

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-165152

(P2013-165152A)

(43) 公開日 平成25年8月22日(2013.8.22)

(51) Int.Cl.
H01S 5/12 (2006.01)

F I
H01S 5/12

テーマコード (参考)
5F173

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2012-27114 (P2012-27114)
(22) 出願日 平成24年2月10日 (2012.2.10)

(71) 出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(71) 出願人 304021417
国立大学法人東京工業大学
東京都目黒区大岡山2丁目12番1号
(74) 代理人 100078499
弁理士 光石 俊郎
(74) 代理人 100102945
弁理士 田中 康幸
(74) 代理人 100120673
弁理士 松元 洋
(72) 発明者 上岡 裕之
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

最終頁に続く

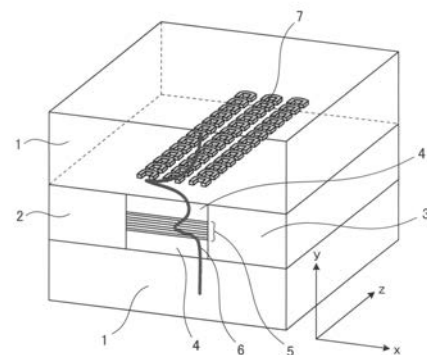
(54) 【発明の名称】 プラズモン薄膜レーザ

(57) 【要約】

【課題】 オンチップ光配線実現に向け、横方向電流注入型の薄膜レーザにおいて、低しきい値化と小型化を図る。

【解決手段】 薄膜半導体レーザにおいて、微細金属共振器アレイ7をSiO₂1内に設け、微細金属共振器アレイ7によるメタマテリアル構造8の、誘電率と透磁率を変化させることで、表面プラズモンによるTEモード光の閉じ込めを可能とし、この強光閉じ込めにより、低しきい値化と小型化を実現する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

横方向電流注入構造の薄膜半導体レーザにおいて、
光導波路の上部に誘電率と透磁率をそれぞれ独立に制御するメタマテリアル構造を備え

、
前記光導波路において回折限界を超えたナノスケール領域への光の閉じ込めを可能とすることを特徴とするプラズモン薄膜レーザ。

【請求項 2】

前記メタマテリアル構造が、当該構造内部に微細金属共振器アレイを備えるものであることを特徴とする請求項 1 に記載のプラズモン薄膜レーザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は半導体レーザ、特にオンチップ光配線実現に向けた、高速かつ低消費電力な半導体レーザに関する。

【背景技術】

【0002】

これまで光伝送技術は主に長距離通信を中心に用いられてきたが、これらの光通信技術をチップ間、チップ内配線といった更なる短距離伝送へ応用する光インターコネクション技術が強く求められている。理論的には伝送路における発熱や配線遅延、電磁ノイズの影響が無視でき、高速で低消費電力な信号伝送の実現が期待されている。

【0003】

オンチップ光配線実現に向けては、光デバイスの小型化・低消費電力化が不可欠である。将来的に光インターコネクション用光源に許容される消費電力は 1 チャンネルあたり 100 f J / b i t 程度であると試算されており、半導体レーザ光源に許容される駆動電流値は 1 m A 以下が必要とされる。

【0004】

光インターコネクションに向けた極低しきい値レーザとして、膜厚方向への強光閉じ込めを実現する半導体薄膜構造の導入が進んでいる（非特許文献 1 参照）。半導体薄膜構造では、上下に低屈折率を有する絶縁体材料を用いることから、従来型の縦方向への電流注入ではなく L C I (L a t e r a l C u r r e n t I n j e c t i o n : 横方向電流注入構造) を導入したレーザが数多く報告されている（非特許文献 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】電子情報通信学会技術研究報告 vol. 108, no. 114, LQE2008-29, pp. 45-50, 2008年6月.

