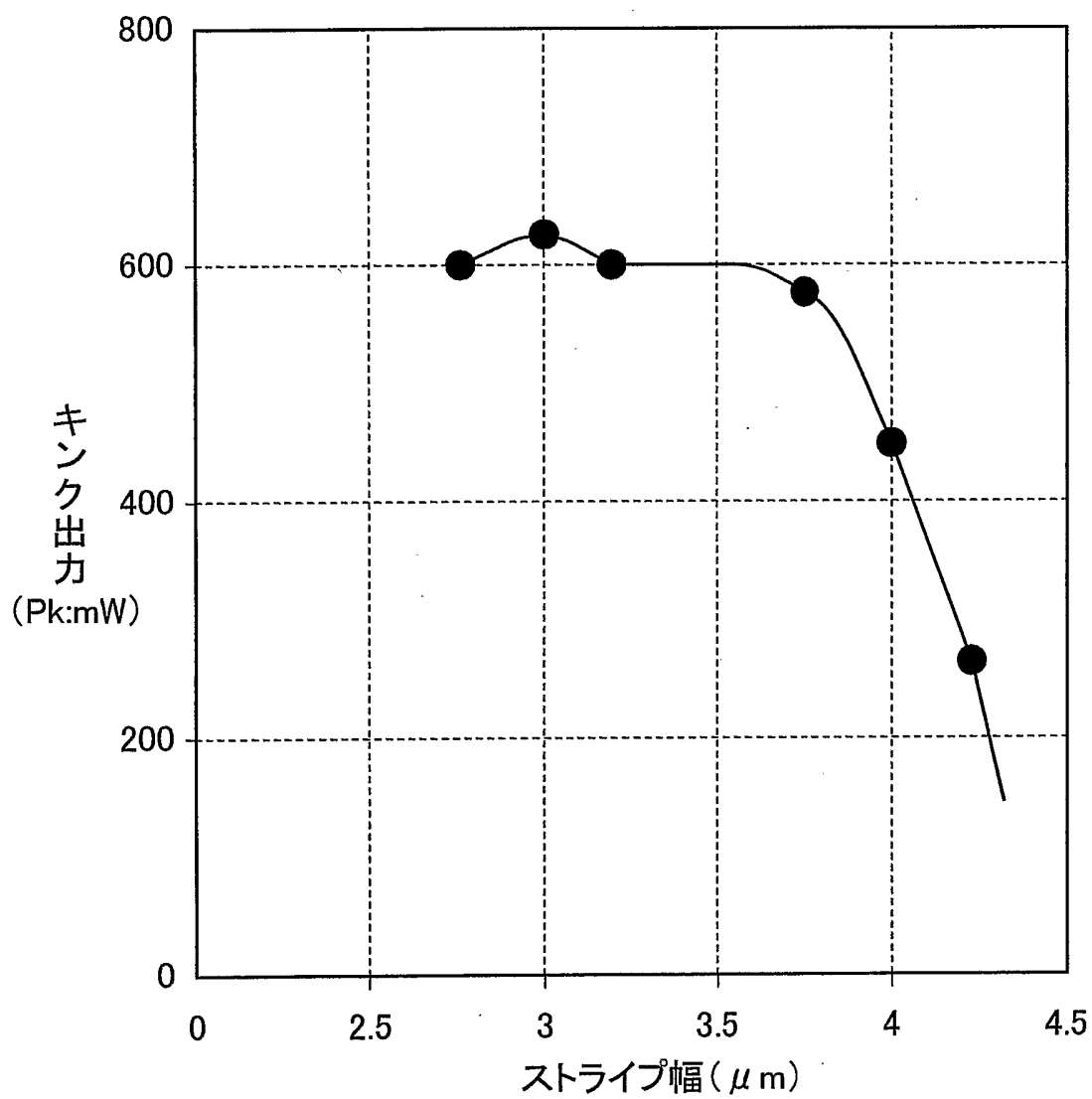
第6図



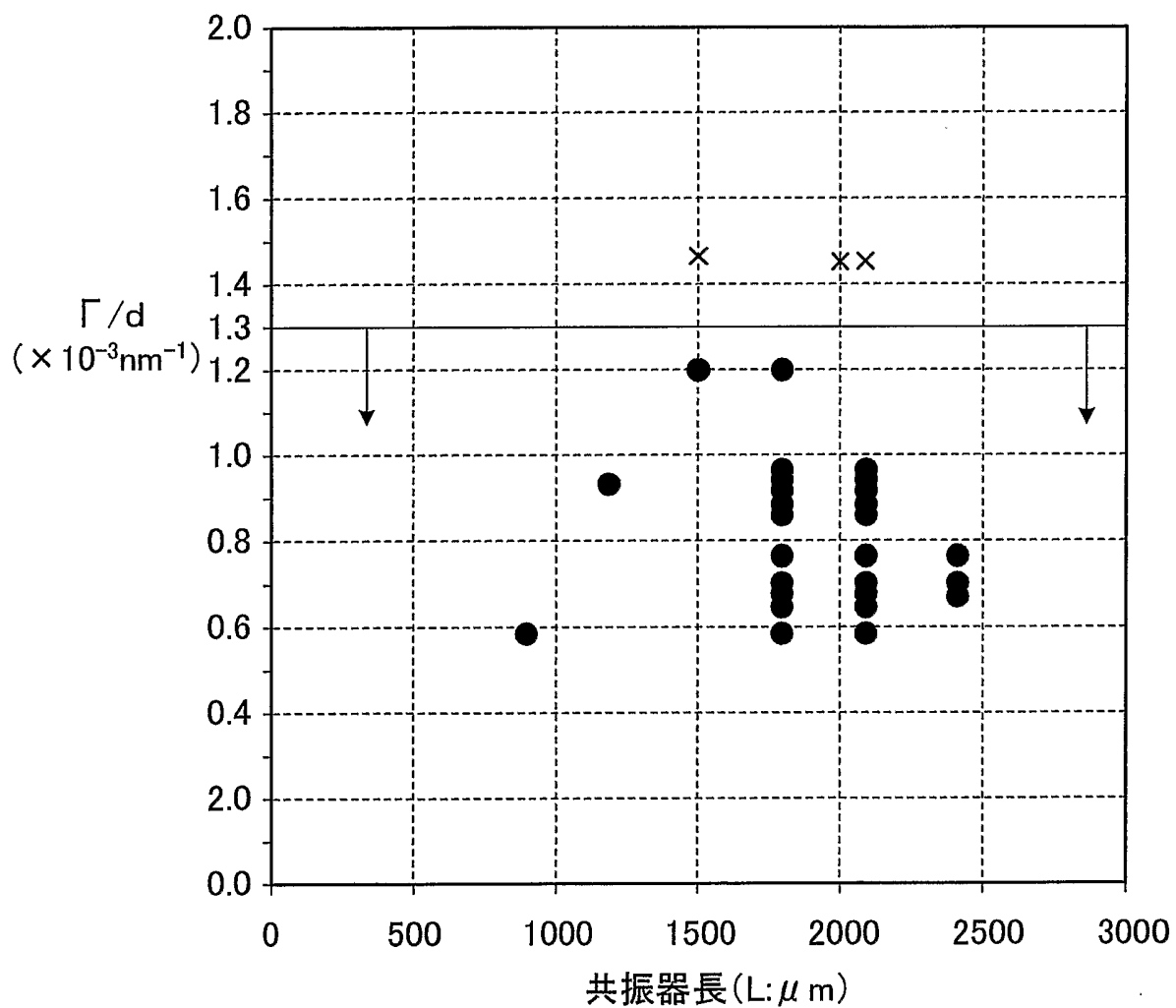
