

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006年10月12日 (12.10.2006)

PCT

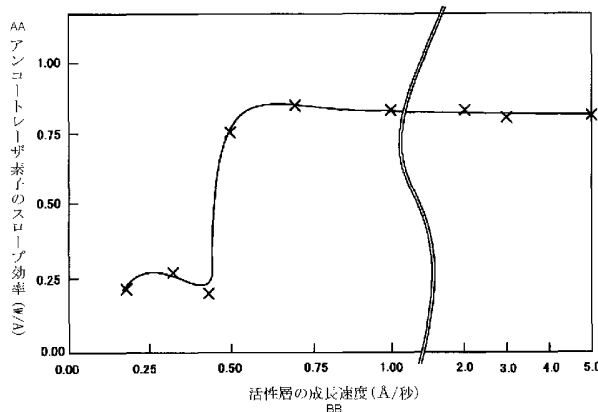
(10) 国際公開番号
WO 2006/106928 A1

- (51) 国際特許分類: *H01S 5/343* (2006.01) *H01L 21/205* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/306848
- (22) 国際出願日: 2006年3月31日 (31.03.2006)
- (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2005-101797 2005年3月31日 (31.03.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三洋電機株式会社 (SANYO ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5708677 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 Osaka (JP). 鳥取三洋電機株式会社 (TOTTORISANYO ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6808634 鳥取県鳥取市立川町七丁目101番地 Tottori (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松下 保彦 (MAT-SUSHITA, Yasuhiko) [JP/JP]; 〒6808634 鳥取県鳥取市立川町七丁目101番地 鳥取三洋電機株式会社内 Tottori (JP). 中澤 崇一 (NAKAZAWA, Shuuichi) [JP/JP]; 〒6808634 鳥取県鳥取市立川町七丁目101番地 鳥取三洋電機株式会社内 Tottori (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人 ウィンテック (WIN TECH PATENT OFFICE); 〒1010045 東京都千代田区神田鍛冶町三丁目6番7号 ウンピン神田ビル4階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,

[続葉有]

(54) Title: PROCESS FOR PRODUCING GALLIUM NITRIDE-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT AND GALLIUM NITRIDE-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

(54) 発明の名称: 窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法及び窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子



AA. SLOPE EFFICIENCY OF UNCOATED LASER ELEMENT (W/A)
BB. GROWTH RATE OF ACTIVE LAYER (Å/SEC)

(57) Abstract: This invention provides a process for producing a gallium nitride-based compound semiconductor laser element, characterized in that a plane inclined at not less than 0.16 degree and not more than 5.0 degrees in terms of absolute value in the direction of <1-100> in (0001) Ga plane, or a plane in which the root mean square of (A² + B²) is not less than 0.17 and not more than 7.0 wherein A represents the off angle of (0001) Ga plane to <1-100> direction and B represents the off angle of (0001) Ga plane to <11-20> direction, is used as a crystal growth plane of a gallium nitride substrate, and an active layer is grown at a growth rate of not less than 0.5 Å/sec and not more than 5.0 Å/sec. The production process is advantageous in that, even in the case of use of a gallium nitride substrate having a large off angle, the slope efficiency is high, the element resistance is reduced, the drive voltage can be reduced, the production yield is high, the variation is small, and high-output violet light can be generated. There is also provided a compound semiconductor laser element produced by the above process.

(57) 要約: 本発明の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法は、窒化ガリウム基板の結晶成長面として (0001) Ga 面の<1-100>方向に絶対値で0.16度以上5.0度以下傾斜した面、又は、(0001) Ga 面の<1-100>方向へのオフ角度をAとし、(0001) Ga 面の<11-20>方向へのオフ角度を

[続葉有]



WO 2006/106928 A1



MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

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。

Bとした場合の $(A^2 + B^2)$ の平方根が0.17以上7.0以下である面を用い、かつ活性層を0.5 Å/秒以上5.0 Å/秒以下の成長速度で成長させることを特徴とする。これにより、オフ角度の大きな窒化ガリウム基板を使用しても、スロープ効率が大きく、素子抵抗が減少し、駆動電圧を低減でき、しかも、製造歩留まりが高く、バラツキが少なく、高出力の青紫色の光を発することができる窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法及びこの製造方法で作製された化合物半導体レーザ素子を提供することができる。

明 細 書

窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法及び窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子

技術分野

[0001] 本発明は、化合物半導体レーザ素子の製造方法及びこの製造方法で作製された化合物半導体レーザ素子に関し、特に青紫色の短波長の光を発することができるスロープ効率の大きい窒化ガリウム系の化合物半導体レーザ素子の製造方法及びこの製造方法で作製された窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子に関する。

背景技術

[0002] 近年、青色LEDや青紫色半導体レーザには、窒化物系半導体が主として用いられている。この窒化物系半導体は、通常、サファイア基板、SiC基板またはGaNなどの窒化物系半導体用基板上に、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition; 有機金属気相成長) 法、MBE (Molecular Beam Epitaxy; 分子線エピタキシャル成長) 法、または、HVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy) 法などの結晶成長法を用いて成長させる。このうち、結晶成長法としては、MOCVD法が最もよく利用されている。

