

(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
2011 年 9 月 9 日(09.09.2011)



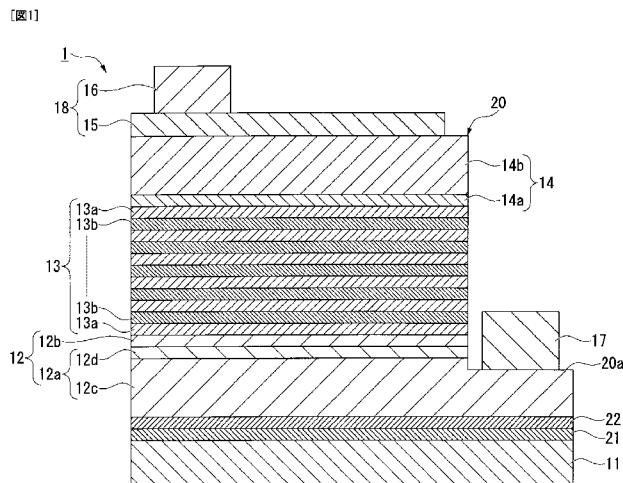
(10) 国際公開番号
WO 2011/108484 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/32 (2010.01) *H01S 5/343* (2006.01)
H01L 21/205 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/054483
- (22) 国際出願日: 2011 年 2 月 28 日(28.02.2011)
- (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 2010-049628 2010 年 3 月 5 日(05.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 昭和電工株式会社(SHOWA DENKO K.K.) [JP/JP]; 〒1058518 東京都港区芝大門一丁目 1 3 番 9 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 酒井 浩光 (SAKAI Hiromitsu) [JP/JP]; 〒2900067 千葉県市原市八幡海岸通 5 番の 1 昭和電工株式会社内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, 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 (AL, 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, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT, SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT, LAMP, ELECTRONIC DEVICE AND MECHANICAL APPARATUS

(54) 発明の名称: 半導体発光素子の製造方法および半導体発光素子、ランプ、電子機器、機械装置



(57) Abstract: Disclosed is a method for manufacturing a semiconductor light emitting element, by which high output can be achieved and defects do not easily occur in a light emitting layer and a p-type semiconductor layer due to the surface of a second n-type semiconductor layer. Specifically disclosed is a method for manufacturing a semiconductor light emitting element (1), which is characterized by comprising: a first step wherein a first n-type semiconductor layer (12c) is arranged on a substrate (11); and a second step wherein a regrown layer (12d) of the first n-type semiconductor layer (12c), a second n-type semiconductor layer (12b), a light emitting layer (13) and a p-type semiconductor layer (14) are sequentially arranged on the first n-type semiconductor layer (12c). The method for manufacturing a semiconductor light emitting element (1) is also characterized in that in the step of arranging the second n-type semiconductor layer (12b), a step (1) wherein a first layer of the second n-type semiconductor layer is formed by supplying Si as a dopant in an amount smaller than that during the formation of the regrown layer (12d) and a step (2) wherein a second layer of the second n-type semiconductor layer is formed by supplying Si in an amount larger than that during the step (1) are sequentially carried out in this order.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2011/108484 A1



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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

第二 n 型半導体層表面に起因する発光層および p 型半導体層の不良が生じにくく、かつ、高い出力の得られる半導体発光素子の製造方法を提供する。基板 (1 1) 上に第一 n 型半導体層 (1 2 c) を積層する第一工程と、前記第一 n 型半導体層 (1 2 c) 上に前記第一 n 型半導体層 (1 2 c) の再成長層 (1 2 d) と第二 n 型半導体層 (1 2 b) と発光層 (1 3) と p 型半導体層 (1 4) とを順次積層する第二工程とを具備し、前記第二 n 型半導体層 (1 2 b) を積層する工程において、前記再成長層 (1 2 d) 形成時よりも少量の前記 Si をドーパントとして供給することにより第二 n 型半導体層第一層を形成する工程 (1) と、前記 Si を前記工程 (1) よりも多く供給することにより第二 n 型半導体層第二層を形成する工程 (2) と、をこの順で行うことを特徴とする半導体発光素子 (1) の製造方法を採用する。

明 細 書

発明の名称：

半導体発光素子の製造方法および半導体発光素子、ランプ、電子機器、機械装置

技術分野

[0001] 本発明は、半導体発光素子の製造方法および半導体発光素子、ランプ、電子機器、機械装置に関し、特に、大電流が印加される場合に好適に用いられ、大電流が印加されることにより高い発光出力が得られる半導体発光素子の製造方法およびこの製造方法を用いて製造された半導体発光素子を備えるランプ、電子機器、機械装置に関する。

本願は、2010年3月5日に、日本に出願された特願2010-049628号に基づき優先権を主張し、それらの内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 従来から、発光ダイオードなどに用いられる半導体発光素子として、基板上に、n型半導体層と発光層とp型半導体層とを順次積層してなるものがある。このような半導体発光素子を製造する方法として、サファイア単結晶などからなる基板上に、有機金属化学気相成長法（MOCVD（Metal Organic Chemical Vapor Deposition）法）によってn型半導体層と発光層とp型半導体層とを連続して順次積層する方法がある。

[0003] しかしながら、基板上に、n型半導体層と発光層とp型半導体層とを連続して順次積層する場合、これらの層が同一の成長室内で形成されるので、n型半導体層を形成する際に用いたドーパントがp型半導体層の形成に支障を来たして、抵抗率の十分に低いp型半導体層が得られない場合があった。

[0004] このような問題を解決する技術として、例えば、特許文献1には、所定の基板上に、少なくとも第一導電形の半導体層と第二導電形の半導体層とを順次成膜して化合物半導体装置を製造するに際し、前記それぞれの導電形の半導体層を、導電形に対応した異なる複数の独立した成長室で成膜するように

して成る化合物半導体装置の製造方法が提案されている。

- [0005] また、最近、半導体発光素子の発光出力を向上させるために、半導体発光素子に大電流が印加される場合が多くなってきており、このような条件にも耐え得る発光特性の優れた半導体発光素子が求められていた。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開平7-45538号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] しかしながら、n型半導体層を形成する成長室とp型半導体層を形成する成長室とを別々にすると、得られた半導体発光素子の出力が不十分となる場合があった。

また、サファイア単結晶などからなる基板上にバッファ層を介して、Ga N下地層およびn型Ga Nコンタクト層（第一n型半導体層）を第一の成長室で形成し、その上に第二の成長室でn型Ga Nコンタクト層（第一n型半導体層の再成長層、または単に再成長層）を形成すると、再成長層表面の平坦性が悪化する場合が多かった。

- [0008] また、nクラッド層を形成する際にはドーパントとしてSiをドーピングする必要があるが、その際には低温（700℃～800℃）で成膜しなければならない。そのため、nクラッド層の結晶性が十分なものにならないという問題があった。

また、Siをドーパントとしてドーピングする際、ドーパント濃度を低くすると結晶性が高くなる一方で、抵抗が高くなるという問題が生じてしまう。また、nクラッド層のドーパント濃度を高めると抵抗が低くなる一方で、結晶性が低くなるという問題が生じていた。

このようにnクラッド層の結晶性が低下すると、その後の工程において第二の成長室でnクラッド層表面上に発光層（MQW層）やp型半導体層を成

長させる際、これらの結晶性が低下してしまう。そのため、LEDチップの製品歩留まりが低下するという問題が生じやすかった。

[0009] 本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、nクラッド層表面に起因する発光層およびp型半導体層の不良が生じにくく、かつ、高い出力の得られる半導体発光素子の製造方法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0010] 上記の目的を達成するために、本発明は以下の手段を提供する。

〔1〕 第一有機金属化学気相成長装置において、基板上に第一n型半導体層を積層する第一工程と、第二有機金属化学気相成長装置において、前記第一n型半導体層上に前記第一n型半導体層の再成長層と第二n型半導体層と発光層とpクラッド層およびpコンタクト層からなるp型半導体層とを順次積層する第二工程とを具備し、前記第二n型半導体層を積層する工程において、前記再成長層形成時よりも少量のSiをドーパントとして供給することにより第二n型半導体層第一層を形成する工程（1）と、前記Siを前記工程（1）よりも多く供給することにより第二n型半導体層第二層を形成する工程（2）と、をこの順で行うことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

〔2〕 前記第二n型半導体層第二層を、少なくとも前記発光層側の界面から0nm～60nmの領域内に形成することを特徴とする〔1〕に記載の半導体発光素子の製造方法。

〔3〕 前記第二n型半導体層第一層に前記Siを $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の濃度で含有させ、前記第二n型半導体層第二層に前記Siを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有させることを特徴とする〔1〕または〔2〕に記載の半導体発光素子の製造方法。

〔4〕 前記第二n型半導体層第二層の前記発光層側界面に前記Siを、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有させることを特徴とする〔1〕乃至〔3〕に記載の半導体発光素子の製造方法。

〔5〕 前記工程（1）において前記第二n型半導体層第一層を10nm～

100nmの膜厚で形成し、前記工程（2）において前記第二n型半導体層第二層を4nm～60nmの膜厚で形成することを特徴とする〔1〕乃至〔4〕に記載の半導体発光素子の製造方法。

〔6〕 前記工程（1）および前記工程（2）において、前記第二n型半導体層の原料ガスとともに前記Siを含有するドーパントガスを供給することにより、前記第二n型半導体層を形成することを特徴とする〔1〕乃至〔5〕に記載の半導体発光素子の製造方法。

〔7〕 前記pコンタクト層を、pコンタクト下層と、pコンタクト上層とを積層することにより形成し、前記pコンタクト下層にMgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度の濃度で含有させ、前記pコンタクト上層に前記Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度の濃度で含有させることを特徴とする〔1〕乃至〔6〕に記載の半導体発光素子の製造方法。

〔8〕 基板上に第一n型半導体層と前記第一n型半導体層の再成長層と第二n型半導体層と発光層とpクラッド層およびpコンタクト層からなるp型半導体層とが積層された半導体発光素子であって、前記第二n型半導体層が、前記再成長層よりもSi含有量が少ない第二n型半導体層第一層と、前記第二n型半導体層第一層よりも前記Si含有量の多い第二n型半導体層第二層とがこの順で積層された構成であることを特徴とする半導体発光素子。

〔9〕 前記第二n型半導体層第二層が、少なくとも発光層側の界面から0nm～60nmの領域内に形成されていることを特徴とする〔8〕に記載の半導体発光素子。

〔10〕 前記第二n型半導体層のうち、前記第二n型半導体層第一層に前記Siが $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の濃度で含有され、前記第二n型半導体層第二層に前記Siが $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有されることを特徴とする〔8〕または〔9〕に記載の半導体発光素子。

〔11〕 前記第二n型半導体層第二層の前記発光層側界面に前記Siが、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有されることを特徴とす

