

(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2008-103600

(P2008-103600A)

(43) 公開日 平成20年5月1日(2008.5.1)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
H O 1 L 33/00 (2006.01)		H O 1 L 33/00	E	5 F 0 4 1
H O 1 S 5/18 (2006.01)		H O 1 S 5/18		5 F 1 7 3
H O 1 S 5/20 (2006.01)		H O 1 S 5/20	6 1 O	
H O 1 S 5/50 (2006.01)		H O 1 S 5/50	6 1 O	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2006-286137 (P2006-286137)	(71) 出願人	301022471
(22) 出願日	平成18年10月20日 (2006.10.20)		独立行政法人情報通信研究機構
			東京都小金井市貫井北町4-2-1
		(74) 代理人	100082669
			弁理士 福田 賢三
		(74) 代理人	100095337
			弁理士 福田 伸一
		(74) 代理人	100061642
			弁理士 福田 武通
		(72) 発明者	牛頭 信一郎
			東京都小金井市貫井北町4-2-1 独立
			行政法人情報通信研究機構内
		(72) 発明者	上田 章雄
			東京都小金井市貫井北町4-2-1 独立
			行政法人情報通信研究機構内
			最終頁に続く

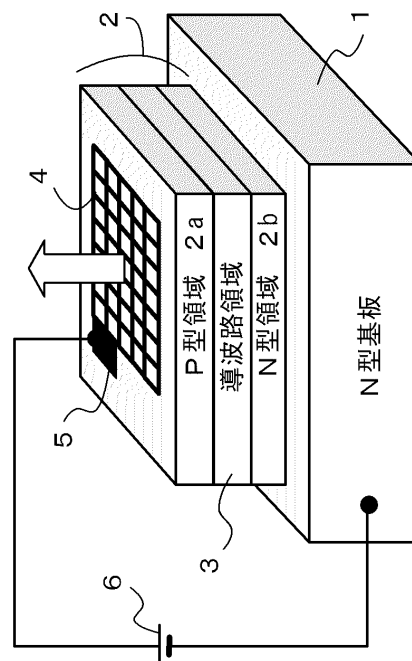
(54) 【発明の名称】 半導体光デバイス

(57) 【要約】

【課題】面出力型の半導体光デバイスの構造を簡単にして製造し易くする。さらに発光デバイスの他に、光増幅デバイスとしても用い得るようにする。

【解決手段】半導体基板上に形成され光学遷移が起こる活性層領域と、活性層領域に形成した導波路と、活性層領域に電流を供給する電極と、を備え、半導体基板表面に沿った導波路をもち、垂直方向に光を出力する半導体光素子であって、電極は、互いに電氣的に接続された導電性の物質で構成され、2次元の周期性のある形状をもち、上記の半導体光素子の導波路の近傍で導波路に沿って形成され、上記の活性層領域に電氣的に接続され、上記の導波路を伝搬する光波に、フォトニック結晶として作用して導波路に垂直な方向に目的とする光を導くものであり、その周期は、ほぼ導波路を伝搬する光の波長の長さであり、その電極と半導体基板間に電流を流して、上記の活性層領域に給電する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

半導体基板と、

上記の半導体基板上に形成され光学遷移が起こる活性層領域と、

上記の活性層領域に形成した導波路と、

上記の活性層領域に電流を供給する電極と、を備え、半導体基板表面に沿った導波路をもち、導波路に垂直方向の成分を含む光を出力する半導体光素子であって、

上記の電極は、互いに電氣的に接続された導電性の物質で構成され、2次元の周期性のある形状をもち、上記の半導体光素子の導波路の近傍で導波路に沿って形成され、上記の活性層領域に電氣的に接続され、上記の導波路を伝搬する光波に、フォトリック結晶として作用して導波路に垂直な方向に目的とする光を導くものであり、

上記の電極と半導体基板間に電流を流して、上記の活性層領域に給電することを特徴とする半導体光デバイス。

【請求項 2】

上記の電極は、2層の導電層を含む構造であって、上記の導波路から比較的近い部分に導電率の比較的小さい物質を用い、比較的遠い部分に導電率の比較的大きな物質を用いた多層構造の電極で構成したことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光デバイス。