[0003] 従来の窒化物系半導体レーザ素子の一具体例を図4に示す。なお、図4は、従来の窒化物系半導体素子50の模式的な断面図である。この窒化物系半導体レーザ素子50は、サファイア基板51上にバッファ層52、アンドープGaN層53、n-GaNコンタクト層54、n-AlGaNクラッド層55、n-GaN光ガイド層56、活性層57、p-GaN光ガイド層58が順に形成されてなる。p-GaN光ガイド層58の所定幅の領域上にリッジ状にp-AlGaNクラッド層59が形成されており、このリッジ状のp-AlGaNクラッド層59の側面に電流狭窄層60が形成されている。さらに、p-AlGaNクラッド層59の上面および電流狭窄層60上にp-GaNコンタクト層61が形成されている。p-GaNコンタクト層61からn-GaNコンタクト層54までの一部領域が除去されてn-GaNコンタクト層54が露出し、メサ形状が形成されている。露出したn-GaNコンタクト層54の所定領域上にn電極62が形成され、p-GaNコンタクト層61の所定領域上にp電

極63が形成されている。

[0004] ところで、このようなサファイア基板上に窒化ガリウム系半導体層が形成されてなる窒化物系半導体素子においては、サファイア基板と窒化ガリウム系半導体層との間の格子定数の差が大きい。このため、サファイア基板上に形成された窒化ガリウム系半導体層は多くの転位を含んでおり結晶性が劣化している。したがって、サファイア基板を用いた窒化物系半導体素子においては、良好な素子特性を実現することが困難である。

[0005] そこで、下記特許文献1には、基板としてSiC結晶の(0001)Si面に対して0.02度ないし0.6度の範囲内で傾斜した面(オフ面)を有するSiC基板を用いて窒化物系半導体層を形成すると、良好な結晶性が得られることが示されており、また、窒化ガリウム基板を用いても同様の結果が得られることが示唆されている。さらに、下記特許文献2には窒化ガリウム基板としてC面からの傾斜角度が0.03度以上、10度以下のものを使用した窒化物系半導体発光素子の発明が、また、下記特許文献3には窒化ガリウム基板として(0001)面から所定の方向に1度以上20度以下の傾斜面を有するものを使用すると結晶性の良好な窒化物系半導体層が得られることが、さらに、下記特許文献4には、窒化ガリウム基板として(0001)C面から15度以上60度以下の傾斜面を有するものを使用するとInGaN系においても結晶性の良好な窒化物半導体層が得られることが、それぞれ示されている。

特許文献1:特開平11-233391号公報

特許文献2:特開2000-223743号公報

特許文献3:特開2002-16000号公報

特許文献4:特開2002-344089号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、上述のような窒化ガリウム基板の(0001)面から所定の傾斜面を有するものを使用して形成された窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子においては、結晶性の良好な窒化物系半導体層が得られるにしても、得られた窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子のスロープ効率が小さく、素子特性として問題があり、高光出

力使用には適さないものが作製される場合があった。

- [0007] 一方、本発明者等は、上記のスロープ効率が小さい窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子が作製される原因を検討すべく種々実験を重ねた結果、スロープ効率が小さい窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子は、窒化ガリウム基板の結晶成長面である(0001)Ga面の傾斜角度が、一方向に傾斜させる場合であっても2方向に傾斜させる場合であっても、所定の数値範囲から外れる場合に生じることを見出し、この傾斜角度を限定したスロープ効率が大きい窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子に関して既に特願2005-023322号(以下、「先願」という。)として特許出願している。
- [0008] すなわち、先願明細書及び図面には、スロープ効率が大きい窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造に使用し得る窒化ガリウム基板表面のオフ角度が限定されており、その範囲外となるオフ角度の大きな基板上に窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製する場合には、スロープ効率が低下することが指摘されている。
- [0009] 一方、オフ角度の大きい領域の窒化ガリウム基板表面に窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を形成すると、素子抵抗が減少し、駆動電圧が低減できるという利点が別に存在することも判明している。しかし、このような利点もスロープ効率の満足できる素子が得られないため、オフ角度の大きな基板は従来から窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子作製用としては用いられてこなかった。
- [0010] 本発明者等は、上述のようなオフ角度の大きい領域の窒化ガリウム基板を使用するとスロープ効率が小さい窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子が作製される原因を検討すべく種々実験を重ねた結果、このスロープ効率はオフ角度の大きい領域の窒化ガリウム基板上に形成される窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の活性層の成長速度に律速されることを見出し、本発明を完成するに至ったのである。
- [0011] すなわち、本発明は、オフ角度の大きな窒化ガリウム基板上に窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製するとスロープ効率が小さい窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子が得られるという従来技術の問題点を解決すべくなされたものであり、オフ角度の大きな窒化ガリウム基板を使用しても、スロープ効率が大きく、素子抵抗が小さく、駆動電圧を低減でき、しかも、製造歩留まりが高く、バラツキが少なく、高出