る請求項〔８〕乃至〔１０〕に記載の半導体発光素子。

〔１２〕 前記第二ｎ型半導体層第一層が１０ｎｍ～１００ｎｍ、前記第二ｎ型半導体層第二層が４ｎｍ～６０ｎｍの膜厚でそれぞれ形成されていることを特徴とする請求項〔８〕乃至〔１１〕に記載の半導体発光素子。

〔１３〕 前記ｐコンタクト層は、ｐコンタクト下層と、ｐコンタクト上層とが積層してなり、前記ｐコンタクト下層にＭｇが $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度で含有され、前記ｐコンタクト上層に前記Ｍｇが $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度で含有されることを特徴とする〔８〕乃至〔１２〕に記載の半導体発光素子。

〔１４〕 〔１〕乃至〔７〕のいずれかに記載の半導体発光素子の製造方法を用いて製造された半導体発光素子を備えることを特徴とするランプ。

〔１５〕 〔１４〕に記載のランプが組み込まれていることを特徴とする電子機器。

〔１６〕 〔１５〕に記載の電子機器が組み込まれていることを特徴とする機械装置。

発明の効果

[0011] 本発明の半導体発光素子の製造方法によれば、第二の成長室（第二有機金属化学気相成長装置）内で第二ｎ型半導体層を積層する工程において、再成長層形成時よりも少量のＳｉをドーパントとして供給することにより第二ｎ型半導体層第一層を形成する工程（１）と、前記工程（１）よりも多くＳｉをドーパントとして供給することにより第二ｎ型半導体層第二層を形成する工程（２）と、をこの順で行うことにより、第二ｎ型半導体層内のＳｉ含有量を変えることができる。

[0012] これにより、結晶性の高い第二ｎ型半導体層第一層上に、低抵抗の第二ｎ型半導体層第二層が積層した構成の第二ｎ型半導体層を形成することができる。そのため、第二ｎ型半導体層の抵抗を低くすると共に、結晶性が向上し、その表面の平坦性が改善される。これにより、その後の工程において結晶性の良好な発光層（MQW層）やｐ型半導体層を成長させることができる。

この結果、LEDチップの製品歩留まりを改善することができ、収率面で大幅な生産性向上を図ることが可能となる。また、第二n型半導体層内に、抵抗の低い第二n型半導体層第二層を形成することにより、駆動電流を拡散させることができる。そのため、高電流LEDであっても、発光箇所の集中を効果的に防ぐことが可能となる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1] 図1は、本発明の半導体発光素子の製造方法を用いて製造された半導体発光素子の一例を示した断面模式図である。

[図2] 図2は、図1に示す半導体発光素子を製造する工程を説明するための断面模式図である。

[図3] 図3は、図1に示した半導体発光素子を備えるランプの一例を示した断面模式図である。

[図4] 図4は、実施例1～実施例5、比較例1の半導体発光素子の印加電流と電力効率との関係を示したグラフである。

[図5] 図5は、実施例1～実施例5、比較例1の半導体発光素子の印加電流と発光出力との関係を示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0014] 以下、本発明の半導体発光素子1について、図1を用いて詳細に説明する。なお、以下の説明において参照する図面は、便宜上特徴となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などは実際と同じであるとは限らない。また、以下の説明において例示される材料、寸法等は一例であって、本発明はそれらに限定されるものではなく、その要旨を変更しない範囲で適宜変更して実施することが可能である。

[0015] 図1は、本発明の半導体発光素子1の一例を示した断面模式図である。

図1に示す本実施形態の半導体発光素子1は、基板11と、基板11上に積層された積層半導体層20と、積層半導体層20の上面に積層された透光性電極15と、透光性電極15上に積層されたp型ボンディングパッド電極16と、積層半導体層20の露出面20a上に積層されたn型電極17と、

から概略構成されている。

[0016] 積層半導体層 20 は、基板 11 側から、n 型半導体層 12、発光層 13、p 型半導体層 14 がこの順に積層されて構成されている。図 1 に示すように、n 型半導体層 12、発光層 13、p 型半導体層 14 は、その一部がエッチング等の手段によって除去されており、除去された部分から n 型半導体層 12 の一部が露出されている。そして、n 型半導体層 12 の露出面 20a には、n 型電極 17 が積層されている。

また、p 型半導体層 14 の上面には、透光性電極 15 および p 型ボンディングパッド電極 16 が積層されている。これら、透光性電極 15 および p 型ボンディングパッド電極 16 によって、p 型電極 18 が構成されている。

[0017] n 型半導体層 12、発光層 13 および p 型半導体層 14 を構成する半導体としては、III 族窒化物半導体を用いることが好ましく、窒化ガリウム系化合物半導体を用いることがより好ましい。本発明における n 型半導体層 12、発光層 13 および p 型半導体層 14 を構成する窒化ガリウム系化合物半導体としては、一般式 $Al_x In_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 \leq x < 1$, $0 \leq y < 1$, $0 \leq x + y < 1$) で表わされる各種組成の半導体を何ら制限なく用いることができる。

[0018] 本実施形態の半導体発光素子 1 は、p 型電極 18 と n 型電極 17 との間に電流を通じることで、積層半導体層 20 を構成する発光層 13 から発光を発生されるようになっており、発光層 13 からの光を、p 型ボンディングパッド電極 16 の形成された側から取り出すフェイスアップマウント型の発光素子である。なお、本発明の半導体発光素子は、フリップチップ型の発光素子であってもよい。

以下、それぞれの構成について詳細に説明する。

[0019] <基板 11>

基板 11 としては、例えば、サファイア、SiC、シリコン、酸化亜鉛、酸化マグネシウム、酸化マンガ、酸化ジルコニウム、酸化マンガ、酸化マグネシウムアルミニウム、ホウ化ジルコニウム、酸化ガリウム、酸

化インジウム、酸化リチウムガリウム、酸化リチウムアルミニウム、酸化ネオジウムガリウム、酸化ランタンストロンチウムアルミニウムタンタル、酸化ストロンチウムチタン、酸化チタン、ハフニウム、タングステン、モリブデン等からなる基板を用いることができる。上記基板の中でも、特に、c面を主面とするサファイア基板を用いることが好ましい。

[0020] (バッファ層21)

バッファ層21は、設けられていなくてもよいが、基板11と下地層22との格子定数の違いを緩和して、基板11の(0001)C面上にC軸配向した単結晶層の形成を容易にするために、設けられていることが好ましい。バッファ層21の上に単結晶の下地層22を積層すると、より一層結晶性の良い下地層22が積層できる。

[0021] バッファ層21は、単結晶の $A\text{I}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなるものが特に好ましいが、多結晶の $A\text{I}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなるものであってもかまわない。

バッファ層21は、例えば、多結晶の $A\text{I}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) からなる厚さ $0.01\mu\text{m} \sim 0.5\mu\text{m}$ のものとすることができる。バッファ層21の膜厚が $0.01\mu\text{m}$ 未満であると、バッファ層21により基板11と下地層22との格子定数の違い緩和する効果が十分に得られない場合がある。また、バッファ層21の膜厚が $0.5\mu\text{m}$ を超えると、バッファ層21としての機能には変化が無いのにも関わらず、バッファ層21の成膜処理時間が長くなり、生産性が低下する問題がある。

[0022] バッファ層21は、多結晶構造又は単結晶構造を有するものとすることができる。このような多結晶構造又は単結晶構造を有するバッファ層21を基板11上にMOCVD法またはスパッタ法にて成膜した場合、バッファ層21のバッファ機能が有効に作用するため、その上に成膜されたIII族窒化物半導体は良好な配向性及び結晶性を有する結晶膜となる。

[0023] (下地層22)

下地層22の材料としては、 $A\text{I}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) を用いると結

晶性の良い下地層 22 を形成できるため特に好ましいが、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$) を用いてもかまわない。

下地層 22 の膜厚は $0.1 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、より好ましくは $0.5 \mu\text{m}$ 以上であり、 $1 \mu\text{m}$ 以上が最も好ましい。この膜厚以上にした方が結晶性の良好な $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層が得られやすい。また、下地層 22 の膜厚は $10 \mu\text{m}$ 以下が好ましい。

下地層 22 の結晶性を良くするために、下地層 22 には不純物をドーピングしない方が望ましい。しかし、p 型あるいは n 型の導電性が必要な場合には、下地層 22 にアクセプター不純物あるいはドナー不純物を添加することができる。

[0024] <積層半導体層 20>

(n 型半導体層 12)

n 型半導体層 12 はさらに、n コンタクト層 12a (第一 n 型半導体層 12c および再成長層 12d) と、n クラッド層 12b (第二 n 型半導体層) とから構成されている。

[0025] (n コンタクト層 12a)

n コンタクト層 12a は、n 型電極 17 を設けるための層であり、後述する第一工程において形成された第一 n 型半導体層 12c と、後述する第二工程において形成された再成長層 12d とからなる。第一 n 型半導体層 12c と再成長層 12d とは、好ましくは同一の材料からなるものがよく、第一 n 型半導体層 12c の膜厚が、再成長層 12d の膜厚よりも厚くなっている。

また、本実施形態においては、図 1 に示すように、第一 n 型半導体層 12c に n 型電極 17 を設けるための露出面 20a が形成されている。なお、n 型電極 17 を設けるための露出面 20a は、再成長層 12d に形成されていてもよい。

[0026] n コンタクト層 12a は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層 ($0 \leq x < 1$ 、好ましくは $0 \leq x \leq 0.5$ 、さらに好ましくは $0 \leq x \leq 0.1$) から構成されることが好

ましく、 n 型不純物（ドーパント）がドーブされている。 n コンタクト層 12a に n 型不純物が $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有されている場合、 n 型電極 17 との良好なオーミック接触の維持の点で好ましい。 n コンタクト層 12a に用いられる n 型不純物としては、特に限定されないが、例えば、Si、Ge、Sn 等が挙げられ、Si および Ge が好ましく、Si が最も好ましい。なお、本実施形態では Si が含有されている。

[0027] n コンタクト層 12a を構成する第一 n 型半導体層 12c の膜厚は、 $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ であることが好ましく、 $2 \mu\text{m} \sim 4 \mu\text{m}$ の範囲であることがより好ましい。第一 n 型半導体層 12c の膜厚が上記範囲内であると、半導体の結晶性が良好に維持される。また、第一 n 型半導体層 12c には、 n 型不純物（ドーパント）として $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度の Si が含有されている。

[0028] また、再成長層 12d の膜厚は、 $0.05 \sim 2 \mu\text{m}$ であることが好ましく、 $0.2 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$ であることがより好ましい。

再成長層 12d の膜厚が $0.05 \mu\text{m}$ 以上であると、 n コンタクト層 12a の成長を中断し成長室内から取り出して、その後別の装置の成長室内で n コンタクト層 12a の成長を再開したことによる n コンタクト層 12a の結晶性への影響を少なくすることができ、半導体発光素子の出力を向上させる効果がより顕著となる。

