

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2009年12月3日(03.12.2009)

PCT

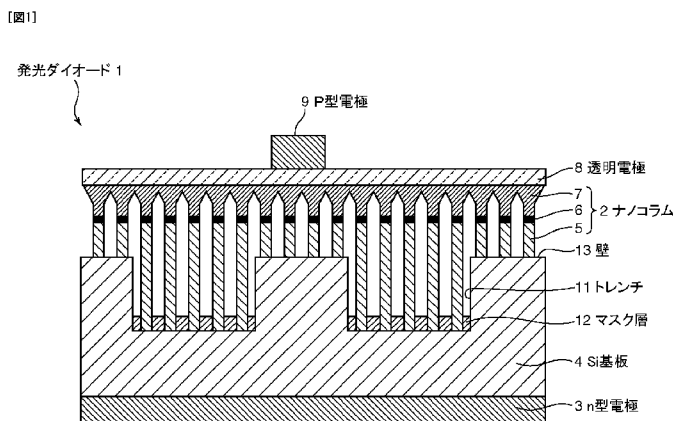
(10) 国際公開番号
WO 2009/145131 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/059504
- (22) 国際出願日: 2009年5月25日(25.05.2009)
- (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 2008-137220 2008年5月26日(26.05.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): パナソニック電気株式会社 (PANASONIC ELECTRIC WORKS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5718686 大阪府門真市大字門真1048番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): アーミテジ ロバート デイビッド (ARMITAGE, Robert David) [US/JP]; 〒5718686 大阪府門真市大字門真1048番地パナソニック電気株式会社内 Osaka (JP).
- (74) 代理人: 小谷 悦司, 外 (KOTANI, Etsuji et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島2丁目2番2号大阪中之島ビル2階 Osaka (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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT, ILLUMINATING APPARATUS USING COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT, AND METHOD FOR MANUFACTURING COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 化合物半導体発光素子およびそれを用いる照明装置ならびに化合物半導体発光素子の製造方法



- 1... LIGHT EMITTING DIODE
- 9... P-TYPE ELECTRODE
- 8... TRANSPARENT ELECTRODE
- 2... NANO COLUMN
- 13... WALL
- 11... TRENCH
- 12... MASK LAYER
- 4... Si SUBSTRATE
- 3... n-TYPE ELECTRODE

(57) Abstract: A compound semiconductor light emitting element is provided with a substrate to be one electrode; a plurality of nano-scale columnar crystalline structures extending in the vertical direction on the substrate; and the other electrode which connects the top portions of the columnar crystalline structures. On the substrate, a first region and a second region are arranged, and the second region has a step between the first region and the second region and has a thickness larger than that of the first region. On the surface of the first region on the substrate, a porous first mask layer is formed. In the columnar crystalline structures, an n-type semiconductor layer, a light emitting layer and a p-type semiconductor layer are sequentially laminated in the first region and the second region on the substrate.

(57) 要約: 一方の電極側となる基板と、前記基板上に垂直方向に延びるナノスケールの複数の柱状結晶構造体と、前記複数の柱状結晶構造体の頂部を互いに接続する他方の電極とを備え、前記基板上には、第1領域と、当該第1領域との間に段差を有して当該第1領域より基板の厚み大きい第2領域とが設けられ、前記基板上の第1領域の表面に多孔の第1

マスク層が形成され、前記複数の柱状結晶構造体は、前記基板上の第1及び第2領域に、n型半導体層と発光層とp型半導体層とが順に積層されたものとして、化合物半導体発光素子を構成した。

WO 2009/145131 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

化合物半導体発光素子およびそれを用いる照明装置ならびに化合物半導体発光素子の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、化合物半導体内で電子と正孔とを結合させて発光させる化合物半導体発光素子およびそれを用いる照明装置ならびに化合物半導体発光素子の製造方法に関し、特に前記化合物半導体発光素子としては、ナノコラムやナノロッドと称される柱状結晶構造体を複数有して成るものに関する。

背景技術

[0002] 近年、窒化物半導体（以下、ナイトライドと呼ぶ。）を用いて、その中に発光層を形成し、外部から電流を注入して、この発光層内で電子と正孔とを結合させて発光させる発光素子の発展が目覚しい。また、上記発光素子から放出される光の一部で蛍光体を励起し、蛍光体で生じた光と発光素子からの光との混合で得られる白色光を光源として、照明装置へ応用することが注目されている。しかしながら、未だ高効率の要求を満たすものは得られていない。その理由として、特に蛍光体を用いて白色光を得る過程に注目すると、効率を低下させる要因が主に2つ存在するためである。

[0003] 先ず効率を低下させる第1の要因は、波長変換することでエネルギーの一部が失われる（ストークスロス）ことである。詳しくは、発光素子から放出され、蛍光体に吸収された励起光は、発光素子から生じた光が持つエネルギーより低いエネルギーの光に波長変換され、再び外部に放出される。その時、発光素子からの励起光と蛍光体からの放出光とのそれぞれが持つエネルギーの差分だけ損失が生じ、効率を低下させることとなるからである。

[0004] 効率を低下させる第2の要因は、蛍光体での非発光再結合による効率低下（蛍光体の内部量子効率の低下）である。詳しくは、蛍光体内に存在する結晶欠陥は、非発光再結合中心として機能する。そして、励起光によって蛍光

体内に生成されたキャリアの一部が、発光に寄与せず、前記結晶欠陥で捕獲されてしまい、蛍光体の発光効率を低下させることとなるからである。

[0005] したがって、蛍光体を用いて上述のような２段階を経ることで白色光を得る場合、著しく効率が低下することになり、発光素子の高効率化を阻んでいる。以上の説明は、本願出願人が先に提案した特許文献１の引用である。それに加えて、前記蛍光体を用いると、硫化物系、ケイ酸塩系およびハロケイ酸塩系蛍光体は、湿度による加水分解（水和反応）が生じるとともに、紫外光などの励起光によって急速に劣化するので、信頼性が低く、寿命が短いという問題がある。また、蛍光体を用いると、演色性や色味に欠けるという問題もある。すなわち、高演色の白色発光を実現する場合、現状では赤色蛍光体の発光が弱く、演色性と発光効率とはトレードオフの関係にある。一方、紫外発光半導体で、RGBの３色の蛍光体を励起する方法では、現在高効率の蛍光体は得られていない。

[0006] したがって、現在の技術では、高演色かつ信頼性の高い白色LEDを実現するためには、RGBの３色のチップを用いる方法しかない。しかしながら、色ばらつきが生じない光学系の設計が困難であるとか、コストの点で一般照明レベルまでこの技術を適用するのは困難であるという問題がある。

[0007] そこで、本願出願人は、上述のような技術的課題に対して、蛍光体を用いることなく、かつ前記柱状結晶構造体を用いることで、１チップで、白色などの多色発光を可能にした化合物半導体発光素子を提案している。具体的には、基板上に、前記柱状結晶構造体の通常の成長温度よりも低い温度で、結晶成長の核を成長させ、時間をかけて通常の成長温度まで上昇させることで前記核にばらつきを持たせる。その後、通常通り柱状結晶構造体を成長させることで、発光層の膜厚や組成もばらつかせ、各柱状結晶構造体を異なる波長で発光させている。なお、前記柱状結晶構造体の成長に関しては、特許文献２などに記載されている。

[0008] 前記特許文献１の手法は、同一基板でかつ単一の成長工程で簡単に、したがって低コストに、多色発光を可能にした固体光源を実現する優れた手法で

ある。しかしながら、成長のばらつきを用いて多色発光を可能にしているので、照明用途など、所望の色味に合わせ込む際の精度に問題がある。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2007-123398号公報

特許文献2：特開2005-228936号公報

発明の概要

[0010] 本発明の目的は、低コストに所望の色味を実現したり、前記色味を細かく高精度に調整したりすることが容易な化合物半導体発光素子およびそれを用いる照明装置ならびに化合物半導体発光素子の製造方法を提供することである。

