

(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1月20日(20.01.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/007637 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 33/32 (2010.01) H01L 33/16 (2010.01)
H01L 33/06 (2010.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/060054
- (22) 国際出願日: 2010年6月14日(14.06.2010)
- (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 2009-166923 2009年7月15日(15.07.2009) JP
特願 2010-021307 2010年2月2日(02.02.2010) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 住友電気工業株式会社(SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 京野 孝史 (KYONO Takashi) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 塩谷 陽平(ENYA

Yohei) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 善積 祐介(YOSHIZUMI Yusuke) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 秋田 勝史(AKITA Katsushi) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 住友 隆道(SUMITOMO Takamichi) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP). 上野 昌紀(UENO Masaki) [JP/JP]; 〒6640016 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社伊丹製作所内 Hyogo (JP).

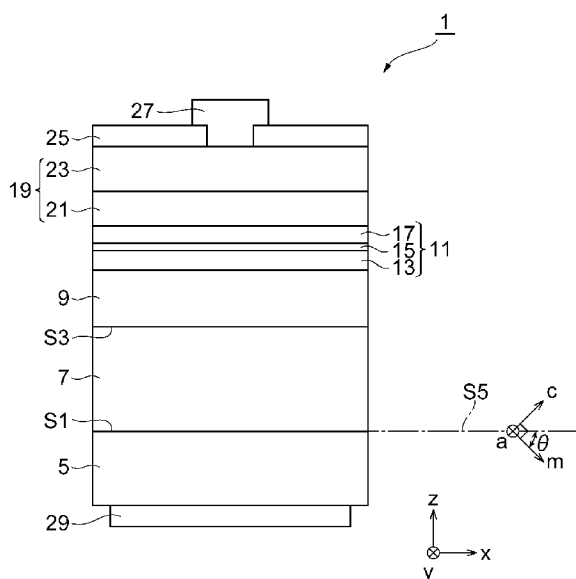
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiaki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

[続葉有]

(54) Title: NITRIDE-BASED SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(54) 発明の名称: 窒化物系半導体発光素子

[図1]



(57) Abstract: Provided is a nitride-based semiconductor light-emitting element having improved carrier injection efficiency into the well layer. The element comprises a substrate (5) formed from a hexagonal-crystal gallium nitride semiconductor; an n-type gallium nitride semiconductor region (7) disposed on a main surface (S1) of the substrate (5); a light-emitting layer (11) having a single quantum well structure disposed on the n-type gallium nitride semiconductor region (7); and a p-type gallium nitride semiconductor region (19) disposed on the light-emitting layer (11). The light-emitting layer (11) is disposed between the n-type gallium nitride semiconductor region (7) and the p-type gallium nitride semiconductor region (19). The light-emitting layer (11) comprises a well layer (15), a barrier layer (13), and a barrier layer (17). The well layer (15) is InGaN. The main surface (S1) extends, from a surface perpendicular to the c axial direction of the hexagonal-crystal gallium nitride semiconductor, along a reference plane (S5) inclined at an angle of inclination within a range between 63° and 80° or between 100° and 117°.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/007637 A1



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.

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

添付公開書類:

(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,

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

井戸層へのキャリアの注入効率が向上された窒化物系半導体発光素子を提供する。六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる基板 5 と、基板 5 の主面 S 1 に設けられた n 型窒化ガリウム系半導体領域 7 と、この n 型窒化ガリウム系半導体領域 7 上に設けられた単一量子井戸構造の発光層 1 1 と、発光層 1 1 上に設けられた p 型窒化ガリウム系半導体領域 1 9 とを備える。発光層 1 1 は、n 型窒化ガリウム系半導体領域 7 と p 型窒化ガリウム系半導体領域 1 9 との間に設けられており、発光層 1 1 は、井戸層 1 5 とバリア層 1 3 及びバリア層 1 7 とを含み、井戸層 1 5 は、InGa_N であり、主面 S 1 は、六方晶系窒化ガリウム系半導体の c 軸方向に直交する面から 63 度以上 80 度以下または 100 度以上 117 度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準平面 S 5 に沿って延びている。

明 細 書

発明の名称：窒化物系半導体発光素子

技術分野

[0001] 本発明は、窒化物系半導体発光素子に関する。

背景技術

[0002] 特許文献 1、2 及び非特許文献 1 には、二つの窒化物半導体層と、この二つの窒化物半導体層の間に設けられ InGa_Nの単一量子井戸構造を有する活性層とが GaN 基板上に設けられた窒化物系半導体発光素子が開示されている。特許文献 1 に記載の窒化物半導体発光素子は、n 型の窒化物半導体よりなる n 型クラッド層と、p 型の窒化物半導体よりなる p 型クラッド層と、この n 型クラッド層と p 型クラッド層との間に設けられ少なくとも In を含む窒化物半導体よりなる活性層とを有し、n 型クラッド層と p 型クラッド層とはいずれも活性層より小さい熱膨張係数を有し、活性層は単一量子井戸構造（または多重量子井戸構造）を有し、活性層を構成する窒化物半導体の本来のバンドギャップエネルギーよりも低いエネルギーの光を発光する。特許文献 2 に記載の LED は、GaN 基板の {11-22} 面上に InGa_Nの単一量子井戸構造を有する。特許文献 3 に記載の窒化物半導体レーザ素子は、AlGa_Nからなる層を含む窒化物半導体層と、この窒化物半導体層上に形成された InGa_Nからなる層を含む活性層とを備え、活性層が単一量子井戸構造（または多重量子井戸構造）を有し、窒化物半導体層の成長面が GaN 基板の c 面から傾いている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献 1：特開平 8-316528 号公報

特許文献 2：特開 2009-71127 号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献 1：“Japanese Journal of Applied Physics”, Vol. 45, No. 26,

2006, pp. L659-L662

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 上記従来の窒化物半導体発光素子における発光波長の長波長化は、Ga₂N基板上に設けられたInGa₂N井戸層のIn組成比を増加させることによって実現されるが、このIn組成比の増加によってInGa₂N井戸層の歪みも増大する。そして、このInGa₂N井戸層の歪みによって生じるピエゾ電界によって、InGa₂N井戸層へのキャリアの注入効率が影響を受ける。そこで本発明の目的は、井戸層へのキャリアの注入効率が向上された窒化物系半導体発光素子を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0006] 本発明の一側面は、窒化物系半導体発光素子であって、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる基板と、前記基板の主面に設けられたn型窒化ガリウム系半導体領域と、前記n型窒化ガリウム系半導体領域上に設けられた単一量子井戸構造の発光層と、前記発光層上に設けられたp型窒化ガリウム系半導体領域とを備え、前記発光層は、前記n型窒化ガリウム系半導体領域と前記p型窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられており、前記発光層は、井戸層及び障壁層を含み、前記井戸層は、InGa₂Nであり、前記主面は、前記六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸方向に直交する面から63度以上80度以下または100度以上117度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びている、ことを特徴とする。更に、本発明の窒化物系半導体発光素子は、前記井戸層に生じるピエゾ分極の向きは、前記p型窒化ガリウム系半導体領域から前記n型窒化ガリウム系半導体領域に向かう方向と一致するのが良い。
- [0007] 従って、基板の主面が、基板の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に直交する面から63度以上80度以下または100度以上117度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びているので、主面がc軸に直交する場合に比較して井戸層に生じるピエゾ分極を低減できる。また、この傾

斜角の範囲は In 取り込みに優れるため、可視域で発光波長が長い発光素子に有利である。そして、井戸層に生じるピエゾ分極が小さいと、井戸からキャリア（特に電子）が抜け出にくい方向に発光層の井戸構造が歪み、井戸が多いほど井戸へのキャリア（特に電子）の注入効率が低下するが、発光層の井戸構造が単一量子井戸構造なので、井戸層へのキャリア（特に電子）の注入効率が多重量子井戸構造の場合に比較して向上される。

[0008] 本発明の一側面に係る窒化物系半導体発光素子では、前記障壁層のバンドギャップエネルギーと前記井戸層のバンドギャップエネルギーとの差は 0.7 eV 以上であるのが良く、前記発光層は、 450 nm 以上 600 nm 以下の範囲内にあるピーク波長の光を発光するのが良い。前記障壁層は、例えば GaN、InGa_N、AlGa_N、InAlGa_N のいずれかからなる。多重量子井戸構造と比較した場合の発光層における電子のキャリア（特に電子）の注入効率の向上は、井戸層のバンドギャップエネルギーとバリア層のバンドギャップエネルギーとの差が 0.7 eV 以上であり、バンドギャップエネルギーの差が比較的大きいので、より顕著となる。また、多重量子井戸構造と比較した場合の発光層における電子のキャリア（特に電子）の注入効率の向上は、発光層が発する光のピーク波長が 450 nm 以上 600 nm 以下の範囲にあるとき、井戸層のバンドギャップエネルギーとバリア層のバンドギャップエネルギーとの差が比較的大きくなり、より顕著となる。

[0009] 本発明の一側面に係る窒化物系半導体発光素子では、InGa_N層を更に備え、前記 InGa_N層は、前記 n 型窒化ガリウム系半導体領域と前記発光層との間に設けられ、前記 InGa_N層の前記基板側の第 1 の界面に直交し前記 c 軸を含む面と前記第 1 の界面とが共有する第 1 の軸の方向に沿った前記 InGa_N層の格子定数は、前記主面に直交し前記 c 軸を含む面と前記主面とが共有する第 2 の軸の方向に沿った前記基板の格子定数よりも大きく、前記第 1 の軸と前記 c 軸とに直交する第 3 の軸の方向に沿った前記 InGa_N層の格子定数は、前記第 2 の軸と前記 c 軸とに直交する第 4 の軸の方向に沿った前記基板の格子定数に等しいのが良い。従って、発光層が、主面上に

