(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3774503号
(P3774503)
(45)発行日　平成18年5月17日(2006.5.17)　(24)登録日　平成18年2月24日(2006.2.24)

(51)Int.Cl.　F I
*H01S 5/028 (2006.01)*　H01S 5/028

請求項の数 10　(全 9 頁)

(21)出願番号　特願平8-95038
(22)出願日　平成8年4月17日(1996.4.17)
(65)公開番号　特開平9-283843
(43)公開日　平成9年10月31日(1997.10.31)
審査請求日　平成15年2月24日(2003.2.24)

(73)特許権者　301005371
日本オプネクスト株式会社
神奈川県横浜市戸塚区戸塚町２１６番地
(74)代理人　100068504
弁理士　小川　勝男
(72)発明者　紀川　健
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　佐川　みすず
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体レーザ素子およびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

化合物半導体基板上に下部クラッド層、活性層、上部クラッド層、コンタクト層および上部金属電極を形成した後、劈開法により両端面に共振器端面を有する半導体レーザ素子を得る半導体レーザ素子の製造方法において、

一の光出射面である半導体表面に隣接して窒化物からなる第１の絶縁膜が形成され、さらに前記第１の絶縁膜上に窒化物以外の材料からなる第２の絶縁膜が形成され、

前記第１の絶縁膜の厚さは２０Å以上、３００Å以下であり、

前記第１の絶縁膜は多孔質膜の層と緻密膜の層とからなる２層構造であり、かつ、前記半導体表面側に前記多孔質膜が形成され、

前記第１および第２の絶縁膜はスパッタリング法、電子線蒸着法またはイオンビーム蒸着法のいずれかの方法により形成することを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項２】

前記第１の絶縁膜は、窒化硅素、窒化アルミニウム、窒化ガリウム、或いは窒化硼素の何れか1種類以上を含むことを特徴とする請求項１記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項３】

前記半導体レーザの発振波長が9800±50Åであり、前記一の光出射面からの出射光の光密度が$2\times10^{6}W/cm^{2}$以上であることを特徴とする請求項１記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項４】

前記半導体レーザの発振波長が6800Å±100Åであり、前記一の光出射面からの出射光の光密度が１×$10^6$W/$cm^2$以上であることを特徴とする請求項１記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項５】

前記第１および第２の絶縁膜からなる保護膜と半導体表面との間に少なくともV族元素を含む酸化物が形成されていないことを特徴とする請求項１記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項６】

化合物半導体基板上に下部クラッド層、活性層、上部クラッド層、コンタクト層および上部金属電極が設けられ、その端面間にレーザ共振器を有する半導体レーザ素子において、

一の光出射面である半導体表面に隣接して窒化物からなる第１の絶縁膜が設けられ、前記第１の絶縁膜上に窒化物以外の材料からなる第２の絶縁膜が設けられ、

前記第１の絶縁膜の厚さは２０Å以上、３００Å以下であり、

前記第１の絶縁膜は多孔質膜の層と緻密膜の層とからなる２層構造であり、かつ、前記半導体表面側に前記多孔質膜が設けられていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項７】

前記第１の絶縁膜は、窒化硅素、窒化アルミニウム、窒化ガリウム、或いは窒化硼素の何れか1種類以上を含むことを特徴とする請求項６記載の半導体レーザ素子。

【請求項８】

前記半導体レーザの発振波長が9800±50Åであり、前記一の光出射面からの出射光の光密度が２×$10^6$W/$cm^2$以上であることを特徴とする請求項６記載の半導体レーザ素子。

【請求項９】

前記半導体レーザの発振波長が6800Å±100Åであり、前記一の光出射面からの出射光の光密度が１×$10^6$W/$cm^2$以上であることを特徴とする請求項６記載の半導体レーザ素子。

【請求項１０】

前記第１および第２の絶縁膜からなる保護膜と半導体表面との間に少なくともV族元素を含む酸化物が形成されていないことを特徴とする請求項６記載の半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体レーザの構造に係り、特に、光通信システム、光情報システムにおける高出力半導体レーザに関する。