【非特許文献 2】IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., Vol. 7, No. 2, pp.249-258(2001)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上述した L C I 型の薄膜レーザにおいてはこれまでに十分な特性が得られていなかった。極低しきい値での発振を実現させるためには膜厚方向への強光閉じ込めが必須であるが、従来の半導体薄膜構造においては、活性層への光閉じ込め係数は 1 層あたり平均 1 . 5 2 % となっており、極低しきい値化へ向けて更なる性能向上が課題となっている。

【0007】

また、L C I 型の薄膜レーザであっても、従来の半導体レーザ同様、回折限界を超えるサイズの領域に光を閉じ込めることはできないため、素子サイズを従来の半導体レーザとほぼ同じにする必要があり、オンチップ光配線実現に向けた微細化が難しいという課題が

10

20

30

40

50

ある。

【0008】

そこで、本発明の目的は上述の問題点を解消し、LCI型の薄膜半導体レーザにおいて更なる低しきい値化および小型化を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決する第1の発明に係るプラズモン薄膜レーザは、横方向電流注入構造の薄膜半導体レーザにおいて、光導波路の上部に誘電率と透磁率をそれぞれ独立に制御するメタマテリアル構造を備え

10

、前記光導波路において回折限界を超えたナノスケール領域への光の閉じ込めを可能とすることを特徴とする。

【0010】

上記課題を解決する第2の発明に係るプラズモン薄膜レーザは、第1の発明に係るプラズモン薄膜レーザにおいて、前記メタマテリアル構造が、当該構造内部に微細金属共振器アレイを備えるものであることを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明に係るプラズモン薄膜レーザによれば、メタマテリアル構造の誘電率と透磁率をそれぞれ独立に制御することで発生した表面プラズモンにより、回折限界を超えたナノスケール領域への光の閉じ込めを可能とする。さらに、メタマテリアル構造内の微細金属共振器アレイの形状を最適化することで、より低損失な表面プラズモンによる回折限界を超えたナノスケール領域への光の閉じ込めを可能とする。

20

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施例1に係るプラズモニックメタマテリアル薄膜半導体レーザの概略図である。

【図2】本発明の実施例1に係るプラズモニックメタマテリアル薄膜半導体レーザの概略的断面図である。

30

【図3】本発明の実施例1に係るプラズモニックメタマテリアル薄膜半導体レーザにおける個々の微細金属共振器のサイズと、周波数と誘電率の関係を示すグラフである。

【図4】本発明の実施例1に係るプラズモニックメタマテリアル薄膜半導体レーザの半導体活性層1層当たりの、TEモード光閉じ込め係数、SCHとSiO₂の境界面からメタマテリアル構造の下面までの距離、及び光導波路の細線幅の関係を示すグラフである。

【図5】本発明の実施例1に係るプラズモニックメタマテリアル薄膜半導体レーザのTEモード光の強度分布を示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

初めに、本発明においてTEモード光の閉じ込めに用いる、表面プラズモンについて説明しておく。表面プラズモンとは、微細な領域において、自由電子をもつ物質中の電子が光と相互作用を起こす現象のことであり、電子と光が共鳴して高い光出力をもたらす等の効果を発現する。しかし、通常はTMモードの表面プラズモンしか発生させることができない。

40

【0014】

半導体レーザ内の光波の伝搬方向をz方向とし、x及びy方向を光波の伝搬方向と直交する方向とすると、異なる2層(上述の自由電子をもつ物質と、その物質と接する物質)の境界面にTEモードの表面プラズモンが存在するための分散関係は以下のように表される。

【0015】

50

【数 1】

$$k_x = k_0^2 \frac{\mu_{r1}\mu_{r2}}{\mu_{r2} + \mu_{r1}} \frac{\varepsilon_{r1}\mu_{r2} - \varepsilon_{r2}\mu_{r1}}{\mu_{r2} - \mu_{r1}}$$