設けられた InGa_nN 層を第 1 の軸に沿った方向（オフと平行方向）にのみ格子緩和させた上で InGa_nN 層上において設けられているので、発光層の井戸層の歪みが緩和され、更に、ピエゾ分極を低減できる。また、発光層が単一量子井戸構造の場合、多重量子井戸構造と比較して井戸層にかかる歪みが大きくなる傾向にあるが、InGa_nN 層が第 1 の軸に沿った方向（オフと平行方向）にのみ格子緩和し発光層の井戸層の歪みが緩和されているので、単一量子井戸構造においても井戸層で格子不整合に起因する欠陥発生を低減することができる。

[0010] 本発明の一側面に係る窒化物系半導体発光素子では、前記 InGa_nN 層は前記第 1 の界面に生じたミスフィット転位を含み、当該ミスフィット転位は前記第 3 の軸の方向に延びており、当該ミスフィット転位の密度は $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 以上 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 以下の範囲内にあるのが良い。この範囲内であれば、InGa_nN 層と InGa_nN 層上に設けられた層の歪みを効果的に緩和できる。ミスフィット転位は発光層から離れた第 1 の界面に存在するので、このミスフィット転位が窒化物系半導体発光素子の特性に及ぼす影響は比較的小さい。

[0011] 本発明の一側面に係る窒化物系半導体発光素子では、前記 n 型窒化ガリウム系半導体領域は n 型の InAlGa_nN 層を含み、前記 InAlGa_nN 層の前記基板側の第 2 の界面に直交し前記 c 軸を含む面と前記第 2 の界面とが共有する第 5 の軸の方向に沿った前記 InAlGa_nN 層の格子定数は、前記第 2 の軸の方向に沿った前記基板の格子定数よりも大きく、前記第 5 の軸と前記 c 軸とに直交する第 6 の軸の方向に沿った前記 InAlGa_nN 層の格子定数は、前記第 4 の軸の方向に沿った前記基板の格子定数に等しいのが良い。従って、発光層が、主面上に設けられた InAlGa_nN 層を第 5 の軸に沿った方向（オフと平行方向）にのみ格子緩和させた上で InAlGa_nN 層上において設けられているので、発光層の井戸層の歪みが緩和され、更に、ピエゾ分極を低減できる。また、発光層が単一量子井戸構造の場合、多重量子井戸構造と比較して井戸層にかかる歪みが大きくなる傾向にあるが、InAl

GaN層が第5の軸に沿った方向（オフと平行方向）にのみ格子緩和し発光層の井戸層の歪みが緩和されているので、単一量子井戸構造においても井戸層で格子不整合に起因する欠陥発生を低減することができる。

- [0012] 本発明の一側面に係る窒化物系半導体発光素子では、前記InAlGaN層は前記第2の界面に生じたミスフィット転位を含み、当該ミスフィット転位は前記第6の軸の方向に延びており、当該ミスフィット転位の密度は $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 以上 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 以下の範囲内にあるのが良い。この範囲内であれば、InAlGaN層とInAlGaN層上に設けられた層の歪みを効果的に緩和できる。ミスフィット転位は発光層から離れた第2の界面に存在するので、このミスフィット転位が窒化物系半導体発光素子の特性に及ぼす影響は比較的小さい。

発明の効果

- [0013] 本発明によれば、井戸層へのキャリアの注入効率が向上された窒化物系半導体発光素子を提供できる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]実施形態に係るLEDの構成を説明するための図である。
[図2]実施形態に係るLEDの効果の説明するための図である。
[図3]実施形態に係るLDの構成を説明するための図である。
[図4]ピエゾ分極に応じた井戸構造を説明するための図である。
[図5]PL特性の温度依存性のグラフを示す図である。
[図6]EL特性の温度依存性のグラフを示す図である。
[図7]PL波長の印加電圧依存性のグラフを示す図である。
[図8]PL強度の印加電圧依存性のグラフを示す図である。
[図9]図7及び図8のグラフに示す結果を説明するための図である。
[図10]井戸層におけるピエゾ分極の向きを決定方法を説明するための図である。
[図11]井戸層におけるピエゾ分極の向きを決定方法を説明するための図である。

[図12] CL観察の観察結果を示す図である。

[図13] CL観察の観察結果を示す図である。

[図14] CL観察の観察結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 図面を参照して、本発明に係る実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において、可能な場合には、同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0016] (第1の実施形態)

図1に、第1の実施形態に係るLED1の構成の概略を示す。LED1は、発光ダイオード(窒化物系半導体発光素子)であり、所定のz軸方向に沿って順次設けられたn電極29、基板5、n型窒化ガリウム系半導体領域7、緩衝層9、発光層11、p型窒化ガリウム系半導体領域19、p電極25及びパッド電極27を備える。基板5、n型窒化ガリウム系半導体領域7、緩衝層9、発光層11及びp型窒化ガリウム系半導体領域19は、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる。基板5の主面S1は、z軸に垂直な面(x軸及びy軸を含む面)に沿って延びている。主面S1は、基板5の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に直交する面から63度以上80度以下または100度以上117度以下の範囲内の傾斜角 θ で傾斜した基準平面S5に沿って延びている半極性面である。図1には、一例としてc軸がm軸方向に傾斜した場合を示してある。

[0017] n型窒化ガリウム系半導体領域7は、主面S1に設けられており、主面S1を介して基板5に接している。緩衝層9は、n型窒化ガリウム系半導体領域7と発光層11との間に設けられており、n型窒化ガリウム系半導体領域7と発光層11(特にバリア層13)とに接している。

[0018] 本発明の一側面では、緩衝層9の基板5側の界面S3に直交しc軸を含む面と界面S3とが共有する第1の軸の方向(略x軸方向)に沿った緩衝層9の格子定数は、基板5の主面S1に直交しc軸を含む面と主面S1とが共有する第2の軸の方向(略x軸方向)に沿った基板5の格子定数よりも大きく

することができる。第1の軸とc軸とに直交する第3の軸の方向（略y軸方向）に沿った緩衝層9の格子定数は、第2の軸とc軸とに直交する第4の軸の方向（略y軸方向）に沿った基板5の格子定数に等しい（ここでの格子定数は、物質固有のものではなく、LED1に設けられた状態の基板5や緩衝層9の有する格子定数である。）。このように、緩衝層9が格子緩和されているので、緩衝層9において歪みが開放され、よって、井戸層15において生じる歪みが低減される。この場合、緩衝層9は界面S3に生じたミスフィット転位を含み、当該ミスフィット転位は第3の軸の方向に延びており、当該ミスフィット転位の密度は $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 以上 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 以下の範囲内にある。

[0019] 発光層11は、n型窒化ガリウム系半導体領域7とp型窒化ガリウム系半導体領域19との間であって、緩衝層9と電子ブロック層21との間に設けられており、緩衝層9と電子ブロック層21とに接している。発光層11は、単一量子井戸構造を有しており、緩衝層9上においてz軸方向に沿って順次設けられたバリア層13、井戸層15及びバリア層17を含む。発光層11は、450nm以上600nm以下の範囲内にあるピーク波長の光を発光する。

[0020] バリア層13は、緩衝層9と井戸層15との間に設けられており、緩衝層9と井戸層15とに接している。井戸層15は、バリア層13とバリア層17との間に設けられており、バリア層13とバリア層17とに接している。バリア層17は、井戸層15と電子ブロック層21との間に設けられており、井戸層15と電子ブロック層21とに接している。バリア層13及びバリア層17のバンドギャップエネルギーと井戸層15のバンドギャップエネルギーとの差は、0.7eV以上である。

[0021] 主面S1が、基板5の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に直交する面から63度以上80度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準平面S5に沿って延びている場合、井戸層15に生じるピエゾ分極は負となり、この場合のピエゾ分極の向きは、p型窒化ガリウム系半導体領域19からn型窒化ガリ

ウム系半導体領域7に向かう方向と一致する。井戸層15におけるピエゾ分極が負の場合、図4(C)に示すように、p型窒化ガリウム系半導体領域19側における井戸層15に対する障壁の高さは、井戸層15におけるピエゾ分極が正の場合(図4(A)に示す井戸構造)及び井戸層15におけるピエゾ分極がゼロの場合(図4(B)に示す井戸構造)に比較して、高い。したがって、このような井戸を複数有する多重量子井戸構造の場合、単一井戸構造を有するLED1の場合に比較して、井戸層に対する電子の注入効率は低下する。この効果は、p型窒化ガリウム系半導体領域19側における井戸に対する障壁の高さが高い(発光波長が長い)ほど顕著となる。

[0022] p型窒化ガリウム系半導体領域19は、発光層11上においてz軸方向に沿って順次設けられた電子ブロック層21及びコンタクト層23を有する。電子ブロック層21は、バリア層17とコンタクト層23との間に設けられており、バリア層17とコンタクト層23とに接している。p電極25は、p型窒化ガリウム系半導体領域19上(特に、コンタクト層23の表面)に設けられており、コンタクト層23に接している。p電極25には、p電極25の表面からコンタクト層23の表面に貫通するコンタクトホールが設けられている。パッド電極27は、p電極25上に設けられており、p電極25に接している。パッド電極27は、p電極25のコンタクトホールを介してコンタクト層23に接している。n電極29は、主面S1の反対側にある基板5の表面に設けられており、基板5に接している。