第7図



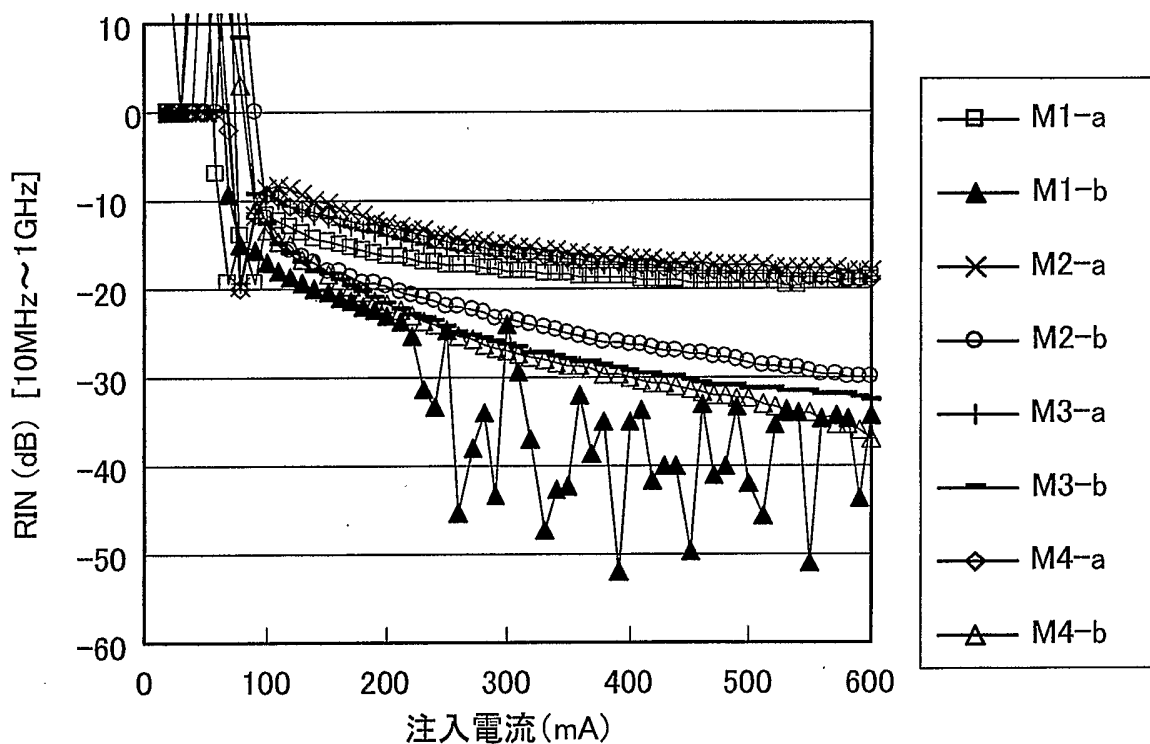
第8図



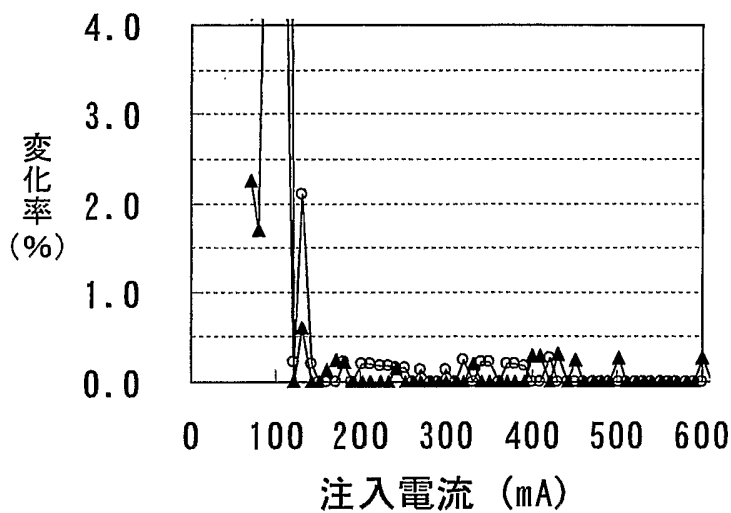