【0016】

但し、 ε_{r1} 、 ε_{r2} は異なる2層それぞれの誘電率、 μ_{r1} 、 μ_{r2} は透磁率である。光通信帯域においては、一般的に材料の性質は誘電率 ε_r のみで決まり、透磁率 μ_r は $\mu_r = 1$ に固定であるため、上記の分散関係を満たすことが出来ない。

【0017】

しかし、メタマテリアル構造では誘電率 ε_r と透磁率 μ_r をそれぞれ独立に変化させることができるため、上記の分散関係を満たし、TEモードの表面プラズモンを発生させることが可能となる。

10

【0018】

ちなみにメタマテリアル構造とは、LC共振器として動作するような形状に設計された微細金属（以下、微細金属共振器と記載）を、ホストとなる物質中に複数埋め込んだものである。個々の微細金属共振器のサイズを光の波長より十分小さくすると、ホストとなる物質（特に微細金属共振器周辺の領域）は、光にとって恰も均質な物質のように振る舞い、個々の微細金属共振器の形状を変化させることで光学特性を制御できる。

【0019】

以下、本発明に係るプラズモン薄膜レーザを実施例にて図面を用いて説明する。

20

【実施例1】

【0020】

本発明の実施例1に係る装置について図1を用いて説明する。本実施例に係る装置は、メタマテリアル構造を有するプラズモン薄膜レーザ（プラズモニックメタマテリアル薄膜半導体レーザ）であり、n型電極n-InP2、p型電極p-InP3、絶縁体（誘電体）層SiO₂1、半導体層SCH（Separated Confinement Heterostructure：分離閉じ込めヘテロ構造）4、半導体活性層MQW（Multi Quantum Well structure：多重量子井戸構造）5を備える。ちなみに、本実施例に係る装置ではMQW5とその上下のSCH4が光導波路となる。

30

【0021】

加えて本実施例に係る装置は、微細金属共振器の集合である微細金属共振器アレイ7による、メタマテリアル構造8を備える。

【0022】

光周波数程度の高周波において十分な磁気応答を得るために、微細金属共振器の中でも特に4分割シングルSRR（Split Ring Resonancy：分割リング共振器）を考える。但し、図1はあくまでも概略図であり、個々の微細金属共振器については4分割シングルSRRの形状を表すものではない。4分割シングルSRRは、図3の右下に記載されているイメージ図のような形状である。

【0023】

40

また、図1のように本実施例に係る装置はLCI型であり、MQW5横方向にpn接合構造、及び上下方向に低屈折率を有するSiO₂1が配置されている。

【0024】

そして、SCH4上部のSiO₂1内に微細金属共振器アレイ7によるメタマテリアル構造8が設けられ、メタマテリアル構造8の誘電率と透磁率に変化が生じることで、メタマテリアル構造8の表面に発生した表面プラズモンによってTEモード光を閉じ込めることができ、メタマテリアル構造8の下面（SiO₂1との界面）に回折限界を超えたナノスケールの光閉じ込めが得られる。

【0025】

TEモード光分布6は、図1、図2のx軸がTEモード光の強度を表す軸であるとし、

50

x 軸 - 方向に向かう程強度が高くなるものとした場合の、TEモード光の強度分布を表している。これを見ればわかるように、集光領域の直下にあるSCH4とMQW5にも多くの光が漏れ、レーザ発振に必要な光閉じ込め係数を実現することができる。

【0026】

ナノスケールの光閉じ込めによって、MQW5への閉じ込め係数を増大させるだけではなく、MQW5の微細化が可能となり、しきい値の大幅な改善が成され、同時にデバイスの小型化にも繋がる。

【0027】

さらに、微細金属共振器アレイ7の構造を最適化することで低損失な表面プラズモンによるナノスケールへの光閉じ込めを行うことができる。

10

【0028】

有限要素法により、メタマテリアル構造8の電磁場分布を計算した後、均質化理論を用いてシミュレーションを行った結果を図3に示す。メタマテリアル構造8の特性は個々の微細金属共振器のサイズに依存しており、例えば個々の微細金属共振器のx方向の幅Lのサイズを小さくすると透磁率の変化は小さくなるが、動作周波数は高周波側へシフトすることになる。