力の青紫色の光を発することができる窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法及びこの製造方法で作製された窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0012] 本発明の上記目的は以下の構成により達成し得る。すなわち、請求の範囲第1項に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法の発明は、窒化ガリウム基板上に、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製する方法であって、前記窒化ガリウム基板の結晶成長面として(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に絶対値で0.16度以上5.0度以下傾斜した面を用い、かつ活性層を0.5Å/秒以上5.0Å/秒以下の成長速度で成長させることを特徴とする。
- [0013] この場合、窒化ガリウム基板の結晶成長面の傾斜が(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に絶対値で0.16度以上の場合、活性層の成長速度が0.5Å/秒未満であるとアンコート窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子のスロープ効率が0.3W/Aにも達しない場合が生じるが、活性層の成長速度が0.5Å/秒以上ではスロープ効率が0.6W/A以上となる。ただ、活性層の成長速度が速すぎてもMQW活性層の結晶品質が悪くなるために素子の信頼性が低下するので、活性層の成長速度の上限は5.0Å/秒に止めるべきである。また、傾斜角度の上限が5度を超えるとMQW活性層内にIn原子が十分に入らなくなり、発振波長が395nm以下となってしまうので好ましくない。
- [0014] このような窒化ガリウム基板の結晶成長面の傾斜角度範囲と活性層の成長速度の組合せにおいて安定的にスロープ効率が0.6W/A以上の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子が得られるが、このような結果が得られること理由は、現在のところまだ明確になっておらず、今後の研究を待つ必要があるが、以下の理由によるものと考えられる。
- [0015] 従来、オフ角度の大きい基板面を用いた場合、レーザ素子のスロープ効率が低下していた原因としては次のように推測される。一般に、スロープ効率は主に活性層の発光効率の大きさに決定されるが、InGaN活性層の場合、島状成長になるとIn組成の局在化現象が成長層内で発生し、その結果、発光効率の大きな活性層が得られる

ことになる。しかしながら、従来のように活性層の成長速度を小さくして、オフ角度の大きな基板面上に成長させると、大きなオフ角度により結晶面のステップ密度が高くなっている影響を顕著に受け、結晶成長形態がステップ成長となり、オフ角度の小さな基板面上で見られるような島状成長とはならなくなる。したがって、これらの理由で、従来はオフ角度の大きな基板面上では、スロープ効率の小さな窒化物化合物半導体レーザ素子しか得られなかった。

- [0016] 一方、本発明では、活性層の成長速度を $0.5 \text{ \AA}/\text{秒}$ 以上 $5.0 \text{ \AA}/\text{秒}$ 以下と大きくすることで、上記問題点を改善することができた。すなわち、オフ角度の絶対値が大きな基板面でも、成長速度を速くすることで、ステップ成長ではなく、島状成長の結晶成長形態が得られるようになり、その結果、In組成の局在化現象が成長層内で発生し、発光効率が大きな活性層を得ることが可能となったものと思われる。
- [0017] また、請求の範囲第2項に係る発明は、請求の範囲第1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法において、前記半導体レーザ素子の発振波長が $395\sim 405\text{nm}$ であることを特徴とする。
- [0018] また、請求の範囲第3項に係る発明は、請求の範囲第1項又は第2項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法において、前記半導体レーザ素子の共振器面を結晶の自然へきかい面としたことを特徴とする。
- [0019] また、請求の範囲第4項に係る発明は、請求の範囲第1項～第3項のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法において、前記半導体レーザ素子の共振器面の出射面を反射率が $10\sim 30\%$ に調整し、前記共振器面の後面に反射率 70% 以上の端面コートを形成したことを特徴とする。
- [0020] また、請求の範囲第5項に係る発明は、請求の範囲第1項～第3項のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法において、前記半導体レーザ素子の共振器面の出射面に反射率 10% 以下の端面コートを形成し、前記共振器面の後面に反射 70% 以上の端面コートを形成したことを特徴とする。
- [0021] さらに、請求の範囲第6項に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法の発明は、窒化ガリウム基板に、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製する方法であって、前記窒化ガリウム基板の結晶成長面として、 $(0001)\text{Ga}$ 面

の $\langle 1-100 \rangle$ 方向へのオフ角度をAとし、(0001)Ga面の $\langle 11-20 \rangle$ 方向へのオフ角度をBとした場合の (A^2+B^2) の平方根が0.17以上7.0以下である面を用い、かつ活性層を0.5 Å/秒以上5.0 Å/秒以下の成長速度で成長させることを特徴とする。

[0022] この場合、 (A^2+B^2) の平方根が0.17以上7.0以下の場合、活性層の成長速度が0.5 Å/秒未満であるとアンコート窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子のスロープ効率が0.3W/A以上にも達しない場合が生じるが、活性層の成長速度が0.5 Å/秒以上ではスロープ効率が0.6W/A以上となる。ただ、活性層の成長速度が速すぎてもMQW活性層の結晶品質が悪くなるために素子の信頼性が低下するので、活性層の成長速度の上限は5.0 Å/秒に止めるべきである。また、 (A^2+B^2) の平方根が7.0を超えるとMQW活性層内にIn原子が十分に入らなくなり、発振波長が395nm以下となってしまうので好ましくない。

[0023] また、請求の範囲第7項に係る発明は、請求の範囲第6項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法において、前記半導体レーザ素子の発振波長が395～405nmであることを特徴とする。

[0024] また、請求の範囲第8項に係る発明は、請求の範囲第6項又は第7項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法において、前記半導体レーザ素子の共振器面を結晶の自然へきかい面としたことを特徴とする。

[0025] また、請求の範囲第9項に係る発明は、請求の範囲第6項～第8項のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法において、前記半導体レーザ素子の共振器面の出射面を反射率が10～30%に調整し、前記共振器面の後面に反射率70%以上の端面コートを形成したことを特徴とする。

[0026] また、請求の範囲第10項に係る発明は、請求の範囲第6項～第8項のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子において、前記半導体レーザ素子の共振器面の出射面に反射率10%以下の端面コートを形成し、前記共振器面の後面に反射率70%以上の端面コートを形成したとを特徴とする。

[0027] さらに、請求の範囲第11項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の発明は、窒化ガリウム基板上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子で

あって、前記窒化ガリウム基板の結晶成長面が(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に絶対値で0.16度以上5.0度以下傾斜した面を有し、かつ活性層が0.5Å/秒以上5.0Å/秒以下の成長速度で成長させたものであることを特徴とする。