[0029] また、再成長層 12d の膜厚が $2 \mu\text{m}$ を超えると、 p 型半導体層 14 を形成する際に用いられる第 2 有機金属化学気相成長装置の成長室内に、 n 型半導体層 12 を形成した後に残されるドーパントや堆積物の量が多くなり、 n 型半導体層 12 を形成する際に用いたドーパントや堆積物に起因する p 型半導体層 14 の不良が生じやすくなる。さらに再成長層 12d の成膜処理時間が長くなり、生産性が低下する。

また、再成長層 12d には、第一 n 型半導体層 12c と同じく、 n 型不純物（ドーパント）として Si が、例えば $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度で含有されている。

[0030] nクラッド層12b（第二n型半導体層）は、nコンタクト層12aと発光層13との間に設けられている。nクラッド層12bは、発光層13へのキャリアの注入とキャリアの閉じ込めを行なう層であり、再成長層12dと発光層13との結晶格子の不整合を緩和する発光層13のバッファ層としても機能する。また、nクラッド層12bはAlGa_xN、Ga_xN、GaIn_{1-x}Nなどで形成することが可能である。なお、明細書中各元素の組成比を省略してAlGa_xN、GaIn_{1-x}Nと記述する場合がある。nクラッド層12bをGaIn_{1-x}Nで形成する場合には、発光層13のGaIn_{1-x}Nのバンドギャップよりも大きくすることが望ましいことは言うまでもない。

[0031] nクラッド層12bは、単層または超格子構造のどちらの構造であっても構わない。nクラッド層12bが単層からなるものである場合、nクラッド層12bの膜厚は、5nm～500nmであることが好ましく、より好ましくは5nm～100nmである。

また、本実施形態のnクラッド層12bはSi含有量が再成長層12dよりも少ない第二n型半導体層第一層と、Si含有量が第二n型半導体層第一層よりも多い第二n型半導体層第二層が、この順で積層した構成となっている。

[0032] 第二n型半導体層第一層は、10nm～100nmの膜厚で形成されることが好ましい。第二n型半導体層第一層の膜厚が10nm未満であると、nクラッド層12b（第二n型半導体層）の表面が十分な平坦性で形成されないため好ましくない。また、第二n型半導体層第一層の膜厚が100nmを超えると、nクラッド層12b（第二n型半導体層）の抵抗が高くなるので、発光素子の駆動電圧V_fが高くなり、半導体発光素子1の発光出力が低下する。

また、第二n型半導体層第一層に含有されるSiの濃度は、 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の範囲内であることが好ましい。また、Si濃度が $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ を超えると、第二n型半導体層第一層の結晶性が低下するため、半導体発光素子1の発光出力が低下する。

[0033] 第二n型半導体層第二層は、前記第二n型半導体層第一層上に積層した構成であり、後述する発光層13側の界面から少なくとも0nm～60nmの範囲内に形成されていることが好ましい。すなわち、低Si濃度層の一部に高Si濃度層が形成された構成であることが好ましい。

また、第二n型半導体層第二層は、4nm～60nmの膜厚で形成されていることが好ましい。第二n型半導体層第二層が4nm未満であると、第二n型半導体層に電流を流した際の駆動電圧 V_f が十分低くならず、半導体発光素子1の発光出力が低下する。また、第二n型半導体層第二層の膜厚が60nmを超えると、第二n型半導体層第二層表面は十分な平坦性で形成されない。そのため、第二n型半導体層第二層上に結晶性の良好な発光層(MQW層)やP型半導体層を形成することができず、半導体発光素子1の発光出力が低下する。

[0034] また、第二n型半導体層第二層に含有されるSi濃度は、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ であることが好ましい。第二n型半導体層第二層に含有されるSi濃度が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であると、第二n型半導体層に電流を流した際の駆動電圧 V_f が十分低くならない。また、Si濃度が $2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ を超えると、結晶性が悪化し、その表面の平坦性が悪化するため好ましくない。

また、第二n型半導体層第二層の発光層側の界面には、Siが $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲で、なおかつ第二n型半導体層第二層と同じかそれ以上の濃度で含有されていることが特に好ましい。第二n型半導体層第二層以上のSiが含有されている層の厚さは、4nm～40nmの範囲であることが好ましい。第二n型半導体層第二層の発光層側の界面のSi濃度を高くすることにより、発光層へのキャリアの注入効率を高めることができる。

[0035] このように、本実施形態において第二n型半導体層第一層は、Si含有量を再成長層よりも少量とし、好ましくは $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の範囲内とすることにより、その結晶性は良好となる。そのため、第二n

型半導体層第一層の表面は平坦に形成される。また、第二 n 型半導体層第二層には第二 n 型半導体層第一層よりも S i が多く含有されているため、第二 n 型半導体層第一層と比べて低抵抗となる。

[0036] 第二 n 型半導体層第二層は、第二 n 型半導体層第一層よりも S i が多く含有されているが、4 nm～60 nm の範囲の薄い層である為に、第二 n 型半導体層第二層表面の平坦性への影響は少ない。よって、第二 n 型半導体層（第二 n 型半導体層第二層）表面の平坦性を十分なものとすることができる。

このように、本実施形態の n クラッド層 12 b（第二 n 型半導体層）は、高結晶の第二 n 型半導体層第一層上に、低抵抗の第二 n 型半導体層第二層が積層した構成である。また、n クラッド層 12 b（第二 n 型半導体層）のうち、一部に S i 濃度が高い層を形成することができる。そのため、高電流 L E D であっても、駆動電流を均一に拡散させて発光箇所の集中を効果的に防ぐと共に、発光出力を向上させることが可能となる。これは、発光箇所が集中しやすい高電流 L E D においては特に顕著な効果となる。

[0037] 本実施形態においては、n クラッド層 12 b は、単層であってもよいが、組成の異なる 2 つの薄膜層を繰り返し成長させて 10 ペア数（20 層）～40 ペア数（80 層）からなる超格子構造であることが好ましい。n クラッド層 12 b が超格子構造からなるものである場合、薄膜層の積層数が 20 層以上であると、再成長層 12 d と発光層 13 との結晶格子の不整合をより効果的に緩和することができ、半導体発光素子 1 の出力を向上させる効果がより顕著となる。しかし、薄膜層の積層数が 80 層を超えると、超格子構造が乱れやすくなる場合もあり、発光層 13 に悪影響を来す恐れが生じる。さらに、n クラッド層 12 b の成膜処理時間が長くなり、生産性が低下する問題がある。

[0038] また、n クラッド層 12 b が超格子構造からなる場合は、I I I 族窒化物半導体からなる n 側第一層と、該 n 側第一層と組成が異なる I I I 族窒化物半導体からなる n 側第二層とが積層された構成であることが好ましく、n 側第一層と n 側第二層とが交互に繰り返し複数積層された構成を含むものである。

ことがより好ましい。

[0039] この場合、 n クラッド層 1 2 b の超格子構造を構成する n 側第一層および n 側第二層は、 $GaInN/GaN$ の交互構造、 $AlGaIn/GaN$ の交互構造、 $GaInN/AlGaIn$ の交互構造、組成の異なる $GaInN/GaInN$ の交互構造（本発明における“組成の異なる”との説明は、各元素組成比が異なることを指す）、組成の異なる $AlGaIn/AlGaIn$ の交互構造とすることができ、 $GaInN/GaN$ の交互構造又は組成の異なる $GaInN/GaInN$ の交互構造であることが好ましい。

[0040] また、 n 側第一層および n 側第二層の膜厚は、それぞれ 100 オングストローム以下であることが好ましく、60 オングストローム以下であることがより好ましく、40 オングストローム以下であることがさらに好ましく、それぞれ 10 オングストローム～40 オングストロームの範囲であることが最も好ましい。超格子層を形成する n 側第一層および/または n 側第二層の膜厚が 100 オングストローム超であると、結晶欠陥が入りやすくなるため好ましくない。

[0041] <発光層 1 3>

発光層 1 3 は、障壁層 1 3 a と井戸層 1 3 b とが交互に複数積層された多重量子井戸構造からなる。多重量子井戸構造における積層数は 3 層から 10 層であることが好ましく、4 層から 7 層であることがさらに好ましい。

[0042] (井戸層 1 3 b)

井戸層 1 3 b の膜厚は、15 オングストローム以上 50 オングストローム以下の範囲であることが好ましい。井戸層 1 3 b の膜厚が上記範囲内であることにより、より高い発光出力を得ることができる。

また、井戸層 1 3 b は、 In を含む窒化ガリウム系化合物半導体であることが好ましい。 In を含む窒化ガリウム系化合物半導体は、青色の波長領域の強い光を発光するものであるため、好ましい。また、井戸層 1 3 b には、不純物をドーピングすることができる。また、本実施形態におけるドーパントとしては Si を用いることが好ましい。ドーピング量は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 1$

0.17 cm^{-3} 程度が好適である。

[0043] (障壁層 13a)

障壁層 13a の膜厚は、20 オングストローム以上 100 オングストローム未満の範囲であることが好ましい。障壁層 13a の膜厚が薄すぎると、障壁層 13a 上面の平坦化を阻害し、発光効率の低下やエージング特性の低下を引き起こす。また、障壁層 13a の膜厚が厚すぎると、駆動電圧の上昇や発光の低下を引き起こす。このため、障壁層 13a の膜厚は 70 オングストローム以下であることがより好ましい。

また、障壁層 13a は、GaN や AlGaIn のほか、井戸層を構成する InGaIn よりも In 比率の小さい InGaIn で形成することができる。中でも、GaN が好適である。

また、障壁層 13a には、不純物をドーピングすることができる。本実施形態におけるドーパントとしては Si を用いることが好ましい。ドーピング量は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度が好適である。

[0044] < p 型半導体層 14 >

p 型半導体層 14 は、通常、p クラッド層 14a および p コンタクト層 14b から構成される。また、p コンタクト層 14b が p クラッド層 14a を兼ねることも可能である。

[0045] (p クラッド層 14a)

p クラッド層 14a は、発光層 13 へのキャリアの閉じ込めとキャリアの注入を行なう層である。p クラッド層 14a としては、発光層 13 のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、発光層 13 へのキャリアの閉じ込めができるものであれば特に限定されないが、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 0.4$) からなるものであることが好ましい。p クラッド層 14a が、このような AlGaIn からなるものである場合、発光層 13 へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。

[0046] p クラッド層 14a の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは 1 ~ 400 nm であり、より好ましくは 5 ~ 100 nm である。p クラッド層 14a

のp型ドーピング濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ であることが好ましく、より好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。p型ドーピング濃度が上記範囲であると、結晶性を低下させることなく良好なp型結晶が得られる。また、pクラッド層14aは、薄膜を複数回積層してなる超格子構造であってもよい。