【0029】

動作周波数としては、光周波数帯である193THz周辺になるようにしなければならない。本実施例に係る装置における個々の微細金属共振器は、上述の点及び実際の作製の容易さを考慮して決定された構成である。

20

【0030】

図2のように、SCH4とSiO₂1の境界面から微細金属共振器アレイ7までの距離は300nmと固定し、素子パラメータとして、光導波路の細線幅w、及びSCH4とSiO₂1の境界面からメタマテリアル構造8の下面までの距離gを考える。

【0031】

SCH4とSiO₂1の境界面から微細金属共振器アレイ7までの距離を300nmと固定しながらgを変化させるとするのは、個々の微細金属共振器のサイズを変化させることで可能となる。つまり、個々の微細金属共振器のサイズの変化によってメタマテリアル構造8が形成される範囲も変化する。本実施例に係る装置では、図3に示すようにL = 300 600nm程度を想定しているが、このときg = 50 200nm程度となる。

30

【0032】

図4はMQW5の1層当たりの光閉じ込め係数を計算し、グラデーションプロットしたものである。この図を見ると、g = 50 200nm, w = 100 300nmの範囲において、光閉じ込め係数が2.5 3.8%と、いずれにしても従来の薄膜半導体レーザの平均閉じ込め係数である1.5 2%を上回っており、低しきい値化が可能となることがわかる。

【0033】

それに加えて図5は、本実施例に係る装置の構成を、図4の白い円で囲まれた点(g = 150nm, w = 200nm)としたときの、TEモード光の強度分布を濃淡により示したもの(白いほど強度が高い)であるが、この図からも確認できるように、表面プラズモンによってSiO₂1層内にTEモード光の強度分布のハイブリッドモードが形成されることで、ナノスケール領域にTEモード光が強く閉じ込められている。

40

【0034】

これによりMQW5の体積を減らすことが可能となり、しきい値の大幅な改善がなされ、同時にデバイスの小型化にも繋がる。

【0035】

このように、本実施例に係る装置では、メタマテリアル構造8を利用することで表面プラズモンによってTEモード光を閉じ込めることができ、この強光閉じ込めによりLCI型の薄膜半導体レーザにおいて更なる低しきい値化および小型化を提供することが可能である。