- [0028] また、請求の範囲第12項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の発明は、窒化ガリウム基板上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子であって、前記窒化ガリウム基板の結晶成長面が、(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向へのオフ角度をAとし、(0001)Ga面の $\langle 11-20 \rangle$ 方向へのオフ角度をBとした場合の(A^2+B^2)の平方根が0.17以上7.0以下である面を有し、かつ活性層が0.5Å/秒以上5.0Å/秒以下の成長速度で成長させたものであることを特徴とする。

発明の効果

- [0029] 本発明は、上記のような構成を備えることにより、以下に述べるような優れた効果を奏する。すなわち、請求の範囲第1項及び請求の範囲第6項に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子製造方法の発明によれば、バラツキを考慮しても安定的にスロープ効率が0.6W/A以上の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を製造し得る。
- [0030] また、請求の範囲第2項及び請求の範囲第7項に係る発明によれば、発振波長が395~405nmの青紫色範囲である場合に本発明の効果がより顕著に現われる。
- [0031] また、請求の範囲第3項及び請求の範囲第8項に係る発明によれば、共振器面を結晶の自然へきかい面にすることにより、窒化ガリウム系化合物レーザ素子の製造歩留りが大きく向上するため、工業的に本発明の効果をより顕著に利用できる。
- [0032] また、請求の範囲第4項及び請求の範囲第9項に係る発明によれば、共振器面の出射面は反射率が10~30%に調整されており、共振器面の後面は反射率70%以上の端面コートが形成されている半導体レーザ素子に対して本発明を適用することにより、光ピックアップへの応用時にノイズ特性を向上させることができるため、本発明の効果をより顕著に利用できる。
- [0033] また、請求の範囲第5項及び請求の範囲第10項に係る発明によれば、共振器面の出射面は反射率10%以下の端面コートが形成されており、共振器面の後面は反射率70%以上の端面コートが形成されている半導体レーザ素子に対して本発明を適

用することにより、より高い光出力を要求される用途の場合に適合できるため、本発明の効果をより顕著に利用できる。

[0034] さらに、請求の範囲第11項及び請求の範囲第12項に係る発明によれば、バラツキを考慮してもそれぞれ安定的にスロープ効率が6W/A以上の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子が得られる。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]本発明の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の拡大縦断面図である。

[図2]GaN基板の結晶成長面が(0001)Ga面の<1-100>方向への傾斜角度が0.30度の場合の、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子における活性層成長速度とスロープ効率の関係を示す図である。

[図3]GaN基板の結晶成長面が(0001)Ga面の<1-100>方向へのオフ角度をAとし、(0001)Ga面の<11-20>方向へのオフ角度をBとした場合、 (A^2+B^2) の平方根が0.30の場合の、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子における活性層成長速度とスロープ効率の関係を示す図である。

[図4]従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の拡大縦断面図である。

符号の説明

- [0036]
- 1 GaN基板
 - 2 n型AlGaNクラッド層
 - 3 MQV活性層
 - 4 InGaN光ガイド層
 - 5 AlGaNキャップ層
 - 6 p型AlGaNクラッド層
 - 7 p型GaNコンタクト層
 - 8 p型電極
 - 9 パッド電極
 - 10 SiO₂膜
 - 11 n型電極

発明を実施するための最良の形態

[0037] 以下、本発明を実施するための最良の形態を実施例及び図面を用いて詳細に説明するが、以下に述べた実施例は、本発明の技術思想を具体化するための窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法及びこの製造方法で作製された窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を例示するものであって、本発明をこの実施例に特定することを意図するものではなく、本発明は特許請求の範囲に示した技術思想を逸脱することなく種々の変更を行ったものにも均しく適用し得るものである。

[実験例1] (実施例1～3及び比較例1～3)

GaN基板の結晶成長面として、(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向へのオフ角度が 0.30 度のものを使用し、この基板の上にそれぞれ以下のようにして各半導体層を積層することにより、活性層の成長速度が、 $0.20 \text{ \AA}/\text{秒}$ (比較例1)、 $0.30 \text{ \AA}/\text{秒}$ (比較例2)、 $0.40 \text{ \AA}/\text{秒}$ (比較例3)、 $0.50 \text{ \AA}/\text{秒}$ (実施例1)、 $0.70 \text{ \AA}/\text{秒}$ (実施例2)、 $1.00 \text{ \AA}/\text{秒}$ (実施例3)である6種類の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製することにより、活性層の成長速度とスロープ効率との関係を調べた。

[0038] まず、図1に示したように、GaN基板(1)上に、MOCVD(有機金属気相成長法)法により成長温度 1100°C 、原料に NH_3 、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、 GeH_4 を用い、n型AlGaNクラッド層(2)を成長速度 $3.0 \text{ \AA}/\text{sec}$ で $1.0 \mu\text{m}$ 成長させた。

[0039] その後、温度を下降させ、3周期構造MQW活性層(3)のうちInGaN井戸層を、成長温度 800°C 、原料に NH_3 、トリメチルガリウム、トリメチルインジウムを用い、 $0.003 \mu\text{m}$ 成長させ、次にMQW活性層(3)のうちGaN障壁層を、原料に NH_3 、トリメチルガリウムを用い $0.02 \mu\text{m}$ 成長させた。以上のMQW活性層の成長速度が、本発明にいう活性層の成長速度に相当し、ここでは比較例1～3及び実施例1～3にそれぞれ対応する成長速度となるように制御した。さらに、成長温度 800°C 、原料に NH_3 、トリメチルガリウム、トリメチルインジウムを用い、InGaN光ガイド層(4)を $0.1 \mu\text{m}$ 成長させた。

