

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5163355号
(P5163355)

(45) 発行日 平成25年3月13日(2013.3.13)

(24) 登録日 平成24年12月28日(2012.12.28)

(51) Int.Cl. F I
HO1S 5/125 (2006.01) HO1S 5/125

請求項の数 5 (全 19 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-206074 (P2008-206074) (22) 出願日 平成20年8月8日(2008.8.8) (65) 公開番号 特開2010-45066 (P2010-45066A) (43) 公開日 平成22年2月25日(2010.2.25) 審査請求日 平成22年11月19日(2010.11.19)</p> <p>(出願人による申告)平成20年度、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構、「次世代高効率ネットワークデバイス技術開発」委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 (74) 代理人 100094525 弁理士 土井 健二 (74) 代理人 100094514 弁理士 林 恒徳 (72) 発明者 大坪 孝二 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内 (72) 発明者 山本 剛之 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の電極が形成された、第1の導電型を有する半導体基板と、
 前記半導体基板の上方に形成された長さが5 μm以上150 μm以下の活性層と、
 前記半導体基板の上方に形成され、且つ前記活性層に突き合わせ結合により光学的に接続され、更に前記活性層が生成する光を反射する回折格子を備えた受動光導波層と、
 前記受動光導波層の上方に前記受動光導波層に接して形成され、前記受動光導波層への電流の注入を阻止する電流狭窄層と、
 第2の導電型を有し、前記活性層及び前記電流狭窄層の上方に延在するように形成された上部クラッド層と、
 前記上部クラッド層の上方に形成され、前記活性層の上方を覆い且つ前記受動光導波層の上方に延在する、前記第2の導電型を有するコンタクト層と、
 前記コンタクト層の上方に形成され、前記活性層の上方を覆い且つ前記受動光導波層の上方に延在する第2の電極とを具備し、
 前記活性層に注入される電流が変調される
 半導体レーザ装置。

【請求項2】

前記活性層が回折格子を備えていることを、
 特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ装置。

【請求項3】

前記第 1 及び第 2 の導電型は、夫々 n 型及び p 型であり、
前記電流狭窄層は、半導体絶縁性の半導体層の上に n 型の半導体層が積層されて形成されていることを、

特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 4】

前記電流狭窄層が、第 2 の導電型を有する半導体層の上に第 1 の導電型の半導体層が積層されて形成されていることを、

特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 5】

前記活性層、前記受動光導波層、及び前記上部クラッド層の両脇が、半導体絶縁性の半導体層によって埋め込まれていることを、

特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、共振器長を短くすることによって変調帯域を広くした半導体レーザ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

光通信は、大容量の情報伝送に適した技術である。光通信では、半導体レーザを用いて光信号が生成され、光ファイバーによってこの光信号が伝送される。光通信の大容量化は近年ますます伸展しており、それに伴って光信号のビットレートも増大している。

【0003】

光信号を生成する方法としては、半導体レーザに注入する電流を直接変調する方法や半導体レーザで発生した直流光を外部変調器で変調する方法がある。また、光信号を生成する新たな方法としては、半導体レーザと光変調器が集積化された変調器集積化光源を用意し、当該半導体レーザで発生した直流光を同一基板上に集積化された光変調器で変調する方法がある。

【0004】

これらの中で半導体レーザを直接変調する方法すなわち直接変調方式は、光信号の生成に光変調器を必要としないため、光信号生成装置（送信装置）の構造が簡素であり、且つ光信号生成装置を形成する駆動回路も簡単である。従って、直接変調方式は、光変調器を必要とする他の方法に比べコスト面で優れている。

【0005】

直接変調方式によって増加し続けるビットレートに対応するためには、半導体レーザの変調帯域を、現状の半導体レーザより更に広くする必要がある。

【0006】

よく知られているように、半導体レーザの変調帯域は、上限が半導体レーザの緩和振動数によって制限されている。また、半導体レーザの緩和振動数を高くするためには、半導体レーザの共振器長の短縮化が有効であることもよく知られている（尚、共振器長とは、光共振器に於いて、両端が反射鏡で挟まれた領域の長さのことである。）。

【0007】

光通信用の半導体レーザとしては、単一の波長（単一縦モード）で発振する分布帰還型半導体レーザ（distributed feedback laser; DFB レーザ）が広く用いられている。

【0008】

DFB レーザでは、活性層に沿って回折格子が設けられ、この回折格子によって光共振器が形成される。従って、DFB レーザでは、共振器長と素子長が一致する。故に、DFB レーザを短共振器化するためには、素子自体を短くする必要がある。

【0009】

ところで、一般的に半導体レーザの両端は、へき開によって形成される。従って、半導

10

20

30

40

50

体レーザの素子長の下限は、へき開が可能な半導体基板の最小長さである。一方、素子長が短くなると、へき開後の素子の取り扱いが困難になるという別の問題も発生する。

【0010】

具体的には、半導体レーザの素子長が150 μ m以下になると、へき開もその後の取り扱いも急激に困難になる。

【0011】

故に、DFBレーザの短共振器化は150 μ mが限界である。このため、DFBレーザの短共振器化によって達成できる緩和振動は、高々数GHzに止まっている。

【0012】

そこで、共振器長が素子長に制限されない分布ブラッグ反射器型半導体レーザ(distributed-bragg reflector; DBRレーザ)に基づく、短共振器半導体レーザ装置が提案されている(非特許文献1)。

10

【0013】

図1は、DBRレーザに基づく短共振器半導体レーザ装置(以後、短共振器DBRレーザと呼ぶ)の構成を説明する斜視図である。図1には、短共振器DBRレーザ2が、光の導波方向に沿って大きく切断された状態で描かれている。

【0014】

図1に示された短共振器DBRレーザ2では、InGaAs多重量子井戸で形成された活性層4にInGaAsP製の分布ブラッグ反射器6(以後、DBRと呼ぶ)が光学的に接続されている。短共振器DBRレーザ2の前面側の端面には反射防止膜8が設けられており、後面側の端面には高反射膜10が設けられている。

20

【0015】

すなわち、分布ブラッグ反射器6と高反射膜10によって挟まれた領域に活性領域12が形成され、その中に活性層4が配置されている。

【0016】

非特許文献1に開示された例では、短共振器DBRレーザ2の素子長自体は200~300 μ mと短くはないが、活性領域12の長さは10~100 μ mとDFBレーザに基づく短共振器レーザより格段に短くなっている。

【0017】

このように、DBRレーザに基づけば、半導体レーザの短共振器化は容易に実現できる。

30

【0018】

尚、他の短共振器半導体レーザ装置としては、短共振器DBRレーザに於いて活性層に沿って回折格子を設けたDRレーザ(distributed reflector laser)も提案されている(非特許文献2)。DRレーザも、短共振器DBRレーザと同様、短共振器化が容易な半導体レーザである。

【非特許文献1】IEEE Photon. Technol. Lett. 18, 22, pp. 2383-2385 (2006).