[0047] pクラッド層14aが超格子構造を含むものである場合には、III族窒化物半導体からなるp側第一層と、該p側第一層と組成が異なるIII族窒化物半導体からなるp側第二層とが積層されたものとすることができる。pクラッド層14aが超格子構造を含むものである場合、p側第一層とp側第二層とが交互に繰返し積層された構造を含んだものであっても良い。

[0048] pクラッド層14aの超格子構造を構成するp側第一層およびp側第二層は、それぞれ異なる組成、例えば、AlGaInN、GaInN又はGaInNのうち何れの組成であっても良く、GaInN/GaNの交互構造、AlGaInN/GaNの交互構造、又はGaInN/AlGaInNの交互構造であっても良い。本発明においては、p側第一層およびp側第二層は、AlGaInN/AlGaInN又はAlGaInN/GaNの交互構造であることが好ましい。

[0049] p側第一層およびp側第二層の膜厚は、それぞれ100オングストローム以下であることが好ましく、60オングストローム以下であることがより好ましく、40オングストローム以下であることがさらに好ましく、それぞれ10オングストローム～40オングストロームの範囲であることが最も好ましい。超格子層を形成するp側第一層とp側第二層の膜厚が100オングストローム超であると、結晶欠陥が入りやすくなるため好ましくない。

[0050] p側第一層およびp側第二層は、それぞれドーピングした構造であっても良く、また、ドーピング構造/未ドーピング構造の組み合わせであっても良い。ドーピングされる不純物としては、上記材料組成に対して従来公知のものを、何ら制限無く適用できる。例えば、pクラッド層として、AlGaInN/GaNの交互構造又は組成の異なるAlGaInN/AlGaInNの交互構造を有する超格子構造を用いた場合には、不純物としてMgが好適である。また、超格子構造を構

成するp側第一層およびp側第二は、GaInNやAlGa_{1-x}N、Ga_{1-x}Nで代表される組成が同じであって、ドーピング構造／未ドーピング構造を組み合わせたものであってもよい。

[0051] (pコンタクト層14b)

pコンタクト層14bは、正極を設けるための層である。pコンタクト層14bは、Al_xGa_{1-x}N (0 ≤ x ≤ 0.4) からなるものであることが、良好な結晶性の維持およびpオーミック電極との良好なオーミック接触の点で好ましい。また、pコンタクト層14bがp型不純物（ドーパント）を1 × 10¹⁸ ~ 1 × 10²¹ / cm³を5 × 10¹⁹ ~ 5 × 10²⁰ / cm³の濃度で含有しているものである場合、良好なオーミック接触の維持、クラック発生の防止、良好な結晶性の維持の点で好ましい。p型不純物としては、特に限定されないが、例えばMgを用いることが好ましい。

[0052] また、pコンタクト層14bはpコンタクト下層と、pコンタクト上層とが積層してなり、pコンタクト下層にMgが1 × 10¹⁹ / cm³ ~ 1 × 10²⁰ / cm³程度の濃度で含有され、pコンタクト上層にMgが2 × 10²⁰ / cm³ ~ 5 × 10²⁰ / cm³程度の濃度で含有されることが特に好ましい。これにより、透光性電極15と接する部分（pコンタクト上層）は高濃度でMgが含有され、かつ、その表面は平坦に形成される。そのため、半導体発光素子1の発光出力をより向上させることが可能となる。

[0053] また、pコンタクト層14bの膜厚は、特に限定されないが、10 ~ 500 nmであることが好ましく、より好ましくは50 ~ 200 nmである。pコンタクト層14bの膜厚がこの範囲であると、発光出力の点で好ましい。

[0054] <n型電極17>

n型電極17は、ボンディングパッドを兼ねており、積層半導体層20のn型半導体層12に接するように形成されている。このため、n型電極17を形成する際には、少なくともp半導体層14および発光層13の一部を除去してn型半導体層12を露出させ、n型半導体層12の露出面20a上にボンディングパッドを兼ねるn型電極17を形成する。n型電極17として

は、各種組成や構造が周知であり、これら周知の組成や構造を何ら制限無く用いることができ、この技術分野でよく知られた慣用の手段で設けることができる。

[0055] (透光性電極 15)

透光性電極 15 は、p 型半導体層 14 の上に積層されるものであり、p 型半導体層 14 との接触抵抗が小さいものであることが好ましい。また、透光性電極 15 は、発光層 13 からの光を効率良く半導体発光素子 1 の外部に取り出すために、光透過性に優れたものであることが好ましい。また、透光性電極 15 は、p 型半導体層 14 の全面に渡って均一に電流を拡散させるために、優れた導電性を有していることが好ましい。

[0056] 透光性電極 15 の構成材料としては、In、Zn、Al、Ga、Ti、Bi、Mg、W、Ce のいずれか一種を含む導電性の酸化物、硫化亜鉛または硫化クロムのうちいずれか一種からなる群より選ばれる透光性の導電性材料が挙げられる。導電性の酸化物としては、ITO (酸化インジウム錫 ($\text{In}_2\text{O}_3-\text{SnO}_2$))、IZO (酸化インジウム亜鉛 ($\text{In}_2\text{O}_3-\text{ZnO}$))、AZO (酸化アルミニウム亜鉛 ($\text{ZnO}-\text{Al}_2\text{O}_3$))、GZO (酸化ガリウム亜鉛 ($\text{ZnO}-\text{Ga}_2\text{O}_3$))、フッ素ドーパド酸化錫、酸化チタン等があげられる。

[0057] また、透光性電極 15 の構造は、従来公知の構造を含めて如何なる構造であってもよい。透光性電極 15 は、p 型半導体層 14 のほぼ全面を覆うように形成してもよく、また、隙間を開けて格子状や樹形状に形成してもよい。

[0058] (p 型ボンディングパッド電極 16)

p 型ボンディングパッド電極 16 はボンディングパッドを兼ねており、透光性電極 15 の上に積層されている。p 型ボンディングパッド電極 16 としては、各種組成や構造が周知であり、これら周知の組成や構造を何ら制限無く用いることができ、この技術分野でよく知られた慣用の手段で設けることができる。

p 型ボンディングパッド電極 16 は、透光性電極 15 上であれば、どこへ

でも形成することができる。例えばn型電極17から最も遠い位置に形成してもよいし、半導体発光素子1の中心などに形成してもよい。しかし、あまりにもn型電極17に近接した位置に形成すると、ボンディングした際にワイヤ間、ボール間のショートを生じてしまうため好ましくない。

[0059] また、p型ボンディングパッド電極16の電極面積としては、できるだけ大きいほうがボンディング作業はしやすいが、発光の取り出しの妨げになる。例えば、チップ面の面積の半分以上を超える広い面積を覆った場合、発光の取り出しの妨げとなり、出力が著しく低下する。逆に、p型ボンディングパッド電極16の電極面積が小さすぎると、ボンディング作業がしにくくなり、製品の収率を低下させる。具体的には、ボンディングボールの直径よりもわずかに大きい程度が好ましく、直径100 μ mの円形程度であることが一般的である。

[0060] (保護膜層)

図示しない保護膜層は、必要に応じて透光性電極15の上面および側面と、n型半導体層12の露出面20a、発光層13およびp型半導体層14の側面、n型電極17およびp型ボンディングパッド電極16の側面や周辺部を覆うよう形成される。保護膜層を形成することにより、半導体発光素子1の内部への水分等の浸入を防止でき、半導体発光素子1の劣化を抑制することができる。

保護膜層としては、絶縁性を有し、300～550nmの範囲の波長において80%以上の透過率を有する材料を用いることが好ましく、例えば、酸化シリコン(SiO_2)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、酸化ニオブ(Nb_2O_5)、酸化タンタル(Ta_2O_5)、窒化シリコン(Si_3N_4)、窒化アルミニウム(AlN)等を用いることができる。このうち SiO_2 、 Al_2O_3 は、CVD成膜で緻密な膜が容易に作製でき、より好ましい。

[0061] 以下、半導体発光素子1の製造方法について、図面を適宜参照しながら詳細に説明する。

なお、以下の説明において参照する図面は、本発明を説明するためのもので

あり、図示される各部の大きさや厚さや寸法等は、実際の半導体発光素子 1 の寸法関係とは異なっている。

[0062] 本発明の、図 1 に示す半導体発光素子 1 の製造方法は、まず、図 2 に示す積層半導体層 20 を製造する。積層半導体層 20 の製造方法は、基板 11 上に第一 n 型半導体層 12c を積層する第一工程と、第一 n 型半導体層 12c 上に第一 n 型半導体層 12c の再成長層 12d と n クラッド層 12b (第二 n 型半導体層) と発光層 13 と p 型半導体層 14 とを順次積層する第二工程と、から概略構成されている。以下、図 2 を用いて各工程について詳細に説明する。

[0063] <第一工程>

はじめに、サファイア等からなる基板 11 を用意する。

次に、基板 11 を第一 MOCVD 装置 (第一有機金属化学気相成長装置) の成長室内に設置し、MOCVD 法によって、基板 11 上に、バッファ層 21 と、下地層 22 を順次積層する。なお、本発明では、サファイア等からなる基板 11 上に、RF スパッタリング法を用いて AlN からなるバッファ層 21 を形成し、さらに第一 MOCVD 装置の成長室内で当該基板上に下地層 22 を順次積層してもよい。

[0064] (第一 n 型半導体層 12c (第一 n 型半導体層) 積層工程)

次いで前記下地層 22 を有する基板上に、n コンタクト層 12a の一部を構成する第一 n 型半導体層 12c を積層する。

[0065] また、第一工程成長層 12c を成長させる際には、水素雰囲気、基板 11 の温度を 1000℃～1100℃の範囲とすることが好ましい。

また、第一 n 型半導体層 12c を成長させる原料としては、トリメチルガリウム (TMG) などの III 族金属の有機金属原料とアンモニア (NH₃) などの窒素原料とを用い、熱分解によりバッファ層上に III 族窒化物半導体層を堆積させる。MOCVD 装置の成長室内の圧力は 15～80 kPa とすることが好ましい。

[0066] その後、第一 MOCVD 装置の成長室内から n コンタクト層 12a の第一

n型半導体層12cまでの各層の形成された基板11を取り出す。

なお、本実施形態における半導体発光素子の製造方法では、第一MOCVD装置において用いられる基板は、第一n型半導体層がMOCVD法によって積層できる基板であればよく、例えば基板11上に、バッファ層21と、下地層22を順次積層した基板が用いられる。

[0067] <第二工程>

第二工程はさらに、第一n型半導体層12c上に第一n型半導体層12cの再成長層12dを形成する工程と、nクラッド層12b（第二n型半導体層）を形成する工程と、発光層13を形成する工程と、p型半導体層14を形成する工程と、から構成されている。