[0040] その後、成長温度 800°C 、原料に NH_3 、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウムを用い、AlGaNキャップ層(5)を $0.02 \mu\text{m}$ 成長させ、次に、温度を上昇させ、成長温度 1100°C 、原料に NH_3 、トリメチルガリウム、トリメチルアルミニウム、シクロペンタジェ

ニルマグネシウムを用い、p型AlGa_{0.15}Nクラッド層(6)を成長速度3.0 Å/secで0.5 μm成長させた。そして、最後に、成長温度1100°C、原料にNH₃、トリメチルガリウム、シクロペンタジェニルマグネシウムを用い、p型Ga_{0.5}Nコンタクト層(7)を0.005 μm成長させた。

[0041] 次に、電極プロセスを以下の手順で行った。まず、Pt/PdからなるP型電極(8)を形成し、その後、ドライエッチングにより、電流狭窄部分であるリッジ(7, 8)を形成し、次に、CVD装置を用いてリッジ両側にSiO₂膜(10)を形成した。次に、Ti/Pd/Auからなるパッド電極(9)を形成し、基板の裏側を研磨してウエハを110 μm程度の厚さにし、最後にAl/Pt/Auからなるn型電極(11)を形成して、ウエハを完成させた。引き続き、スクライブ工程を用いて素子分離し、図1に示す窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を完成させた。

[0042] 完成した6種類の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子について、室温下で、アンコート状態で、それぞれ10個ずつ特性評価を行い、その平均値を求めた。結果を活性層の成長速度とアンコートレーザ素子のスロープ効率(W/A)の関係を図2に、また、それぞれの発振波長を表1にまとめて示した。

[0043] [表1]

	活性層成長速度 (Å/秒)	発振波長 (nm)
比較例1	0.20	405
比較例2	0.30	408
比較例3	0.40	403
実施例1	0.50	406
実施例2	0.70	408
実施例3	1.00	411
比較例7	0.40	398
実施例7	1.00	407

図2に示した結果によると、(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に傾斜した角度の絶対値が0.30度の基板を用いた場合、活性層の成長速度が0.5Å/秒以上であればスロープ効率が0.75W/A以上となっていることが分かる。この活性層の成長速度が0.7Å/秒以上であるとスロープ効率が0.8W/A以上を期待できる。活性層の成長速度が速すぎてもMQW活性層の結晶品質が悪くなるために素子の信頼性が低下するので、活性層の成長速度の上限は5.0Å/秒に止めるべきである。また、傾斜角度の上限が5度を超えるとMQW活性層内にIn原子が十分に入らなくなり、発振波長が395nm以下となってしまうので好ましくない。

[実験例2] (実施例4~6及び比較例4~6)

次に、GaN基板の結晶成長面として、(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向へのオフ角度をAとし、(0001)Ga面の $\langle 11-20 \rangle$ 方向へのオフ角度をBとした場合、 (A^2+B^2) の平方根が0.30のものを使用し、この基板の上にそれぞれ実験例1の場合と同様に各半導体層を積層することにより、活性層の成長速度が、0.20Å/秒(比較例4)、0.30Å/秒(比較例5)、0.40Å/秒(比較例6)、0.50Å/秒(実施例4)、0.

70 Å/秒(実施例5)、1.00 Å/秒(実施例6)である6種類の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製した。

[0044] 完成した6種類の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子について、室温下で、アンコート状態で、それぞれ10個ずつ特性評価を行い、その平均値を求めた。結果をGaN基板の結晶成長面が(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向へのオフ角度をAとし、(0001)Ga面の $\langle 11-20 \rangle$ 方向へのオフ角度をBとした場合、 (A^2+B^2) の平方根が0.30の場合の、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子における活性層成長速度とアンコートレーザ素子のスロープ効率(W/A)の関係を図3に、また、それぞれの発振波長を表2にまとめて示した。

[0045] [表2]

	活性層成長速度 (Å/秒)	発振波長 (nm)
比較例4	0.20	404
比較例5	0.30	407
比較例6	0.40	408
実施例4	0.50	412
実施例5	0.70	406
実施例6	1.00	405
比較例8	0.40	399
実施例8	1.00	409

図3に示した結果によると、前記 (A^2+B^2) の平方根が0.30の基板を用いた場合は、活性層の成長速度が0.5 Å/秒以上であればスロープ効率が0.70 W/A以上となっていることが分かる。この活性層の成長速度が0.5~0.90 Å/秒であるとスロープ効率が0.75 W/A以上を期待できる。しかしながら、図3においてはバラツ

キの範囲内で $5.0 \text{ \AA}/\text{秒}$ まで同程度のスロープ効率が得られている。活性層の成長速度が速すぎてもMQW活性層の結晶品質が悪くなるために素子の信頼性が低下するので、活性層の成長速度の上限は $5.0 \text{ \AA}/\text{秒}$ に止めるべきである。また、 $(A^2 + B^2)$ の平方根が 7.0 を超えるとMQW活性層内にIn原子が十分に入らなくなり、発振波長が 395 nm 以下となってしまうので好ましくない。

[実施例7及び比較例7]