[0011] 本発明の一局面に従う化合物半導体発光素子は、一方の電極側となる基板と、前記基板上に垂直方向に延びるナノスケールの複数の柱状結晶構造体と、前記複数の柱状結晶構造体の頂部を互いに接続する他方の電極とを備え、前記基板上には、第1領域と、当該第1領域との間に段差を有して当該第1領域より基板の厚み大きい第2領域とが設けられ、前記基板の第1領域の表面に多孔の第1マスク層が形成され、前記複数の柱状結晶構造体は、前記基板の第1及び第2領域に、n型半導体層と発光層とp型半導体層とが順に積層されたものである。

[0012] この構成によれば、多孔の第1マスク層が形成された第1領域においては、多孔のマスク層を備えない第2領域よりも柱状結晶構造体の成長速度が速いので、第1領域の柱状結晶構造体と第2領域の柱状結晶構造体とを同じ高さで揃えてその頂部を他方の電極によって互いに接続することができる。このとき、第1領域と第2領域との間の段差の高さ分だけ、第1領域の柱状結晶構造体の方が、第2領域の柱状結晶構造体より長くなる。そうすると、第1領域と第2領域とで柱状結晶構造体のアスペクト比が異なるから、第1領域と第2領域とで異なる波長の光を発光させることが可能となる。

[0013] このとき、各領域の柱状結晶構造体のアスペクト比は、第1領域と第2領

域との間の段差の大きさを調節することにより設定することができる。そして、第1領域と第2領域との間の段差の大きさは公知の半導体プロセスによって容易に高精度に設定できるから、発光色の色味を細かく高精度に調整することが容易となる。さらに、単一のチップで所望の色味を実現できるから、複数のチップを用いる場合と比べて低コストに所望の色味を実現することが容易である。

[0014] また、本発明の一局面に従う照明装置は、前記の化合物半導体発光素子を用いる。

[0015] 上記の構成によれば、単一種類の化合物半導体発光素子を用いても、白色光などの所望の色味を高精度に実現することが可能な照明装置を得ることができる。

[0016] また、本発明の一局面に従う化合物半導体発光素子の製造方法は、一方の電極側となる基板上の一部の領域に、第1領域として凹所を形成することで、前記第1領域と残余の領域である第2領域との間に段差を形成する工程と、前記第1領域である凹所の底部に多孔の第1マスク層を形成する工程と、前記第1及び第2領域にn型半導体層と発光層とp型半導体層とを順に積層して、前記第1領域と前記第2領域とで略同じ高さまでナノスケールの複数の柱状結晶構造体を成長させる成長工程と、前記複数の柱状結晶構造体の頂部を他方の電極で接続する接続工程とを含む。

[0017] この方法によれば、上述の化合物半導体発光素子を製造することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]本発明の実施の一形態に係る化合物半導体発光素子である発光ダイオードの構造を模式的に示す断面図である。

[図2]図1で示す発光ダイオードの具体的な製造工程を説明するための図である。

[図3]ナノコラムの成長を制御するマスク層の構造を説明するための図である。

[図4]前記マスク層によるナノコラムの成長速度の違いを説明するための図である。

[図5]本願発明者の実験結果を示すナノコラムの高さの違いに対するピーク波長の違いを示すグラフである。

[図6]本発明の実施の他の形態に係る化合物半導体発光素子である発光ダイオードの構造を模式的に示す断面図である。

[図7]図6で示す発光ダイオードの具体的な製造工程を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0019] [実施の形態1]

図1は、本発明の実施の一形態に係る化合物半導体発光素子である発光ダイオード1の構造を模式的に示す断面図である。本実施の形態では、ナノコラム2（柱状結晶構造体）の材料としてGa₂Nを例にとるが、これに限定されるものではなく、酸化物、窒化物、酸窒化物などを含む化合物半導体総てを対象とすることができる。また、ナノコラム2の成長は、分子線エピタキシー（MBE）装置によって行うことを前提としているが、有機金属気相成長（MOCVD）装置やハイドライド気相成長（HVPE）装置等を用いても、ナノコラム2が作成可能であることは公知である。以下、特に断らない限り、MBE装置を用いるものとする。

[0020] この発光ダイオード1は、一方の電極であるn型電極3側のSi基板4上に、n型半導体層5と発光層6とp型半導体層7とを順に積層して成る前記ナノコラム2が複数形成されている。また、ナノコラム2の頂部を他方の電極である透明電極8およびp型電極9で接続することで、Ga₂NナノコラムLEDが構成されている。注目すべきは、本実施の形態では、前記Si基板4上の一部の領域に、凹所であるトレンチ11（第1領域）を形成し、さらにそのトレンチ11内に、ナノコラム2の成長を制御（促進）するマスク層12（第1マスク層）を形成することである。

[0021] 図2は、上述のような発光ダイオード1の具体的な製造工程を説明するた

めの図である。まず、面方位(111)のn型の前記Si基板4上に、RIE装置によって、図2Aで示すようにトレンチ11を形成する。トレンチ11の形状は、たとえば幅 $W1 = 20 \mu\text{m}$ 、壁13の厚さすなわちトレンチ間距離 $W2 = 40 \mu\text{m}$ 、深さ $H = 300 \text{nm}$ である。次に、前記トレンチ11を形成したSi基板4の表面に、常圧CVD装置を用いてSi酸化膜を堆積させた後、通常のリソグラフィ工程とRIE装置とを用いて、トレンチ11外すなわち壁13上(第2領域)のSi酸化膜を除去し、トレンチ11内のみSi酸化膜を残し、図2Bで示すマスク層12とする。

[0022] 詳しくは、図3Aのマスク層121で示すように、Si酸化膜12aは熱酸化膜と比べて緻密性に劣るので、内部に貫通孔12bを有する多孔質の膜になる。そして、前記貫通孔12bはランダムに存在するので、このSi酸化膜12aを厚くする程、図3Bのマスク層122で示すようにSi基板4の表面まで連通する貫通孔12bの個数は、急激に減少する。図3Aおよび図3Bを上面から見たものが、それぞれ図3Cおよび図3Dで示すようになる。Si酸化膜12aの厚さは、たとえば図3Aおよび図3Cで 5nm 、図3Bおよび図3Dで 10nm である。

[0023] こうして多孔のマスク層12を形成した後、前記MBE装置によって図2Cで示すようにナノコラム2を成長させる。具体的には、真空度は $2 \times 10^{-5} \text{torr}$ 、基板温度は 750°C 、プラズマ出力は 450W で、キャリアガスとして水素ガス(H_2)、Ga原料にはトリメチルガリウム($\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$)、窒素原料にはアンモニア(NH_3)を供給する。さらに、n型伝導性を有するSiを不純物として添加するために、シラン(SiH_4)を供給する。成長条件にも左右されるが、Gaフラックスを $3.4 \text{nm}/\text{min}$ の流量で供給し、前記Si酸化膜12aの厚さを 10nm とした場合、前記n型半導体層5は、前記トレンチ11内では壁13上の5倍程度の速度で成長し、約24分成長させることで、トレンチ11内のn型半導体層5と壁13上におけるn型半導体層5との高さが略同一となる。

[0024] ナノコラム2のn型半導体層5が、トレンチ11内において、壁13上よ

り早く成長するのは、次のような理由であると考えられる。すなわち、Si酸化膜12a上にはナノコラム2の成長のための核は成長しないので、たとえばGaNナノコラムの成長の場合、Si酸化膜12a上に吸着したGa原子やN原子はSi酸化膜12a上を拡散し、貫通孔12b内のGaN結晶核に到着してGaNナノコラムの成長に寄与すると考えられる。その結果、図3Aで示す薄いマスク121に比べて、図3Bで示す厚いマスク122の方が、成長に寄与する原子が貫通孔12b内のGaN結晶核により多数供給され、ナノコラム2の成長速度はより速くなる。したがって、マスク12が無くナノコラム2が自然成長する壁13上と、マスク12を有し、結晶核の密度が低いトレンチ11内とでは、トレンチ11内の方が、成長に寄与する原子が結晶核により多数供給されて上述のようにナノコラム2の成長速度はより速くなる。なお、基板4およびマスク層12の材料を変えることで、各原子の吸着確率、拡散速度が変わるので、やはり成長速度を変えることができる。