【非特許文献2】IEEE Photon. Technol. Lett. 2, 6, pp. 385-387 (1990).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0019】

ところで、短共振器DBRレーザでは、活性領域の短縮化に合わせて上部電極14も短縮化される(図1参照)。

【0020】

これは、上部電極14が活性層4の上方を食み出してDBR6の上方まで延在していると、活性層4だけでなく、DBR6が形成されている領域18にも電流が注入されてしまうからである(尚、活性層4ではなく、DBR領域18に注入される電流を無効電流と呼ぶこととする。)

【0021】

上部電極14が短くなると、上部電極14が接触する半導体層(コンタクト層)と上部

50

電極 1 4 との接触面積が小さくなる。その結果、コンタクト抵抗（上部電極 1 4 と上部クラッド層 2 0 の間の抵抗）等が増加し、素子抵抗が大きくなる。

【 0 0 2 2 】

このため、短共振器 D B R レーザでは、ジュール熱が大きくなり素子温度が上昇する。素子温度の上昇は、光子密度の低下を招来し、緩和振動周波数の増進を抑制する。

【 0 0 2 3 】

従って、短共振器 D B R レーザで活性領域の短縮化を進めていくと、やがて緩和振動周波数の増進が鈍り、緩和振動周波数が飽和する。由って、変調帯域も飽和する。

【 0 0 2 4 】

この現象は、短共振器 D B R レーザと同様に、D R レーザにも共通する。

10

【 0 0 2 5 】

そこで、本発明の目的は、分布ブラッグ反射器を利用して活性領域の短縮化を図る半導体レーザに於いて、活性領域の短縮化に起因する素子温度の上昇を抑制して、当該半導体レーザの変調帯域を広くすることである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 6 】

上記の目的を達成するために、本半導体レーザ装置は、第 1 の電極が形成された第 1 の導電型を有する半導体基板と、前記半導体基板の上方に形成された活性層と、前記半導体基板の上方に形成され、且つ前記活性層に光学的に接続され、更に前記活性層が生成する光を反射する回折格子を備えた受動光導波層と、前記受動光導波層の上方に形成され、前記受動光導波層への電流の注入を阻止する電流狭窄層と、第 2 の導電型を有し、前記活性層及び前記電流狭窄層の上方に延在するように形成された上部クラッド層と、前記上部クラッド層の上方に形成され、前記活性層の上方を覆い且つ前記受動光導波層の上方に延在する、前記第 2 の導電型を有するコンタクト層と、前記コンタクト層の上方に形成され、前記活性層の上方を覆い且つ前記受動光導波層の上方に延在する第 2 の電極とを具備する。

20

【発明の効果】

【 0 0 2 7 】

本半導体レーザ装置によれば、分布ブラッグ反射器を利用して光共振器長の短縮化を図る半導体レーザに於いて、光共振器の短縮化に起因する素子温度の上昇を抑制して、当該半導体レーザの変調帯域を広くすることができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 8 】

以下、図面にしたがって本発明の実施の形態について説明する。但し、本発明の技術的範囲はこれらの実施の形態に限定されず、特許請求の範囲に記載された事項とその均等物まで及ぶものである。

【 0 0 2 9 】

最初に、短共振器 D B R レーザ等に於いて、変調帯域の拡大が飽和する理由を理論式に基づいて説明する。

【 0 0 3 0 】

よく知られているように、半導体レーザの緩和振動周波数 f_r は、以下の式で表される。

40

【 0 0 3 1 】

【数 1】

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{v_g \frac{dg}{dn} \frac{S_0}{\tau_p}} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

【 0 0 3 2 】

ここで、 v_g は、光共振器内における光の群速度である。また、 g 及び n は、夫々半導

50

体レーザの利得及び活性層のキャリア濃度である。また、 dg/dn は半導体レーザの微分利得である。また S_0 は光子密度であり、 τ_p は光子寿命である。

【0033】

この式から明らかのように、緩和振動数 f_r は光子密度 S_0 の平方根に比例する。従って、光子密度 S_0 が低下すると、緩和振動数 f_r が低下する。

【0034】

ここで、光子密度 S_0 は、以下の式で表される。

【0035】

【数2】

$$S_0 = \frac{I - I_{th}}{qLwdvg_{th}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

10

【0036】

ここで、 I は半導体レーザへの注入電流であり、 I_{th} はしきい値電流である。 q は、素電荷である。 L 、 w 、及び d は、夫々活性層の長さ、幅、及び厚さである。また、 g_{th} はしきい値利得である。

【0037】

式(2)から明らかのように、光子密度は、共振器長 L に反比例する。従って、共振器長を短くすると、光子密度が上昇し、緩和振動周波数 f_r が高くなる(式(1)及び(2)参照)。

20

【0038】

一方、活性領域長が短くなると素子抵抗が大きくなり、ジュール熱が増加して素子温度が上昇する。素子温度の上昇は、漏れ電流の増大を招来する。

【0039】

ここで、漏れ電流としては、活性層4に注入されない電流や活性層4から溢れ出る電流がある。活性層4に注入されない電流としては、活性層4を迂回してDBR領域18に注入される電流や、半導体レーザの埋め込み層を流れる電流がある。

【0040】

式(2)では、このような漏れ電流は考慮されていない。従って、式(2)に代入する電流値 I としては、半導体レーザに注入した電流から漏れ電流を差し引いた電流値を使用しなければならない。

30

【0041】

故に、素子温度が上昇すると漏れ電流が増加して電流値 I が低下し、光子密度 S_0 が低下する。

【0042】

由って、注入電流を一定として共振器長を短くしていくと、最初は、共振器長に反比例して光子密度 S_0 が増加し、緩和振動周波数が増加する。しかし、共振器中の活性領域長の短縮化が進行すると、素子抵抗が増大し素子温度が上昇し始める。その結果、漏れ電流が増加して共振器長短縮化の効果が相殺される。その結果、光子密度 S_0 が飽和し、緩和振動周波数の上昇も飽和する。

40

【0043】

このように、分布ブラッグ反射器を利用して光共振器長の短縮化を図る半導体レーザ(例えば、短共振器DBRレーザやDRレーザ)に於いて共振器長を短くすると、変調帯域は、最初は増進するが、やがて飽和する。

【0044】

このような変調帯域の飽和現象を解消するには、短共振器化に伴う素子抵抗の増加を回避することが有効と考えられる。しかしながら、上述したように、従来の短共振器半導体レーザでは、短共振器化に伴う素子抵抗の増大は不可避である。

【0045】

50

そこで、以下、各実施の形態に従って、光共振器を短縮化しても素子抵抗の増加を抑制し、従って変調帯域の一層の拡大が可能な短共振器半導体レーザ装置について説明する。

【0046】

なお、式(1)に式(2)を代入すると、緩和振動周波数 f_r は、以下のように表される。

【0047】

【数3】

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{dg}{dn} \frac{I - I_{th}}{Lwdqg_{th}\tau_p}} \quad \dots\dots (3)$$