【０００２】

【従来の技術】

現在、光ディスクや光磁気ディスクの書き込み用として高出力高信頼半導体レーザが求められている。また、光伝送システムで中継器あるいは受信器に用いられる希土類添加光ファイバ増幅器励起用光源として高出力高信頼0.98μｍ帯半導体レーザが盛んに研究されている。これらの半導体レーザには長時間、安定に基本モードで動作することが要求される。これら半導体レーザの光出射面を形成する半導体表面上には絶縁膜からなるコーティング膜が形成されている。これは適正な反射率を得ることにより光取出し効率を大きくすると共に閾値キャリア密度の増加による最大出力の低下を防ぐ為である。このコーティング膜としては従来、多くのレーザにおいて酸化硅素薄膜が用いられている。例えばアプライド フィジックス レターズ34巻（１９７９年），685ページ（Applied Physics Letters,vol. 34,pp. 685,1979）に記載のT. Uasaらによる報告等がある。また無反射条件となるように酸化硅素膜と窒化硅素膜の膜厚を制御した積層膜も用いられている。窒化硅素膜を用いた例としては例えば電子情報通信学会論文誌Ｃ－Ｉ，78巻，3号（１９９５年），143頁（Vol. J78-C-I,No. 3,pp. 143,1995）記載の福嶋等による報告がある。

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】
多くの半導体レーザで従来用いられてきた出射面コーティング膜は酸化硅素からなる単層膜であり、反射率が所要の値となる膜厚に設計されている。ところが出射光の密度が数MW/cm$^2$と高い光出力を有するレーザの場合、このようなコーティング膜では定光出力連続駆動させると、動作時間に伴って急速に動作電流が増加し、数千時間で動作しなくなるという問題が生じた。
【０００４】
レーザ動作に伴い酸化膜中の酸素原子が半導体の内部に拡散して半導体表面を酸化させ、或いは結晶性が劣化する。また半導体に燐原子を含む素子では燐が絶縁膜中に拡散し半導体の結晶性が劣化する。これらにより表面近傍でキャリアトラップが増加してキャリアの再結合が増大する。このため再結合電流の増加し、動作電流が増加する。このため高出力レーザには不適であった。
【０００５】
一方、窒化硅素薄膜の応力は酸化硅素薄膜に較べ数倍乃至数十倍大きい。このため半導体レーザの端面保護膜に用いた場合、半導体のバンドギャップが応力により端面近傍で小さくなり半導体表面での拡散電流や再結合電流が大きくなる。このた初期の動作電流が大きくなる。また動作による動作電流の増加も大きくなる。
【０００６】
その他にも応力が大きい場合には膜はがれが起こり易く、また半導体表面に割れや剥離を生じさせる危険ある。
【０００７】
本発明は、出射光密度が数ＭＷ/cm$^2$以上の高出力レーザにおいて、長時間動作後にも動作電流の増加が少ない長寿命で信頼性の高い半導体レーザを提供することにある。
【０００８】
【課題を解決するための手段】
上記目的は、光出射面を形成する半導体表面上に窒化物からなる薄い絶縁膜層を設けることにより達成される。窒化膜の上に適正な膜厚の酸化膜、例えば酸化硅素膜を積層することにより適正な反射率を得ることができる。窒化膜の膜厚は酸化膜の膜厚に較べ十分に薄いので酸化膜の膜厚の制御性は従来の単層膜を用いる場合と同等である。薄い窒化膜の形成により半導体表面への酸素の供給が抑制でき、また燐のout-diffusionも抑制できる。これにより半導体の結晶性の劣化による動作電流の増加を抑制することができる。薄い窒化膜を用いるために半導体表面への応力の増加を小さくすることができる。また、その窒化物からなる絶縁膜層を多孔質膜等の低密度な膜と緻密で欠陥の少ない膜とからなる積層構造とし、半導体表面の直上に低密度の膜、その上に緻密な膜を形成することにより半導体表面への応力は更に小さくすることができるので、その効果はより大きくなる。例えばＡｒ(アルゴン)ガスを用いたスパッタ法により窒化膜を形成する場合、低パワー、高Ａｒ圧力とすることにより膜中へのＡｒの混入量が増大し、低密度の膜となる。またプラズマの中心から外れた位置で成膜することにより同様の低密度膜となる。何れの低密度膜でも半導体表面へのプラズマ損傷は低減され、動作電流の増加は抑制される。また低密度膜の形成によりプラズマ損傷や応力の増加等の副作用がなくなるのでその上の緻密な膜は空孔や不純物等の欠陥のない理想的な膜とすることができる。これにより拡散防止の効果を最大にすることができる。更に、上記目的は半導体表面上にＶ族元素、特に砒素を含む酸化物を形成せずに、或いは形成した酸化物を除去した後に窒化物からなる絶縁膜層を形成することによりその効果は一層顕著となる。
【０００９】
本発明によれば、波長0.98μｍの光を２ＭＷ／cm$^2$以上の出力で発振するレーザ素子のみならず、例えば波長0.68μｍ、または0.65μｍの光を１ＭＷ／cm$^2$以上の出力で発振する光記録装置用レーザ素子に於ても、動作時間に伴い素子特性が劣化する問題を解決することができる。
【００１０】