[0025] 続いて、基板温度を650°Cに下げ、不純物ガスを前記シラン(SiH₄)からIn原料となるトリメチルインジウム(In(CH₃)₃)に変更し、そのInフラックスの流量を10nm/minとして、InGaN量子井戸から成る前記発光層6を成長させる。成長時間は1分間である。Gaフラックスの流量やプラズマ出力は、n型半導体層5の成長時と同じである。ここで重要なのは、InフラックスのレートはGaフラックスのそれよりはるかに大きく、かつGaフラックスのレートはNフラックスのレートより小さいことである。前記発光層6は、InGaN/GaN多重量子井戸構造に形成されてもよい。また、前記n型半導体層5内に、適宜反射膜が形成されてもよい。

[0026] さらに、基板温度を750°Cに上げ、不純物ガスを前記トリメチルインジウム(In(CH₃)₃)からp型伝導性を有するMgを含有するシクロペンタジエニルマグネシウム(Mg(C₅H₅)₂)に変更し、そのMgフラックスの流量を1nm/min、前記Gaフラックスの流量は5nm/minとし

て、前記 p 型半導体層 7 を成長させる。成長時間は 4 分間、プラズマ出力は、ナノコラム 2 の成長を通して、前記 450W で同じである。この p 型半導体層 7 の成長時には、アンモニア (NH₃) の流量、キャリアガス H₂ の流量、もしくは成長温度を徐々に変えてゆくことで、ナノコラム 2 の径を徐々に増加させて、プレーナータイプの p 型層 14 を形成する。

[0027] その後、EB 蒸着装置での蒸着によって、図 1 で示すように、前記 p 型層 14 の表面に、厚さ 3 nm の Ni 層と、厚さ 10 nm の ITO 層とが積層された積層 p 型コンタクト層を前記透明電極 8 として形成し、その上に厚さ 500 nm の Au から成る p 型パッド電極を前記 p 型電極 9 として形成する。また同様に、EB 蒸着装置での蒸着によって、Si 基板 4 の裏面には、厚さ 30 nm の Ti 層と厚さ 500 nm の Au 層とが積層された積層 n 型コンタクト層および n 型パッド電極から成る前記 n 型電極 3 が形成されて、該発光ダイオード 1 が完成する。

[0028] このように Si 基板 4 の一部領域にトレンチ 11 を形成し、そのトレンチ 11 内にさらに前記ナノコラム 2 の成長を制御 (促進) する多孔のマスク層 12 を形成し、さらにその後ナノコラム 2 を成長させることで、前記マスク層 12 の有る領域は、それが無い壁 13 上の領域に比べてナノコラム 2 の成長が速い。そのため、ナノコラム 2 を所定の時間成長させると、前記トレンチ 11 と壁 13 との段差を吸収して、p 型層 14 の表面が略同じ高さとなる。こうして、高さの異なる、すなわちアスペクト比が異なり、放射する光のスペクトルの最大強度を示す波長が異なるナノコラム 2 を少なくとも 2 種類以上形成することができる。

[0029] ここで、図 5 に、本願発明者の実験結果を示す。この図 5 は、上記の組成で、300 nm 径のナノコラム 2 を成長させた場合のナノコラム 2 の高さ (長さ) とピーク波長との関係を示すグラフである。ナノコラム 2 の高さ (長さ) が高く (長く) なる程、すなわちアスペクト比が大きくなる程、ピーク波長が長くなっていることが理解される。前記のようにアスペクト比が大きくなる程、ピーク波長が長くなる理由は、以下の通りである。まず、Ga N

ナノコラム成長のメカニズムに係わる原子の供給は、吸着離脱過程および表面拡散過程によって決定される。以下、ナノコラム成長のメカニズムを粗い近似を用いて述べる。Ga原子は、ナノコラム成長の条件下においては、表面拡散過程が支配的であると考えられる。すなわちGa原子はナノコラムの根元から先端に向かって拡散しながら一定の確率で離脱する。この離脱する確率は拡散時間に比例すると仮定できる。

[0030] 一方、In原子は通常の結晶成長に従い、量子井戸層への吸着離脱過程が支配的となる。このため、ナノコラムの高さ（長さ）が高く（長く）なるにつれ、量子井戸層に到着するGa原子は減少し、その一方、In原子はナノコラムの高さに関係なく一定の割合で量子井戸層に取り込まれる。結果として、量子井戸層のIn/Ga比率は高さ按比例して増加し、上述のように発光波長は長波長側に変化することになる。また、同じ高さで径が異なる場合、量子井戸層に取り込まれるIn原子数はナノコラムの径の二乗に比例する。一方、Ga原子数はナノコラムの径に比例する。結果として、In/Ga比率は径に比例して増加する。以上のことから、波長を決定するIn/Ga比率はナノコラムのアスペクト比（高さ/径）に依存し、アスペクト比が大きい程、長波長側に変化する。

[0031] このようなメカニズムを応用することによって、同一の成長条件で、1チップ上に、前記マスク層12の有る領域と無い壁13上の領域とで、異なる波長を有するLEDチップを形成することができる。そして、CIE (Commission International de l'Eclairage) 色度図における白色領域を交差する直線の長波長側の光と短波長側の光とをそれぞれ放射するように各ナノコラム2の長さを設定しておくことで、白色光を作成することができる。また、前記段差を3段にしておき、それぞれの領域のナノコラム2が放射する光のスペクトルの最大強度を示す波長が、前記CIE色度図における白色領域を包囲する三角形の頂点にある波長の光を放射する長さ設定しておくことで、より忠実な白色光を作成することができる。

[0032] このようにして、同一のSi基板4を用いて、かつ単一の成長工程で簡単

に、したがって低コストに、白色光などの所望の色味を実現する固体光源を実現することができる。また、蛍光体を用いずに所望の色味を実現できるので、高い信頼性および長寿命化を図ることができるとともに、前記マスク層 12 およびトレンチ 11 の面積を任意に調整できるので、ユーザーニーズに合わせて前記色味を細かく高精度に調整することができる。

[0033] また、前記マスク層 12 を Si 酸化膜 12 a とすることで、容易に作成でき、また Si 酸化膜 12 a は、nm オーダーの貫通孔 12 b を有し、さらに該マスク層 12 上にはナノコラム 2 が成長しないので、前記マスク層 12 として好適である。

[0034] [実施の形態 2]

図 6 は本発明の実施の他の形態に係る化合物半導体発光素子である発光ダイオード 21 の構造を模式的に示す断面図であり、図 7 はその発光ダイオード 21 の具体的な製造工程を説明するための図である。この発光ダイオード 21 は、前述の発光ダイオード 1 に類似し、対応する部分には同一の参照符号を付して示し、その説明を省略する。注目すべきは、この発光ダイオード 21 では、壁 13 上にもマスク層 22 が形成されていることである。このマスク層 22 と前述のマスク層 12 とが同じ材質で成る場合、このマスク層 22 は薄く形成され、その厚さは、貫通孔 22 b と貫通孔 12 b との個数が、所望の成長速度の差となるように選ばればよい。また異なる材質で成る場合、前述のように吸着確率および拡散速度が変わるので、それらに所望の成長速度を勘案した厚さとなるように選ばればよい。

[0035] マスク層 12, 22 の形成方法は、先ず前記図 2 A で示すように、Si 基板 4 上にトレンチ 11 を形成した後、前記常圧 CVD 装置を用いて、全面に Si 酸化膜を 5 nm 堆積させる。その後、通常のリソグラフィ工程と RIE 装置とを用いて、図 7 A で示すように、トレンチ 11 外すなわち壁 13 上の Si 酸化膜を除去し、トレンチ 11 内のみに前記 Si 酸化膜 12 a を残す。次に、再び前記常圧 CVD 装置を用いて、全面に Si 酸化膜を 5 nm 堆積させると、図 7 B で示すように、トレンチ 11 内には 10 nm の前記 Si 酸化