[0023] 次に、第1の実施形態に係るLED1の実施例について説明する。基板5は、半極性の主面S1を有するGaNからなり、n型窒化ガリウム系半導体領域7は、n型ドーパされたGaNからなる。n型窒化ガリウム系半導体領域7の厚みは2 μ m程度である。緩衝層9は、n型ドーパされたInGaNからなる。緩衝層9のInの組成比は0.02であり、緩衝層9のGaの組成比は0.98である。緩衝層9の厚みは100nm程度である。

[0024] バリア層13及びバリア層17は、何れも、GaNからなり、バリア層13の厚み及びバリア層17の厚みは、何れも、15nm程度である。井戸層

15は、InGa_xN_{1-x}からなり、井戸層15のInの組成比は0.30であり、井戸層15のGaの組成比は0.70である。井戸層15の厚みは、3nm程度である。井戸層15のバンドギャップエネルギーとバリア層13及びバリア層17のバンドギャップエネルギーとの差は1eV程度である。

[0025] 電子ブロック層21は、p型ドーパされたAlGa_xN_{1-x}からなり、電子ブロック層21のAlの組成比は0.18であり、電子ブロック層21のGaの組成比は0.82である。電子ブロック層21の厚みは、20nm程度である。コンタクト層23は、p型ドーパされたGa_xN_{1-x}からなり、コンタクト層23の厚みは50nm程度である。p電極25はNi/Auからなり、パッド電極27はTi/Auからなり、n電極29はTi/Alからなる。

[0026] 次にLED1の作製方法を説明する。m軸方向に75度オフした面に相当する(20-21)面を主面S1とする基板5に520nm帯のLED構造を作製した。まず、基板5を摂氏1050度程度のNH₃及びH₂の雰囲気中において10分程度の間保持し、前処理(サーマルクリーニング)を行った後に、n型窒化ガリウム系半導体領域7を摂氏1100度程度において2μm程度だけ成長させた。次に、雰囲気温度を摂氏840度程度に下げ、緩衝層9を100nm程度だけ成長させ、この後、発光層11を成長させた。発光層11のバリア層13及びバリア層17は、何れも、摂氏840度程度の成長温度で15nm程度成長させ、井戸層15は摂氏740度程度の成長温度で3nm程度だけ成長させた。次に、雰囲気温度を摂氏1000度程度に上昇させ、電子ブロック層21を20nm程度成長させ、更にこの後に、コンタクト層23を50nm程度成長させた。次に、Ni/Auからなるp電極25、Ti/Auからなるパッド電極27、及び、Ti/Alからなるn電極29の蒸着を行った。

[0027] 図2は、LED1の動作を説明するための図である。図2(A)の図中符号G1に示すグラフは、実施例に係るLED1の場合の駆動電流に対する発光出力を示し、図中符号G2に示すグラフは、他のLEDの場合の駆動電流に対する発光出力を示す。上記他のLEDは、発光層の構成が実施例に係る

LED 1と異なっており、三つの井戸を含む多重量子井戸構造を有するものとなっているが、上記他のLEDの他の構成は実施例に係るLED 1と同様である。グラフG 1, G 2によれば、単一量子井戸構造を有する実施例に係るLED 1のほうが、多重量子井戸構造を有する上記他のLEDに比較して、高い発光出力を有することがわかる。また、図2 (B)の図中符号G 3に示すグラフは、実施例に係るLED 1の場合の駆動電圧に対する駆動電流を示し、図中符号G 4に示すグラフは、上記他のLEDの場合の駆動電圧に対する駆動電流を示す。グラフG 3, G 4によれば、単一量子井戸構造を有する実施例に係るLED 1のほうが、多重量子井戸構造を有する上記他のLEDに比較して、駆動電圧が低いことがわかる。

[0028] 以上説明した構成を有するLED 1において、基板5の主面S 1が、基板5の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に直交する面から63度以上80度以下または100度以上117度以下の範囲内の傾斜角 θ で傾斜した基準平面S 5に沿って延びているので、主面S 1がc軸に直交する場合に比較して井戸層15に生じるピエゾ分極を低減できる。そして、井戸層15に生じるピエゾ分極が小さいと、井戸からキャリア（特に電子）が抜け出にくい方向に発光層11の井戸構造が歪み、井戸が多いほど井戸へのキャリア（特に電子）の注入効率が低下するが、発光層11の井戸構造が単一量子井戸構造なので、井戸層へのキャリア（特に電子）の注入効率が多重量子井戸構造の場合に比較して向上される。多重量子井戸構造と比較した場合の発光層11におけるキャリア（特に電子）の注入効率の向上は、井戸層15のバンドギャップエネルギーとバリア層13及びバリア層17のバンドギャップエネルギーとの差が0.7 eV以上であり、バンドギャップエネルギーの差が比較的大きいので、より顕著となる。

[0029] (第2の実施形態)

図3に、第2の実施形態に係るLD 31の構成の概略を示す。LD 31は、レーザダイオード（窒化物系半導体発光素子）であり、所定のz軸方向に沿って順次設けられたn電極65、基板33、n型窒化ガリウム系半導体領

域 3 5、ガイド層 4 1、発光層 4 3、ガイド層 5 1、p 型窒化ガリウム系半導体領域 5 3、絶縁膜 6 1 及び p 電極 6 3 を備える。基板 3 3、n 型窒化ガリウム系半導体領域 3 5、ガイド層 4 1、発光層 4 3、ガイド層 5 1、p 型窒化ガリウム系半導体領域 5 3 は、六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる。基板 3 3 の主面 S 7 は、z 軸に垂直な面（x 軸及び y 軸を含む面）に沿って延びている。主面 S 7 は、基板 3 3 の六方晶系窒化ガリウム系半導体の c 軸に直交する面から 6 3 度以上 8 0 度以下または 1 0 0 度以上 1 1 7 度以下の範囲内の傾斜角 θ で傾斜した基準平面 S 5 に沿って延びている半極性面である。図 3 には、一例として c 軸が m 軸方向に傾斜した場合を示してある。

[0030] n 型窒化ガリウム系半導体領域 3 5（特に、n 型半導体層 3 7）は、主面 S 7 に設けられており、主面 S 7 を介して基板 3 3 に接している。n 型窒化ガリウム系半導体領域 3 5 は、基板 3 3 の主面 S 7 上において z 軸方向に沿って順次設けられた n 型半導体層 3 7 及びクラッド層 3 9 を含む。n 型半導体層 3 7 は、基板 3 3 とクラッド層 3 9 との間に設けられており、基板 3 3 とクラッド層 3 9 とに接している。

[0031] クラッド層 3 9 は、n 型半導体層 3 7 とガイド層 4 1 との間に設けられており、n 型半導体層 3 7 とガイド層 4 1 とに接している。クラッド層 3 9 の格子定数と基板 3 3 の格子定数との関係を、上記した第 1 の実施形態に係る LED 1 の緩衝層 9 の格子定数と基板 5 の格子定数との関係と同様にすることができ。本発明の一側面では、クラッド層 3 9 の基板 3 3 側の界面 S 9 に直交し c 軸を含む面と界面 S 9 とが共有する第 5 の軸の方向（略 x 軸方向）に沿ったクラッド層 3 9 の格子定数は、基板 3 3 の主面 S 7 に直交し c 軸を含む面と主面 S 7 とが共有する軸（この軸を、第 1 の実施形態と同様に第 2 の軸という）の方向（略 x 軸方向）に沿った基板 3 3 の格子定数よりも大きくすることができる。第 5 の軸と c 軸とに直交する第 6 の軸の方向（略 y 軸方向）に沿ったクラッド層 3 9 の格子定数は、第 2 の軸と c 軸とに直交する軸（この軸を、第 1 の実施形態と同様に第 4 の軸という）の方向（略 y 軸方向）に沿った基板 3 3 の格子定数に等しい（ここでの格子定数は、物質固

有のものではなく、LD 31に設けられた状態の基板33やクラッド層39の有する格子定数である。) 。このように、クラッド層39が格子緩和されているので、クラッド層39において歪みが開放され、よって、井戸層47において生じる歪みが低減される。この場合、クラッド層39は界面S9に生じたミスフィット転位を含み、当該ミスフィット転位は第6の軸の方向に延びており、当該ミスフィット転位の密度は $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 以上 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 以下の範囲内にある。

[0032] ガイド層41は、n型窒化ガリウム系半導体領域35（特にクラッド層39）と発光層43（特にバリア層45）との間に設けられており、クラッド層39と発光層43とに接している。ガイド層41の格子定数と基板33の格子定数との関係は、上記した第1の実施形態に係るLED1の緩衝層9の格子定数と基板5の格子定数との関係と同様である。発光層43は、単一量子井戸構造を有しており、ガイド層41上においてz軸方向に沿って順次設けられたバリア層45、井戸層47及びバリア層49を有する。発光層43は、450nm以上600nm以下の範囲内にあるピーク波長の光を発光する。