以下それぞれについて詳細を説明する。

[0068] （再成長層12d形成工程）

まず、第一n型半導体層12cまでの各層の形成された基板11を第二MOCVD装置（第二有機金属化学気相成長装置）の成長室内に設置する。次いで、MOCVD法によって第一n型半導体層12c上に、nコンタクト層12aの再成長層12dを形成する。

本実施形態においては、再成長層12d形成の際に原料ガスとともに、たとえば SiH_4 などSiを含有するドーパントガスを供給することにより、Siを再成長層12dにドーピングさせる。ここでは、Siをたとえば $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度でドーピングさせる。

[0069] また、本実施形態においては、再成長層12dを形成する前に、第一n型半導体層12cまでの各層の形成された基板11を、窒素とアンモニアを含む雰囲気中で熱処理温度 $500^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$ 、好ましくは $800^\circ\text{C} \sim 1100^\circ\text{C}$ 、さらに好ましくは $900^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ の熱処理（サーマルクリーニング）を行うことが好ましい。熱処理の雰囲気は、窒素とアンモニアを含む雰囲気に代えて、例えば、窒素のみの雰囲気としてもよい。なお、水素のみの雰囲気では第一n型半導体層12cが分解され、結晶性の悪化を招くため好ましくない。また、このときのMOCVD装置の成長室内の圧力は $15 \sim$

100 kPaとすることが好ましく、60～95 kPaとすることがより好ましい。

[0070] このような熱処理を行った場合、第一工程終了後に、nコンタクト層12aの第一n型半導体層12cまでの各層の形成された基板11が第一MOCVD装置の成長室内から取り出されることによって、第一n型半導体層12cの表面が汚染されたとしても、再成長層12dを形成する前に汚染物質を除去することができる。その結果、再成長層12dの結晶性が向上して、再成長層12d上に形成されるnクラッド層12bや発光層13の結晶性がより一層良好なものとなる。

なお、第一n型半導体層12cの表面が汚染されたままである場合、逆方向電流（IR）が十分に低くならず、また、静電気放電（ESD）耐圧が不足する恐れがある。そのため、半導体発光素子1の信頼性が低下してしまう。

[0071] また、本実施形態においては、第一n型半導体層12c積層工程における第一n型半導体層12cの成長条件と、本工程における再成長層12dの成長条件とを同一とすることが好ましい。この場合、第一MOCVD装置と第二MOCVD装置の2つの装置を用い、第一MOCVD装置においてnコンタクト層12aを形成している途中の段階でnコンタクト層12aの成長を中断し、成長室内から取り出して第二MOCVD装置の成長室に移動し、その後nコンタクト層12aの成長を再開したことによるnコンタクト層12aの結晶性への影響を少なくすることができるので、第一n型半導体層12cと再成長層12dとからなるnコンタクト層12aの結晶性が良好なものとなる。

[0072] また、再成長層12dを成長させる際には、基板11の温度を1000℃～1100℃の範囲とすることが好ましい。再成長層12dを成長させるときの基板11の温度を上記範囲とすることで、第一n型半導体層12cまでの各層の形成された基板11が、第一MOCVD装置の成長室内から取り出されることにより、nコンタクト層12aの第一n型半導体層12cの表面

が汚染されていたとしても、再成長層 1 2 d を形成する際に汚染物質を除去することができる。

[0073] その結果、後述する工程において再成長層 1 2 d 上に形成される n クラッド層 1 2 b や発光層 1 3 の結晶性を、よりいっそう良好なものとすることができる。これに対し、再成長層 1 2 d を成長させるときの基板 1 1 の温度が 1 0 0 0 °C 未満であると、逆方向電流 (I R) が十分に低くならなかったり、静電気放電 (E S D) 耐圧が不足したりする恐れがある。また、再成長層 1 2 d を成長させるときの基板 1 1 の温度が 1 1 0 0 °C を超えると、半導体発光素子 1 の出力が不十分となる恐れがある。

[0074] (n クラッド層 1 2 b (第二 n 型半導体層) 形成工程)

次いで、再成長層 1 2 d 上に n クラッド層 1 2 b を形成する。

本実施形態の n クラッド層 1 2 b 形成工程においては、第二 M O C V D 装置内に、 n クラッド層 1 2 b (第二 n 型半導体層) の原料ガスとともに、たとえば SiH_4 などの Si を含有するドーパントガスを供給する。これにより、 n クラッド層 1 2 b に Si がドーパントとしてドーピングされる。

また、本実施形態の n クラッド層 1 2 b 形成工程はさらに、工程 (1) および工程 (2) からなり、それぞれにおいて、異なる量の Si をドーパントとして供給する。これにより、 Si 含有量が再成長層 1 2 d よりも少ない第二 n 型半導体層第一層と、 Si 含有量が第二 n 型半導体層第一層よりも多い第二 n 型半導体層第二層とがこの順で積層した構成の n クラッド層 1 2 b (第二 n 型半導体層) が形成される。

[0075] また、第二 n 型半導体層第二層のうち、発光層側の界面に、 Si を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有させることが特に好ましい。

また、本実施形態の n クラッド層 1 2 b は超格子構造とすることができる。超格子層を形成するには、膜厚 1 0 0 オングストローム以下の組成の異なる 2 種類の層を、交互に 1 0 ペア (2 0 層) ~ 4 0 ペア (8 0 層) 積層する。

[0076] (発光層 1 3 形成工程)

次いで、多重量子井戸構造の発光層 13 を形成する。まず、井戸層 13 b と障壁層 13 a とを交互に繰返し積層する。このとき、n 型半導体層 12 側及び p 型半導体層 14 側に障壁層 13 a が配されるように積層することが好ましい。

井戸層 13 b および障壁層 13 a の組成や膜厚は、所定の発光波長になるように適宜設定することができる。また、発光層 13 の成長温度は 600 ~ 900 °C とすることができ、キャリアガスとしては窒素ガスを用いることができる。

[0077] (p 型半導体層 14 形成工程)

p 型半導体層 14 の形成は、p クラッド層 14 a と、p コンタクト層 14 b とを順次積層すればよい。なお、p クラッド層 14 a を、超格子構造を含む層とする場合には、膜厚 100 オングストローム以下の III 族窒化物半導体からなる p 側第一層と、p 側第一層と組成が異なる膜厚 100 オングストローム以下 III 族窒化物半導体からなる p 側第二層とを交互に繰返し積層すればよい。

[0078] また、p コンタクト層 14 b は、Mg を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度の濃度で含有させた p コンタクト下層と、Mg を $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度の濃度で含有させた p コンタクト上層とを積層することにより形成することが特に好ましい。

以上のようにして、図 2 に示す積層半導体層 20 が製造される。

[0079] その後、積層半導体層 20 の p 型半導体層 14 上に透光性電極 15 を積層し、例えば一般に知られたフォトリソグラフィーの手法によって所定の領域以外の透光性電極 15 を除去する。

続いて、例えばフォトリソグラフィーの手法によりパターニングして、所定の領域の積層半導体層 20 の一部をエッチングして n コンタクト層 12 a の第一 n 型半導体層 12 c の一部を露出させ、n コンタクト層 12 a の露出面 20 a に n 型電極 17 を形成する。

その後、透光性電極 15 の上に p 型ボンディングパッド電極 16 を形成す

る。

以上のようにして、図 1 に示す半導体発光素子 1 が製造される。

[0080] <ランプ 3>

本実施形態のランプ 3 は、本発明の半導体発光素子 1 を備えるものであり、上記の半導体発光素子 1 と蛍光体とを組み合わせるものである。本実施形態のランプ 3 は、当業者周知の手段によって当業者周知の構成とすることができる。例えば、本実施形態のランプ 3 においては、半導体発光素子 1 と蛍光体と組み合わせることによって発光色を変える技術を何ら制限されることなく採用できる。

[0081] 図 3 は、図 1 に示した半導体発光素子 1 を備えるランプの一例を示した断面模式図である。図 3 に示すランプ 3 は、砲弾型のものであり、図 1 に示す半導体発光素子 1 が用いられている。図 3 に示すように、半導体発光素子 1 の p 型ボンディングパッド電極 16 がワイヤー 33 で 2 本のフレーム 31、32 の内的一方（図 3 ではフレーム 31）に接続され、半導体発光素子 1 の n 型電極 17（ボンディングパッド）がワイヤー 34 で他方のフレーム 32 に接続されることにより、半導体発光素子 1 が実装されている。また、半導体発光素子 1 の周辺は、透明な樹脂からなるモールド 35 で封止されている。

[0082] 本実施形態のランプ 3 は、上記の半導体発光素子 1 が用いられてなるものであるので、高い発光出力が得られるものとなる。

[0083] また、本実施形態のランプ 3 を組み込んだバックライト、携帯電話、ディスプレイ、各種パネル類、コンピュータ、ゲーム機、照明などの電子機器や、それらの電子機器を組み込んだ自動車などの機械装置は、高い発光出力が得られる半導体発光素子 1 を備えたものとなる。特に、バックライト、携帯電話、ディスプレイ、ゲーム機、照明などのバッテリー駆動させる電子機器においては、高い発光出力が得られる半導体発光素子 1 を具備した優れた製品を提供することができるため、好ましい。

実施例

[0084] 以下に、本発明の半導体発光素子の製造方法を、実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明はこれらの実施例にのみ限定されるものではない。

(実施例 1)

以下に示す方法により、図 1 に示す半導体発光素子 1 を製造した。

実施例 1 の半導体発光素子 1 では、第一 MOCVD 炉の成長室内において、サファイアからなる基板 11 上に、AlN からなるバッファ層 21、厚さ $6\mu\text{m}$ のアンドープ GaN からなる下地層 22、厚さ $2\mu\text{m}$ の Si ドープ n 型 GaN からなる第一 n 型半導体層 12c を形成した。

[0085] 次に、この基板を第一 MOCVD 炉から一旦取り出して、第二 MOCVD 炉の成長室内に移した。次に、窒素とアンモニアを含む雰囲気下で 950°C の熱処理（サーマルクリーニング）を行った。それから、前記第一 n 型半導体層 12c の上に、厚さ $0.2\mu\text{m}$ の Si ドープ n 型 GaN からなる再成長層 12d を形成して、厚さ $2.2\mu\text{m}$ の n コンタクト層 12a を形成した。第一 n 型半導体層 12c と再成長層 12d からなる n コンタクト層 12a における Si ドープ濃度として、 $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 程度の濃度とした。

なお、再成長層 12d は、水素をキャリアガスとして TMG と NH_3 を成長室内に導入して成長させた。n 型ドーピングのガスとしてはモノシラン (SiH_4) を用いた。このとき、基板温度を 1080°C 、成長室内の圧力を 40kPa とした。