実施例7及び比較例7として、GaN基板の結晶成長面が(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向への傾斜角度が 0.30 度のものを用い、この基板の上に活性層の成長速度を 1.0 \AA (実施例7)及び $0.4 \text{ \AA}/\text{秒}$ (比較例7)となるように、それぞれ実験例1の場合と同様にして各半導体層を積層することにより2種類の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製した。それぞれのスロープ効率及び発振波長は、10素子の平均値として、実施例7の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の場合 $0.8 \text{ W}/\text{A}$ 及び 407 nm となり、比較例7の場合 $0.2 \text{ W}/\text{A}$ 及び 398 nm となった。なお、実施例7及び比較例7の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の発振波長については、他の例との比較のために、表1にまとめて示した。

[実施例8及び比較例8]

実施例8及び比較例8として、GaN基板の結晶成長面が(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向へのオフ角度をAとし、(0001)Ga面の $\langle 11-20 \rangle$ 方向へのオフ角度をBとした場合、 $A=0.25$ 及び $B=0.17$ であり、 $(A^2 + B^2)$ の平方根が 0.30 である基板を用い、この基板の上に活性層の成長速度を $1.0 \text{ \AA}/\text{秒}$ (実施例8)及び $0.4 \text{ \AA}/\text{秒}$ (比較例8)となるように、それぞれ実験例1の場合と同様にして各半導体層を積層することにより2種類の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製した。それぞれのスロープ効率及び発振波長は、10素子の平均値として、実施例8の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の場合 $0.7 \text{ W}/\text{A}$ 及び 409 nm となり、比較例8の場合 $0.3 \text{ W}/\text{A}$ 及び 399 nm となった。なお、実施例8及び比較例8の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の発振波長については、他の例との比較のために、表2にまとめて示した。

[0046] なお、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子は、MQW活性層の井戸

層のIn組成を変化させることにより発振波長を変えることができるが、その発振波長が395～405nmである場合により効果が顕著となる。

[0047] また、共振器面を結晶の自然へきかい面にすることにより、鏡面性の良好な共振器面が得られるために素子歩留りが大きく向上するので、工業的には本発明の効果をより顕著に利用できる。

[0048] また、共振器面の出射面は反射率を10～30%に調整し、共振器面の後面に反射率70%以上の端面コートを形成した半導体レーザ素子に対して本発明を適用すると、外部から出射面を経て入ってくる戻り光ノイズを低減できるので、光ピックアップへの応用時にノイズ特性を向上させることができ、本発明の効果をより顕著に利用できる。

[0049] また、共振器面の出射面は反射率10%以下の端面コートを形成し、共振器面の後面は反射率70%以上の端面コートを形成した半導体レーザ素子に対して本発明を適用すると、出射面の反射率が低いために外部に出射する光の割合が増え、より高出力が得られるから、本発明の効果をより顕著に利用できる。