[0033] バリア層45は、ガイド層41と井戸層47との間に設けられており、ガイド層41と井戸層47とに接している。井戸層47は、バリア層45とバリア層49との間に設けられており、バリア層45とバリア層49とに接している。バリア層49は、井戸層47とガイド層51との間に設けられており、井戸層47とガイド層51とに接している。ガイド層51は、発光層43（特にバリア層49）とp型窒化ガリウム系半導体領域53（特に電子ブロック層55）との間に設けられており、バリア層49と電子ブロック層55とに接している。バリア層45及びバリア層49のバンドギャップエネルギーと井戸層47のバンドギャップエネルギーとの差は、 0.7 eV 以上である。バリア層45とガイド層41、およびバリア層49とガイド層51を同じ条件にし、ガイド層とバリア層を一体化しても良い。

[0034] 主面S7が、基板33の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に直交する

面から63度以上80度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準平面S5に沿って延びている場合、井戸層47に生じるピエゾ分極は負となり、この場合のピエゾ分極の向きは、p型窒化ガリウム系半導体領域53からn型窒化ガリウム系半導体領域35に向かう方向と一致する。井戸層47におけるピエゾ分極が負の場合、図4(C)に示すように、p型窒化ガリウム系半導体領域53側における井戸層47の井戸に対する障壁の高さは、井戸層47におけるピエゾ分極が正の場合(図4(A)に示す井戸構造)及び井戸層47におけるピエゾ分極がゼロの場合(図4(B)に示す井戸構造)に比較して、高い。したがって、このような井戸を複数有する多重量子井戸構造の場合、単一井戸構造を有するLD31の場合に比較して、井戸層に対する電子の注入効率は低下する。この効果は、p型窒化ガリウム系半導体領域53側における井戸に対する障壁の高さが高い(発光波長が長い)ほど顕著となる。

[0035] p型窒化ガリウム系半導体領域53は、ガイド層51上においてz軸方向に沿って順次設けられた電子ブロック層55、クラッド層57及びコンタクト層59を有する。電子ブロック層55は、ガイド層51とコンタクト層59との間に設けられており、ガイド層51とコンタクト層59とに接している。クラッド層57は、電子ブロック層55とコンタクト層59との間に設けられており、電子ブロック層55とコンタクト層59とに接している。

[0036] 絶縁膜61は、p型窒化ガリウム系半導体領域53(特にコンタクト層59)上に設けられており、コンタクト層59に接している。絶縁膜61には、絶縁膜61の表面からコンタクト層59の表面に貫通するコンタクトホールが設けられている。p電極63は、絶縁膜61上に設けられており、絶縁膜61に接している。p電極63は、絶縁膜61のコンタクトホールを介してコンタクト層59に接している。n電極65は、主面S7の反対側にある基板33の表面に設けられており、基板33に接している。

[0037] 次に、第2の実施形態に係るLD31の実施例について説明する。基板33は、半極性の主面S7を有するGaNからなり、n型半導体層37は、n型ドーパされたGaNからなる。n型半導体層37の厚みは、500nm程

度である。クラッド層39は、n型ドーパされたInAlGa_nNからなる。クラッド層39のInの組成比は0.02であり、クラッド層39のAlの組成比は0.09であり、クラッド層39のGaの組成比は0.89である。クラッド層39の厚みは、1.5μm程度である。

[0038] ガイド層41及びガイド層51は、何れもInGa_nNからなり、ガイド層41の厚み及びガイド層51の厚みは、何れも200nm程度である。ガイド層41及びガイド層51のInの組成比は何れも0.03であり、ガイド層41及びガイド層51のGaの組成比は何れも0.97である。バリア層45及びバリア層49は、何れも、Ga_nNからなり、バリア層45の厚み及びバリア層49の厚みは、何れも、15nm程度である。井戸層47は、InGa_nNからなり、井戸層47の厚みは3nm程度である。井戸層47のInの組成比は0.30であり、井戸層47のGaの組成比は0.70である。井戸層47のバンドギャップエネルギーとバリア層45及びバリア層49のバンドギャップエネルギーとの差は1eV程度である。

[0039] 電子ブロック層55は、p型ドーパされたAlGa_nNからなる。電子ブロック層55のAlの組成比は0.12であり、電子ブロック層55のGaの組成比は0.88である。電子ブロック層55の厚みは20nm程度である。クラッド層57は、p型ドーパされたInAlGa_nNからなる。クラッド層57のInの組成比は0.02であり、クラッド層57のAlの組成比は0.09であり、クラッド層57のGaの組成比は0.89である。クラッド層57の厚みは400nm程度である。

[0040] コンタクト層59は、p型ドーパされたGa_nNからなる。コンタクト層59の厚みは50nm程度である。絶縁膜61は、例えばSiO₂からなる。p電極63は、Ni/AuとNi/Au表面に設けられたTi/Auからなるパッド電極とで構成されている。n電極65は、Ti/AlとTi/Al表面に設けられたTi/Auからなるパッド電極とで構成されている。

[0041] 次にLD31の作製方法を説明する。m軸方向に75度オフした面に相当する(20-21)面を主面S7とする基板33に520nm帯のLD構造

を作製した。まず、基板 33 を摂氏 1050 度程度の NH_3 及び H_2 の雰囲気中において 10 分程度の間保持し、前処理（サーマルクリーニング）を行った後に、n 型半導体層 37 を摂氏 1050 度程度において 500 nm 程度だけ成長させた。次に、雰囲気温度を摂氏 840 度程度に下げ、クラッド層 39 を 1.5 μm 程度だけ成長させた。

[0042] 次に、ガイド層 41、発光層 43 及びガイド層 51 を順次成長させた。ガイド層 41 及びガイド層 51 は、何れも摂氏 840 度程度の成長温度で 200 nm 程度だけ成長させ、バリア層 45 及びバリア層 49 は、何れも摂氏 840 度程度の成長温度で 15 nm 程度だけ成長させ、井戸層 47 は、摂氏 740 度程度の成長温度で 3 nm 程度だけ成長させた。次に、雰囲気温度を摂氏 1000 度程度に上昇させ、電子ブロック層 55 を 20 nm 程度だけ成長させた。

[0043] 更にこの後に、雰囲気温度を再び摂氏 840 度程度に下げて、クラッド層 57 を 400 nm 程度だけ成長させ、更に、この温度でコンタクト層 59 も 50 nm 程度だけ成長させた。次に、絶縁膜 61 を成膜し、幅 10 μm 程度のストライプ窓をウェットエッチングにより形成した。この後、 Ni/Au および Ti/Au パッド電極からなる p 電極 63 と、 Ti/Al および Ti/Au パッド電極からなる n 電極 65 との蒸着を行った。

[0044] そして、この後、基板 33 とこの基板 33 上に成長させた n 型窒化ガリウム系半導体領域 35、ガイド層 41、発光層 43、ガイド層 51 及び p 型窒化ガリウム系半導体領域 53 とを 800 μm 程度の間隔でへき開し、へき開面に $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ からなる誘電体多層膜を形成し、ゲインガイド型レーザが作製された。

[0045] なお、実施例に係る LD 31 の比較例として、三つの井戸を含む多重量子井戸構造の発光層を有する他の LD（第 1 比較例 LD という）を作製した。第 1 比較例 LD の他の構成は、このような発光層の構成を除き、実施例に係る LD 31 の構成と同様である。第 1 比較例 LD にパルス幅 500 nsec、duty 0.1% でパルス通電を行った。実施例に係る LD 31 の閾値電

流は800mAであったが、第1比較例LDの閾値1100mAであった。発振波長は、実施例に係るLD31及び第1比較例LDの何れも520nmであった。また、実施例に係るLD31は、屈折率の高いInGaN井戸層（井戸層47）が一本しかないので、光閉じ込めは第1比較例LDに比較して若干不利ではあるが、発光効率の向上と単位井戸あたりのキャリア密度の向上とが低閾値化に寄与したものと考えられる。

[0046] また、実施例に係るLD31の他の比較例として、ガイド層をInGaN（Inの組成比は0.01であり、Gaの組成比は0.99である）とした単一井戸構造のLD（第2比較例LDという）を作製した。第2比較例LDの他の構成は、このようなガイド層の構成を除き、実施例に係るLD31と同様である。断面TEM観察によれば、実施例に係るLD31においては、n側にあるガイド層41とクラッド層39との界面S11に $2 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ のミスフィット転位が認められた。井戸層47にはミスフィット転位は認められなかった。第2比較例LDにおいては、n側にあるガイド層（Inの組成比が0.01であり、Gaの組成比が0.99であるInGaNからなる）とクラッド層（クラッド層39と同様の構成）との界面には欠陥は認められなかったが、発光層（発光層43と同様の構成）において、井戸層（井戸層47と同様の構成）とバリア層（バリア層45, 49と同様の構成）との界面からコンタクト層（コンタクト層59と同様の構成）の表面に貫通する欠陥が $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ の密度で発生していた。実施例に係るLD31の場合には、ガイド層41が歪みを緩和していたために、波長が長くInの組成比の高い井戸層47においても発光層43での欠陥発生が抑制されたものと考えられる。また、第2比較例LDに通電したところ、発振しなかった。この理由としては、発光層での欠陥発生による発光効率の低下とガイド層のInの組成比が低いことに起因して光閉じ込め効率が低下したと考えられる。

[0047] 以上説明した構成を有するLD31において、基板33の主面S7が、基板33の六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸に直交する面から63度以上80度以下または100度以上117度以下の範囲内の傾斜角 θ で傾斜した