第9図



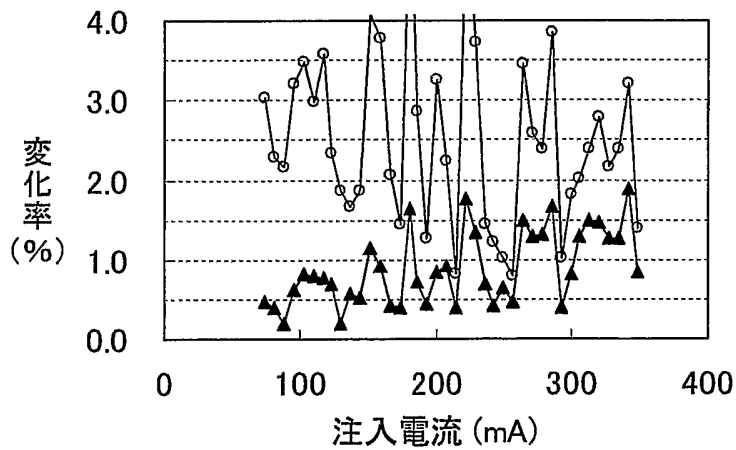
第10図



第11図

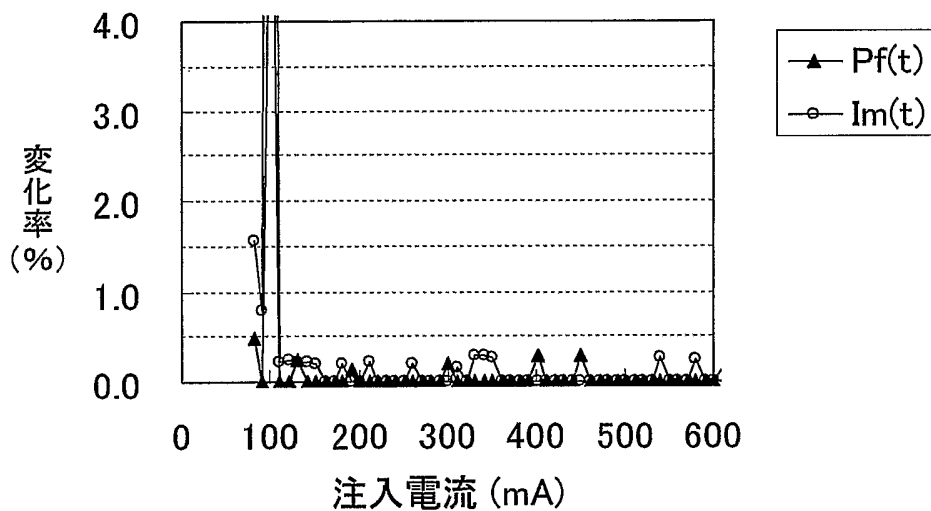


(a)

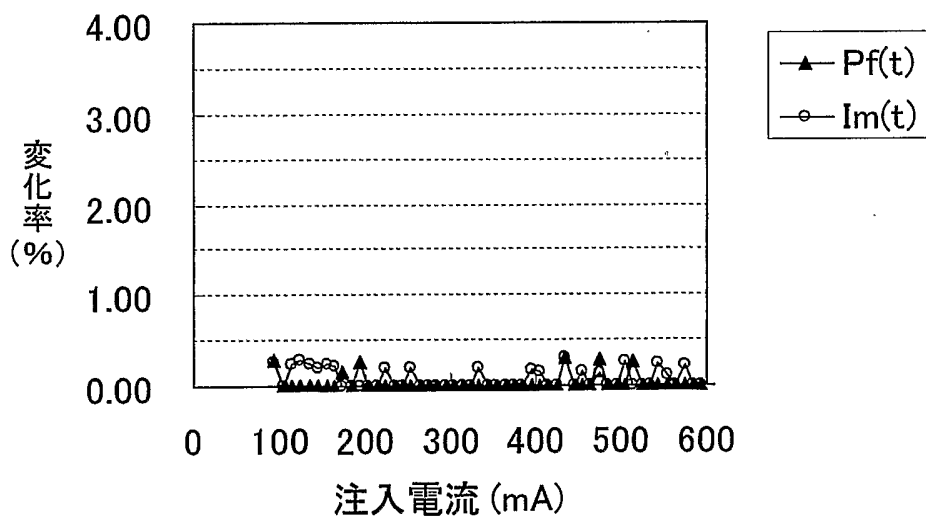


(b)