10

【0048】

式(3)を参照すると、光子寿命等が一定の場合には、共振器長の平方根に反比例して緩和振動周波数が高くなることが分かる。

【0049】

(実施の形態1)

本実施の形態は、素子長の短縮化に起因する素子抵抗の増加を抑制して、変調帯域の飽和現象を解消した短共振器DBRレーザに関する。

【0050】

20

(1)構成

図2は、本実施の形態に従う短共振器DBRレーザ24(本実施の形態に従う半導体レーザ装置)の平面図である。図3は、夫々図2のA-A線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する図である。尚、図2には、後述する活性層4、受動光導波層28、及び回折格子26が透視された状態で図示されている。

【0051】

また、図4(a)及び図4(b)は、夫々、図2のB-B線、及びC-C線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する図である。尚、図面が異なっても対応する部分には同一符号が付され、その説明は省略される(他の実施の形態及び変形例に於いても同じである)。

30

【0052】

本実施の形態に従う短共振器DBRレーザ24は、図2乃至図4に示しように、第1の電極(下部電極16)が形成された、第1の導電型(例えばn型)を有する、半導体基板20を具備している。

【0053】

また、本短共振器DBRレーザ24は、上記半導体基板20の上に形成された活性層4を具備している。

【0054】

また、本短共振器DBRレーザ24は、上記半導体基板20の上に形成され、且つ上記活性層4に光学的に接続され、更に、上記活性層4が生成する光を反射する回折格子26を備えた受動光導波層28を具備している。ここで回折格子26の周期は、本短共振器DBRレーザ24の予定発振波長に対してブラッグ条件を満たすように形成される。すなわち、上記「回折格子を備えた受動光導波層」とは、分布ブラッグ反射器(DBR)のことである。

40

【0055】

ここで、「回折格子を備えた受動光導波層」とは、当該受動光導波層を伝播する光に屈折率(又は、誘電率)の周期的変化を及ぼす回折格子を備えた受動光導波層のことをいう。例えば、図3に図示された受動光導波層28のように、受動光導波層に沿って回折格子が設けられ受動光導波層が、「回折格子を備えた受動光導波層」の一例である。

【0056】

50

また、本短共振器 D B R レーザ 2 4 は、上記受動光導波層 2 8 の上に形成され、上記受動光導波層 2 8 への電流の注入を阻止する電流狭窄層 3 0 を具備している。

【 0 0 5 7 】

また、本短共振器 D B R レーザ 2 4 は、第 2 の導電型（例えば p 型）を有し、上記活性層 4 及び上記電流狭窄層 3 0 の上に延在するように形成された上部クラッド層 3 2 を具備している。

【 0 0 5 8 】

更に、本短共振器 D B R レーザ 2 4 は、上記上部クラッド層 3 2 の上に形成され、上記活性層 4 の上方を覆い且つ上記受動光導波層 2 8 の上方に延在する、第 2 の導電型（例えば p 型）を有するコンタクト層 3 4 と、上記コンタクト層 3 4 の上に形成された第 2 の電極（上部電極 3 6）を具備する。

10

【 0 0 5 9 】

本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、回折格子 2 6 を備えた受動光導波層 2 8（D B R）によって光共振器が形成され、その中に活性層 4 が配置されている。

【 0 0 6 0 】

ところで、本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、コンタクト層 3 4 が上記活性層 4 の上方を覆い且つ上記受動光導波層 2 8（D B R）の上方に延在している。従って、活性層 4 の長さ即ち共振器長を短くしても、コンタクト抵抗（上部電極 3 6 と上部クラッド層 3 2 の間の抵抗）等が大きくなって素子抵抗が高くなることはない。言い換えるならば、本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、共振器長（活性層 4 の長さ）を短くしても上部電極 3 6 の長さが一定なので、共振器長を短くしても素子抵抗の増加を抑制することができる（但し、素子長が一定の場合。）。

20

【 0 0 6 1 】

従って、本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、短共振器化による素子温度の上昇が抑えられる。

【 0 0 6 2 】

しかも、本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、電流狭窄層 3 0 によって、受動光導波層 2 8 への電流注入が阻止される。このため、上部電極 3 6 から注入された電流は、受動光導波層 2 8 には供給されず、殆どが活性層 4 に注入される。すなわち、上部電極 3 6 から注入された電流は、電流狭窄層 3 0 によって狭窄されて活性層 4 に集中的に注入される。

30

【 0 0 6 3 】

故に、本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、注入された電流の殆どが活性層 4 に供給されるので、上部電極 3 6 を受動光導波層 2 8（D B R）の上方に延在させても無効電流は発生しない。

【 0 0 6 4 】

従って、本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、活性層 4 ではなく受動光導波路層 2 8 に注入される無効電流は存在せず、しかも共振器長を短くしても素子温度が上昇しない。由って、本短共振器 D B R レーザ 2 4 によれば、変調帯域の飽和現象は解消され、変調帯域が広がる。

40

【 0 0 6 5 】

ここで、活性領域長（レーザ光の進行方向における活性層 4 の長さ）は、へき開によって形成可能な素子長 1 5 0 μm より短いことが好ましく、更に好ましくは 1 0 0 μm 以下である。このような場合に、本短共振器 D B R レーザ 2 4 は、従来の短共振器半導体レーザより変調帯域が広がる。

【 0 0 6 6 】

一方、共振器長が短くなり過ぎるとミラー損失が増大してレーザ発振が困難になる。従って、共振器長は、5 μm 以上が好ましく、更に好ましくは 1 0 μm 以上である。

【 0 0 6 7 】

（ 2 ）製造方法

次に、製造手順に従って、本実施の形態に従う短共振器 D B R レーザ 2 4 の構成を詳し

50

く説明する。

【0068】

図5は、本実施の形態に従う短共振器DBRレーザ24の製造手順を説明するフロー図である。図6及び図7は、本短共振器DBRレーザ24の製造手順を説明する工程平面図である。図8及び図9は、本短共振器DBRレーザ24の製造手順を、図6又は図7のA-A線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する工程図である。図10(a)は、本実施の形態に従う短共振器DBRレーザ24の製造手順を、図7のB-B線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する工程図である。図10(b)は、本実施の形態1に従う短共振器DBRレーザの製造手順を、図7のC-C線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する工程図である。尚、特に断らない限り、下記各半導体層は、有機金属気相成長法によ

10

【0069】

(i) 回折格子等の形成(ステップS1)

まず、分布ブラッグ反射器(DBR)の形成が予定されているn型のInP基板38の上に、回折格子26が、電子ビーム露光と反応性イオンエッチングによって形成される(図6(a)及び図8(a)参照)。尚、図6及び図7には、成長膜の内部を透視した状態で回折格子26が図示されている。

【0070】

次に、回折格子26の形成されたn型InP基板38の上に、組成波長が $1.15\mu\text{m}$ で厚さ70nmのn型InGaAsP層40と、厚さが30nmのn型InP層42が順次形成される(図8(a)参照)。