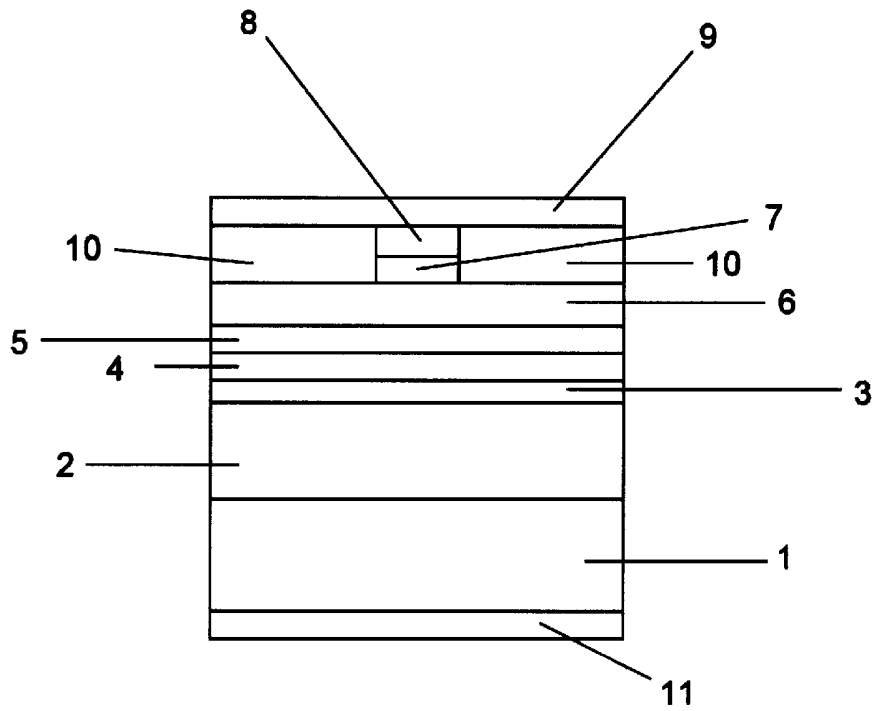
請求の範囲

- [1] 窒化ガリウム基板上に、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製する方法であって、前記窒化ガリウム基板の結晶成長面として(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に絶対値で0.16度以上5.0度以下傾斜した面を用い、かつ活性層を0.5 Å/秒以上5.0 Å/秒以下の成長速度で成長させることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [2] 前記半導体レーザ素子の発振波長が395~405nmであることを特徴とする請求の範囲第1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [3] 前記半導体レーザ素子の共振器面を結晶の自然へきかい面としたことを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [4] 前記半導体レーザ素子の共振器面の出射面を反射率が10~30%に調整し、前記共振器面の後面に反射率70%以上の端面コートを形成したことを特徴とする請求の範囲第1項~第3項のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [5] 前記半導体レーザ素子の共振器面の出射面に反射率10%以下の端面コートを形成し、前記共振器面の後面に反射率70%以上の端面コートを形成したことを特徴とする請求の範囲第1項~第3項のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [6] 窒化ガリウム基板上に、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を作製する方法であって、前記窒化ガリウム基板の結晶成長面として、(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向へのオフ角度をAとし、(0001)Ga面の $\langle 11-20 \rangle$ 方向へのオフ角度をBとした場合の (A^2+B^2) の平方根が0.17以上7.0以下である面を用い、かつ活性層を0.5 Å/秒以上5.0 Å/秒以下の成長速度で成長させることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [7] 前記半導体レーザ素子の発振波長が395~405nmであることを特徴とする請求の範囲第6項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [8] 前記半導体レーザ素子の共振器面を結晶の自然へきかい面としたことを特徴とす

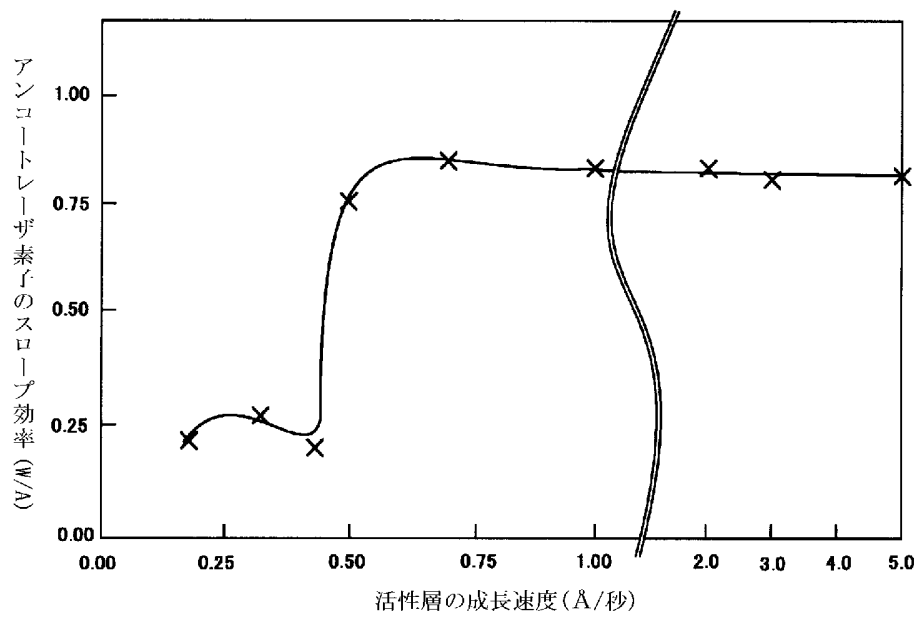
る請求の範囲第6項又は第7項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。

- [9] 前記半導体レーザ素子の共振器面の出射面を反射率が10～30%に調整し、前記共振器面の後面に反射率70%以上の端面コートを形成したことを特徴とする請求の範囲第6項～第8項のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [10] 前記半導体レーザ素子の共振器面の出射面に反射率10%以下の端面コートを形成し、前記共振器面の後面に反射率70%以上の端面コートを形成したことを特徴とする請求の範囲第6項～第8項のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法。
- [11] 窒化ガリウム基板上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子であって、前記窒化ガリウム基板の結晶成長面が(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向に絶対値で0.16度以上5.0度以下傾斜した面を有し、かつ活性層が5Å/秒以上5.0Å/秒以下の成長速度で成長させたものであることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子。
- [12] 窒化ガリウム基板上に形成された窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子であって、前記窒化ガリウム基板の結晶成長面が、(0001)Ga面の $\langle 1-100 \rangle$ 方向へのオフ角度をAとし、(0001)Ga面の $\langle 11-20 \rangle$ 方向へのオフ角度をBとした場合の $(A^2 + B^2)$ の平方根が0.17以上7.0以下である面を有し、かつ活性層が0.5Å/秒以上5.0Å/秒以下の成長速度で成長させたものであることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子。

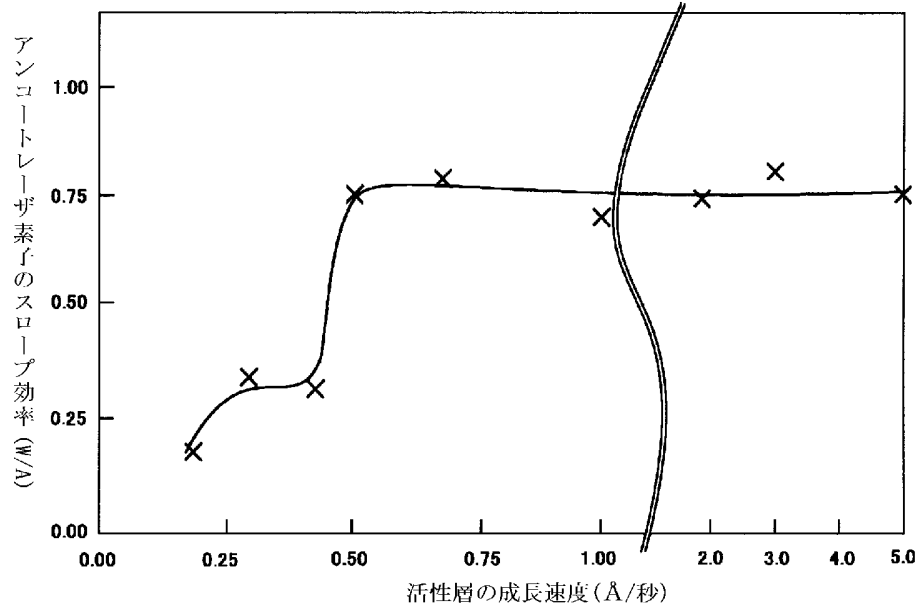
[図1]