【請求項 3】

上記の電極の材料は金属であることを特徴とする請求項 1 あるいは 2 に記載の半導体光デバイス。

【請求項 4】

上記の活性層領域は、誘導放出による電子遷移を主とする領域であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の半導体光デバイス。

【請求項 5】

上記の活性層領域は、自然放出による電子遷移を主とする領域であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載の半導体光デバイス。

【請求項 6】

外部からの光を上記の導波路に入力する入射導波路をさらに備え、入力した光を上記の活性層領域で増幅して出力することを特徴とする請求項 4 に記載の半導体光デバイス。

【請求項 7】

上記の入射導波路からの光を、上記の電極を通して上記の導波路に入力する構成を備えることを特徴とする請求項 6 に記載の半導体光デバイス。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

この発明は、半導体基板表面から光を出力する発光素子あるいは光増幅素子として用いることができる半導体光デバイスに関する。

【背景技術】**【0002】**

一般に、半導体光デバイスは、小型で、変換効率がよく、長寿命であることが知られている。例えば、半導体発光ダイオード（LED）は、製造コストが低く、長寿命の固体素子光源であり、照明用にも大いに普及する可能性がある。また、面放射型LEDや面放射型レーザダイオードは、他の電子回路とともに1つのチップに集積することで得られる利点が大きいため注目されている。

【0003】

しかし、通常、例えばLED内部の光の大部分は、半導体と空気の間での屈折率が大きく異なるために半導体内に閉じ込められてしまい、光取出し効率が低下して、出力を改善する障害となっている。

【0004】

この光取出し効率が低下する問題を克服するために、いくつかの方法が報告されている

10

20

30

40

50

。そのひとつに、フォトリック結晶（PhC）などの周期的な構造におけるブラッグ回折を使用することがある。さらに、二次のブラッグ回折を伴う二次元（2D）のPhCを使用することであり、この方法では、面放射レーザ（SEL）を実現することができる（特許文献1）。

【0005】

このような事から、2D-PhCsは次の世代のLEDとSELの有望な候補であると言える。しかし、欠点としては、2D-PhC装置のための製造プロセスは複雑である、ということがある。2D-PhCを用いた発光素子では、電流注入で作動させる必要があるためである。つまり、よく知られているように、製造プロセスでは一般的にドライエッチングが使用されるが、PhCsを作る際にプロセスダメージが発生して、無駄な電流が増え発光効率が低下する。

10

【0006】

この問題を避ける方法として、活性層と完全に切り離して2D-PhCを形成し、後に活性層とウェハ融合する方法が報告されている。しかし、本発明はウェハ融合を用いたものではなく、その構造も異なっているため、ここでは詳述しない。

【0007】

[従来例1]

特許文献1に開示された半導体発光デバイスは、第1導電型半導体層と、第2導電型半導体層と、活性層と、フォトリックバンド層と、光放出面とを備え、フォトリックバンド層はフォトリックバンド構造を有するものである。このフォトリックバンド層は、活性層と光学的に結合され、基板の主面が伸びる方向に沿って設けられている。

20

【0008】

[従来例2]

特許文献2には、2次元フォトリック結晶面発光レーザ、特に、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、2次元的に屈折率周期を配置したフォトリック結晶周期構造体を備え、フォトリック結晶により共振して面発光する2次元フォトリック結晶面発光レーザが開示されている。

【0009】

しかし、上記の特許文献1に開示された半導体発光デバイスは、フォトリックバンド層の上に更に活性層をエピタキシャル成長させるものであり、複雑な工程を用いている。

30

【0010】

また、特許文献2に開示された2次元フォトリック結晶面発光レーザでは、フォトリック結晶を取り囲む領域に電極を設けており、活性層に電流を均一に供給することができない。

【特許文献1】特開2000-332351号公報

【特許文献2】特開2003-273456号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

従来のフォトリック結晶を用いた面出力型の半導体光デバイスの構造を簡単にして製造し易くするとともに、活性層領域に均一な電流供給を行なう。さらに発光デバイスとして用いるのみでなく、光増幅デバイスとしても用いる。