第12図

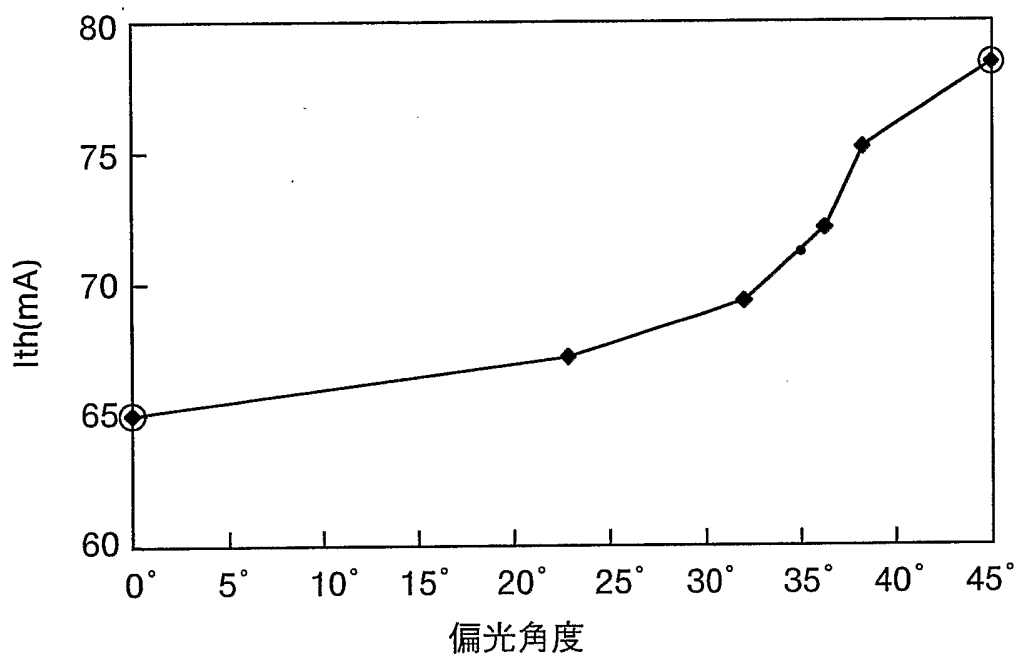


(a)

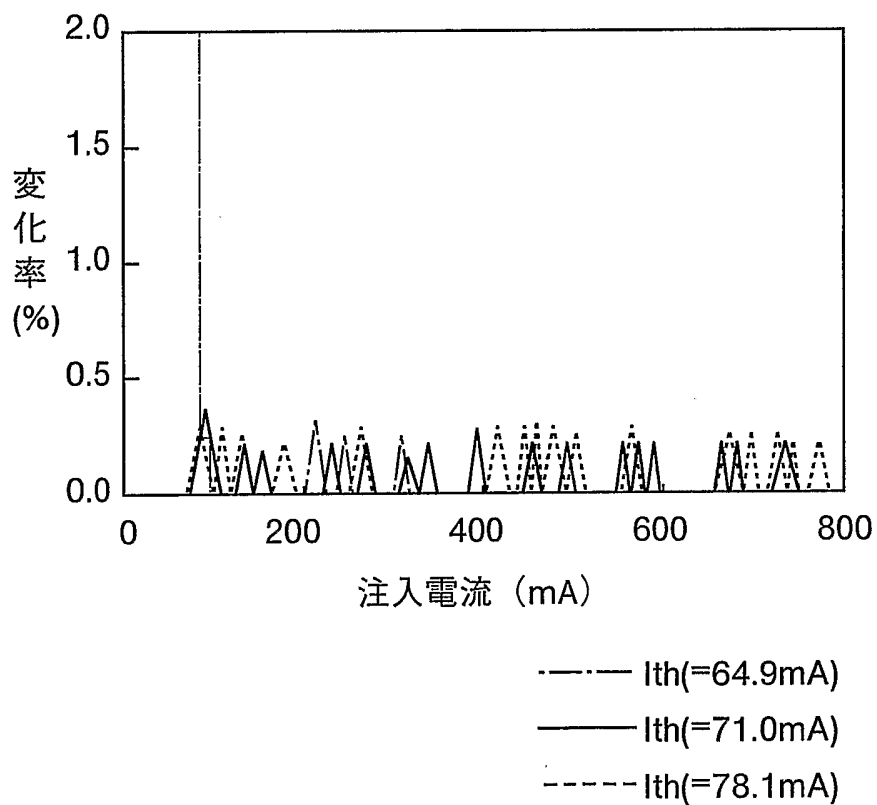


(b)