20

【0071】

次に、n型InP層42の上に、圧縮応力を内在する歪量子井戸44と厚さ100nmの第1のp型InP層46を順次形成する(図6(a)及び図8(a)参照)。

【0072】

ここで歪量子井戸44は、AlGaInAs製の量子井戸と障壁層によって形成される。そして、歪量子井戸44を形成する各半導体層(量子井戸層及び障壁層)の組成及び膜厚は、歪量子井戸44の発光波長が1300nmになるように設定されている。

【0073】

本実施の形態では、n型InP基板38(組成波長は $0.92\mu\text{m}$)が、活性層4で発生する光に対して透明で、且つ後述する受動光導波層28及び活性層4より屈折率が低い。従って、n型InP基板38は下部クラッド層として機能する。但し、n型InP製の下部クラッド層を、回折格子26の下側に設けてもよい。

30

【0074】

しかし、GaAs基板の上にGaAs製(又はAlGaAs製)の活性層を設けて、半導体レーザを製造する場合等には、半導体基板と活性層(及び受動光導波層)の間に下部クラッド層を形成する必要がある。

【0075】

(ii) 活性層及び受動光導波層の形成(ステップS2)

次に、活性層4の形成予定領域の上に、化学気相成長法とフォトリソグラフィ技術を用いて、厚さ300nmのSiO₂膜48を形成する。

40

【0076】

次に、このSiO₂膜48をエッチングのマスクとして、第1のp型InP層46及び歪量子井戸44をウェットエッチングする(図6(b)及び図8(b)参照)。

【0077】

次に、SiO₂膜48を選択成長膜として、歪量子井戸44と同じ厚さのAlGaInAs層50を成長する(図6(b)及び図8(b)参照)。ここで、AlGaInAs層50の組成波長は $1.15\mu\text{m}$ である。

【0078】

本ステップによってウェットエッチングされずに残された歪量子井戸44は、活性層4

50

となる。一方、ウェットエッチングされた歪量子井戸 4 4 の後に再成長された AlGaInAs 層 5 0 は、受動光導波層 2 8 となる。

【 0 0 7 9 】

ここで、活性層 4 と受動光導波層 2 8 は、上記再成長によって突合せ接合され、光学的に接続される。

【 0 0 8 0 】

(i i i) 電流狭窄層の形成 (ステップ S 3)

AlGaInAs 層 5 0 の形成後、結晶成長を中断せずに、Fe をドーピングした InP 層 5 2 と、n 型 InP 層 5 4 を成長する (図 6 (c) 及び図 8 (c) 参照)。

【 0 0 8 1 】

Fe がドーピングされた InP 層 5 2 は半導体絶縁性になり、受動光導波層 2 8 への電流の注入を阻止する。

【 0 0 8 2 】

一方、n 型 InP 層 5 4 は、後述する第 2 の p 型 InP 層 5 6 の不純物 (Zn 等) と Fe ドープ InP 層 5 2 の Fe が相互拡散して、InP 層 5 2 の半絶縁性消滅を防止するためのものである。

【 0 0 8 3 】

この Fe がドーピングされた InP 層 5 2 と n 型 InP 層 5 4 によって、電流狭窄層 3 0 が形成される。尚、電流狭窄層 3 0 は、全体で 100nm の厚さになるように形成される。

【 0 0 8 4 】

(i v) 上部クラッド層及びコンタクト層の形成 (ステップ S 4)

次に、SiO₂ 膜 4 8 が、HF を主成分とするエッチャントによって除去される。

【 0 0 8 5 】

次に、SiO₂ 膜 4 8 の除去された半導体層の上に、厚さ 1500nm の第 2 の p 型 InP 層 5 6 が形成される。その後、結晶成長を中断せずに、厚さ 200nm の p 型 InGaAs 層 5 8 が形成される (図 7 (a) 及び図 9 (a) 参照)。

【 0 0 8 6 】

本ステップで形成された第 2 の p 型 InP 層 5 6 は、ステップ S 1 で形成された第 1 の p 型 InP 層 4 6 と一体となって、上部クラッド層 3 2 を形成する。

【 0 0 8 7 】

一方、p 型 InGaAs 層 5 8 は、コンタクト層 3 4 となる。

【 0 0 8 8 】

(v) 埋め込み層の形成 (ステップ S 5)

次に、化学気相成長法とフォトリソグラフィ技術によって、本短共振器 DBR レーザ 2 4 の主要部 (埋め込み層以外の部分) の形成予定位置にストライプ状 (直線状) の SiO₂ 膜 6 0 (厚さ 500nm) が形成される (図 7 (b) 参照)。

【 0 0 8 9 】

次に、SiO₂ 膜 6 0 をエッチングマスクとして反応性イオンエッチングによって、n 型 InP 基板 3 8 に到達するエッチングが実施される。このエッチングによって、高さ 3000nm のメサ 6 2 が形成される (図 10 (a) 及び図 10 (b) 参照)。尚、図 10 (a) は、受動光導波層 2 8 を横切る断面図である。一方、図 10 (b) は、活性層 4 を横切る断面図である。

【 0 0 9 0 】

次に、SiO₂ 膜 6 0 を選択成長膜として、Fe がドーピングされた InP 層 6 4 が形成される (図 7 (b)、図 10 (a)、及び図 10 (b) 参照)。この半絶縁性の InP 層 6 4 はメサ 6 2 を埋め込んで、埋め込み層 6 6 となる。

【 0 0 9 1 】

ここで、埋め込み層 6 6 は、活性層 4 及び受動光導波層 2 8 を伝播する光を (メサ 6 2 の) 横方向で閉じ込める。同時に、埋め込み層 6 6 は、短共振器 DBR レーザ 2 4 に注入された電流を (メサ 6 2 の) 横方向に閉じ込める。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 2 】

すなわち、本ステップでは、活性層 4、受動光導波層 2 8、及び上部クラッド層 3 2 の両脇が、半導体絶縁性の半導体層 6 4 によって埋め込まれる。

【 0 0 9 3 】

(v i) 電極の形成 (ステップ 6)

次に、n型InP基板 3 8 の裏面に、AuGe/Au電極 6 8 (下部電極 1 6) が形成される (図 9 (b) 参照)。

【 0 0 9 4 】

次に、コンタク層 3 4 の上にAuZn/Au電極 7 0 が (上部電極 3 6) 形成される (図 9 (b) 参照)。

10

【 0 0 9 5 】

(v i i) 個別素子化 (ステップ S 7)

次に、上記ステップによって形成された構造体がヘキ開かれて、個々の素子に分割される。

【 0 0 9 6 】

最後にヘキ開面に無反射コーティング膜 7 2 が形成されて、本短共振器 D B R レーザ 2 4 が完成する (図 7 (c) 及び図 9 (b))。

【 0 0 9 7 】

(3) 動作

次に、本短共振器 D B R レーザ 2 4 のレーザ発振動作について説明する。

20

【 0 0 9 8 】

まず、本短共振器 D B R レーザ 2 4 がレーザ光を生成する動作について説明する。

【 0 0 9 9 】

本短共振器 D B R レーザ 2 4 を動作させるためには、図示されていない電源の正極及び負極が、夫々、上部電極 3 6 及び下部電極 1 6 に接続される。

【 0 1 0 0 】

次に、この電源から、上部電極 3 6 に電流が注入される。

【 0 1 0 1 】

上部電極 3 6 から注入された電流は、電流狭窄層 3 0 によって活性層 4 に集中的に注入される。活性層 4 に注入された電流は、活性層 4 の光利得を上昇させ、回折格子 2 6 と受動光導波層 2 8 によって形成された一対の D B R の間にレーザ光を発生する。