40

【発明の効果】

【0012】

この発明により、従来の製造工程に比べて、フォトリック結晶部分の製造プロセスが簡略化できる。また、フォトリック結晶部分を電極として用いるため、活性層領域への電流供給を均一にすることができる。また、その構造上外部からの光の入力も容易に出来るので、光増幅デバイスとしても用いることができる。

【課題を解決するための手段】

【0013】

50

まず、本発明は、半導体基板と、上記の半導体基板上に形成され光学遷移が起こる活性層領域と、上記の活性層領域に形成した導波路と、上記の活性層領域に電流を供給する電極と、を備え、半導体基板表面に沿った導波路をもち、導波路に垂直方向の成分を含む光を出力する半導体光素子に関するものである。

【0014】

上記の半導体光素子において、上記の電極はフォトニック結晶を構成するものでもある。これは、互いに電氣的に接続された導電性の物質で構成し、2次元の周期性のある形状をもつようにして、上記の半導体光素子の導波路の近傍で導波路に沿って形成する。上記の電極は、上記の活性層領域に電氣的に接続する。この電極は、上記の導波路を伝搬する光波に、フォトニック結晶として作用して導波路に垂直な方向に光を導くものであり、上記の2次元の周期性のある形状における周期は、そのフォトニック結晶によって実現されるフォトニックバンドの2次のガンマ点の波長が発光波長と同一になるように決定する。また、上記の電極と半導体基板間に電流を流して、上記の活性層領域に給電する。

10

【0015】

上記の2次元周期性を持つ形状におけるその周期 Δ の設計指針は、大凡使用波長(λ_0)と同程度となるようにすれば良い。但し、使用波長における導波路の等価屈折率(n_e)を考慮して計算しなければならない。従って $\Delta = \lambda_0 / n_e$ である。この周期 Δ を満たした場合、導波路を導波する光が周期 Δ の定在波を形成する。但し、この指針は1次元における2次の回折を使う分布帰還型共振器の設計と同じであり、2次元に起こる導波及び回折現象全てを厳密に取り扱ってはいない。従って厳密に計算する際には、2次元平面に展開される全ての光波の干渉を記述出来る方法で行う。例えば平面波展開法による波数空間でのフォトニックバンド構造計算や、FDTD法(Finite Difference Time Domain Method)による電磁界解析等で精度良く計算できる。

20

【0016】

また、上記の電極は、電流を供給するために導電率の高い物質で形成することが望ましいが、光の周波数領域での誘電損失の比較的小さい物質の導電率は一般に低いので、上記の電極を2層の導電層を含む構造とし、上記の導波路から比較的近い部分に導電率の比較的小さい物質を用い、比較的遠い部分に導電率の比較的大きい物質を用いた多層構造の電極で構成する。

30

【0017】

また、上記の電極の材料としては金属を用いる。

【0018】

また、上記の活性層領域は、レーザ発振や光増幅を行なうために、誘導放出による電子遷移を主とする領域であるとする。

【0019】

あるいは、上記の活性層領域は、発光ダイオードをなすために、自然放出による電子遷移を主とする領域であるとする。

【0020】

また、本発明は、光増幅器を構成するために、外部からの光を上記の導波路に入力する入射導波路をさらに備え、入力した光を上記の活性層領域で増幅して出力するものとする。

40

【0021】

また、本発明は、上記の入射導波路からの光を、上記の電極を通して上記の導波路に入力する構成を備えるものである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下に、この発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。以下の説明においては、同じ機能あるいは類似の機能をもった装置に、特別な理由がない場合には、同じ符号を用いるものとする。