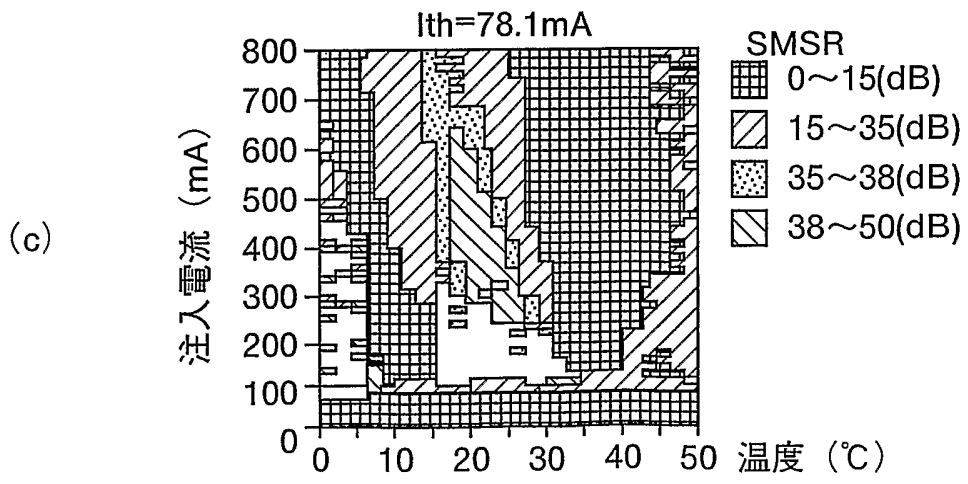
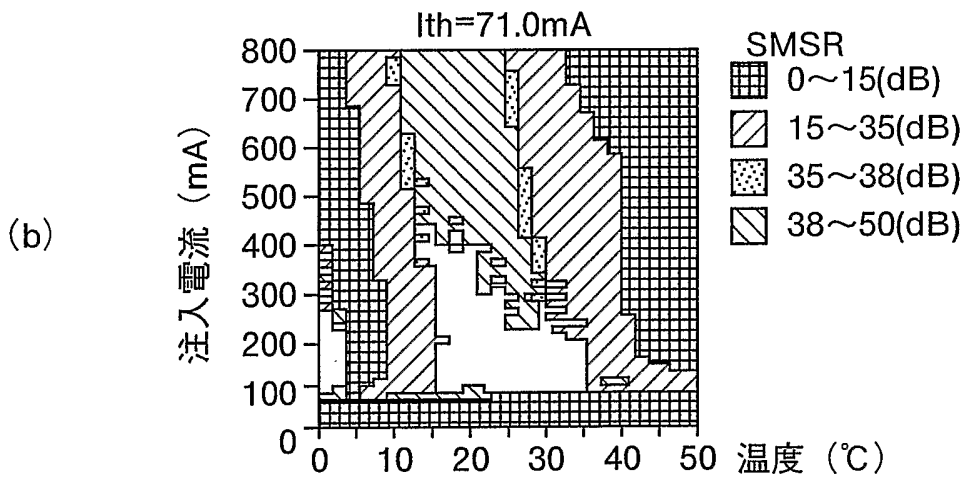
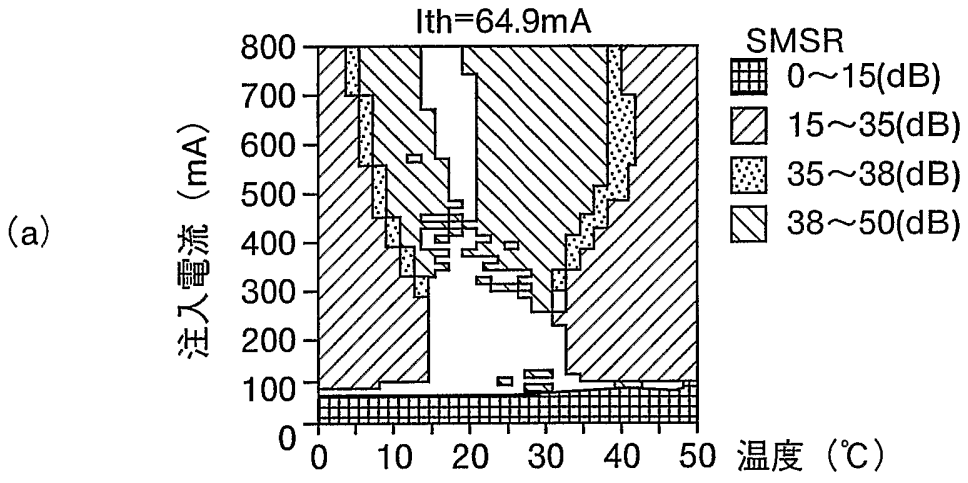
第13図