膜 1 2 a が、壁 1 3 上には 5 nm の前記 Si 酸化膜 2 2 a がそれぞれ形成されることになる。

[0036] こうして、壁 1 3 上には貫通孔 2 2 b の多いマスク層 2 2 が、トレンチ 1 1 内には貫通孔 1 2 b の少ないマスク層 1 2 が形成され、前述のようにナノコラム 2 の成長速度に差を持たせることができる。

[0037] 上述のように構成される発光ダイオード 1, 2 1 を照明装置に用いることで、単一種類の該発光ダイオード 1, 2 1 を用いても、白色光などの所望の色味を高精度に実現する照明装置を実現することができる。

[0038] 即ち、本発明の一局面に従う化合物半導体発光素子は、一方の電極側となる基板と、前記基板上に垂直方向に延びるナノスケールの複数の柱状結晶構造体と、前記複数の柱状結晶構造体の頂部を互いに接続する他方の電極とを備え、前記基板上には、第 1 領域と、当該第 1 領域との間に段差を有して当該第 1 領域より基板の厚み大きい第 2 領域とが設けられ、前記基板上の第 1 領域の表面に多孔の第 1 マスク層が形成され、前記複数の柱状結晶構造体は、前記基板上の第 1 及び第 2 領域に、n 型半導体層と発光層と p 型半導体層とが順に積層されたものである。

[0039] この構成によれば、多孔の第 1 マスク層が形成された第 1 領域においては、多孔のマスク層を備えない第 2 領域よりも柱状結晶構造体の成長速度が速いので、第 1 領域の柱状結晶構造体と第 2 領域の柱状結晶構造体とを同じ高さで揃えてその頂部を他方の電極によって互いに接続することができる。このとき、第 1 領域と第 2 領域との間の段差の高さ分だけ、第 1 領域の柱状結晶構造体の方が、第 2 領域の柱状結晶構造体より長くなる。そうすると、第 1 領域と第 2 領域とで柱状結晶構造体のアスペクト比が異なるから、第 1 領域と第 2 領域とで異なる波長の光を発光させることが可能となる。

[0040] このとき、各領域の柱状結晶構造体のアスペクト比は、第 1 領域と第 2 領域との間の段差の大きさを調節することにより設定することができる。そして、第 1 領域と第 2 領域との間の段差の大きさは公知の半導体プロセスによって容易に高精度に設定できるから、発光色の色味を細かく高精度に調整す

ることが容易となる。さらに、単一のチップで所望の色味を実現できるから、複数のチップを用いる場合と比べて低コストに所望の色味を実現することが容易である。

[0041] また、前記基板上の第2領域の表面には、前記第1マスク層より孔の密度が高い多孔の第2マスク層が形成されていることが好ましい。

[0042] この構成によれば、第1マスク層より孔の密度が高い多孔の第2マスク層が形成された第2領域では、第1領域よりも柱状結晶構造体の成長速度が遅くなる。これにより、第1領域と第2領域との間の段差分、第1領域の柱状結晶構造体の方が長くなるように第1領域と第2領域とにおける柱状結晶構造体の成長速度を調節することができるので、第1領域の柱状結晶構造体と第2領域の柱状結晶構造体とを同じ高さで揃えてその頂部を他方の電極によって互いに接続することが容易となる。

[0043] また、前記第1マスク層は、Si酸化膜であることが好ましい。

[0044] この構成によれば、第1マスク層を容易に作成でき、またSi酸化膜は、nmオーダーの貫通孔を有し、さらに該マスク層上には柱状結晶構造体が成長しないので、前記マスク層として好適である。そして、Si酸化膜は、薄いほど孔の密度が高くなる。従って、第1マスク層の厚さを調節することにより、第1領域の柱状結晶構造体の成長速度を調節することができる。この場合、第1マスク層の厚さは公知の半導体プロセスによって容易に設定できるから、第1領域の柱状結晶構造体の成長速度を調節することが容易となる。

[0045] また、前記第1及び第2マスク層は、Si酸化膜であり、前記第2マスク層は、前記第1マスク層より薄いことが好ましい。

[0046] Si酸化膜は、薄いほど孔の密度が高くなる。従って、第1及び第2マスク層の厚さを調節することにより、第1及び第2マスク層の孔の密度を調節することができる。そして、柱状結晶構造体の成長速度はマスク層の孔の密度が高いほど遅くなるから、第2マスク層を第1マスク層より薄くすれば、第2領域では、第1領域よりも柱状結晶構造体の成長速度が遅くなる。これ

により、第1領域と第2領域との間の段差分、第1領域の柱状結晶構造体の方が長くなるように第1領域と第2領域とにおける柱状結晶構造体の成長速度を調節することができるので、第1領域の柱状結晶構造体と第2領域の柱状結晶構造体とを同じ高さで揃えてその頂部を他方の電極によって互いに接続することが容易となる。さらに、第1及び第2マスク層の厚さは公知の半導体プロセスによって容易に設定できるから、柱状結晶構造体の成長速度を微調節することが容易となる。

[0047] また、前記第1及び第2領域において設けられた柱状結晶構造体が放射する光のスペクトルの最大強度を示す波長は、CIE色度図における白色領域と交差する直線の両端に位置する色の波長となるように、前記第1及び第2領域において設けられた各柱状結晶構造体の長さ太さとの比がそれぞれ設定されていることが好ましい。

[0048] この構成によれば、1素子で略白色の光を出力することが可能となる。

[0049] また、前記基板には、前記第1及び第2領域を除く残余の領域の少なくとも一部であり、前記基板の前記他方の面において、前記第1及び第2領域と段差を有する第3領域が設けられ、前記第1、第2、及び第3領域において設けられた各柱状結晶構造体が放射する光のスペクトルの最大強度を示す波長は、CIE色度図における白色領域を包囲する三角形の頂点に位置する色の波長となるように、前記第1、第2、及び第3領域における各柱状結晶構造体の長さ太さとの比がそれぞれ設定されていることが好ましい。

[0050] この構成によれば、1素子で、さらに白色に近い光を出力することが可能となる。

[0051] また、本発明の一局面に従う照明装置は、前記の化合物半導体発光素子を用いる。

[0052] 上記の構成によれば、単一種類の化合物半導体発光素子を用いても、白色光などの所望の色味を高精度に実現することが可能な照明装置を得ることができる。

[0053] また、本発明の一局面に従う化合物半導体発光素子の製造方法は、一方の

電極側となる基板上の一部の領域に、第 1 領域として凹所を形成することで、前記第 1 領域と残余の領域である第 2 領域との間に段差を形成する工程と、前記第 1 領域である凹所の底部に多孔の第 1 マスク層を形成する工程と、前記第 1 及び第 2 領域に n 型半導体層と発光層と p 型半導体層とを順に積層して、前記第 1 領域と前記第 2 領域とで略同じ高さまでナノスケールの複数の柱状結晶構造体を成長させる成長工程と、前記複数の柱状結晶構造体の頂部を他方の電極で接続する接続工程とを含む。

[0054] この方法によれば、上述の化合物半導体発光素子を製造することができる。

[0055] また、前記成長工程の前に、前記第 2 領域の表面に、前記第 1 マスク層より孔の密度が高い多孔の第 2 マスク層を形成する工程をさらに含むことが好ましい。

[0056] この方法によれば、前記基板上の第 2 領域の表面に、前記第 1 マスク層より孔の密度が高い多孔の第 2 マスク層が形成される。

[0057] また、前記成長工程において、前記 p 型半導体層を成長させる際に、前記複数の柱状結晶構造体の径を徐々に増加させて隣接する柱状結晶構造体における各 p 型半導体層同士を接合させ、前記接続工程において、前記各 p 型半導体層同士が接合されて形成された p 型層の表面に、透明電極層を形成して前記複数の柱状結晶構造体の頂部を接続することが好ましい。