【実施例1】

50

【 0 0 2 3 】

図 1 に、本発明の半導体光デバイスの模式図を示す。これは、LED（発光ダイオード）や半導体レーザを指向するものである。この半導体光デバイスは、N型半導体基板 1 上に、活性層領域 2 と、活性層領域 2 に電流を供給する電極 4 と、を備えている。活性層領域 2 は、クラッド層である P 型領域 2 a、N 型領域 2 b と、導波路領域 3 を備えている。N 型領域 2 b は N 型基板に電氣的に接続されており、また、P 型領域 2 a は電極 4 に電氣的に接続されている。また、電極 4 には配線パッド 5 が接続されており、配線パッド 5 と N 型基板 1 間に順方向の電圧を印加する。ここで、電極 4 は、表面に広がる 2 次元のフォトリソニック結晶を構成しており、その周期は、上記の様に、出力しようとする光の波長の同程度となるようにすれば良い。但し、使用波長おける導波路の等価屈折率（ n_e ）を考慮して計算しなければならない。従って $\Delta \lambda_0 / n_e$ である。この周期 Δ を満たした場合、導波路を導波する光が周期 Δ の定在波を形成する。

10

【 0 0 2 4 】

半導体の PN 極性、及び電源 6 の電圧印加方向を入れ換えることで、同様な機能を持たせることが可能であることは明らかである。また、N 型領域 2 b の機能を N 型半導体基板 1 で済ますことが可能である場合は、これを設けなくてもよい。

【 0 0 2 5 】

導波路領域 3 は、図 2 (a) に示すように、PN 接合でもよいし、図 2 (b) に示すように量子井戸を用いて構成してもよい。さらに、図 2 (c) の様に、量子ドットを用いたものや、図 2 (d) のように多重量子井戸を用いて構成してもよい。要は、発光作用あるいは光増幅作用をもった構成を有することである。

20

【 0 0 2 6 】

活性層領域 2 の端面は空気と接しており、誘電率の違いから光を反射する機能を備えているが、さらに完全な反射を求める場合には、端面に光を反射する手段を設けてもよい。光の反射には、金属膜や多層誘電体膜が有効であることが知られている。

【 0 0 2 7 】

電極 4 は、例えば、図 3 (a) ~ (d) に示す様にリフトオフプロセスによって形成することができる。リフトオフプロセスの特徴は、プロセスダメージが少ないことである。

(a) まず、P 型領域 2 a にレジストパターン 10 を形成する。

(b) Ti (チタン) 層 11 と金属 12 をリフトオフプロセスが可能な厚さに形成する。

30

(c) レジスト層を除去して電極パターンを残す。

(d) 必要に応じて保護膜 13 を形成する。

ここで、Ti 層 11 は密着層として働く。また金属 12 は、電流供給層として働く。必要に応じてさらにこの上に、あるいは金属に代わって、銀層やアルミニウム層を形成してもよい。

【 0 0 2 8 】

上記の様に形成した電極により、導波路の有効屈折率が僅かに変わる。本発明の肝要な点は、この有効屈折率が変化することで、導波路にフォトリソニック結晶としての効果が及ぶことである。平面波展開法を用いたシミュレーションによれば、金属の有り無しで、計算される導波路の有効屈折率差が 0.1% 以上あれば、フォトリソニックバンド構造に有意なバンド開きを確認することができる。このため、導波路計算時に有効屈折率差を少なくとも 0.1% 以上取れる設計をすればよいことが分かる。

40

【 実施例 2 】

【 0 0 2 9 】

図 3 の半導体光デバイスは、光増幅素子を指向するもので、入射導波路である光ファイバ 9 からの光を活性層領域 2 に低損失で導入するための整合領域 8 を備えている。図 3 に示す整合領域 8 は、電極 4 と同時に形成するグレーティングで、この整合領域に電流を供給するための配線 7 を備えている。光ファイバ 9 からの光を活性層領域 2 に低損失で導入するには、導波路領域 3 に捕捉されるように、表面に対して斜めに入射する。ここで、整合領域 8 は、光の入射効率を改善するためのものであり、入射時の損失が無視できるとき

50

にはこれを用いる必要はない。この場合でも、入射は臨界角以内で行えばよいので、従来の縦型共振器の面発光レーザに比べて、緩い制限で入射を行なうことができる。また、活性層領域 2 の端面から光を入射しても光増幅を行なうことが出来ることは明らかである。