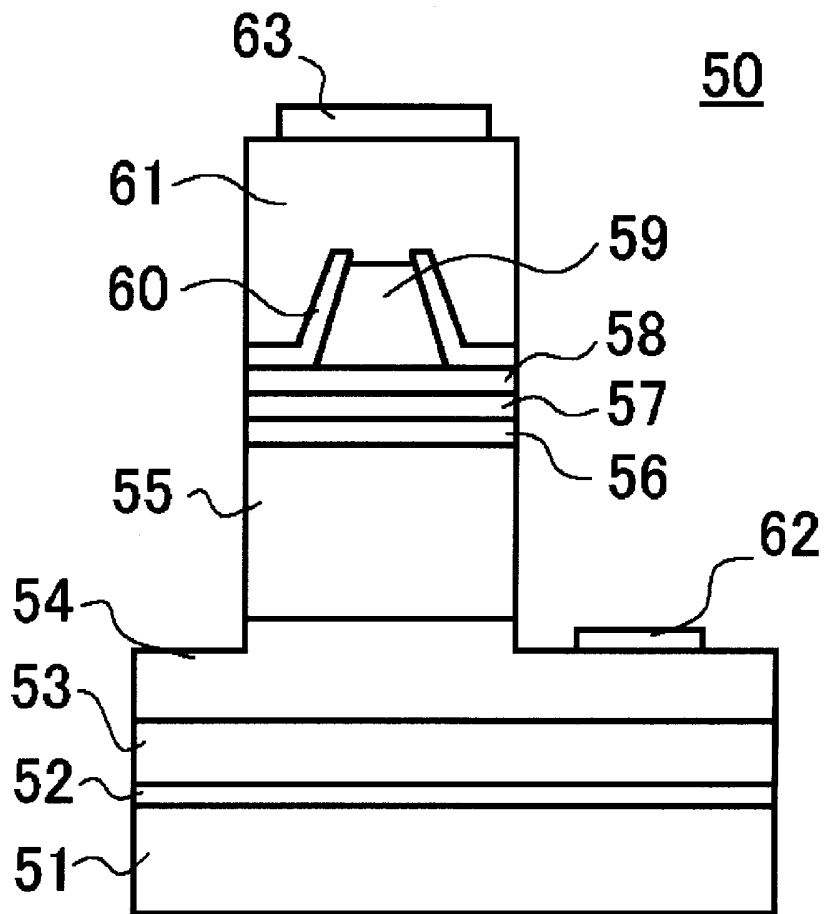
[図2]



[図3]



[図4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/306848

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01S5/343 (2006.01), H01L21/205 (2006.01)		
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) H01S5/343 (2006.01), H01L21/205 (2006.01)		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006		
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.
Y	JP 2001-196632 A (Sharp Corp.), 19 July, 2001 (19.07.01), Par. Nos. [0028] to [0033]; Figs. 6 to 9 & US 2001/030329 A1	1-12
Y	JP 2001-15809 A (Toshiba Corp.), 19 January, 2001 (19.01.01), Par. Nos. [0028], [0037], [0063]; Fig. 7 (Family: none)	1-12
Y	JP 9-107124 A (Sumitomo Chemical Co., Ltd.), 22 April, 1997 (22.04.97), Par. Nos. [0031] to [0038]; Fig. 5 (Family: none)	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 application or patent 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 14 April, 2006 (14.04.06)		Date of mailing of the international search report 25 April, 2006 (25.04.06)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/306848

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-16000 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 18 January, 2002 (18.01.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-12
A	JP 2000-223743 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 11 August, 2000 (11.08.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-12
A	JP 2002-344089 A (Sharp Corp.), 29 November, 2002 (29.11.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-12
A	JP 11-233391 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 27 August, 1999 (27.08.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-12
A	JP 2000-183460 A (Toshiba Corp.), 30 June, 2000 (30.06.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01S5/343 (2006. 01), H01L21/205 (2006. 01)

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. H01S5/343 (2006. 01), H01L21/205 (2006. 01)

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
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2006年
 日本国実用新案登録公報 1996-2006年
 日本国登録実用新案公報 1994-2006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
Y	JP 2001-196632 A (シャープ株式会社) 2001. 07. 19, 段落【0028】～【0033】、図6-9 & US 2001/030329 A1	1-12
Y	JP 2001-15809 A (株式会社東芝) 2001. 01. 19, 段落【0028】【0037】【0063】、図7 (ファミリーなし)	1-12

C欄の続きにも文献が列挙されている。 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	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 14. 04. 2006	国際調査報告の発送日 25. 04. 2006
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 2 K 3498 近藤 幸浩 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

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
Y	JP 9-107124 A (住友化学工業株式会社) 1997.04.22, 段落【0031】～【0038】、図5 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2002-16000 A (三洋電機株式会社) 2002.01.18, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2000-223743 A (三洋電機株式会社) 2000.08.11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2002-344089 A (シャープ株式会社) 2002.11.29, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 11-233391 A (日本電信電話株式会社) 1999.08.27, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12
A	JP 2000-183460 A (株式会社東芝) 2000.06.30, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12