【発明の実施の形態】
以下、本発明の実施の形態を３つの実施例とその関連図面を用いて詳細に説明する。
【００１１】
＜実施例１＞
本発明の第１の実施例を図１～２を用いて説明する。本実施例は、本発明を光伝送システムで中継器あるいは受信器に用いられる希土類添加光ファイバ増幅器励起用0.98μｍ帯高出力半導体レーザに適用したものである。図１はファブリ・ペロー型共振器を有する半導体レーザの平面構造を、図２（ａ）は断面構造を、図２（ｂ）は活性層の拡大図を示している。次に、素子の作製方法について述べる。n-GaAs基板５上にGaAsバッファ層６、GaAsに格子整合したn-InGaPクラッド層７、$In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$障壁層(ｘ＝0.82，ｙ＝0.63，障壁層厚35 nm)１７と$In_zGa_{1-z}As$歪量子井戸層(ｚ＝0.16，井戸層厚7 nm)１８から構成される歪量子井戸活性層８、GaAs基板に格子整合したp-InGaPクラッド層９、p-GaAs光導波路層１０、GaAsに格子整合したp-InGaPクラッド層１１、p-GaAsキャップ層１２をMOVPE法、またはガスソースMBE法、またはCBE法により順次形成する。次に、酸化膜をマスクに、ホトエッチング工程により図２（ａ）に示すようなリッジを形成する。このときのエッチングはウエット、RIE、RIBE、イオンミリング等、方法を問わない。エッチングはP-GaAs光導波路層１０を完全に除去し、且つ歪量子井戸活性層８に達しないようにp-InGaPクラッド層９の途中で止まるようにする。次に、エッチングマスクとして用いた酸化膜を選択成長のマスクとして、図２（ａ）に示すようにn-InGaP電流狭窄層１３をMOVPE法により選択成長する。その後成長炉からウエハを取りだし、選択成長マスクとして用いた酸化膜をエッチングにより除去する。その後、p-GaAsコンタクト層１４をMOVPE法またはMBE法により形成する。p側オーミック電極１５、n側オーミック電極１６を形成した後、劈開法により共振器長約900μｍのレーザ素子を得る。この後、素子の前面（ｚ＝Ｌ）にスパッタリング法により、窒化物からなる絶縁膜１として厚さ100Åの窒化硅素($SiN_x$)薄膜と厚さλ／４（λ：発振波長）の酸化硅素（$SiO_2$）薄膜２とからなる２層膜による低反射（ＡＲ）膜３を、素子の後面（ｚ＝０）に$SiO_2$薄膜と非晶質硅素（a-Si）薄膜とからなる６層膜による高反射（ＨＲ）膜4を形成した。その後、素子を接合面を下にして、ヒートシンク上にボンディングした。試作した素子は、しきい値電流約10ｍＡで室温連続発振し、その発振波長は約0.98μｍであった。また、素子は580ｍＷまで安定に横単一モード発振した。また、光出力を増加させても端面劣化は起こらず、最大光出力800ｍＷは熱飽和により制限された。また、30素子について環境温度80℃の条件下で200ｍＷ定光出力連続駆動させたところ、初期駆動電流は約250ｍＡであり、全ての素子で10万時間以上安定に動作した。
【００１２】
本実施例では窒化物からなる絶縁膜として$SiN_x$薄膜を用いたが、他の窒化膜、例えば窒化アルミニウム（AlN）膜、窒化ガリウム（GaN）膜、或いは窒化硼素（BN）膜を用いても同様の効果が得られることは言うまでもない。また、保護膜形成法としてスパッタリング法を用いたが、他の薄膜形成法、例えば電子線（ＥＢ）蒸着法、イオンビーム（ＩＢ）蒸着法を用いてもよい。
【００１３】
＜実施例２＞
本発明の第２の実施例を図３及び４を用いて説明する。本実施例は、光ディスクや光磁気ディスクの書き込み用として用いられる0.68μｍ帯高出力半導体レーザに適用したものである。図４（ａ）は、断面構造を、図４（ｂ）は活性層の拡大図を、図5は平面構造を示している。次に、素子作製方法について述べる。n-GaAs基板５上にGaAsバッファ層６、GaAsに格子整合した$n\text{-}(Al_xGa_{1-x})InP$クラッド層（ｘ＝0.7）１９、GaAsに格子整合した$(Al_yGa_{1-y})InP$障壁層（ｙ＝0.45、障壁層厚４ｎｍ）２９と$In_zGa_{1-z}P$歪量子井戸層（ｚ＝0.6、井戸層厚８ｎｍ）３０、及び$(Al_sGa_{1-s})InP$ SCH(Separate Confinmente Heterostructure)層(s=0.55、障壁層厚4 nm)31とから構成される歪量子井戸活性層20、GaAsに格子整合した$p\text{-}(Al_tGa_{1-t})InP$クラッド層（ｔ＝0.7）２１、GaAsに格子整合したp-InGaPエッチストップ層２２、GaAsに格子整合した$p\text{-}(Al_uGa_{1-u})InP$クラッド層（ｕ＝0.7）２３、$p\text{-}Al_vG$