基準平面S 5に沿って延びているので、主面S 7がc軸に直交する場合に比較して井戸層4 7に生じるピエゾ分極を低減できる。そして、井戸層4 7に生じるピエゾ分極が小さいと、井戸からキャリア（特に電子）が抜け出にくい方向に発光層4 3の井戸構造が歪み、井戸が多いほど井戸へのキャリア（特に電子）の注入効率が低下するが、発光層4 3の井戸構造が単一量子井戸構造なので、井戸層へのキャリア（特に電子）の注入効率が多重量子井戸構造の場合に比較して向上される。多重量子井戸構造と比較した場合の発光層4 3における電子のキャリア（特に電子）の注入効率の向上は、井戸層4 7のバンドギャップエネルギーとバリア層4 5及びバリア層4 9のバンドギャップエネルギーとの差が0. 7 eV以上であり、バンドギャップエネルギーの差が比較的大きいので、より顕著となる。発光層4 3が、主面S 7上に設けられたガイド層4 1を第1の軸に沿った方向（オフと平行方向）にのみ格子緩和させた上でガイド層4 1上においてコヒーレントに設けられているので、発光層4 3の井戸層4 7の歪みが緩和され、更に、ピエゾ分極を低減できる。加えて、井戸層4 7のIn組成が高くバリア層4 5及びバリア層4 9との格子不整合が大きい状況においても、井戸層での欠陥発生を抑制することができる。ミスフィット転位はガイド層4 1の界面S 11に存在するので、このミスフィット転位がLD 31の特性に及ぼす影響は比較的小さい。

[0048] 次に、第1の実施形態の実施例に係るLED 1（実施例に係るLED 1を、簡単のため、以下では特に、実施例LED、という）の効果について更に述べる。この実施例LEDは上述のように単一量子井戸構造を有する。実施例LEDの比較例として、三つの井戸を含む多重量子井戸構造の発光層を有する他のLED（第1比較例LEDという）を作製した。第1比較例LEDの構成は、多重量子井戸構造の発光層を有している、という点を除いて、実施例LEDと同様であった。第1比較例LEDは、実施例LEDと同様に、六方晶系窒化ガリウム系半導体のm軸方向に75度オフした面上に発光層を含むエピタキシャル層が設けられた構成を有していた。なお、以下において、単一の量子井戸層を有する単一量子井戸構造をSQWといい、三つの量子

井戸層を含む多重量子井戸構造を3 QWという。

[0049] まず、実施例LED (SQW) と第1比較例LED (3 QW) のPL特性の温度依存性を評価した。この評価結果を図5に示す。図5の符号G5に示すグラフは実施例LEDに対する測定結果を示しており、図5の符号G6に示すグラフは第1比較例LEDに対する測定結果を示している。図5に示すPL特性はArSHGレーザ(波長244 nm)で励起しており、エピタキシャル層全体でキャリアが励起された。すなわち、発光層に含まれる井戸層の数(SQWの単一の量子井戸層であるか、又は、3 QWの三つの量子井戸層であるか)にかかわらず、励起キャリア密度はほぼ同等と考えられる。温度を低下させると非発光プロセスが抑制されPL強度が向上していることがわかる。例えば温度が150 K以下の場合、実施例LED及び第1比較例LEDの両者のPL強度はほぼ同等であった。これは、実施例LED及び第1比較例LEDの両者の発光層の発光効率が同等であることを意味している。

[0050] また、実施例LED (SQW) と第1比較例LED (3 QW) のEL特性の温度依存性も評価した。この評価結果を図6に示す。図6の符号G7に示すグラフは実施例LEDに対する測定結果を示しており、図6の符号G8に示すグラフは第1比較例LEDに対する測定結果を示している。図6に示すEL特性は電流値2 mAで測定した測定結果である。図6に示す全温度域(500 K以下の温度範囲)にわたって実施例LED (SQW) のEL強度の方が第1比較例LEDのEL強度を上回っていた。比較的低温では、実施例LED及び第1比較例LEDは、ほぼ同等のPL強度を有していたが、実施例LED及び第1比較例LEDのEL強度では差異が見られた。このような実施例LED及び第1比較例LEDのEL強度に差異が見られた、ということは、実施例LED及び第1比較例LEDのキャリアの注入効率が異なっている、ことを示唆している。以上により、SQWの実施例LEDの方が、3 QWの第1比較例LEDよりも、キャリアの注入が改善されている、ことがわかった。

[0051] また、実施例LEDの比較例として、六方晶系窒化ガリウム系半導体のG

a N基板のc面上に設けられた3 QWの発光層を有する他のLED（第2比較例LEDという）を更に作製した。この第2比較例LEDの構成は、発光層を含むエピ層が六方晶系窒化ガリウム系半導体のGa N基板のc面上に設けられている、という点を除いて、第1比較例LEDと同様であった。実施例LED、第1比較例LED及び第2比較例LEDそれぞれのバイアス印加によるPLを、温度100 Kにおいて評価し、ピエゾ分極の向きとキャリア注入との関連を測定した。図7には、実施例LED、第1比較例LED及び第2比較例LEDそれぞれのPL波長の印加電圧依存性の測定結果が示されている。図7の符号G9に示すグラフは実施例LEDに対する測定結果を示しており、図7の符号G10に示すグラフは第1比較例LEDに対する測定結果を示しており、図7の符号G11に示すグラフは第2比較例LEDに対する測定結果を示している。

[0052] 図7に示す測定結果によれば、印加電圧の増加に伴い、第2比較例LEDの場合にはPL波長がレッドシフトしているのに対し、実施例LED及び第1比較例LEDの場合には何れもPL波長がブルーシフトしていることがわかる。このようなPL波長の測定結果は、井戸層のピエゾ分極が、第2比較例LEDの場合「正」であり、実施例LED及び第1比較例LEDの場合「負」である、ことに対応している。

[0053] また、図8には、実施例LED、第1比較例LED及び第2比較例LEDそれぞれのPL強度の印加電圧依存性の測定結果が示されている。図8の符号G12に示すグラフは実施例LEDに対する測定結果を示しており、図8の符号G13に示すグラフは第1比較例LEDに対する測定結果を示しており、図8の符号G14に示すグラフは第2比較例LEDに対する測定結果を示している。図8に示すPL強度の測定結果を見ると、比較的低い印加電圧において、第2比較例LEDのPL強度の変化は比較的小さいが、実施例LED及び第1比較例LEDのPL強度は比較的大きく低下していることがわかる。このようなPL強度と印加電圧との相関は、3 QWの第1比較例LEDよりもSQWの実施例LEDの方が、特に顕著であった。

[0054] 図7及び図8に示す測定結果が得られた理由を、図9を参照して以下のよう
に説明する。井戸層内の電子は、印加電圧が小さいほどn側へ引っ張られ
る。第2比較例LEDのように六方晶系窒化ガリウム系半導体のGaN基板
のc面上に発光層を含むエピタキシャル層が設けられた構成のLEDは、井
戸層のピエゾ分極が「正」となっており、バンドが図9(A)に示すように
曲がるので、このバンドに含まれている井戸層Q1にトラップされた電子E
1はn側に抜けにくいことがわかる。図9(A)に示す井戸層Q1において
、電子E1に対するn側の壁の高さ(井戸層Q1のn側の壁の高さは、井戸
層Q1内のエネルギー準位V1に対する相対値V2である。)は、電子E1
に対するp側の壁の高さ(井戸層Q1のp側の壁の高さは、井戸層Q1内の
エネルギー準位V1に対する相対値V3である。)よりも高い。このような
理由によって、第2比較例LEDの場合には、印加電圧が比較的小さい場合
でもPL強度が強かった、と考えられる。

[0055] これに対し、実施例LED及び第1比較例LEDのように六方晶系窒化ガ
リウム系半導体のm軸方向に75度オフした面上に発光層を含むエピタキシ
ヤル層が設けられた構成のLEDでは、井戸層のピエゾ分極が「負」であり
、バンドが図9(B)に示すように曲がるので、このバンドに含まれている
井戸層Q2にトラップされた電子E1はn側に抜けやすい。図9(B)に示
す井戸層Q2において、電子E1に対するn側の壁の高さ(井戸層Q2のn
側の壁の高さは、井戸層Q2内のエネルギー準位V4に対する相対値V5で
ある。)は、電子E1に対するp側の壁の高さ(井戸層Q2のp側の壁の高
さは、井戸層Q2内のエネルギー準位V4に対する相対値V6である。)よ
りも高い。このような理由によって、実施例LED及び第1比較例LEDの
場合は、印加電圧を比較的小さくするとPL強度が減少した、と考えられる
。特にSQWの実施例LEDの場合は、n側に一度抜け出た電子が隣接する
次の井戸層で再びトラップされることがないので、PL強度が極端に低下し
た、と考えられる。

[0056] なお、順バイアスを印加してEL発光させる場合には、電子をp側に向け

て移動させることになるので、上記したような印加電圧が比較的小さい場合に生じた現象とは異なる下記のような現象が生じる。すなわち、六方晶系窒化ガリウム系半導体の m 軸方向に75度オフした面上に発光層を含むエピタキシャル層が設けられた構成のLEDでは、電子が p 側に抜けにくくなる。従って、第1比較例LEDにおいては、六方晶系窒化ガリウム系半導体の m 軸方向に75度オフした面上に発光層を含むエピタキシャル層が設けられた構成を有しており井戸層が複数存在するので、各井戸層の注入電子密度が不均一になる。よって、SQWの実施例LEDのほうが、第1比較例LEDよりも、発光効率向上や電圧低減に有効となる。