[0058] この方法によれば、複数の柱状結晶構造体の頂部を互いに接続する電極を作成することが容易である。

[0059] 本発明の一局面に従う化合物半導体発光素子は、一方の電極側となる基板上に、n 型半導体層と発光層と p 型半導体層とを順に積層して成るナノスケールの柱状結晶構造体を複数有し、前記柱状結晶構造体の頂部を他方の電極で接続して成る化合物半導体発光素子において、前記基板は段差を有し、前記基板上で、前記段差の凹所となる領域のみに多孔のマスク層を有し、或いは前記段差の凹所となる領域は凸部となる領域に比べて孔の少ないマスク層を有することを特徴とする。

[0060] また、本発明の化合物半導体発光素子の製造方法は、一方の電極側となる基板上に、n型半導体層と発光層とp型半導体層とを順に積層して成るナノスケールの柱状結晶構造体を複数有し、前記柱状結晶構造体の頂部を他方の電極で接続して成る化合物半導体発光素子の製造方法において、前記基板上の一部の領域に凹所を形成することで、該凹所の領域と残余の領域との間に段差を形成する工程と、前記凹所内のみ多孔のマスク層を形成、或いは前記段差の凹所となる領域は凸部となる領域に比べて孔の少ないマスク層を形成する工程と、前記柱状結晶構造体の各層を順に積層して、前記凹所の領域と凸部となる領域とで前記柱状結晶構造体を略同じ高さまで成長させる工程とを含むことを特徴とする。

[0061] 上記の構成によれば、導電性基板或いは絶縁性の基板上に導電性のバッファ層を備えるなどして、一方の電極側となる基板上に、n型半導体層と発光層とp型半導体層とを順に積層して成り、ナノコラムやナノロッドなどと称されるナノスケールの柱状結晶構造体が複数形成され、前記柱状結晶構造体の頂部を他方の電極で接続して成る化合物半導体発光素子において、その柱状結晶構造体を成長させるにあたって、段差を有する基板を用いるとともに、多孔のマスク層を用い、前記段差の凹所となる領域のみに前記マスク層を形成して、凸部となる領域にはマスク層を形成せず、或いは共にマスク層を形成して、前記段差の凹所となる領域は凸部となる領域に比べて孔を少なく、すなわち厚いマスク層とする。

[0062] したがって、基板上に供給される柱状結晶構造体の材料は、マスク層の有る領域或いはより孔の少ないマスク層の方で、マスク層表面を拡散して結晶核に集まり、柱状結晶構造体の成長が速くなる。これによって、所定の時間成長させた柱状結晶構造体群は、前記凹所が存在しても、前記他方の電極の接続される頂部を略同じ高さとすることができる。こうして、高さの異なる、すなわちアスペクト比が異なり、放射する光のスペクトルの最大強度を示す波長が異なる柱状結晶構造体を少なくとも2種類以上形成することができる。これによって、同一基板でかつ単一の成長工程で簡単に、したがって低

コストに、白色光などの所望の色味を実現する固体光源を実現することができる。また、蛍光体を用いずに所望の色味を実現できるので、高い信頼性および長寿命化を図ることができるとともに、前記凸部および凹所の面積を任意に調整できるので、ユーザーニーズに合わせて前記色味を細かく高精度に調整することができる。

[0063] 本発明の一局面に従う化合物半導体発光素子およびその製造方法は、以上のように、導電性基板或いは絶縁性の基板上に導電性のバッファ層を備えるなどして、一方の電極側となる基板上に、*n*型半導体層と発光層と*p*型半導体層とを順に積層して成り、ナノコラムやナノロッドなどと称されるナノスケールの柱状結晶構造体が複数形成され、前記柱状結晶構造体の頂部を他方の電極で接続して成る化合物半導体発光素子において、その柱状結晶構造体を成長させるにあたって、段差を有する基板を用いるとともに、多孔のマスク層を用い、前記段差の凹所となる領域のみに前記マスク層を形成して、凸部となる領域にはマスク層を形成せず、或いは共にマスク層を形成して、前記段差の凹所となる領域は凸部となる領域に比べて孔を少なく、すなわち厚いマスク層とする。

[0064] それゆえ、基板上に供給される柱状結晶構造体の材料は、マスク層の有る領域或いはより孔の少ないマスク層の方で結晶核に集まり、柱状結晶構造体の成長が速く、所定の時間成長させた柱状結晶構造体群は、前記凹所が存在しても、前記他方の電極の接続される頂部を略同じ高さとすることができる。こうして、高さの異なる、すなわちアスペクト比が異なり、放射する光のスペクトルの最大強度を示す波長が異なる柱状結晶構造体を少なくとも2種類以上形成することができる。これによって、同一基板でかつ単一の成長工程で簡単に、したがって低コストに、白色光などの所望の色味を実現する固体光源を実現することができる。また、蛍光体を用いずに所望の色味を実現できるので、高い信頼性および長寿命化を図ることができるとともに、前記凸部および凹所の面積を任意に調整できるので、ユーザーニーズに合わせて前記色味を細かく高精度に調整することができる。

請求の範囲

- [請求項1] 一方の電極側となる基板と、
前記基板上に垂直方向に延びるナノスケールの複数の柱状結晶構造体と、
前記複数の柱状結晶構造体の頂部を互いに接続する他方の電極とを備え、
前記基板上には、第1領域と、当該第1領域との間に段差を有して当該第1領域より基板の厚み大きい第2領域とが設けられ、
前記基板の第1領域の表面に多孔の第1マスク層が形成され、
前記複数の柱状結晶構造体は、前記基板の第1及び第2領域に、
n型半導体層と発光層とp型半導体層とが順に積層されたものであること
を特徴とする化合物半導体発光素子。
- [請求項2] 前記基板の第2領域の表面には、前記第1マスク層より孔の密度が高い多孔の第2マスク層が形成されていること
を特徴とする請求項1記載の化合物半導体発光素子。
- [請求項3] 前記第1マスク層は、Si酸化膜であることを特徴とする請求項1又は2記載の化合物半導体発光素子。
- [請求項4] 前記第1及び第2マスク層は、Si酸化膜であり、
前記第2マスク層は、前記第1マスク層より薄いことを特徴とする請求項2記載の化合物半導体発光素子。
- [請求項5] 前記第1及び第2領域において設けられた柱状結晶構造体が放射する光のスペクトルの最大強度を示す波長は、CIE色度図における白色領域と交差する直線の両端に位置する色の波長となるように、前記第1及び第2領域において設けられた各柱状結晶構造体の長さ太さとの比がそれぞれ設定されていること
を特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の化合物半導体発光素子。

[請求項6] 前記基板には、前記第1及び第2領域を除く残余の領域の少なくとも一部であり、前記基板の前記他方の面において、前記第1及び第2領域と段差を有する第3領域が設けられ、

前記第1、第2、及び第3領域において設けられた各柱状結晶構造体が放射する光のスペクトルの最大強度を示す波長は、CIE色度図における白色領域を包囲する三角形の頂点に位置する色の波長となるように、前記第1、第2、及び第3領域における各柱状結晶構造体の長さとの比がそれぞれ設定されていること

を特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の化合物半導体発光素子。

[請求項7] 請求項1～6のいずれか1項に記載の化合物半導体発光素子を用いることを特徴とする照明装置。

[請求項8] 一方の電極側となる基板上の一部の領域に、第1領域として凹所を形成することで、前記第1領域と残余の領域である第2領域との間に段差を形成する工程と、

前記第1領域である凹所の底部に多孔の第1マスク層を形成する工程と、

前記第1及び第2領域にn型半導体層と発光層とp型半導体層とを順に積層して、前記第1領域と前記第2領域とで略同じ高さまでナノスケールの複数の柱状結晶構造体を成長させる成長工程と、