【実施例 3】

【0030】

本発明は、図 1 に示す電流励起のほかに光励起によっても動作させることが可能である。以下に、スラブ型(1次元型)導波モードを持つ半導体ヘテロ接合を結晶成長により作製した導波路領域の場合について説明する。

【0031】

6 の周期の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{Sb} / \text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{Sb}$ (厚さ = 4.5 nm / 20 nm) のマルチ量子井戸 (MQWs) を活性層用の物質として使用した。MQWs は厚い AlSb 下側のクラッド層の上に成長し、次に、100 nm の $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{Sb}$ 上部クラッド層を上記の MQW 層の上に分子ビームエピタキシ (MBE) によって成長した。MQW のある位置では、スラブ導波路構造を持っており、そして、光学モードがわずかに表面に浸み出している。MBE 成長の後に、電子ビームリソグラフィー (EBL) で $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$ の 2D 金属 PhCs パターンを作製した。その EBL パターン上に Ti / Au (厚さ = 50 / 500) のデポジションし、リフトオフプロセスによって 2D 金属 PhCs を作製した。作製した 2D 金属 PhCs の走査電子顕微鏡検査写真を図 5 (a) に示す。

【0032】

このようにして作られた 2D 金属 PhCs の平均格子定数 (L_c) を表 1 に示す。

【表 1】

Label	a	b	c	d	e
Average L_c : a (nm)	432.5	435.3	443.9	445.5	449.6

【0033】

2D 金属 PhCs のサイズは、2D 金属 PhCs の 2 次のガンマ端の周波数を MQWs からの光ルミネセンス (PL) スペクトルの周波数に合わせて決定した。PL 測定値が 0.5 の開口数がある対物鏡によって 532 nm の連続波レーザを集光した状態で、2D 金属 PhCs の光学的性質を調査した。PL は室温で測定した。

【0034】

この PhCs は格子定数の 0.3 倍のサイズの正方格子から成る。ここで、TE モードのフォトリックバンド構造は、Ti / Au の有り無しについて、スラブ導波路の実効屈折率 n が変化するので、これを基に計算した。つまり、表面上に金属があるときは、 n は、金属がない場合よりわずかに小さい。PhCs を実現するにあたって、前記大小 2 つの屈折率が、屈折率コントラストとなる。また、TE モードのフォトリックバンドダイアグラムを図 5 (c) に示す。これは、計算によるもので、この計算は平面波展開法を用いて行った。

【0035】

PL の測定結果を図 6 に示す。図 6 は 2D 金属 PhCs について、パターンの有 / 無に従った (図 2 では、W / O PhC で示す) 10 mW 励振での PL 結果を示す。およそ 0.28 - 0.282 (図 6 の挿入) で 2D 金属 PhCs の周期を変えたときに、2D 金属 PhCs からの PL ピーク位置は基準周波数 (L_c / L_a) (但し、 L_c は 2D 金属 PhCs の平均格子定数、 L_a は自由空間での光の波長) に対して変化した。これらは 0.287 (L_c / L_a) のフォトリックバンド構造の計算した 2 次のガンマ端よりわずかに低い値である。しかし、食い違いは数パーセント以内である。これは、上記の計算方法が妥当であることを意味しており、金属の周期的な構造を用いたフォトリック結晶が有効であることを示している。また、2D 金属 PhCs は、実際の励振パワーをおよそ半分減少させている。これは、2D 金属 PhCs が単位パターンあたり 51 % を占めているためであ