[0057] ここで、井戸層におけるピエゾ分極（厳密には自発分極を加えた内部電界）の向きの決定方法を図10及び図11を用いて説明する。第1の実施形態の実施例及び比較例に対し、バイアス印加PLを用いて、井戸層におけるピエゾ分極の向きを決定した。バイアス印加PLは、実施例LEDや第1及び第2比較例LEDに外部電圧を加えながら、Ni/Au電極（ p 電極25等）の上から励起光を照射し、PLを検出する測定である。井戸層のピエゾ分極が「正」に強い場合には、順バイアスの印加によって、図10（A）に示すエネルギーギャップ V_7 が、図10（B）に示すように、エネルギーギャップ V_7 よりも小さい値のエネルギーギャップ V_8 （エネルギーギャップ $V_7 > \text{エネルギーギャップ} V_8$ ）に減少するので、レッドシフトが観測される。従って、順バイアスの印加によってレッドシフトが観測された場合には、井戸層のピエゾ分極は「正」である、と決定できる。また、井戸層のピエゾ分極が「負」に強い場合には、順バイアスの印加によって、図11（A）に示すエネルギーギャップ V_9 が、図11（B）に示すように、エネルギーギャップ V_9 よりも大きい値のエネルギーギャップ V_{10} （エネルギーギャップ $V_9 < \text{エネルギーギャップ} V_{10}$ ）に増加するので、ブルーシフトが観測される。従って、順バイアスの印加によってブルーシフトが観測された場合には、井戸層のピエゾ分極は「負」である、と決定できる。

[0058] 次に、SQWの発光層を含むエピタキシャル層がサファイア基板の c 面上

に設けられたLED（470nm帯の波長の光を発光し、第3比較例LEDという）と、3QWの発光層を含むエピタキシャル層がサファイア基板のc面上に設けられたLED（470nm帯の波長の光を発光し、第4比較例LEDという）と作製し、第3及び第4比較例LEDと実施例LEDのそれぞれに対するCL観察（CL：カソードルミネッセンス）を行った。図12には、第3比較例LEDに対して行われたCL観察の観察結果が示され、図13には、第4比較例LEDに対して行われたCL観察の観察結果が示され、図14には、実施例LEDに対して行われたCL観察の観察結果が示される。

[0059] 3QWの第4比較例LEDに対するCL観察の観察結果（図13に示す観察結果）によれば、発光は比較的均一となっているが、これに対し、SQWの第3比較例LEDに対するCL観察の観察結果（図12に示す観察結果）には、非発光領域が認められた。c面上ではInGaN井戸層のIn組成や膜厚の均一成長が難しく、よって、このc面内の歪み分布が不均一となるので、非発光領域が増加する。このような理由から、SQWの第3比較例LEDでは、非発光領域が認められた、と考えられる。

[0060] これに対し、3QWの第4比較例LEDの場合には、第3比較例LEDと同様にc面上に発光層を含むエピタキシャル層が設けられているが、複数の井戸層が互いに緩衝効果を発揮するので、発光の不均一性が改善され、従って、発光が比較的均一となる。このような理由から、3QWの第4比較例LEDでは、発光が比較的均一であった、と考えられる。

[0061] 一方、SQWの実施例LEDに対するCL観察の観察結果（図14に示す観察結果）によれば、発光の均一性が高い、ということがわかった。実施例LEDは、上述したように六方晶系窒化ガリウム系半導体のm軸方向に75度オフした面上にSQWの発光層を含むエピタキシャル層が設けられた構成のLEDであり、このような六方晶系窒化ガリウム系半導体のm軸方向に75度オフした面上に形成されたInGaN井戸層の結晶構造の均一性は比較的高い、という理由によって、実施例LEDでは、発光が比較的均一であつ

た、と考えられる。よって、第1の実施形態の実施例に係るSQWの効果は、InGaN井戸層の均一成長が可能となる面方位や成長条件において特に大きいと言える。基板主面がc軸に直交する面から63度以上80度以下または100度以上117度以下の範囲で傾斜している場合Inが取り込まれやすくなり、InGaN井戸層の均一性が優れたものになる。

[0062] 以上、好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更を請求する。

産業上の利用可能性

[0063] 以上説明したように、本実施の形態によれば、井戸層へのキャリアの注入効率が向上された窒化物系半導体発光素子を提供することを目的とする。

符号の説明

[0064] 1…LED、11, 43…発光層、13, 17, 45, 49…バリア層、15, 47…井戸層、19…p型窒化ガリウム系半導体領域、21, 55…電子ブロック層、23, 59…コンタクト層、25, 63…p電極、27…パッド電極、29, 65…n電極、31…LD、33, 5…基板、35…n型窒化ガリウム系半導体領域、37…n型半導体層、39, 57…クラッド層、41, 51…ガイド層、53…p型窒化ガリウム系半導体領域、61…絶縁膜、7…n型窒化ガリウム系半導体領域、9…緩衝層、S1, S7…主面、S11, S3, S9…界面、S5…基準平面

請求の範囲

- [請求項1] 窒化物系半導体発光素子であって、
六方晶系窒化ガリウム系半導体からなる基板と、
前記基板の主面に設けられたn型窒化ガリウム系半導体領域と、
前記n型窒化ガリウム系半導体領域上に設けられた単一量子井戸構造の発光層と、
前記発光層上に設けられたp型窒化ガリウム系半導体領域と
を備え、
前記発光層は、前記n型窒化ガリウム系半導体領域と前記p型窒化ガリウム系半導体領域との間に設けられており、
前記発光層は、井戸層及び障壁層を含み、
前記井戸層は、InGa_Nであり、
前記主面は、前記六方晶系窒化ガリウム系半導体のc軸方向に直交する面から63度以上80度以下または100度以上117度以下の範囲内の傾斜角で傾斜した基準平面に沿って延びている、
ことを特徴とする窒化物系半導体発光素子。
- [請求項2] 前記井戸層に生じるピエゾ分極の向きは、前記p型窒化ガリウム系半導体領域から前記n型窒化ガリウム系半導体領域に向かう方向と一致する、ことを特徴とする請求項1に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項3] 前記障壁層のバンドギャップエネルギーと前記井戸層のバンドギャップエネルギーとの差は0.7eV以上である、ことを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項4] 前記発光層は、450nm以上600nm以下の範囲内にあるピーク波長の光を発光する、ことを特徴とする請求項1～請求項3の何れか一項に記載の窒化物系半導体発光素子。
- [請求項5] InGa_N層を更に備え、
前記InGa_N層は、前記n型窒化ガリウム系半導体領域と前記発

光層との間に設けられ、

前記 InGa_nN 層の前記基板側の第 1 の界面に直交し前記 c 軸を含む面と前記第 1 の界面とが共有する第 1 の軸の方向に沿った前記 InGa_nN 層の格子定数は、前記主面に直交し前記 c 軸を含む面と前記主面とが共有する第 2 の軸の方向に沿った前記基板の格子定数よりも大きく、前記第 1 の軸と前記 c 軸とに直交する第 3 の軸の方向に沿った前記 InGa_nN 層の格子定数は、前記第 2 の軸と前記 c 軸とに直交する第 4 の軸の方向に沿った前記基板の格子定数に等しい、ことを特徴とする請求項 1～請求項 4 の何れか一項に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項6]

前記 InGa_nN 層は前記第 1 の界面に生じたミスフィット転位を含み、当該ミスフィット転位は前記第 3 の軸の方向に延びており、当該ミスフィット転位の密度は $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 以上 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 以下の範囲内にある、ことを特徴とする請求項 5 に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項7]