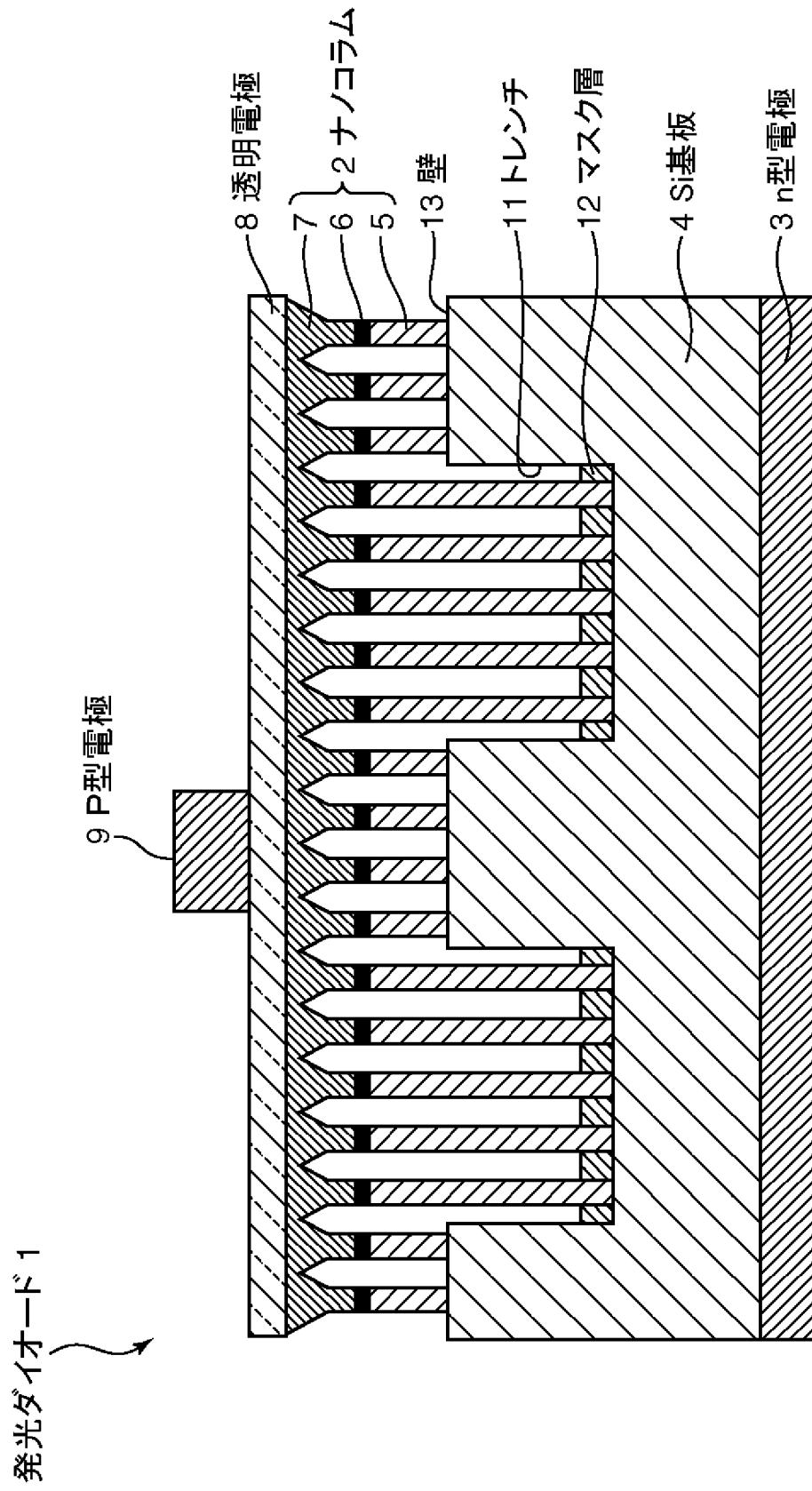
前記複数の柱状結晶構造体の頂部を他方の電極で接続する接続工程とを含むことを特徴とする化合物半導体発光素子の製造方法。

[請求項9] 前記成長工程の前に、前記第2領域の表面に、前記第1マスク層より孔の密度が高い多孔の第2マスク層を形成する工程をさらに含むことを特徴とする請求項8に記載の化合物半導体発光素子の製造方法。

[請求項10] 前記成長工程において、前記p型半導体層を成長させる際に、前記複数の柱状結晶構造体の径を徐々に増加させて隣接する柱状結晶構造体における各p型半導体層同士を接合させ、

前記接続工程において、前記各 p 型半導体層同士が接合されて形成された p 型層の表面に、透明電極層を形成して前記複数の柱状結晶構造体の頂部を接続することを特徴とする請求項 8 又は 9 記載の化合物半導体発光素子の製造方法。

[図1]



[図3]

図3A

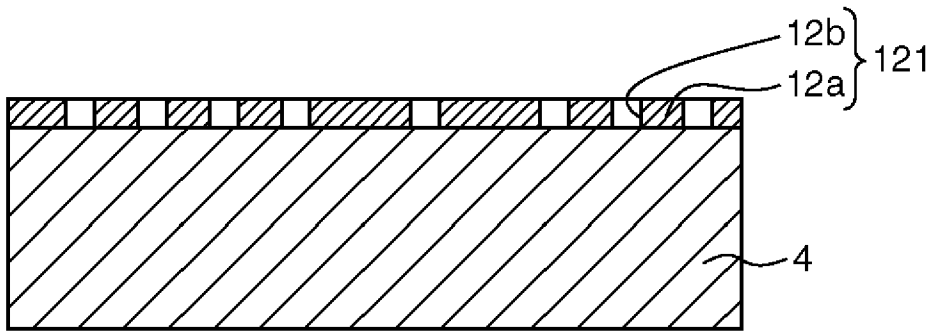


図3B

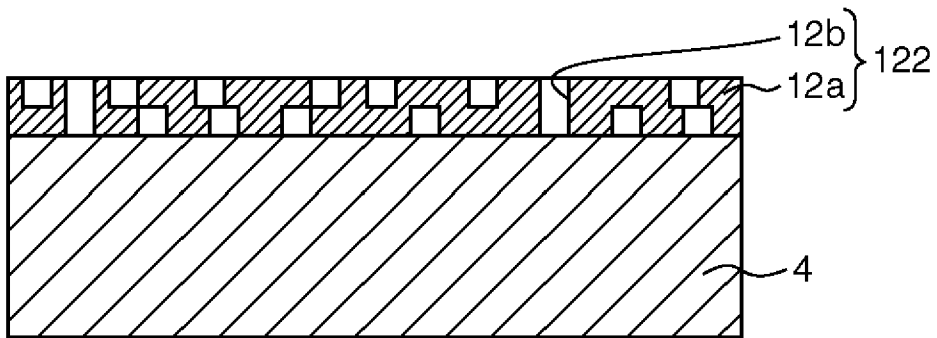


図3C

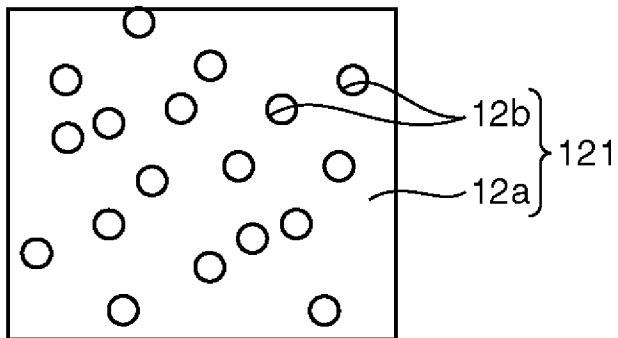
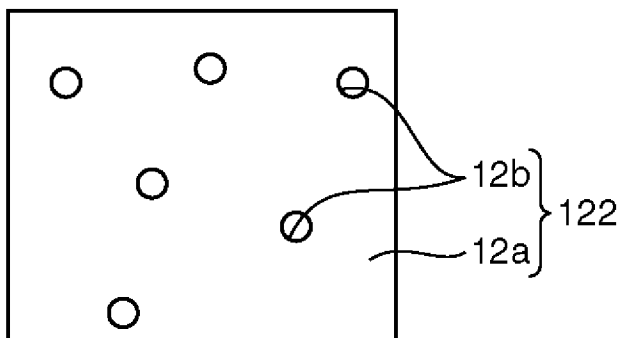