[0086] 次に、膜厚 20nm の第二 n 型半導体層第一層と膜厚 60nm の第二 n 型半導体層第二層とが積層した構成の、厚さ 80nm の超格子構造からなる n クラッド層 12b（第二 n 型半導体層）を後述の方法で前記 n コンタクト層 12a 上に形成した。さらに、n コンタクト層 12a 上に厚さ 5nm 、Si 濃度 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ の GaN 障壁層および厚さ 3.5nm のアンドープ $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 井戸層を 5 回積層し、最後に障壁層を設けた多重量子井戸構造の発光層 13 を形成した。

[0087] 続いて、発光層 13 上に厚さ 20nm の Mg ドープ単層 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ からなる p クラッド層 14a、厚さ 170nm の Mg ドープ p 型 GaN からな

るpコンタクト層14bとを順に積層した。pコンタクト層14bはpコンタクト下層と、pコンタクト上層とが積層してなり、pコンタクト下層を厚さ150nm、Mg濃度 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ とし、pコンタクト上層を厚さ20nm、Mg濃度 $3 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ とした。

膜厚20nmの第二n型半導体層第一層と膜厚60nmの第二n型半導体層第二層からなるnクラッド層12b（第二n型半導体層）は、以下に示す成長条件で形成させた。

[0088] 「nクラッド層12b（第二n型半導体層）の成長条件」

膜厚20nmの第二n型半導体層第一層は、 $\text{Ga}_{0.99}\text{In}_{0.01}\text{N}$ からなる厚さ2nmのn側第1層と、GaNからなる厚さ2nmのn側第2層とからなる薄膜層とを交互に5ペア繰り返し成長させて形成した。キャリア濃度は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ とした。

続いて、膜厚60nmの第二n型半導体層第二層は、 $\text{Ga}_{0.99}\text{In}_{0.01}\text{N}$ からなる厚さ2nmのn側第1層と、GaNからなる厚さ2nmのn側第2層とからなる薄膜層とが交互に15ペア繰り返し成長させてなる形成した。但し、第二n型半導体層第一層の上には第二n型半導体層第二層の一部を構成するn側第1層と接する構造とした。また、キャリア濃度は $7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ とした。

このような方法により、厚さ80nmの超格子構造のnクラッド層12bを成長させた。また、n側第1層の成膜には、III族原料としてGa源であるトリエチルガリウム（TEG）およびIn源であるトリメチルインジウム（TMI）を用い、n側第2層の成膜にはトリエチルガリウム（TEG）を用いた。

[0089] また、nクラッド層12b（第二n型半導体層）形成においては、原料ガスとともに SiH_4 ガスをn型ドーピングとして供給した。

[0090] その後、pコンタクト層14b上に、厚さ200nmのITOからなる透光性電極15を一般に知られたフォトリソグラフィの手法により形成した。

次に、フォトリソグラフィの手法を用いてエッチングを施し、所望の領域

にnコンタクト層12aの露出面20aを形成し、その上にTi/Auの二層構造のn型電極17を形成した。

また、透光性電極15の上に、200nmのAlからなる金属反射層と80nmのTiからなるバリア層と1100nmのAuからなるボンディング層とからなる3層構造のp型ボンディングパッド構造16を、フォトリソグラフィの手法を用いて形成した。

以上のようにして、図1に示す実施例1の半導体発光素子1を得た。

[0091] このようにして得られた実施例1の半導体発光素子1において、第二n型半導体層第一層と第二n型半導体層第二層とが積層した構成のnクラッド層12b（第二n型半導体層）が形成された。このうち、第二n型半導体層第一層は膜厚20nm、Si含有量 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ であり、また、第二n型半導体層第二層は膜厚60nm、Si含有量 $7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ であった。これにより、第二n型半導体層第二層は、発光層13側の界面から0nm～60nmの領域内に形成された。また、第二n型半導体層第二層の発光層13側の界面には、Siが $7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の濃度で含有された。

また、半導体発光素子1としての特性は、順方向電圧 $V_f = 3.0 \text{ V}$ 、発光出力 $P_o = 24 \text{ mW}$ 、逆方向電流 $I_R (@ 20 \text{ V}) = 0.1 \mu \text{ A}$ であった。

[0092] （実施例2）

実施例1の第二n型半導体層第二層のSi含有濃度を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ とし、第二n型半導体層第二層の発光層13側の界面のSi含有濃度を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に変えた以外は、実施例1と同様な操作を行い、半導体発光素子1としての特性は、順方向電圧 $V_f = 2.9 \text{ V}$ 、発光出力 $P_o = 24 \text{ mW}$ 、逆方向電流 $I_R (@ 20 \text{ V}) = 0.2 \mu \text{ A}$ であった。

[0093] （実施例3）

実施例1の第二n型半導体層第一層の膜厚を40nm、Si含有濃度を $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ とし、第二n型半導体層第二層の膜厚を40nm、Si含有濃度を $7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ とし、第二n型半導体層第二層の発光層13側の界面のSi含有濃度を $7 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ に変えた以外は、実施例1と同様な操

作を行い、半導体発光素子 1 としての特性は、順方向電圧 $V_f = 3.0 \text{ V}$ 、発光出力 $P_o = 23 \text{ mW}$ 、逆方向電流 $I_R (@ 20 \text{ V}) = 0.1 \mu\text{A}$ であった。

[0094] (実施例 4)

実施例 1 の第二 n 型半導体層第二層の膜厚を 20 nm に変えた以外は、実施例 1 と同様な操作を行い、半導体発光素子 1 としての特性は、順方向電圧 $V_f = 3.1 \text{ V}$ 、発光出力 $P_o = 23 \text{ mW}$ 、逆方向電流 $I_R (@ 20 \text{ V}) = 0.1 \mu\text{A}$ であった。

[0095] (実施例 5)

実施例 1 の第二 n 型半導体層第一層及び第二 n 型半導体層第二層の超格子構造をそれぞれ単層構造に変え、また、第二 n 型半導体層第二層の発光層 13 側の界面の Si 含有濃度を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に変えた以外は、実施例 1 と同様な操作を行い、半導体発光素子 1 としての特性は、順方向電圧 $V_f = 3.0 \text{ V}$ 、発光出力 $P_o = 23 \text{ mW}$ 、逆方向電流 $I_R (@ 20 \text{ V}) = 0.2 \mu\text{A}$ であった。

[0096] (比較例 1)

実施例 1 の第二 n 型半導体層第一層の膜厚を 80 nm 、Si 含有濃度を $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ に変え、第二 n 型半導体層第二層の膜厚を 0 nm とした以外は、実施例 1 と同様な操作を行い、半導体発光素子 1 としての特性は、順方向電圧 $V_f = 3.2 \text{ V}$ 、発光出力 $P_o = 20 \text{ mW}$ 、逆方向電流 $I_R (@ 20 \text{ V}) = 1.0 \mu\text{A}$ であった。但し、第二 n 型半導体層第一層は、超格子構造から単層構造に変えた。

[0097] 実施例 1 ～実施例 5、比較例 1 の半導体発光素子の順方向電圧、発光出力 (P_o)、逆方向電流 (I_R) の結果を表 1 に示す。

なお、実施例及び比較例の半導体発光素子 1 についての順方向電圧 V_f は、プローブ針による通電で電流印加値 20 mA における電圧を測定したものである。同じく、実施例及び比較例の半導体発光素子 1 についての発光出力 (P_o) は、それぞれ TO-18 缶パッケージに実装し、テスターによって印加電流 20 mA における発光出力を測定したものである。また、逆方向電

流（ I_R ）は、発光素子に対して端子を逆方向に20V印加した時の漏れ電流を測定した時の値である。

[0098]

[表1]

	第二n型半導體層 第一層膜厚 (nm)	第二n型半導體層 第一層Si含有濃度 (cm^{-3})	第二n型半導體層 第二層膜厚 (nm)	第二n型半導體層 第二層Si含有濃度 (cm^{-3})	第二n型半導體層 界面Si含有濃度 (cm^{-3})	順方向電圧 VF (V)	発光出力 Po (mW)	逆方向電流 (IR)@20V (μA)
実施例1	20	1×10^{17}	60	7×10^{18}	7×10^{18}	3.0	24	0.1
実施例2	20	1×10^{17}	60	1×10^{19}	1×10^{19}	2.9	24	0.2
実施例3	40	3×10^{17}	40	7×10^{18}	7×10^{18}	3.0	23	0.1
実施例4	20	1×10^{17}	20	7×10^{18}	7×10^{18}	3.1	23	0.1
実施例5	20	1×10^{17}	60	7×10^{18}	1×10^{19}	3.0	23	0.2
比較例1	80	5×10^{18}	—	—	—	3.2	20	1.0

[0099] 表 1 に示すように、実施例 1 ～実施例 5 の半導体発光素子 1 はいずれも、逆方向電流（ I_R ）が十分に低く、順方向電圧が比較的 low、発光出力（ P_o ）が 20 mW 以上となり、高輝度で低消費電力であった。

一方、n クラッド層 12 b（第二 n 型半導体層）の膜厚を 80 nm、Si 含有濃度を $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ とした比較例 1 では、実施例 1 ～実施例 5 と比較して発光出力（ P_o ）が低く、順方向電圧が比較的高く、漏れ電流（逆方向電流（ I_R ）が大きかった。

[0100] また、実施例 1 ～実施例 5、比較例の半導体発光素子 1 について、印加電流 20 ～ 100 mA の範囲における電力効率（%）{ 発光出力（mW） / （順方向電圧（V）× 印加電流（mA）） } を算出した。その結果を表 2、図 4 に示す。

[0101]

[表2]

Lot	I _f (mA)	η (%)
実施例1	20	40.0%
	50	33.0%
	80	27.9%
	100	25.0%
実施例2	20	41.4%
	50	34.2%
	80	28.7%
	100	26.6%
実施例3	20	38.3%
	50	32.7%
	80	27.9%
	100	25.6%
実施例4	20	37.1%
	50	31.4%
	80	26.7%
	100	25.3%
実施例5	20	38.3%
	50	31.9%
	80	27.4%
	100	25.3%
比較例1	20	31.3%
	50	24.7%
	80	21.0%
	100	19.2%

[0102] これらが示すように、実施例1～実施例5では、印加電流20～100mAの範囲における電力効率が、比較例1と比較して優れていることが明らか

である。

[0103] また、実施例 1～実施例 5、比較例の半導体発光素子 1 について、印加電流 20～100mA の範囲における発光出力 (P_o ; mW) を測定した。その結果を図 5 に示す。図 5 が示すように、実施例 1～実施例 5 では、印加電流 20～100mA の範囲における発光出力 (P_o) が、比較例 1 と比較して優れていることが明らかである。