前記 n 型窒化ガリウム系半導体領域は n 型の InAlGa_nN 層を含み、

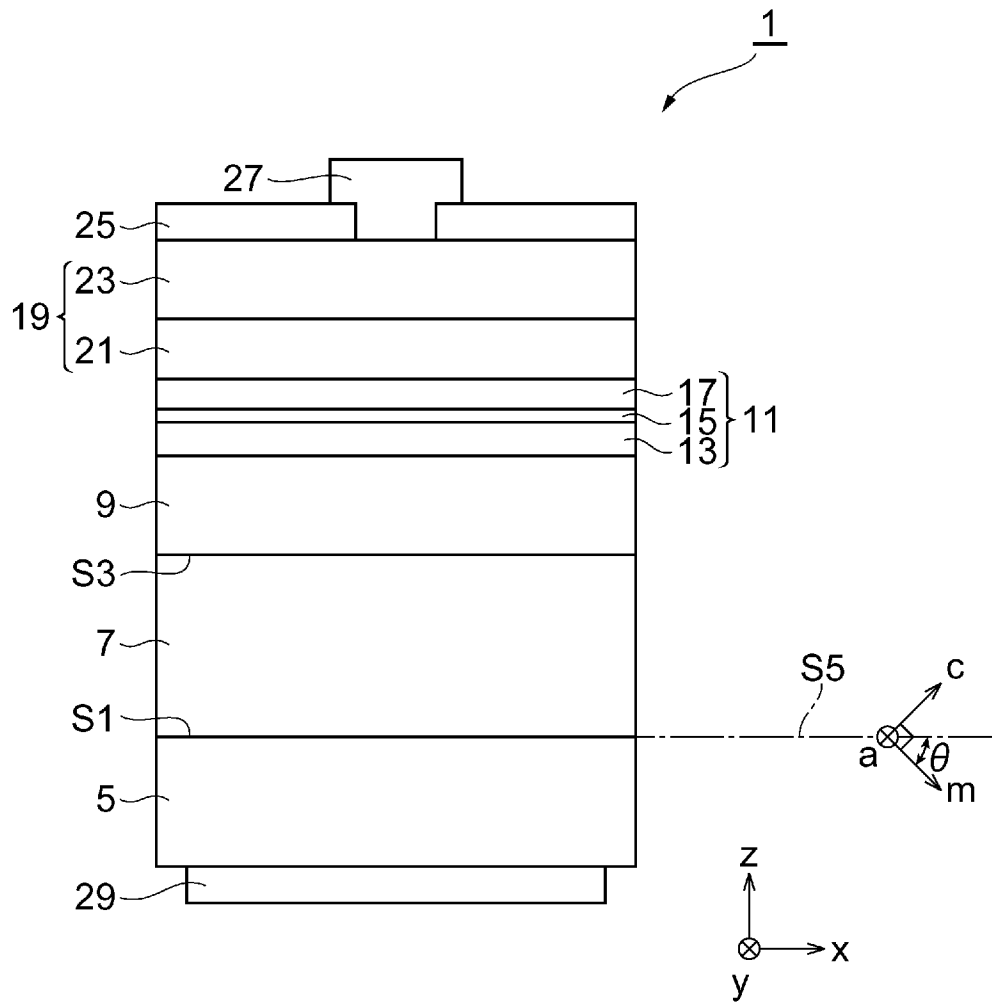
前記 InAlGa_nN 層の前記基板側の第 2 の界面に直交し前記 c 軸を含む面と前記第 2 の界面とが共有する第 5 の軸の方向に沿った前記 InAlGa_nN 層の格子定数は、前記第 2 の軸の方向に沿った前記基板の格子定数よりも大きく、前記第 5 の軸と前記 c 軸とに直交する第 6 の軸の方向に沿った前記 InAlGa_nN 層の格子定数は、前記第 4 の軸の方向に沿った前記基板の格子定数に等しい、ことを特徴とする請求項 1～請求項 5 の何れか一項に記載の窒化物系半導体発光素子。

[請求項8]

前記 InAlGa_nN 層は前記第 2 の界面に生じたミスフィット転位を含み、当該ミスフィット転位は前記第 6 の軸の方向に延びており、当該ミスフィット転位の密度は $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 以上 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 以下の範囲内にある、ことを特徴とする請求項 7 に記載の窒化物系半導

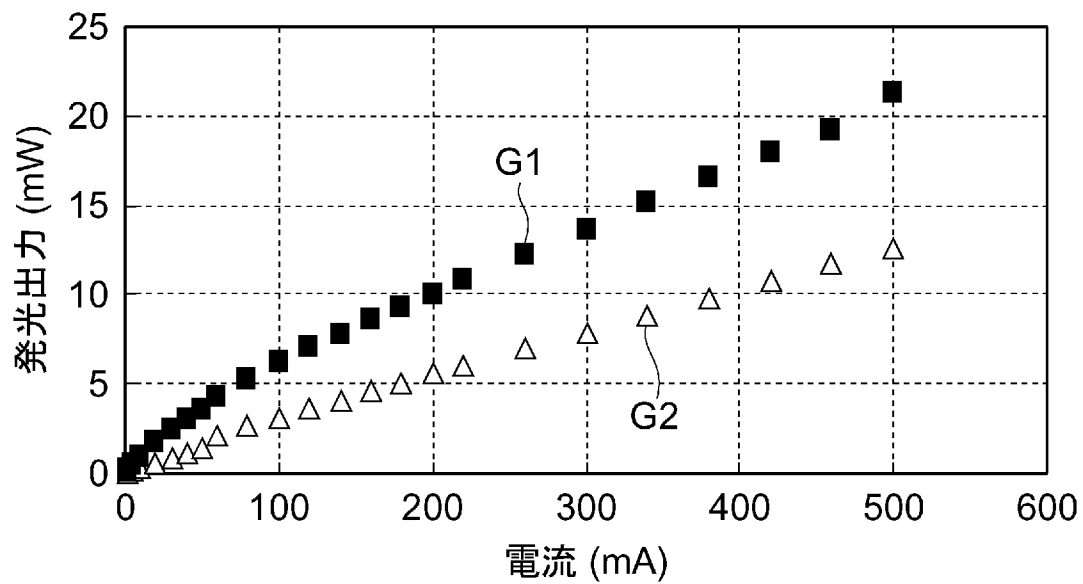
体発光素子。

[図1]

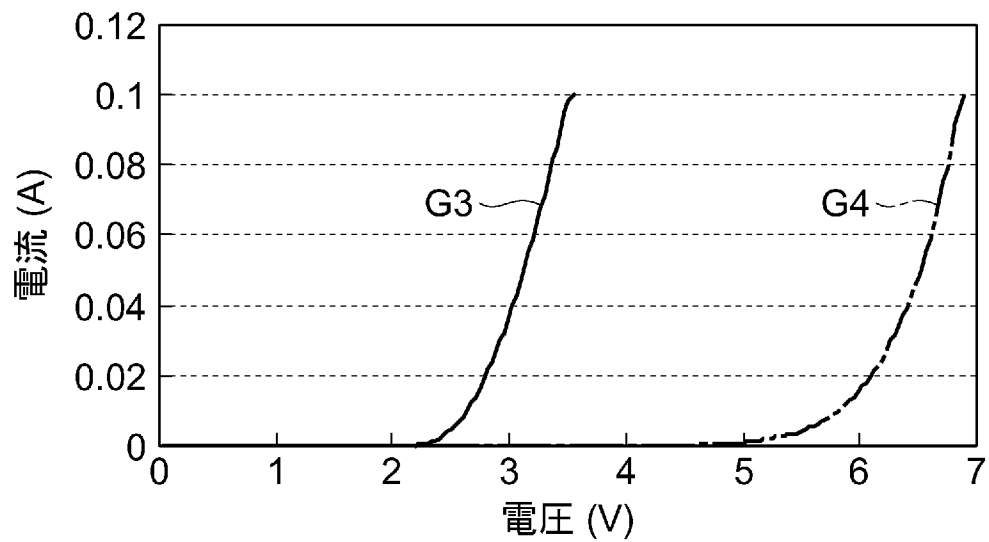


[図2]

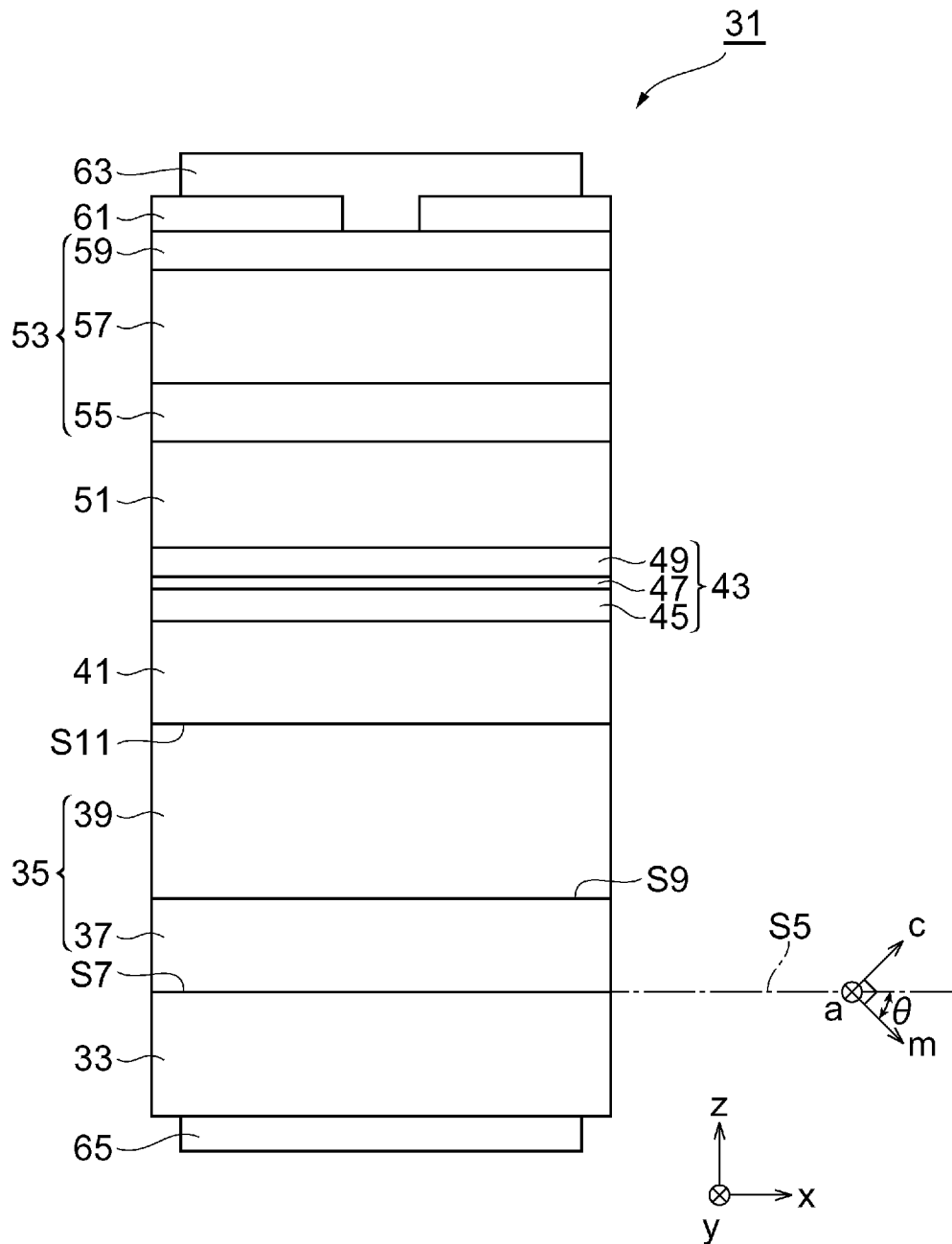
(A)