10

20

30

40

50

る。しかし、2D金属PhCsの有りの場合は、無しの場合よりPLピーク強度は強い。これらの現象は、ブラッグ回折が外部の量子効率を増加させたことを示している。

【0036】

増加率はサンプルeの場合およそ4である。(PL強度比×実際の励振パワー比)。また、2次ガンマバンド端からの光増幅を観測した。これは、バンド端において光は遅い群速度をもち、これから期待できる光増幅でレーザ動作が可能になる。このため、サンプルeについて、光増幅を明らかにするべく、励起強度に依存するPLを測定した。結果を図7に示す。入力パワーが16から17mWのときに図7の出力特性の傾きに飛びがあり、増幅作用の現れる閾値を得ることができる。これから、2D金属PhCで2次のガンマバンド端の遅い群速度に従ったPL強度増幅を観測することができた。他方では、すべてのサンプルの広いPLスペクトルを得た。これらの広いPLスペクトルは、図5(a)に示す様に、おそらく2D金属PhCの構造での変動に関連している。2D金属PhCの周期の変動は8パーセント程度である。この周期の変動は、ほぼPLの半値全幅(FWHM)に一致するフォトリックバンド構造に影響した。別の可能性は金属の効果である。金属として扱われた2D金属PhCは、光学空洞として動作したが、金属は光の損失を引き起こした。光学空洞では、FWHMは品質(Q)要素を反映する。そのQ要素は、空洞で散逸するパワーの空洞に蓄えられた場のエネルギーの比率によって定義される。従って、2D金属PhCは、光学的損失となる材料を含まない従来のもより低いQ要素を示す。

【産業上の利用可能性】

【0037】

金属領域との光学モード(TE)オーバーラップは0.07%であるにすぎないが、金属による光の損失は低い。実際には、金属による光の損失を無視することができる。従って、正確な2D金属PhCを作ると、FWHMを狭くできるので、レーザ動作を可能にする。

【0038】

また、MQWsの位置が金属に近くできる場合は、光学モードオーバーラップは増加し、そして、金属導波路の実効屈折率nは減少する。この効果(オーバーラップ)は金属で光の損失を増加させるが、後の効果(実効屈折率nの減少)は、金属のあるなしに係わらずスラブ導波路間のより大きいnコントラストが生じ、より良い光学空洞を形成し、フォトリックバンドギャップを増加させる。従って、前記のレーザ動作のためには、それらのバランスを最適化することが望ましい。