$a_{1-v}$Asキャップ層（ｖ＝0.7）２４をMOVPE法、CBE法、またはMBE法により順次形成する。次に、酸化膜をマスクに、ホトエッチング工程により図４（ａ）に示すようなリッジを形成する。このときのエッチングはウエット、RIE、RIBE、イオンミリング等、方法を問わない。エッチングはp-InGaPエッチストップ層22で止め歪量子井戸活性層２０に達しないようにする。次に、エッチングマスクとして用いた酸化膜を選択成長のマスクとして、図４（ａ）に示すようにn-GaAs電流狭窄層２５をMOVPE法により選択成長する。その後成長炉からウエハを取りだし、選択成長マスクとして用いた酸化膜をエッチングにより除去する。その後、p-GaAsコンタクト層１４をMOVPE法またはMBE法により形成する。p側オーミック電極１５、n側オーミック電極１６を形成した後、劈開法により共振器長約600μｍのレーザ素子を得た。この後EB蒸着法を用いて図５に示すように、素子の前面（ｚ＝Ｌ）に厚さ５０Åの低密度のBN膜３２、厚さ100Åの緻密な微結晶BN膜３３、λ／４（λ：発振波長）の厚さの$SiO_2$膜２を順次形成してＡＲ膜３５を、素子の後面（ｚ＝０）に$SiO_2$膜と$SiN_x$膜の８層膜と$SiO_2$膜とa-Si膜の２層膜とからなるＨＲ膜３６を形成した。その後、素子を接合面を上にして、ヒートシンク上にボンディングした。試作した素子は、しきい値電流約14mＡで室温連続発振し、その発振波長は約0.68μｍであった。また、素子は150ｍＷまで安定に横単一モード発振した。また、最大光出力として300ｍＷ以上の光出力を得た。また、30素子について環境温度80℃の条件下で50ｍＷ定光出力連続駆動させたところ、初期駆動電流は約200ｍＡであり、全ての素子で5万時間以上安定に動作した。

【００１４】

本実施例では窒化物からなる絶縁膜としてBN薄膜を用いたが、他の窒化膜、例えばAlN膜、GaN膜、或いは$SiN_x$膜等を用いても同様の効果が得られることは言うまでもない。また、保護膜形成法としてEB蒸着法を用いたが、他の薄膜形成法、例えばIB蒸着法、スパッタリング法等を用いてもよい。