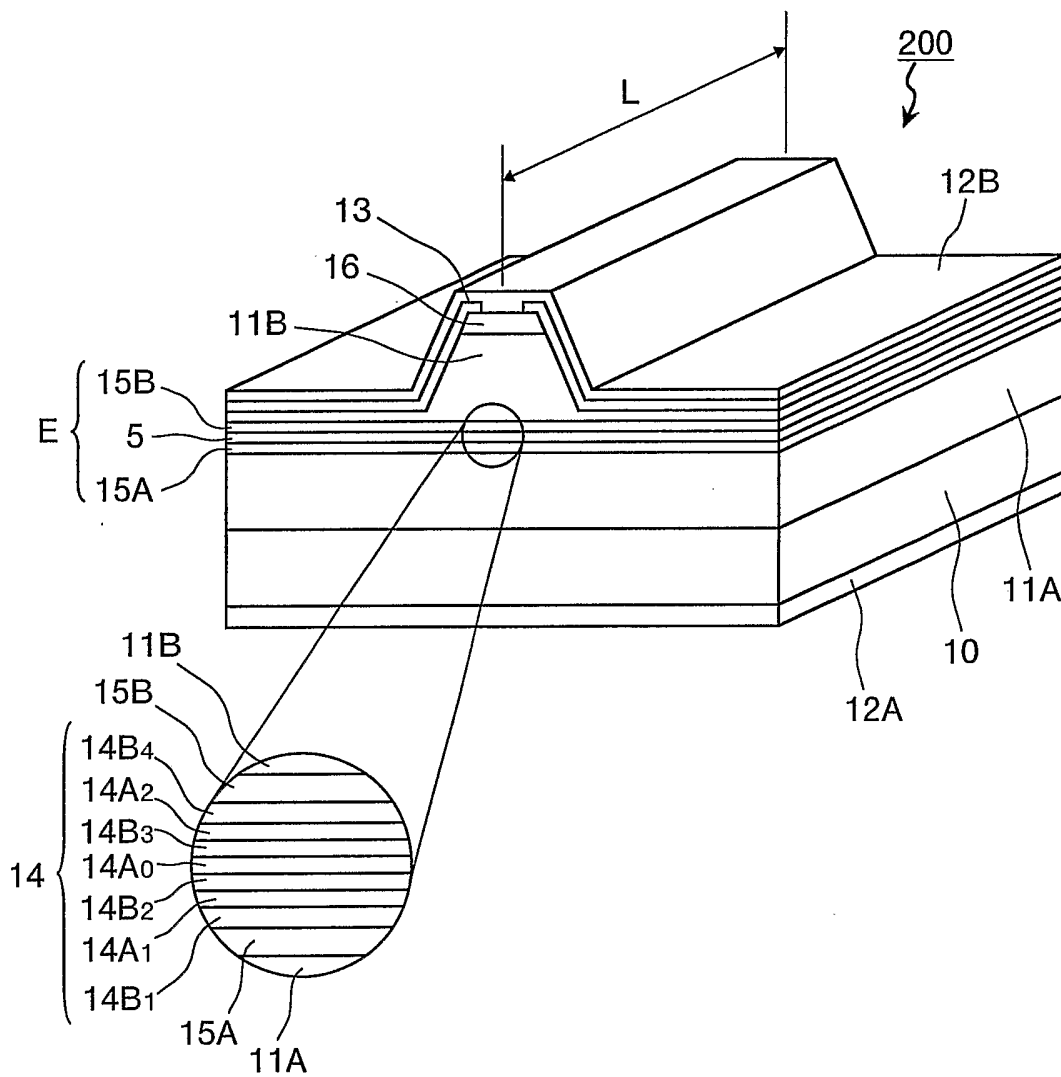
第14図



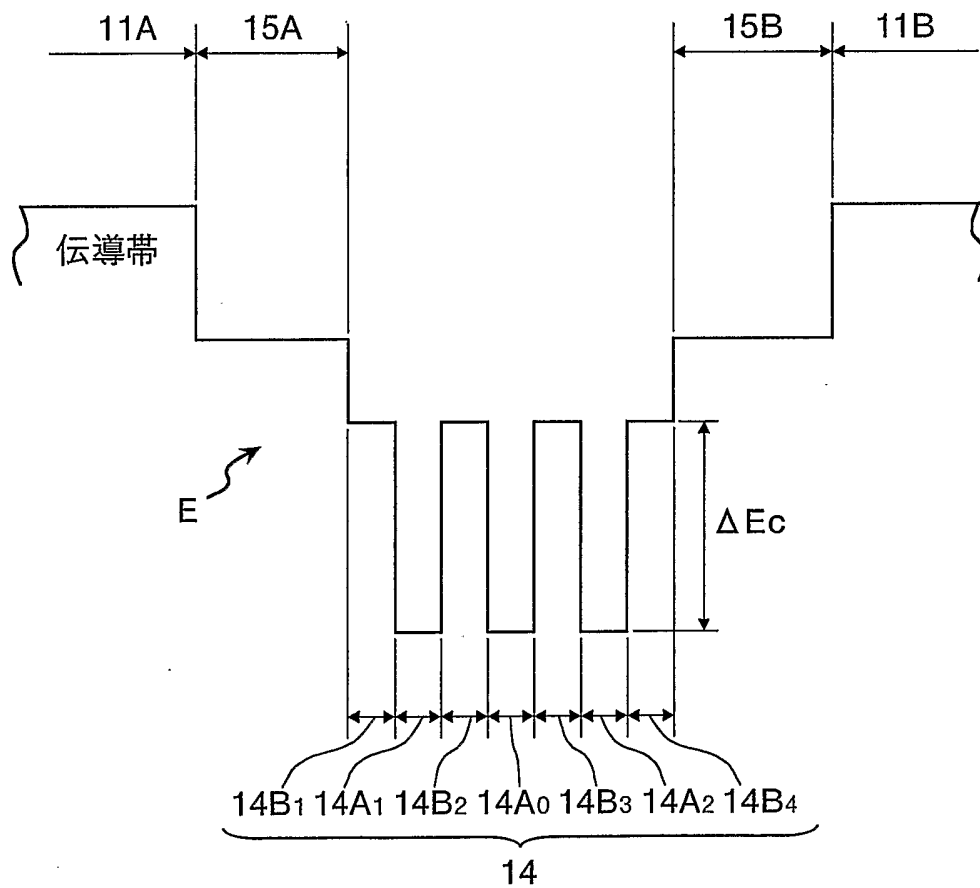
第15図



第16図



第17図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05766

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01S5/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01S5/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001-68789 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 16 March, 2001 (16.03.01), Y Full text; Fig. 3 (Family: none)	1, 5, 10, 12, 16, 17, 19-21 2-4, 6-9, 11, 13-15, 17, 18
X	EP 602603 A (Sony Corp.), Y 22 June, 1994 (22.06.94), Full text; all drawings & JP 6-237045 A & US 5438583 A & TW 361001 A	1, 10, 12 2-9, 11, 13-21
X	JP 10-200195 A (Sony Corp.), Y 31 July, 1998 (31.07.98), Full text; all drawings (Family: none)	2-4, 6-9, 11, 13-15, 18 1, 5, 10, 12, 16, 19-21

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search
05 September, 2003 (05.09.03)

Date of mailing of the international search report
24 September, 2003 (24.09.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/05766

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2000-223780 A (Sharp Corp.), 11 August, 2000 (11.08.00), Full text; all drawings (Family: none)	1, 10 2-9, 11-21
E, X	WO 03/30318 A (Mitsui Chemicals, Inc., The Furukawa Electric Co., Ltd.), 10 April 2003 (10.04.03), Full text; all drawings & JP 2003-174226 A	1-21
P, Y	JP 2003-60317 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 28 February, 2003 (28.02.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-21