図3D



[図4]

図4A

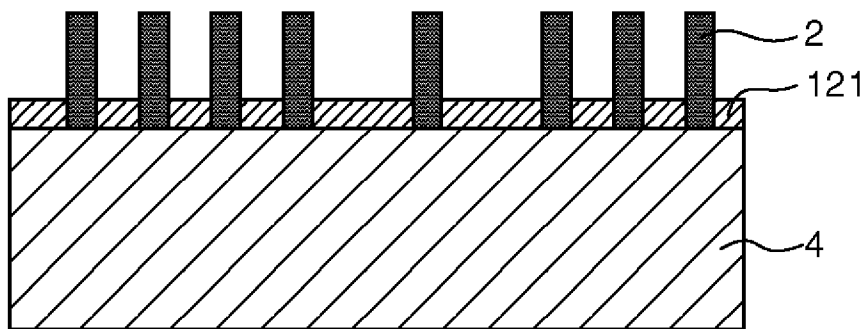
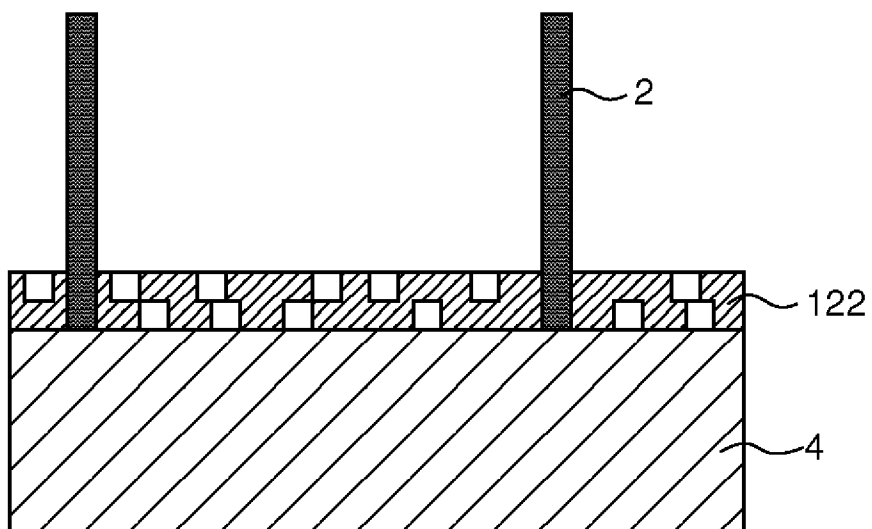
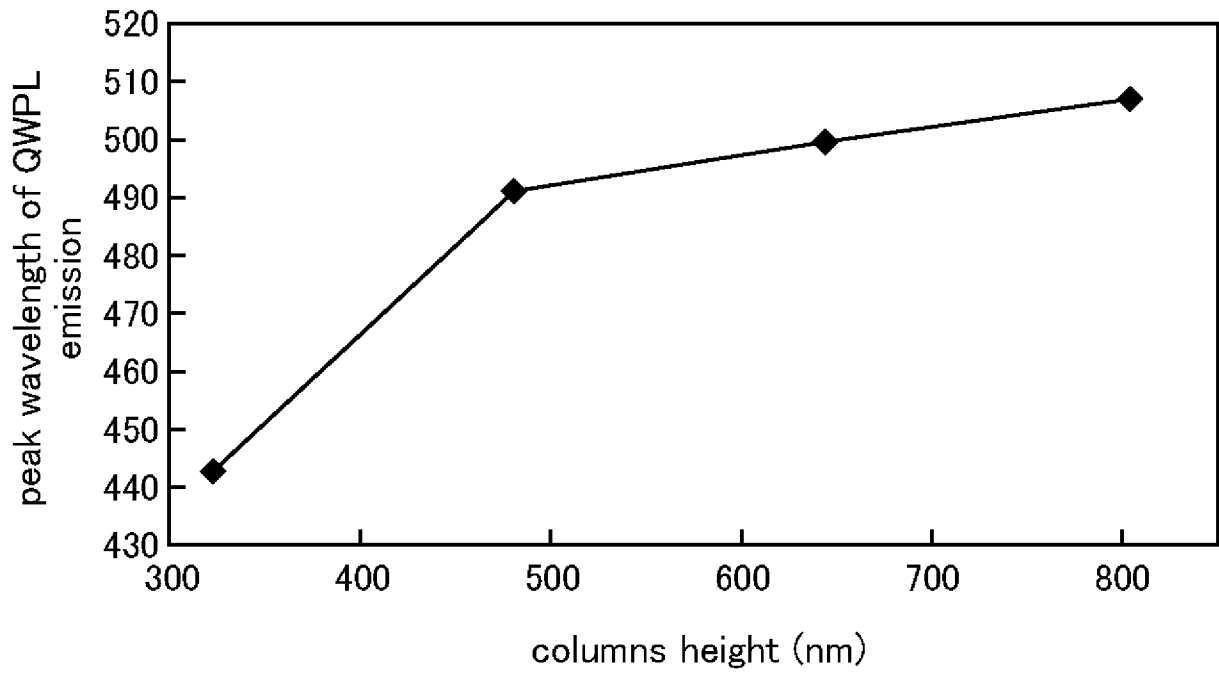