また、比較例 1 では、印加電流を大きくすることによる発光出力の向上効果が、印加電流を大きくするのに伴って小さくなっており、印加電流が大きいほど実施例 1～実施例 5 と比較例 1 との発光出力 (P_o) の差が大きくなっている。

[0104] 以上により、実施例 1～実施例 5 の半導体発光素子 1 は、効果的に発光出力を向上させることができ、比較例 1 の半導体発光素子 1 と比較して、漏れ電流が小さく高い発光出力が得られることが確認できた。また、大電流を印加することによって効果的に発光出力を向上させることができ、比較例 1 の半導体発光素子と比較して、大電流が印加されることにより高い発光出力が得られることが確認できた。

符号の説明

[0105] 1…半導体発光素子、3…ランプ、12…n 型半導体層、12a…n コンタクト層、12b…n クラッド層（第二 n 型半導体層）、12c…第一 n 型半導体層、12d…再成長層、13…発光層、14…p 型半導体層

請求の範囲

- [請求項1] 第一有機金属化学気相成長装置において、基板上に第一 n 型半導体層を積層する第一工程と、
- 第二有機金属化学気相成長装置において、前記第一 n 型半導体層上に
- 前記第一 n 型半導体層の再成長層と
- 第二 n 型半導体層と
- 発光層と
- p クラッド層および p コンタクト層からなる p 型半導体層と
- を順次積層する第二工程とを具備し、
- 前記第二 n 型半導体層を積層する工程において、前記再成長層形成時よりも少量の Si をドーパントとして供給することにより第二 n 型半導体層第一層を形成する工程（１）と、前記 Si を前記工程（１）よりも多く供給することにより第二 n 型半導体層第二層を形成する工程（２）と、をこの順で行うことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。
- [請求項2] 前記第二 n 型半導体層第二層を、少なくとも前記発光層側の界面から 0 nm ～ 60 nm の領域内に形成することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [請求項3] 前記第二 n 型半導体層第一層に前記 Si を $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の濃度で含有させ、前記第二 n 型半導体層第二層に前記 Si を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有させることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [請求項4] 前記第二 n 型半導体層第二層の前記発光層側界面に前記 Si を、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有させることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [請求項5] 前記工程（１）において前記第二 n 型半導体層第一層を 10 nm ～ 100 nm の膜厚で形成し、前記工程（２）において前記第二 n 型半

導体層第二層を4 nm～60 nmの膜厚で形成することを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子の製造方法。

[請求項6] 前記工程(1)および前記工程(2)において、前記第二n型半導体層の原料ガスとともに前記Siを含有するドーパントガスを供給することにより、前記第二n型半導体層を形成することを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子の製造方法。

[請求項7] 前記pコンタクト層を、pコンタクト下層と、pコンタクト上層とを積層することにより形成し、前記pコンタクト下層にMgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度の濃度で含有させ、前記pコンタクト上層に前記Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 程度の濃度で含有させることを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子の製造方法。

[請求項8] 基板上に
第一n型半導体層と
前記第一n型半導体層の再成長層と
第二n型半導体層と
発光層と
pクラッド層およびpコンタクト層からなるp型半導体層と
が積層された半導体発光素子であって、

前記第二n型半導体層が、前記再成長層よりもSi含有量の少ない第二n型半導体層第一層と、前記第二n型半導体層第一層よりも前記Si含有量の多い第二n型半導体層第二層とがこの順で積層された構成であることを特徴とする半導体発光素子。

[請求項9] 前記第二n型半導体層第二層が、少なくとも発光層側の界面から0 nm～60 nmの領域内に形成されていることを特徴とする請求項8に記載の半導体発光素子。

[請求項10] 前記第二n型半導体層のうち、前記第二n型半導体層第一層に前記Siが $1 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ の濃度で含有され、

前記第二 n 型半導体層第二層に前記 Si が $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有されることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体発光素子。

[請求項 11] 前記第二 n 型半導体層第二層の前記発光層側界面に前記 Si が、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 2 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有されることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体発光素子。

[請求項 12] 前記第二 n 型半導体層第一層が $10 \text{ nm} \sim 100 \text{ nm}$ 、前記第二 n 型半導体層第二層が $4 \text{ nm} \sim 60 \text{ nm}$ の膜厚でそれぞれ形成されていることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体発光素子。

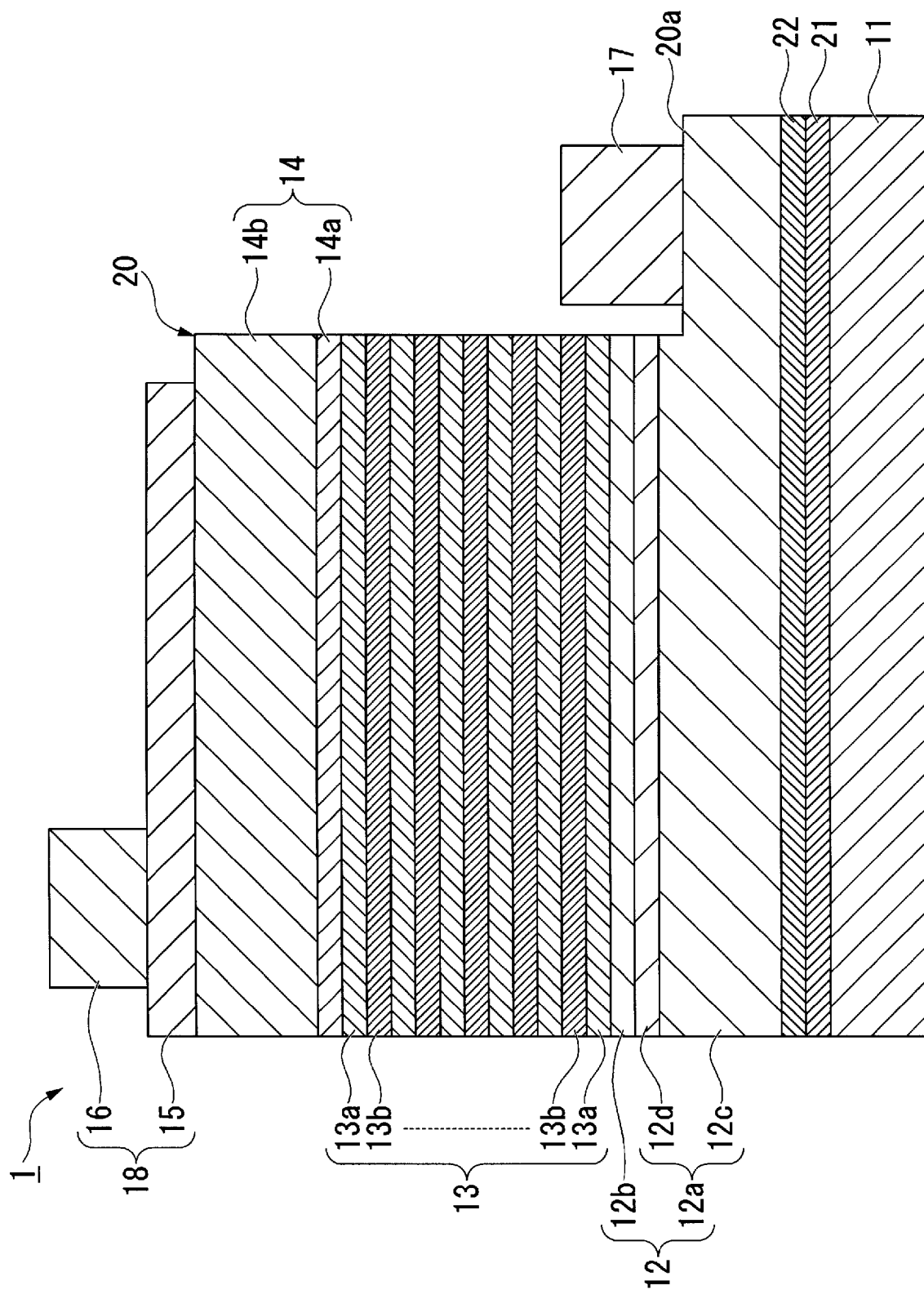
[請求項 13] 前記 p コンタクト層は、p コンタクト下層と、p コンタクト上層とが積層してなり、前記 p コンタクト下層に Mg が $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度で含有され、前記 p コンタクト上層に前記 Mg が $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度で含有されることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体発光素子。

[請求項 14] 請求項 1 に記載の半導体発光素子の製造方法を用いて製造された半導体発光素子を備えることを特徴とするランプ。

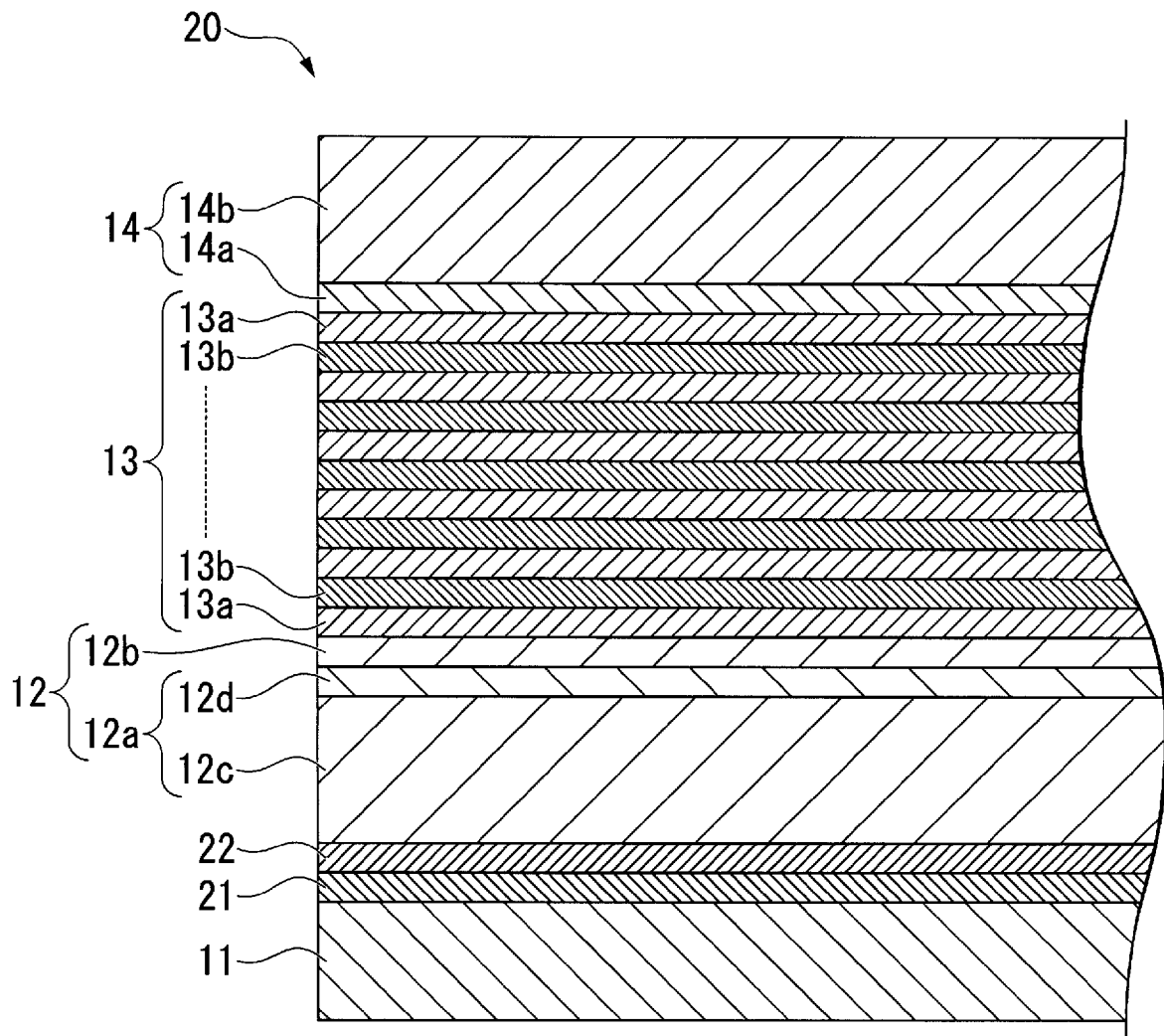
[請求項 15] 請求項 14 に記載のランプが組み込まれていることを特徴とする電子機器。