A	EP 1076388 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 08 September, 2000 (08.09.00), Full text; all drawings & WO 00/52795 A & US 6545296 B1	1-21

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ H01S5/14		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ H01S5/14		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公案 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2003年 日本国登録実用新案公報 1994-2003年 日本国実用新案登録公報 1996-2003年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2001-68789 A (富士写真フィルム株式会社) 2001.03.16, 全文, 図3 (ファミリーなし)	1, 5, 10, 12, 16, 17, 19-21
Y		2-4, 6-9, 11, 13-15, 17, 18
X	EP 602603 A (ソニー株式会社) 1994.06.22, 全文, 全図 & JP 6-237045 A & US 5	1, 10, 12
Y	438583 A & TW 361001 A	2-9, 11, 13-21
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	05.09.03	国際調査報告の発送日
		24.09.03
国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	2K 8826
日本国特許庁 (ISA/JP)	土屋 知久	
郵便番号100-8915		
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	電話番号 03-3581-1101	内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 10-200195 A (ソニー株式会社) 1998. 07. 31, 全文, 全図 (ファミリーなし)	2-4, 6-9, 11, 13-15, 18
Y		1, 5, 10, 12, 16, 19-21
X	JP 2000-223780 A (シャープ株式会社) 2000. 08. 11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 10
Y		2-9, 11-21
EX	WO 03/30318 A (三井化学株式会社, 古河電気工業株式会社) 2003. 04. 10, 全文, 全図 & JP 2003-174226 A	1-21
PY	JP 2003-60317 A (古河電気工業株式会社) 2003. 02. 28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-21
A	EP 1076388 A (古河電気工業株式会社) 2000. 09. 08, 全文, 全図 & WO 00/52795 A & US 6545296 B1	1-21