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】本発明の半導体光デバイスを示す模式図である。

【図2】活性層領域の構成を示す模式図である。

【図3】フォトリック結晶である電極の形成プロセスを示す模式図である。

【図4】光増幅を行なう半導体光デバイスを示す模式図である。

【図5】(a)は、製作した2D金属PhCsの走査電子顕微鏡検査写真、(b)は、インデックスを、(c)は、バンド図を示す。

【図6】光ルミネセンス(PL)の測定結果を示す図である。

【図7】光ルミネセンスでの増幅作用を示す図である。

【符号の説明】

【0040】

- 1 N型半導体基板
- 2 活性層領域
- 2a P型領域
- 2b N型領域
- 3 導波路領域
- 4 電極
- 5 配線パッド

10

20

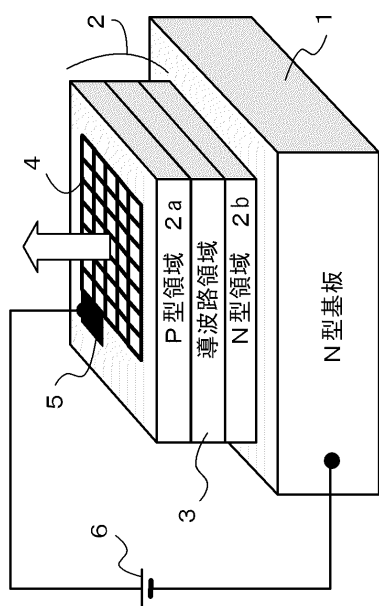
30

40

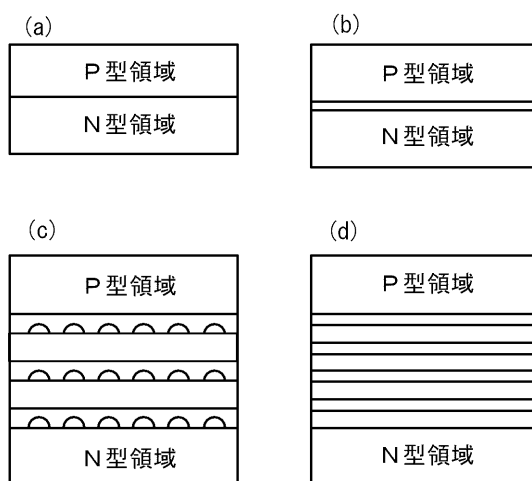
50

- 6 電源
- 7 配線
- 8 整合領域
- 9 光ファイバ