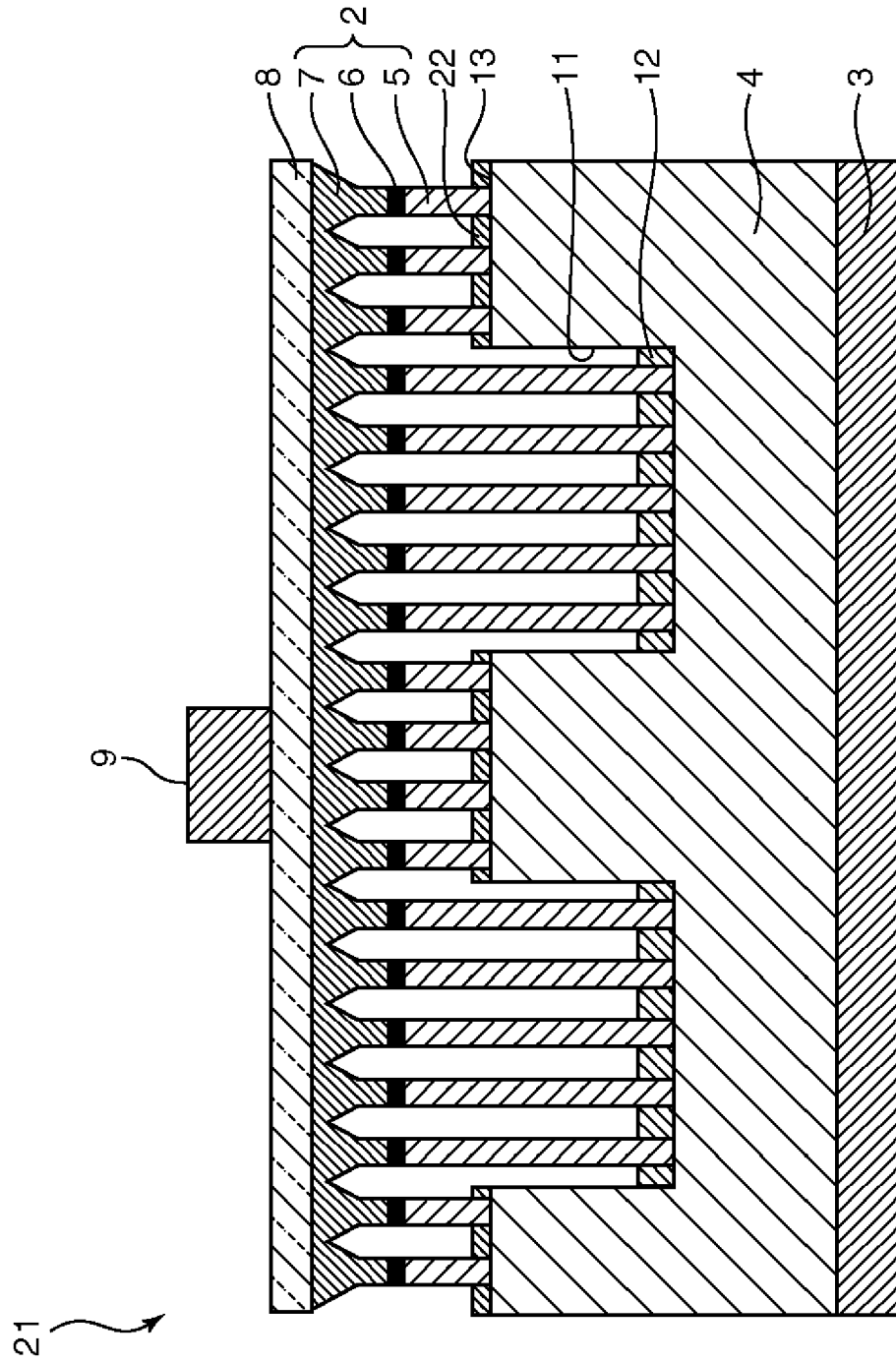
図4B



[5]



[図6]



[図7]

図7A

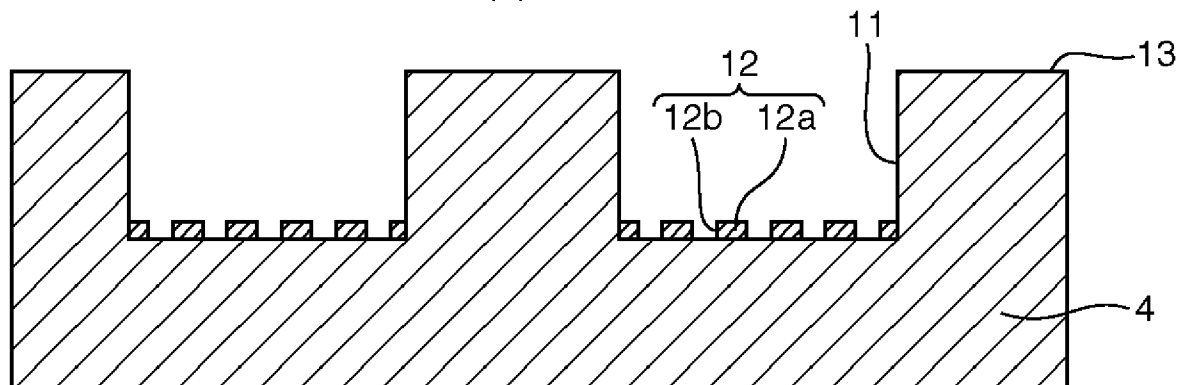


図7B

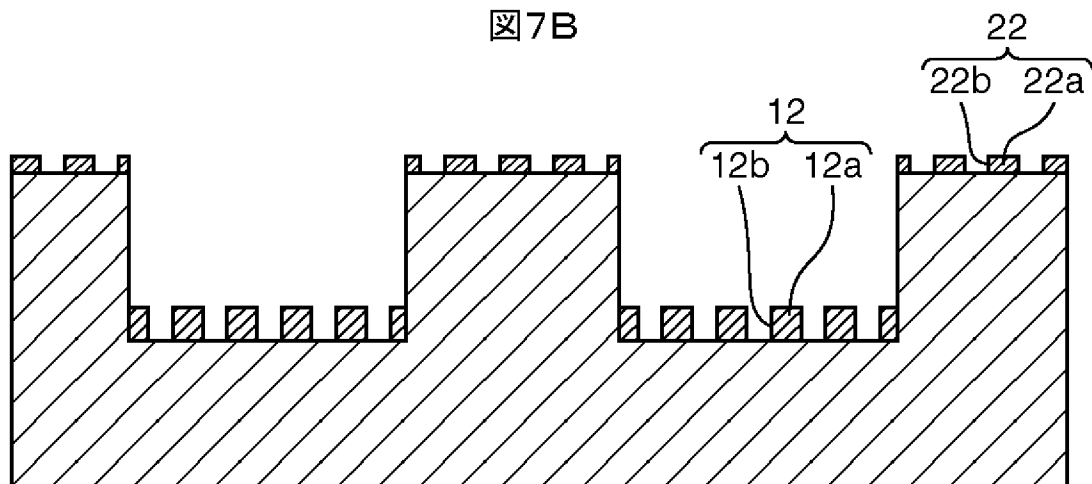
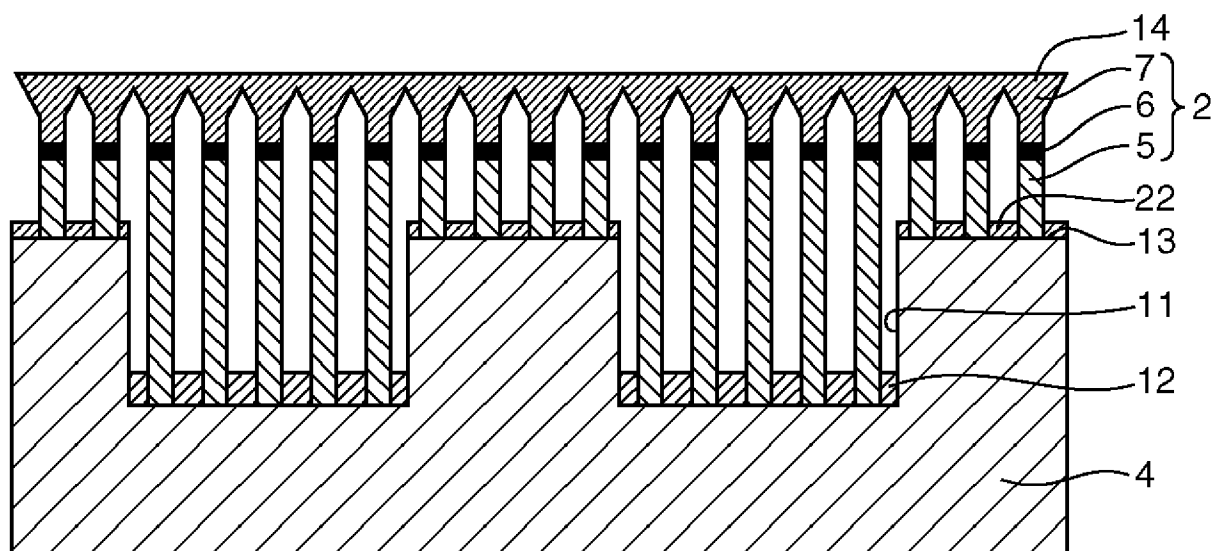


図7C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2009/059504

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L33/00 (2006.01) i

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)
H01L33/00

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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.
A	JP 2007-123398 A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 17 May, 2007 (17.05.07), Par. Nos. [0024] to [0041]; Fig. 1 (Family: none)	1-10
A	JP 2005-268783 A (International Business Machines Corp.), 29 September, 2005 (29.09.05), Par. No. [0024]; Fig. 11 & US 2005/208752 A1 & US 2005/272341 A1 & CN 167941 A	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 10 June, 2009 (10.06.09)	Date of mailing of the international search report 23 June, 2009 (23.06.09)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L33/00(2006.01)i

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. H01L33/00

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	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009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 請求項の番号
A	JP 2007-123398 A (松下電工株式会社) 2007.05.17, 段落 0024-0041, 図 1 ファミリーなし	1-10

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

「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
 「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
 「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)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「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
 「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
 「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
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.06.2009

国際調査報告の発送日

23.06.2009

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)

角地 雅信

2K

3912

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 請求項の番号
A	JP 2005-268783 A (インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・ コーポレーション) 2005.09.29, 段落 0024, 図 11 & US 2005/208752 A1 & US 2005/272341 A1 & CN 167941 A	1-10