50

【産業上の利用可能性】

【0036】

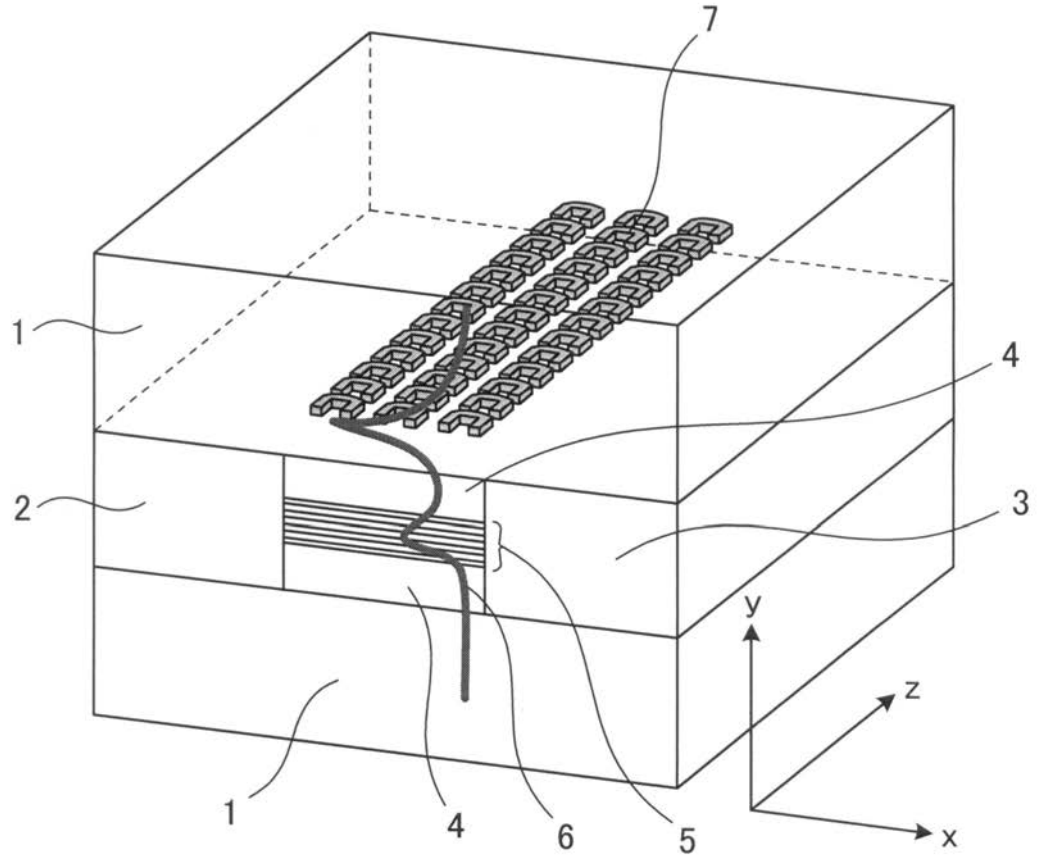
本発明は半導体レーザ、特にオンチップ光配線実現に向けた、高速かつ低消費電力な半導体レーザとして好適である。