30

【 0 1 0 2 】

本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、活性領域の長さが $150\mu\text{m}$ より短い。しかも、上部電極 3 6 が受動光導波層 2 8 の上方に延在しているため、上部電極 3 6 のコンタクト抵抗は低い。このため、素子抵抗に由来するジュール熱の発熱が抑制される。

【 0 1 0 3 】

故に、容易に高い緩和振動周波数を得ることができる。

【 0 1 0 4 】

このようにして生成されたレーザ光は、無反射コーティング膜 7 2 が形成された両端面から放射されて出射光 7 4 となる (図 3 参照)。

40

【 0 1 0 5 】

本短共振器 D B R レーザ 2 4 を直接変調して光信号を生成する場合には、上記電源から本短共振器 D B R レーザ 2 4 に注入される電流が変調される。注入電流が閾値を超えている間、本短共振器 D B R レーザ 2 4 は、上記動作に従ってレーザ光を生成する。

【 0 1 0 6 】

ここで、本短共振器 D B R レーザ 2 4 では、共振器長を短縮すれば、緩和振動周波数は飽和することなく増加する。従って、本短共振器 D B R レーザ 2 4 によれば、従来の短共振器半導体レーザを凌ぐ、広変調帯域が実現される。

【 0 1 0 7 】

(実施の形態 2)

50

本実施の形態は、受動光導波層に加え活性層が回折格子を備えている半導体レーザ装置（DRレーザ）に関する。

【0108】

（１）構成

図11は、本実施の形態に従う半導体レーザ装置（DRレーザ）76の、レーザ光の進行方向に沿った断面図である。

【0109】

本半導体レーザ装置76の構成は、活性層4も回折格子78を備えている点を除いて、実施の形態1の短共振器DBRレーザと同じである。従って、回折格子78以外の構成部分については、説明が省略される。

10

【0110】

図11に示すように、本短共振器半導体レーザ装置76では、回折格子78が受動光導波層28の（下側の）近傍だけでなく、活性層4の（下側の）近傍にも形成されている。

【0111】

ここで、回折格子78のブラッグ波長は、活性層4の下側でも、短共振器半導体レーザ装置76が予定発振波長で発光するように形成されている。なお、回折格子78は、活性層4の中央下側で、所謂1/4シフトしていることが好ましい。

【0112】

（２）製造方法

本実施の形態に従う短共振器半導体レーザ装置76の製造方法は、受動光導波層28及び活性層4の形成予定領域に亘って、n型InP基板38の表面に回折格子78を形成する点を除き、実施の形態1に従う製造方法と略同じである。

20

【0113】

（３）動作

本実施の形態に従う短共振器半導体レーザ装置76は、実施の形態1の短共振器DBRレーザに準じて動作する。従って、詳しい説明は省略する。

【0114】

（実施の形態3）

本実施の形態は、実施の形態1に従う短共振器半導体レーザ装置に於いて、回折格子が受動光導波層に形成された短共振器半導体レーザ装置に関する。

30

【0115】

（１）構成

図12は、本実施の形態に従う短共振器半導体レーザ装置80の、レーザ光の進行方向に沿う断面図である。図13は、本実施の形態に従う短共振器半導体レーザ装置80の光の進行方向に垂直な断面図である。ここで、図13（a）は、受動光導波層28を垂直に横切る断面図である。一方、図13（b）は、活性層4を垂直に横切る断面図である。

【0116】

図12及び図13に示すように、本短共振器半導体レーザ装置80には、受動光導波層28の下側近傍に設けられるn型InGaAsP層40（図3参照）ではなく、受動光導波層28に直接回折格子26が形成される。その他の点では、本短共振器半導体レーザ装置80の構成は、実施の形態1の短共振器半導体レーザ装置24と略同じである（従って、本短共振器半導体レーザ装置80には、n型InGaAsP層40は設けられない。）。

40

【0117】

（２）製造方法及び動作

本短共振器半導体レーザ装置80は、実施の形態1の製造方法に準じて製造される。また、本短共振器半導体レーザ装置80は、実施の形態1の短共振器半導体レーザ装置24の動作に準じて動作する。

【0118】

従って、短共振器半導体レーザ装置80の製造方法及び動作に関する説明は省略する。

【0119】

50

(変形例 1)

以上説明した例では、FeをドーピングしたInP層52とn型InP層54が積層されて電流狭窄層30が形成される。

【0120】

しかし、異なる構造の半導体層によって、電流狭窄層が形成されてもよい。

【0121】

図14乃至図16は、夫々、実施の形態1乃至3に於ける短共振器半導体レーザ装置において、電流狭窄層30が、p型半導体層84の上にn型半導体層86が積層されたpn電流ブロック層88によって形成された場合の断面図である。

【0122】

本変形例に従う短共振器半導体レーザ装置でも、上部電極36から注入された電流は活性層4に集中する。従って、上部電極36が受動光導波層28の上方に延在するように形成されても、受動光導波層28に電流が注入されることはない。

【0123】

(変形例 2)

図17は、本変形例に従う短共振器半導体レーザ装置82のレーザ光の進行方向に沿った断面図である。

【0124】

実施の形態2に従うDRレーザ76では、受動光導波層28及び活性層4の下側近傍に設けられたn型InGaAsP層40に回折格子78が形成されている。

【0125】

しかしながら、本短共振器半導体レーザ装置82では、回折格子90が受動光導波層28及び活性層4に直接形成される。

【0126】

その他の点では、本短共振器半導体レーザ装置82の構成は、実施の形態2のDRレーザ76と略同じである。

【0127】

尚、本短共振器半導体レーザ装置82の製造方法及び動作は、実施の形態2のDRレーザ76の製造方法及び動作に準じる。従って、製造方法及び動作の説明は省略する。

【0128】

(変形例 3)

図18は、本変形例に従う短共振器半導体レーザ装置92のレーザ光の進行方向に沿った断面図である。

【0129】

変形例2に従う短共振器半導体レーザ装置92では、FeをドーピングしたInP層52とn型InP層54が積層されて電流狭窄層30が形成される。

【0130】

一方、本変形例に従う短共振器半導体レーザ装置92では、電流狭窄層30が、p型半導体層84の上にn型半導体層86が積層されたpn電流ブロック層88によって形成される。

【0131】

本変形例に従う短共振器半導体レーザ装置でも、上部電極36から注入された電流は活性層4に集中する。従って、上部電極36が受動光導波層28の上方に延在するように形成されても、受動光導波層28に電流が注入されることはない。