[請求項 16] 請求項 15 に記載の電子機器が組み込まれていることを特徴とする機械装置。

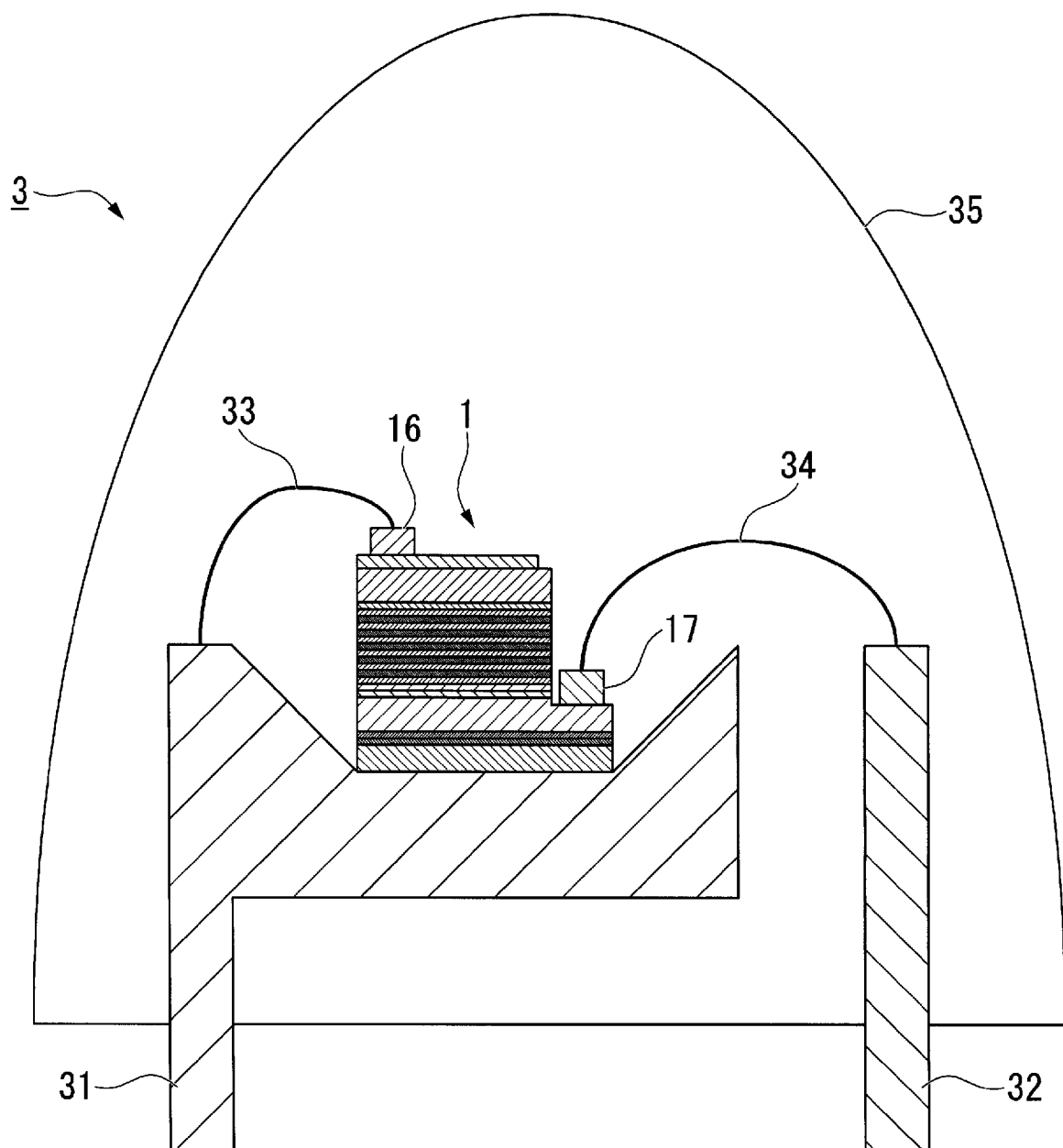
[図1]



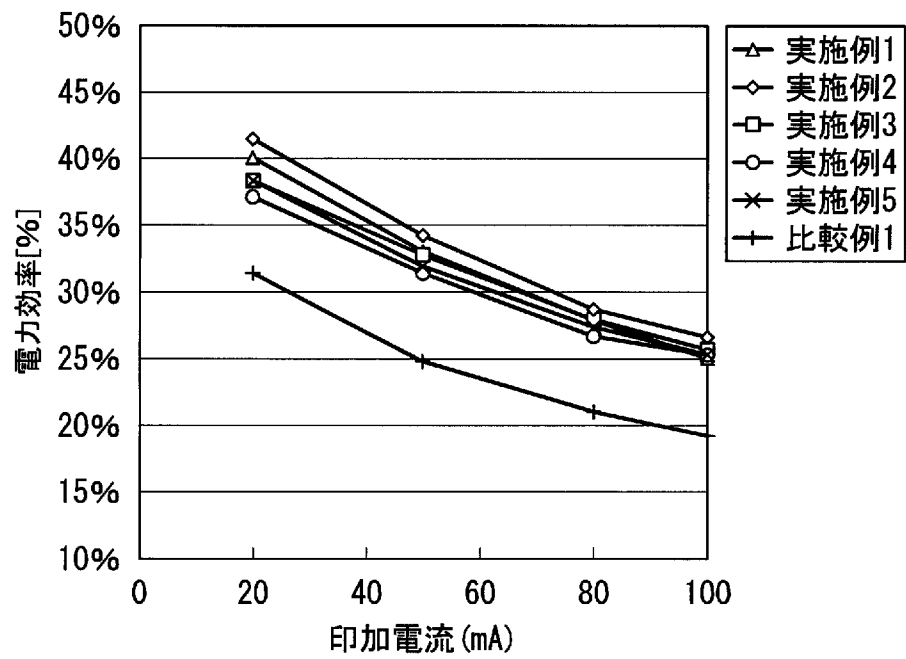
[図2]



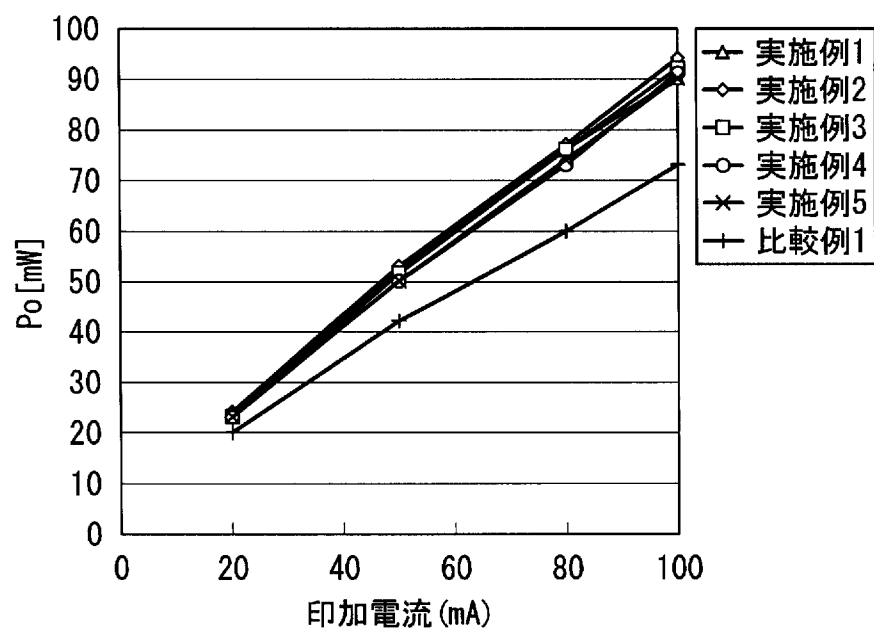
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/054483

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/32(2010.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01S5/343(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)

H01L33/00-33/64, H01S5/00-5/50

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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 2009-123718 A (Showa Denko Kabushiki Kaisha), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraphs [0029] to [0038]; fig. 3 & US 2009/0194784 A1 & EP 2105973 A1 & WO 2008/087930 A1 & KR 10-2009-0094138 A & CN 101578715 A	1-16
A	JP 2008-235758 A (Sumitomo Chemical Co., Ltd.), 02 October 2008 (02.10.2008), paragraphs [0076] to [0078]; fig. 1, 3 (Family: none)	1-16

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ 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
23 March, 2011 (23.03.11)

Date of mailing of the international search report
05 April, 2011 (05.04.11)

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（I P C））

Int.Cl. H01L33/32(2010.01)i, H01L21/205(2006.01)i, H01S5/343(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（I P C））

Int.Cl. H01L 33/00 - 33/64, H01S 5/00 - 5/50

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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 2009-123718 A（昭和電工株式会社） 2009.06.04, 段落【0029】－【0038】, 図3 & US 2009/0194784 A1 & EP 2105973 A1 & WO 2008/087930 A1 & KR 10-2009-0094138 A & CN 101578715 A	1-16
A	JP 2008-235758 A（住友化学株式会社） 2008.10.02, 段落【0076】－【0078】, 図1, 3 (ファミリーなし)	1-16

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

2 3 . 0 3 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

0 5 . 0 4 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

瀬川 勝久

2 K

4 7 5 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5