【符号の説明】

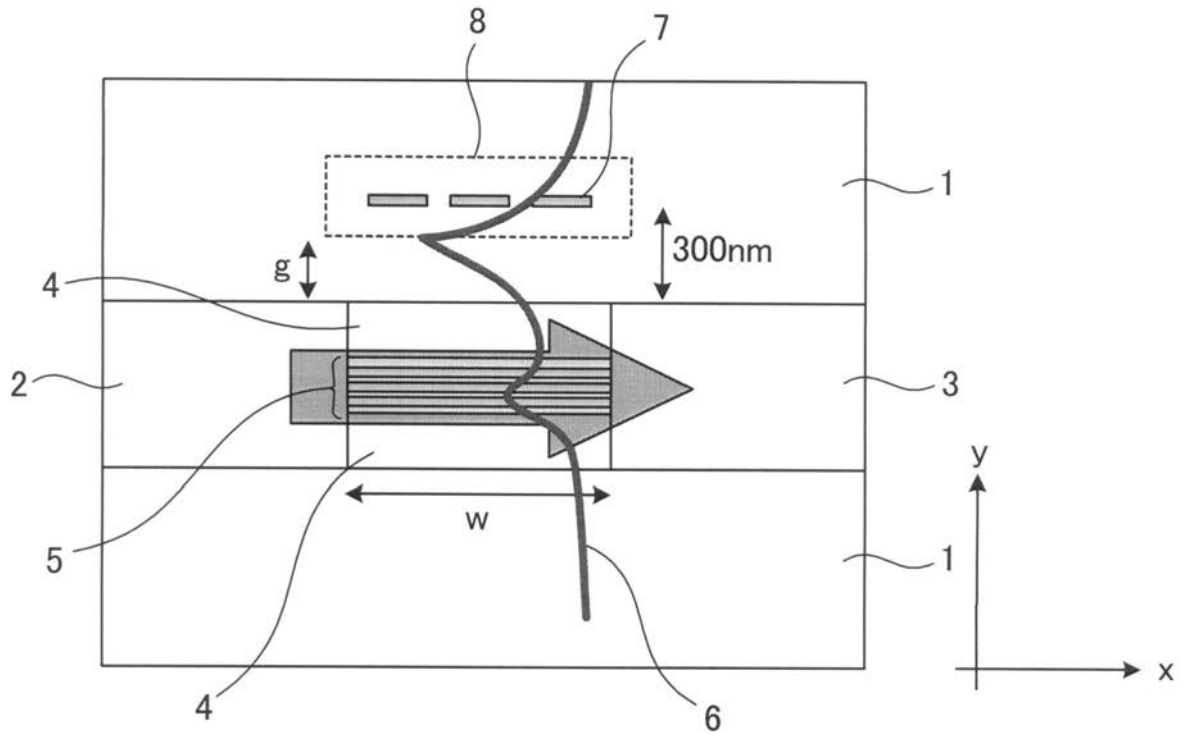
【0037】

- 1 SiO₂ 絶縁体（誘電体）層
- 2 n InP n型電極
- 3 p InP p型電極
- 4 SCH 半導体層
- 5 MQW 半導体活性層
- 6 TEモード光分布
- 7 微細金属共振器アレイ
- 8 メタマテリアル構造