【0132】

上述した例は、n型InPを基板として、その上にAlGaInAs製の歪量子井戸層を活性層として形成した、短共振器半導体レーザ装置に関するものである。しかし、上記各例に従う短共振器半導体レーザ装置を形成する材料は、これらの材料に限られなくてもよい。

【0133】

また、上述した短共振器半導体レーザ装置の動作波長は、 $1.3\ \mu\text{m}$ である。しかし、

10

20

30

40

50

上記各例に従う短共振器半導体レーザ装置の動作波長は1.3 μmに限られなくてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0134】

【図1】DBRレーザに基づく短共振器半導体レーザ装置の構成を説明する斜視図である。

【図2】実施の形態1に従う短共振器DBRレーザの平面図である。

【図3】図2のA-A線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する図である。

【図4】図2のB-B線及びC-C線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する図である。

10

【図5】実施の形態1に従う短共振器DBRレーザの製造手順を説明するフロー図である。

【図6】実施の形態1に短共振器DBRレーザの製造手順を説明する工程平面図である(その1)。

【図7】実施の形態1に従う短共振器DBRレーザの製造手順を説明する工程平面図である(その2)。

【図8】実施の形態1に従う短共振器DBRレーザの製造手順を、図6又は図7のA-A線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する工程図である(その1)。

【図9】実施の形態1に従う短共振器DBRレーザの製造手順を、図6又は図7のA-A線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する工程図である(その2)。

20

【図10】実施の形態1に従う短共振器DBRレーザの製造手順を、B-B線及びC-C線に於ける断面を矢印の方向から見て説明する工程図である。

【図11】実施の形態2に従う短共振器半導体レーザ装置(DBRレーザ)の、レーザ光の進行方向に沿う断面図である。

【図12】実施の形態3に従う短共振器半導体レーザ装置の、レーザ光の進行方向に沿う断面図である。

【図13】実施の形態3に従う短共振器半導体レーザ装置の、レーザ光の進行方向に垂直な断面図である。

【図14】変形例1に従う短共振器半導体レーザ装置のレーザ光の、進行方向に沿った断面図である(その1)。

30

【図15】変形例1に従う短共振器半導体レーザ装置のレーザ光の、進行方向に沿った断面図である(その2)。

【図16】変形例1に従う短共振器半導体レーザ装置のレーザ光の、進行方向に沿った断面図である(その3)。

【図17】変形例2に従う短共振器半導体レーザ装置の、レーザ光の進行方向に沿った断面図である。

【図18】変形例3に従う短共振器半導体レーザ装置の、レーザ光の進行方向に沿った断面図である。

【符号の説明】

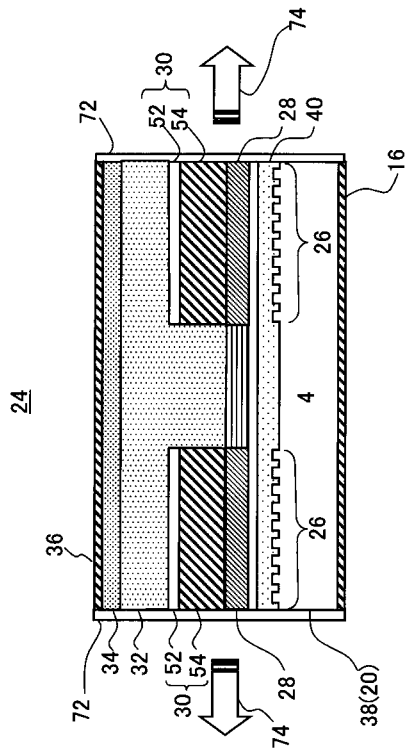
【0135】

40

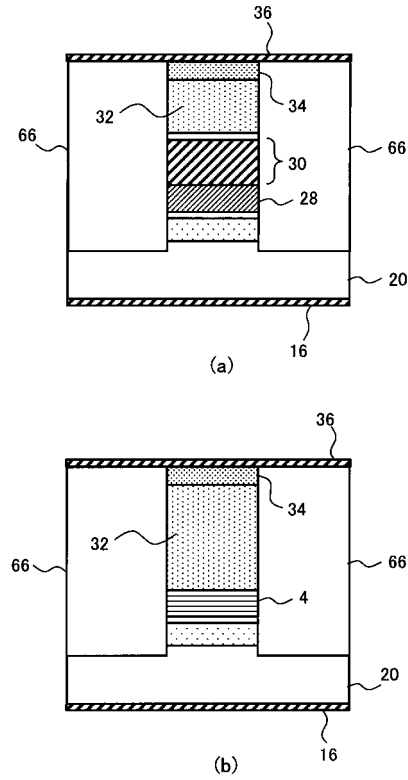
- 2・・・短共振器DBRレーザ(関連技術)
- 4・・・活性層
- 6・・・分布ブラッグ反射器(DBR)
- 8・・・反射防止膜
- 10・・・高反射膜
- 12・・・光共振器
- 14・・・上部電極
- 16・・・下部電極
- 18・・・DBRが形成されている領域
- 20・・・半導体基板
- 22・・・上部クラッド層
- 24・・・短共振器DBRレーザ(実施の形態1等)
- 26・・・回折格子
- 28・・・受動光導波層
- 30・・・電流狭窄層
- 32・・・上部クラッド層
- 34・・・コンタクト層
- 36・・・上部電極
- 38・・・n型InP基板
- 40・・・n型InGaAsP層