【００１５】

＜実施例３＞

本発明の第３の実施例を図２、５を用いて説明する。本実施例は、本発明を光伝送システムで中継器あるいは受信器に用いられる希土類添加光ファイバ増幅器励起用0.98μｍ帯高出力半導体レーザに適用したものである。図２（ａ）は断面構造を、図２（ｂ）は活性層の拡大図を、図５は平面構造を示している。次に、素子の作製方法について述べる。n-GaAs基板５上にGaAsバッファ層６、GaAsに格子整合したn-InGaPクラッド層７、$In_{1-x}Ga_xAs_yP_{1-y}$障壁層（ｘ＝0.82、ｙ＝0.63、障壁層厚35ｎｍ）１７と$In_zGa_{1-z}As$歪量子井戸層（ｚ＝0.16、井戸層厚7ｎｍ）１８から構成される歪量子井戸活性層８、GaAs基板に格子整合したp-InGaPクラッド層９、p-GaAs光導波路層１０、GaAsに格子整合したp-InGaPクラッド層１１、p-GaAsキャップ層１２をMOVPE法、またはガスソースMBE法、またはCBE法により順次形成する。次に、酸化膜をマスクに、ホトエッチング工程により図２（ａ）に示すようなリッジを形成する。このときのエッチングはウエット、RIE、RIBE、イオンミリング等、方法を問わない。エッチングはp-GaAs光導波路層１０を完全に除去し、且つ歪量子井戸活性層８に達しないようにp-InGaPクラッド層９の途中で止まるようにする。次に、エッチングマスクとして用いた酸化膜を選択成長のマスクとして、図２（ａ）に示すようにn-InGaP電流狭窄層１３をMOVPE法により選択成長する。その後成長炉からウエハを取りだし、選択成長マスクとして用いた酸化膜をエッチングにより除去する。その後、p-GaAsコンタクト層１４をMOVPE法、CBE法、またはMBE法により形成する。p側オーミック電極15、n側オーミック電極１６を形成した後、劈開法により共振器長約900μｍのレーザ素子を得た。この後、素子の両面に熱励起法により生成した原子状活性水素(H*)ビームを照射して半導体表面上の自然酸化膜を除去した後、IB蒸着法により厚さ100Åの低密度AlN膜３７、100Åの緻密な非晶質AlN膜３８と、反射率が６％となる厚さの$Al_2O_3$膜３９によるＡＲ膜４０を、素子の後面に厚さ100Åの低密度AlN膜３７、100Åの緻密な非晶質AlN膜３８と、$SiO_2$膜とa-Si膜の６層膜からなるＨＲ膜４１を形成した。その後、素子を接合面を下にして、ヒートシンク上にボンディングした。試作した素子は、しきい値電流約10mＡで室温連続発振し、その発振波長は約0.98μｍであった。また、素子は650ｍＷまで安定に横単

一モード発振した。また、光出力を増加させても端面劣化は起こらず、最大光出力800mWは熱飽和により制限された。また、３０素子について環境温度80℃の条件下で200mW定光出力連続駆動させたところ、初期駆動電流は約240mAであり、全ての素子で10万時間以上安定に動作した。

【００１６】

本実施例では原子状活性水素を用いて半導体表面の自然酸化物を除去したが、他の活性原子、活性分子、活性イオン、例えば$H_2$*、H+、$NH^2$+等を用いてもよい。また、熱励起法により原子状活性水素を生成したが、他の方法例えばマイクロ波プラズマ、RFプラズマ、グロー放電等を用いて生成してもよいことは云うまでもない。

【００１７】

なお、上述した実施例の活性層をSCH層の組成を段階的に変化させたGRIN-SCH (Graded Index-Separate Confinment Heterostructure)活性層としてもよい。また、本発明は導波路構造によらないので、たとえば、上述した実施例のほかに導波路構造としてBH (Buried Heterostructure)構造を用いても良く、面発光レーザに適用しても良い。また、本発明は材料系にもよらないので、上述したGaAs基板上のInGaAsP系、GaAs基板上のAlGaAs系のみでなく、InP基板上のAlInGaAsP系、GaAs基板上のInAlGaP系、サファイア基板或いはSiC基板上のGaN系、GaAs基板或いはZnSe基板上のII-VI族化合物半導体レーザ等にも適用できる。さらに、発振波長として上述した0.98μm帯、0.68μm帯のほか、1.55μm帯、1.48μm帯、0.65μm帯、更には0.5μm帯、0.45μm帯等の青緑色、青色レーザ等、半導体レーザで実現できる全ての波長範囲に適用できることは言うまでもない。

【００１８】

【発明の効果】

本発明により、高出力半導体レーザにおいて長寿命化、高信頼化を容易な方法で実現し、歩留まり向上、低コスト化を実現した。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明による端面構造を有するレーザの平面構造を示した図。