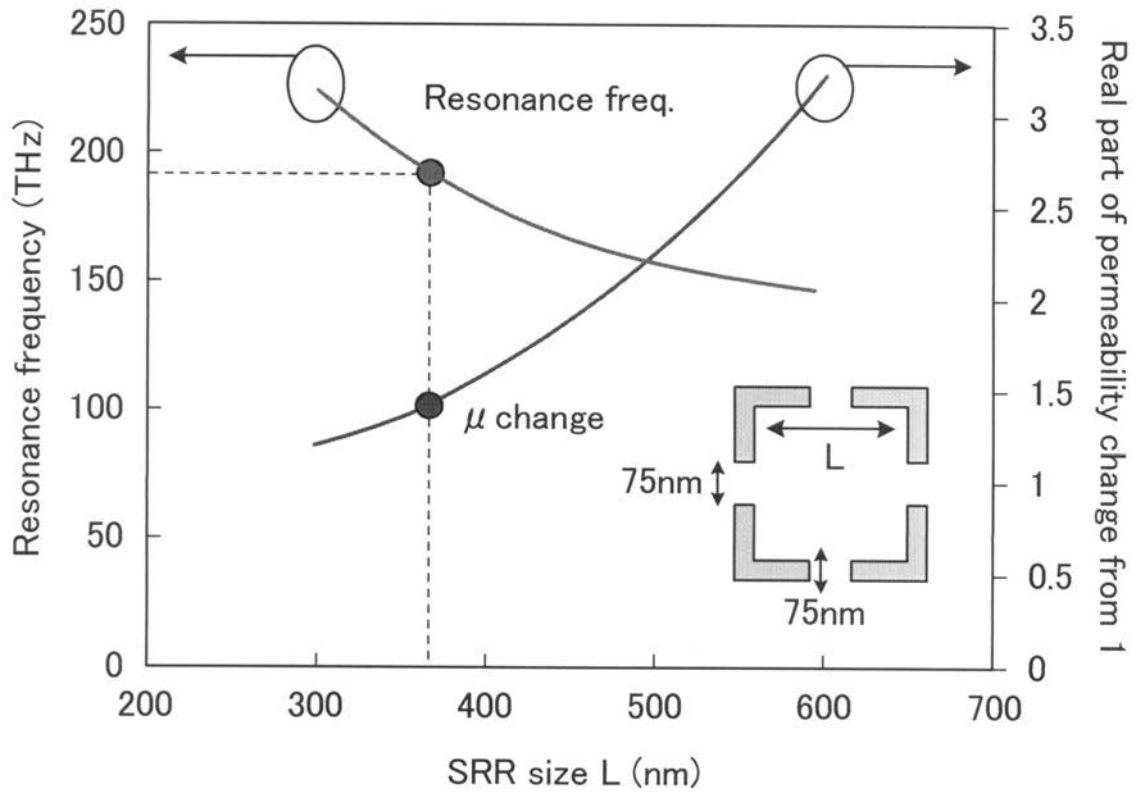
【図 1】



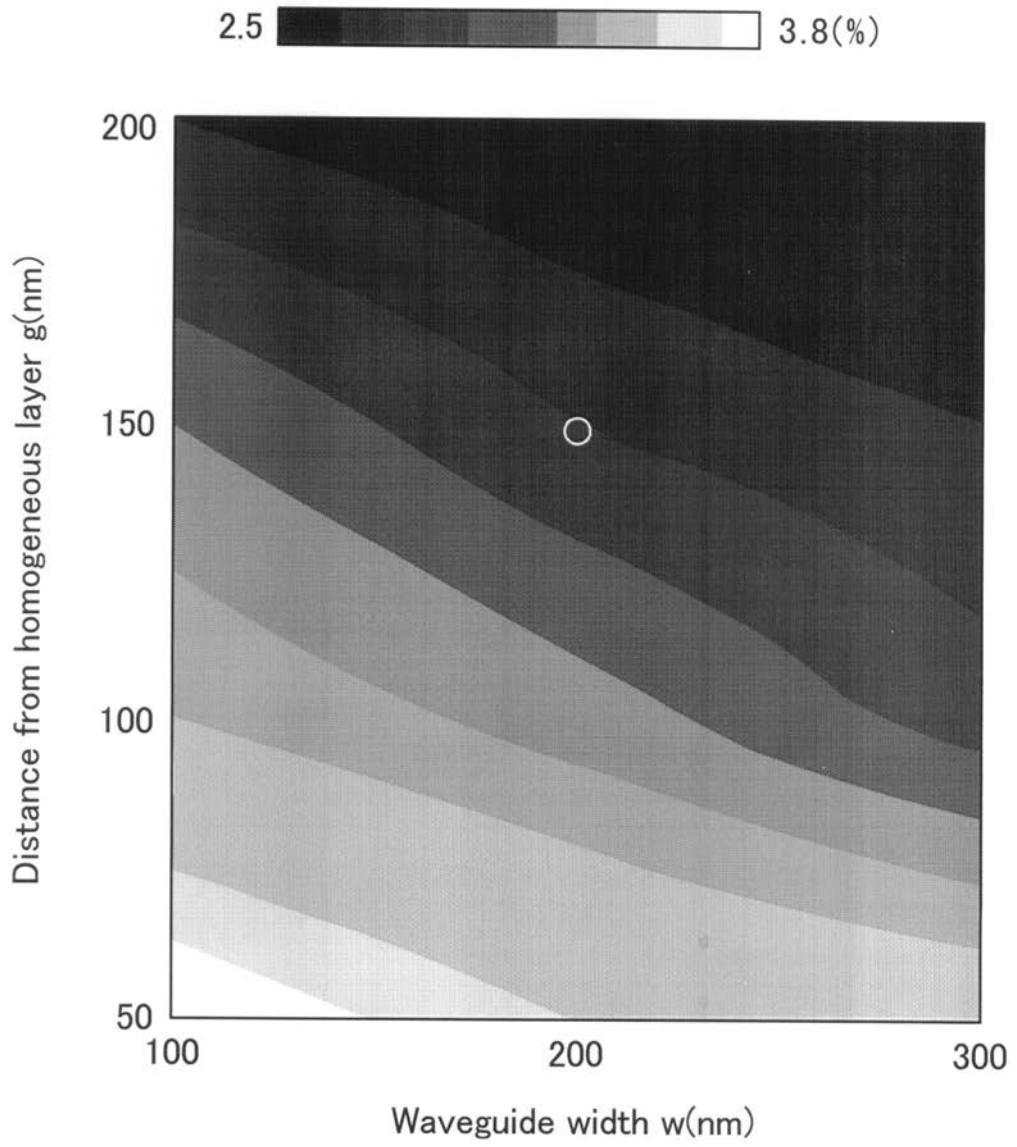
【 図 2 】



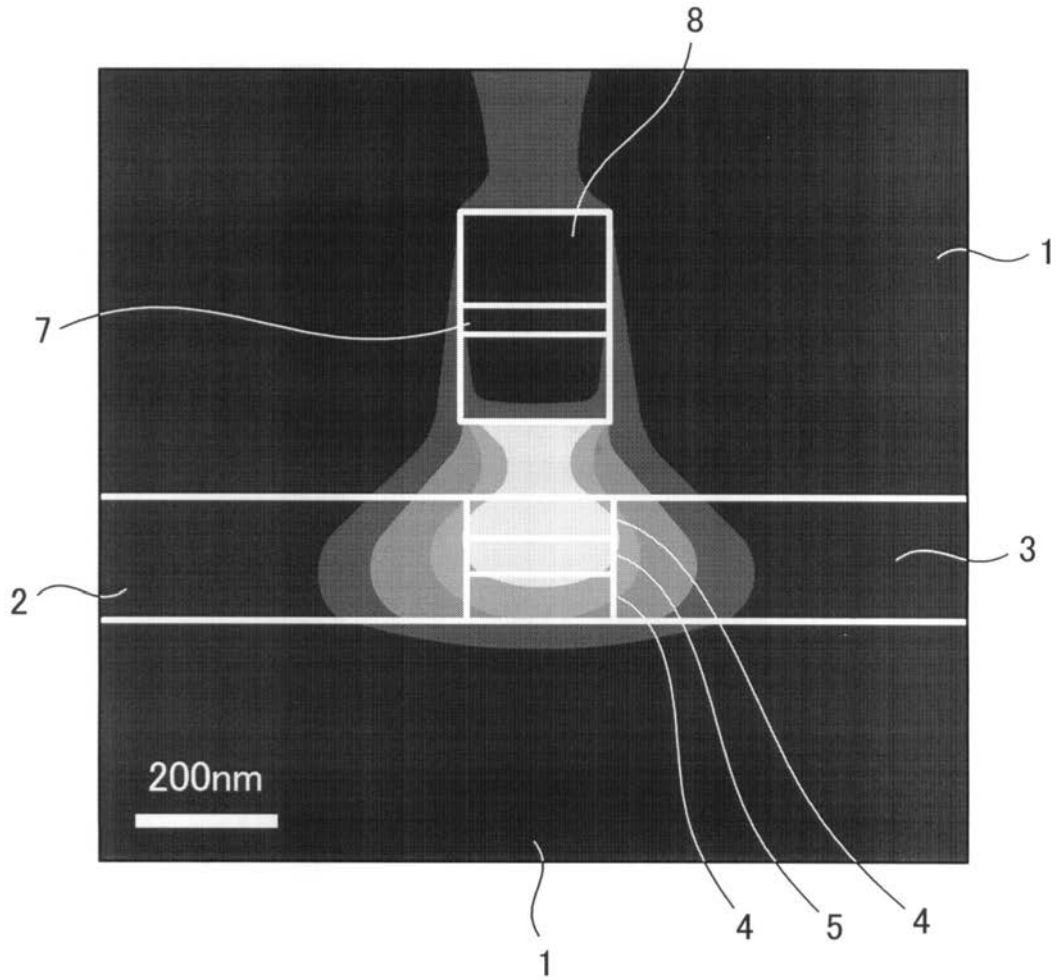
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

- (72)発明者 大橋 弘美
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 石井 啓之
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 馬渡 宏泰
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 柴田 泰夫
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 西山 伸彦
東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 荒井 滋久
東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 雨宮 智宏
東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内
- (72)発明者 奥村 忠嗣
東京都目黒区大岡山2-12-1 国立大学法人東京工業大学内
- Fターム(参考) 5F173 AA22 AA40 AB50 AF36 AF40 AR26