- 10 レジストパターン
- 11 Ti (チタン) 層
- 12 金層

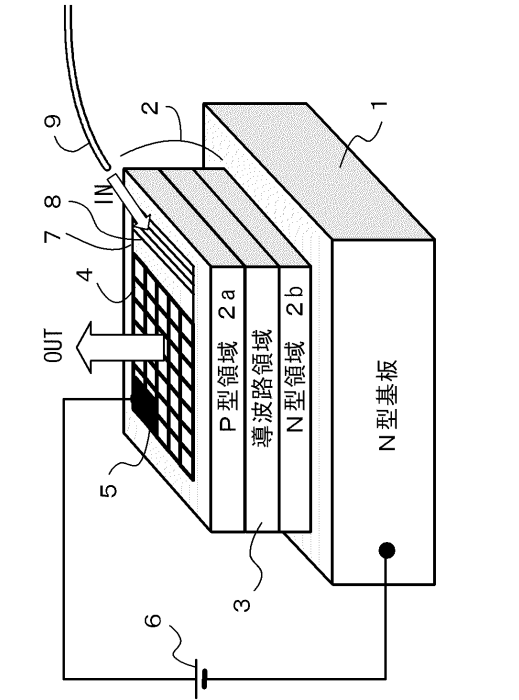
【図 1】



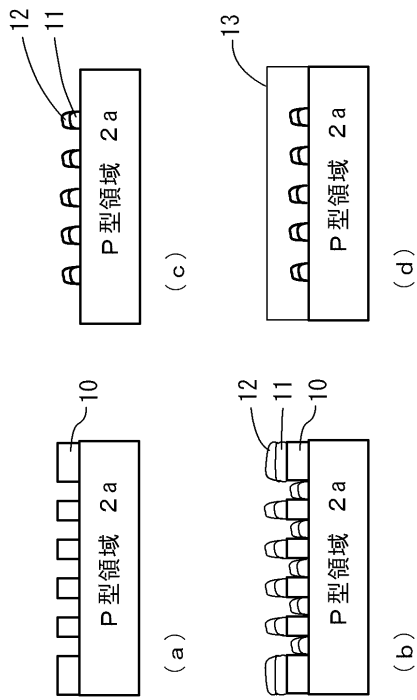
【図 2】



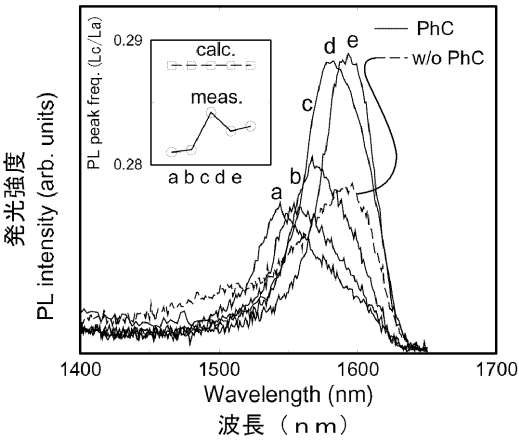
【 図 3 】



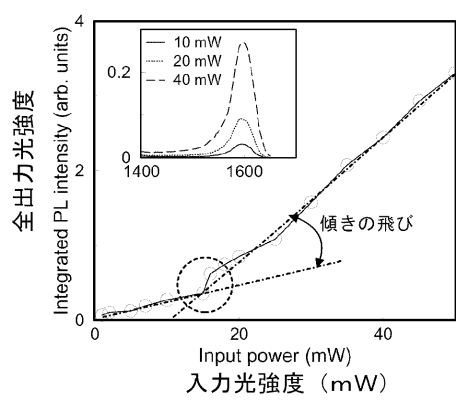
【 図 4 】



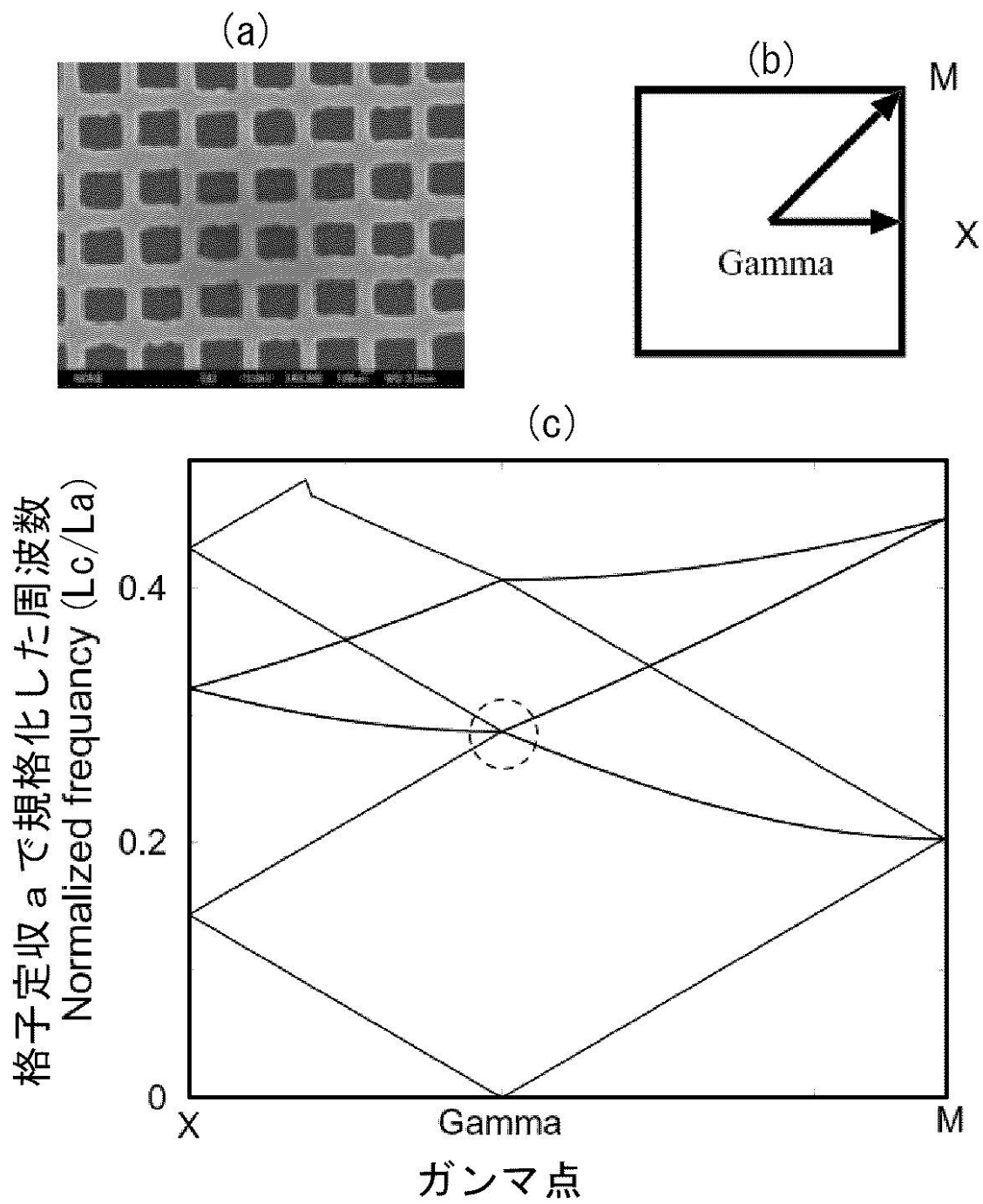
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 赤羽 浩一

東京都小金井市貫井北町 4 - 2 - 1 独立行政法人情報通信研究機構内

(72)発明者 山本 直克

東京都小金井市貫井北町 4 - 2 - 1 独立行政法人情報通信研究機構内

F ターム(参考) 5F041 CA05 CA12 CA22 CA34 CA66 CA83 CA93

5F173 AB52 AH28 AK02 AK20 AP71