【図２】本発明による第１の実施例を示した図。

【図３】本発明による第２の実施例を示した図。

【図４】本発明による別の端面構造を有するレーザの平面構造を示した図。

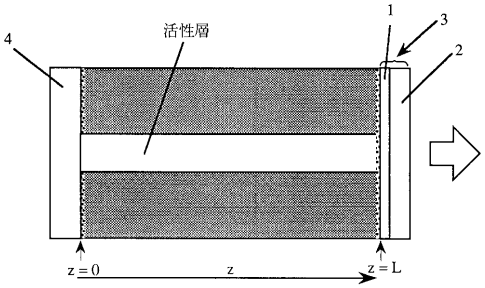
【図５】本発明による別の端面構造を有するレーザの平面構造を示した図。

【符号の説明】

１：窒化物からなる絶縁膜、２：$SiO_2$膜、３：低反射膜、４：高反射膜、５：n-GaAs基板、６：GaAsバッファ層、７：n-InGaPクラッド層、８：歪量子井戸活性層、９：p-InGaPクラッド層、１０：p-GaAs光導波路層、１１：p-InGaPクラッド層、１２：p-GaAsキャップ層、１３：n-InGaP電流狭窄層、１４：p-GaAsコンタクト層、１５：p側オーミック電極、１６：n側オーミック電極、１７：InGaAsP障壁層、１８：InGaAs歪量子井戸層、１９：n-AlGaInPクラッド層、２０：歪量子井戸活性層、２１：p-AlGaInPクラッド層、２２：p-InGaPエッチストップ層、２３：p-AlGaInPクラッド層、２４：p-AlGaAsキャップ層、２５：n-GaAs電流狭窄層、２９：AlGaInP障壁層、３０：InGaP歪量子井戸層、３１：AlGaInP SCH層、３２：低密度BN膜、３３：緻密BN膜、３５：低反射膜、３６：高反射膜、３７：低密度AlN膜、３８：緻密AlN膜、３９：$Al_2O_3$膜、４０：低反射膜、４１：高反射膜。

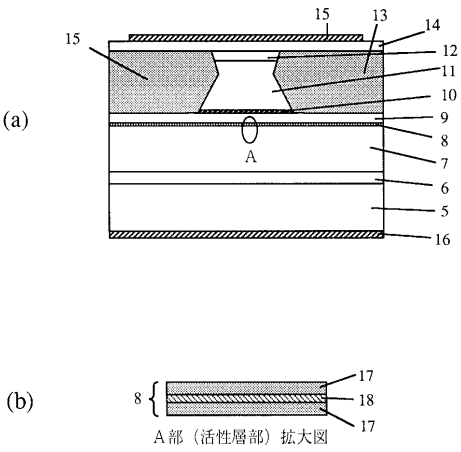
【図１】

図１



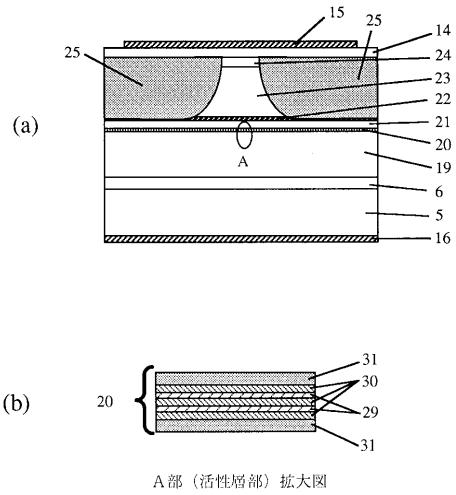

【図２】

図２



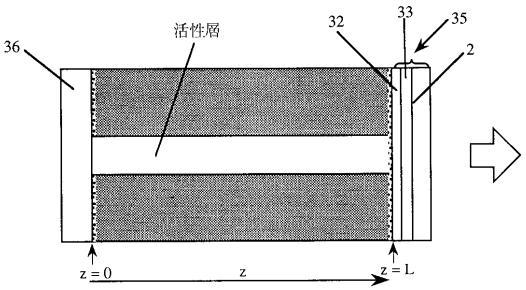

【図３】

図３



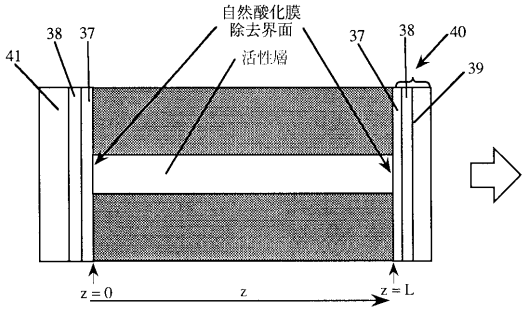

【図４】

図４



【図５】

図５



フロントページの続き

(72)発明者　平本　清久
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地　株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　野本　悦子
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地　株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　豊中　隆司
神奈川県横浜市戸塚区戸塚町２１６番地　株式会社日立製作所情報通信事業部内
(72)発明者　魚見　和久
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地　株式会社日立製作所中央研究所内

審査官　門田　かづよ

(56)参考文献　特開平０８－０５６０５７（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－１４５１７５（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－１６２７８８（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０３２１７３（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－２７５２３９（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１６２４９６（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１９４２０４（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１４８６７６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01S5/00-5/50