50

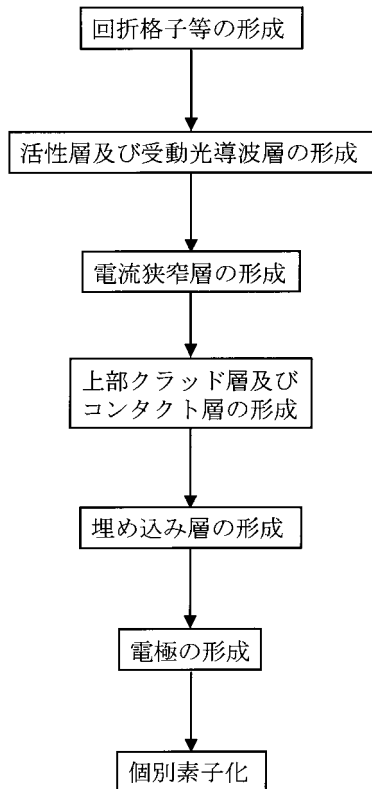
【図3】



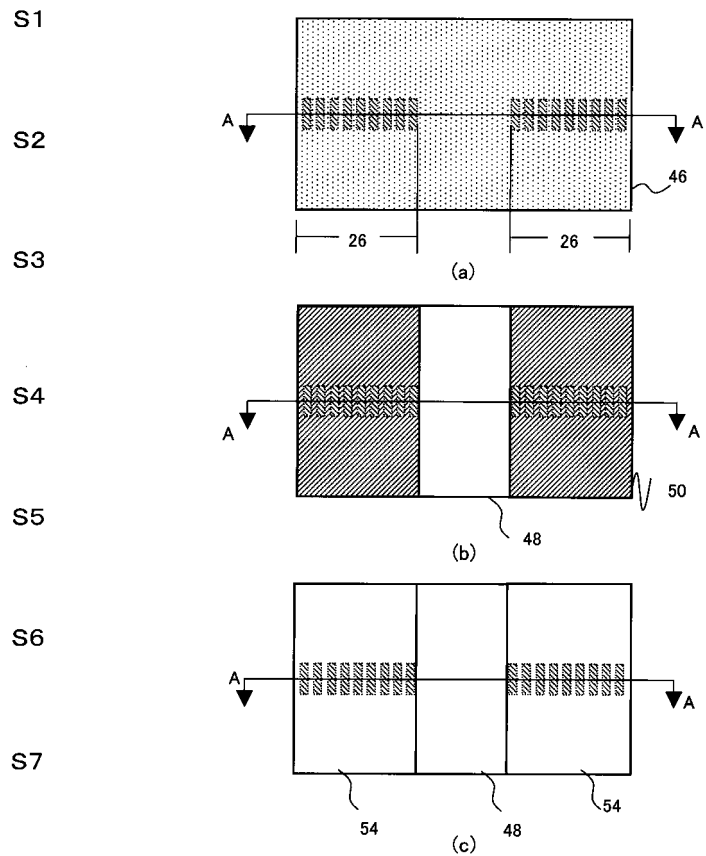
【図4】



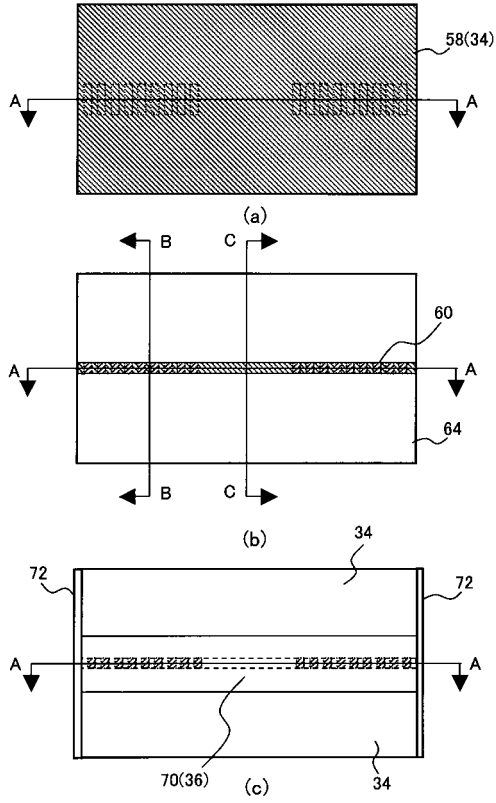
【図5】



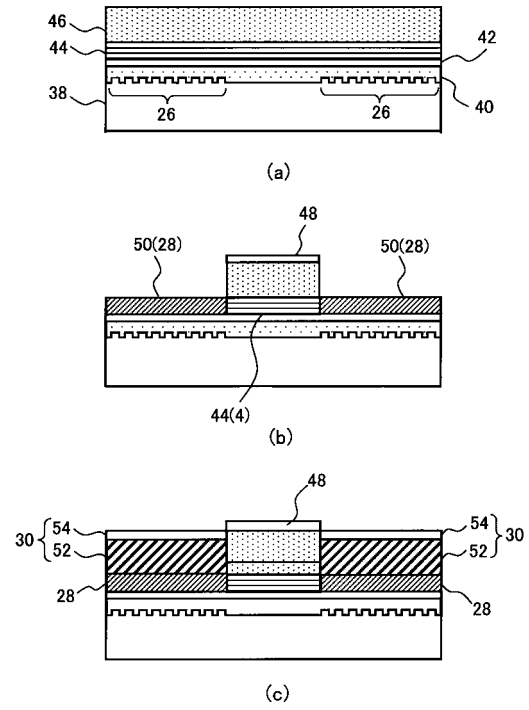
【図6】



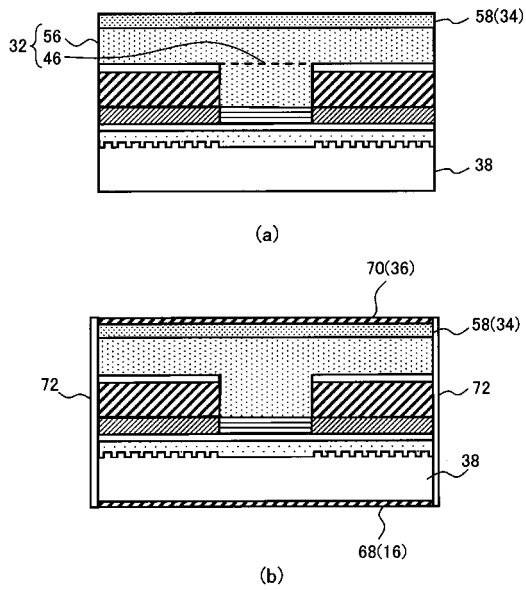
【 図 7 】



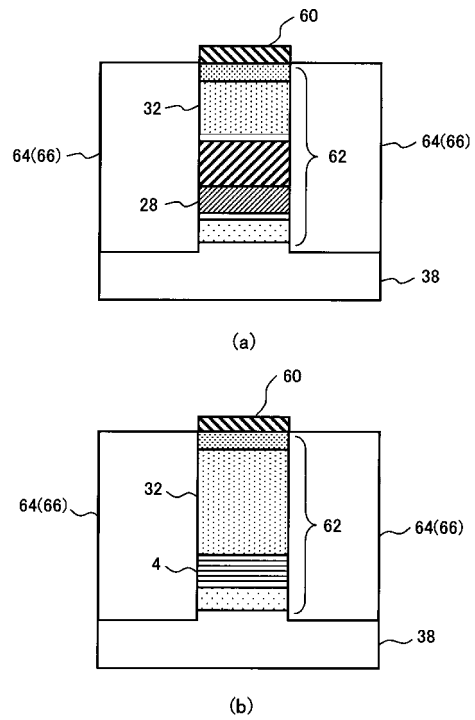
【 図 8 】



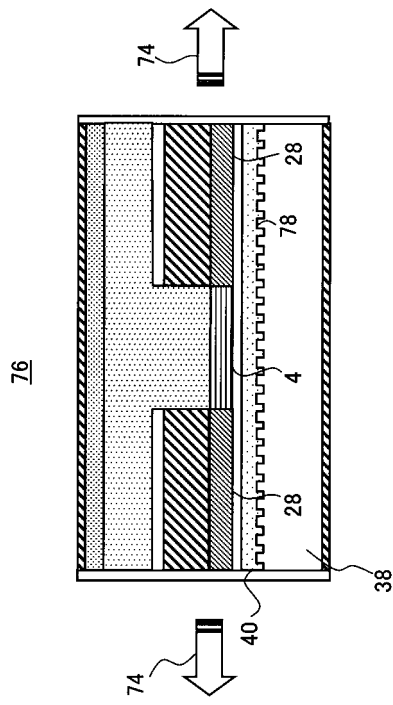
【 図 9 】



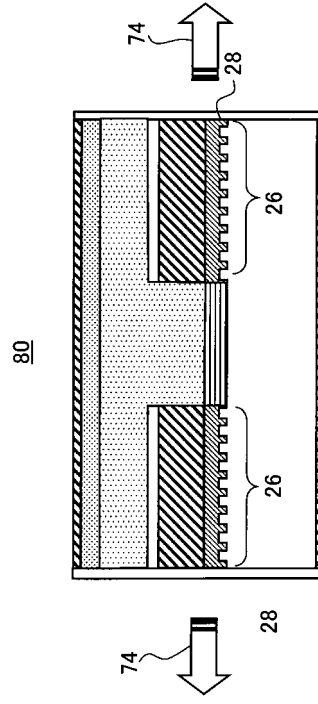
【 図 10 】



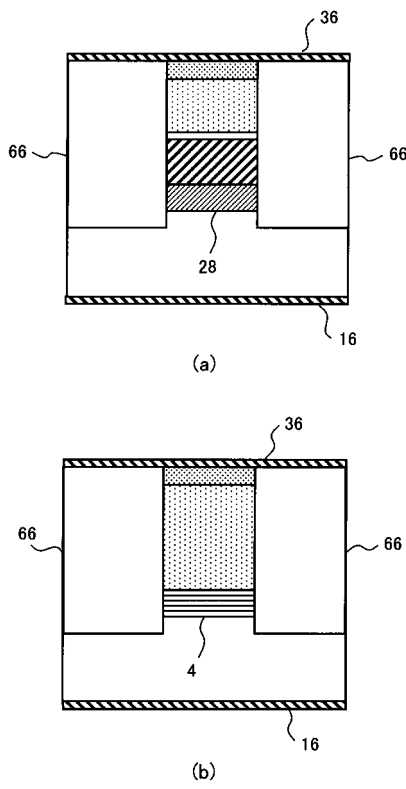
【 図 1 1 】



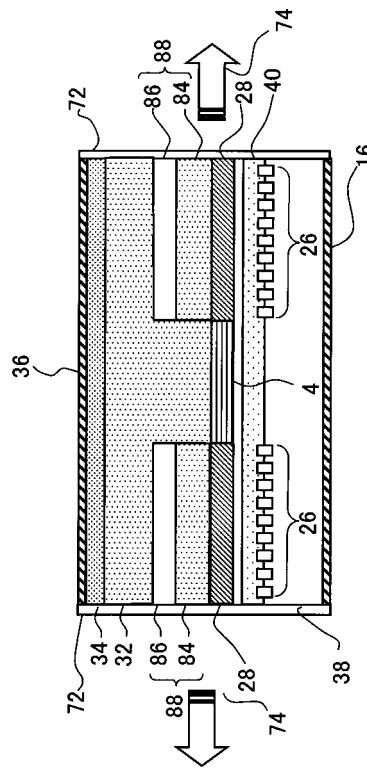
【 図 1 2 】



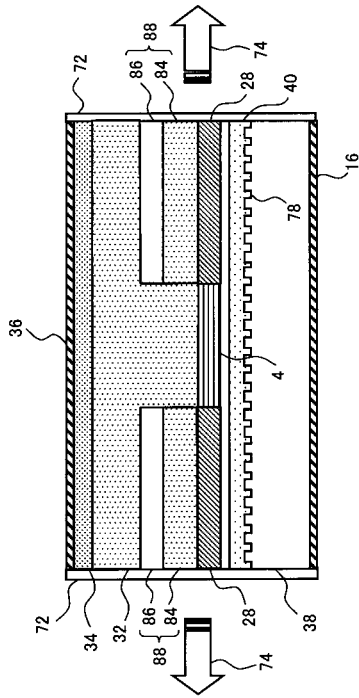
【 図 1 3 】



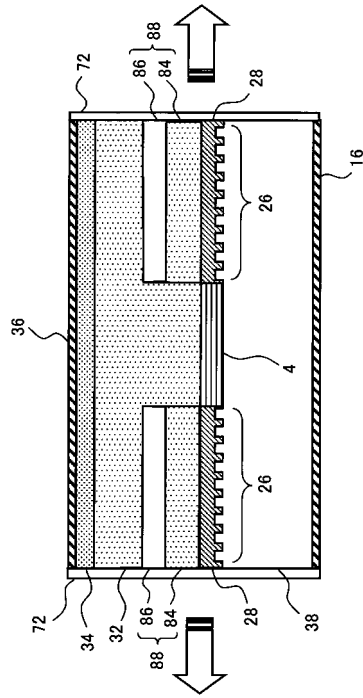
【 図 1 4 】



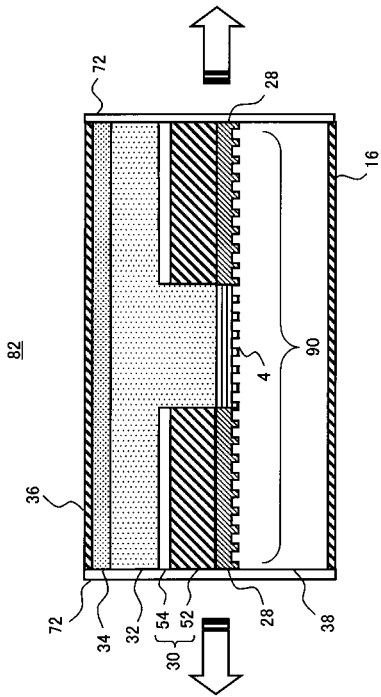
【図 15】



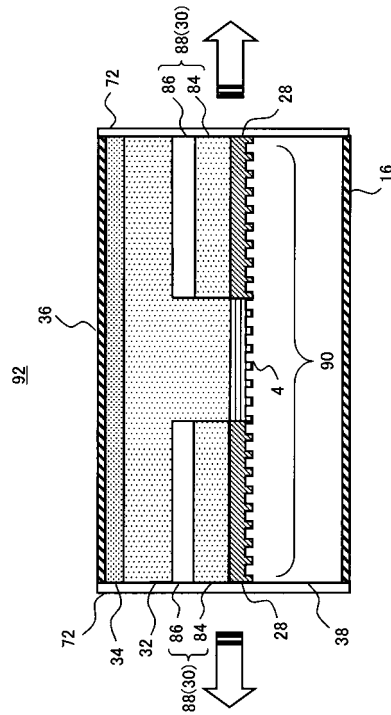
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

審査官 古田 敦浩

- (56)参考文献 特開昭61-081688(JP,A)
特開昭63-228795(JP,A)
特開平09-237932(JP,A)
特開2007-220930(JP,A)
特開昭63-023382(JP,A)
特開平02-083992(JP,A)
特開2004-281656(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50