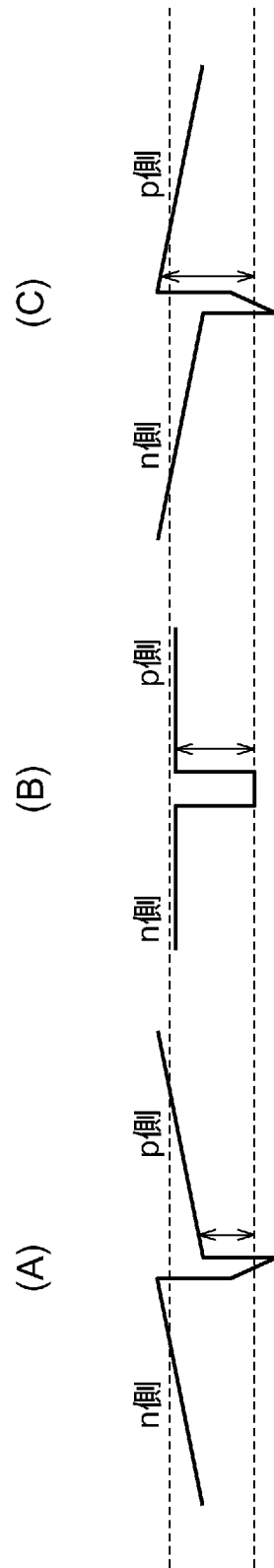
(B)



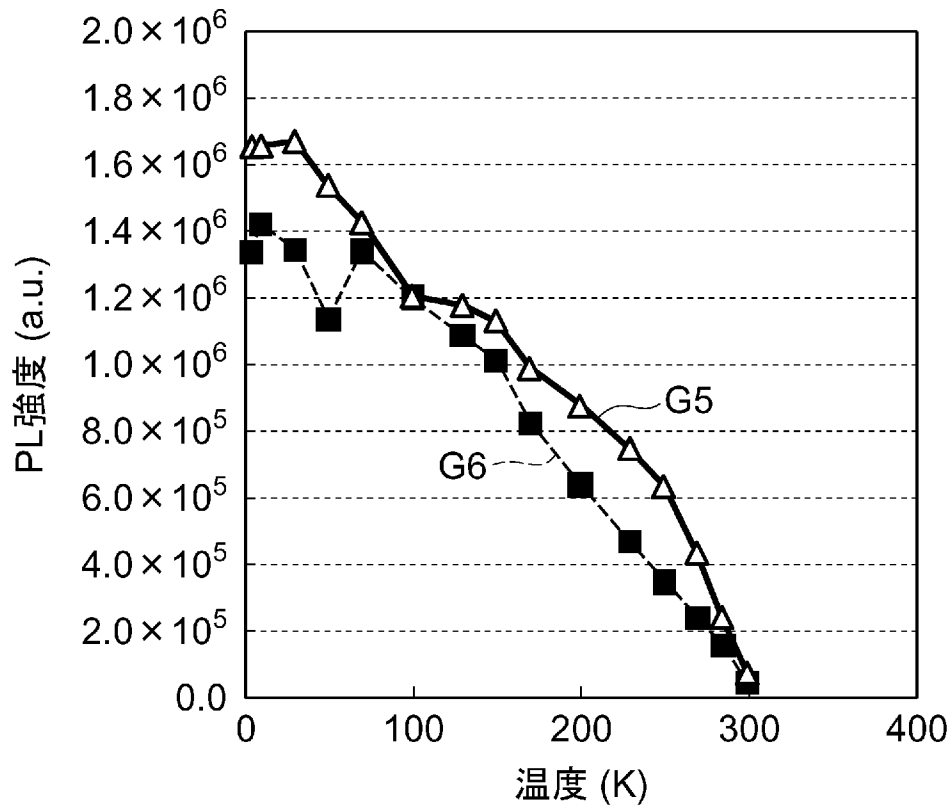
[図3]



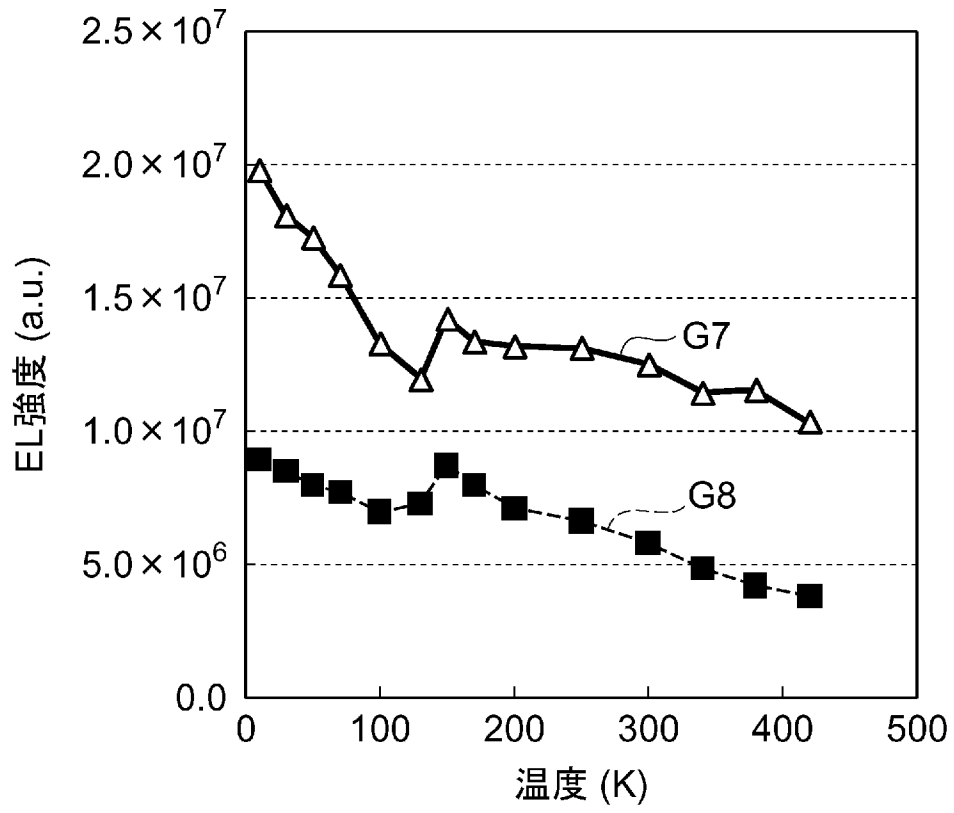
[図4]



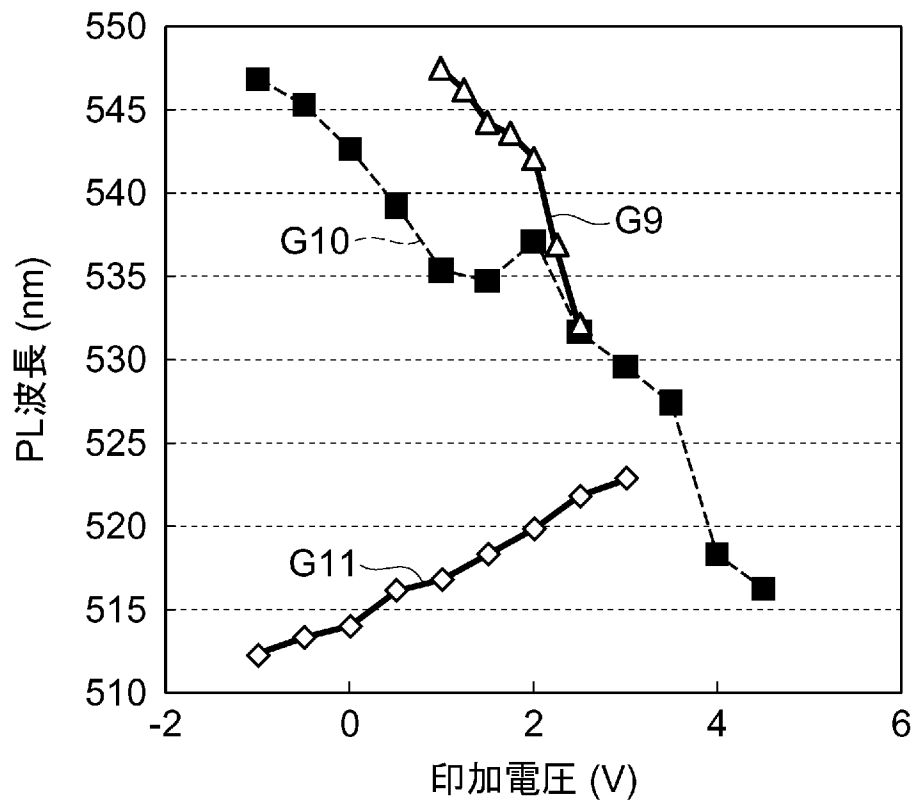
[図5]



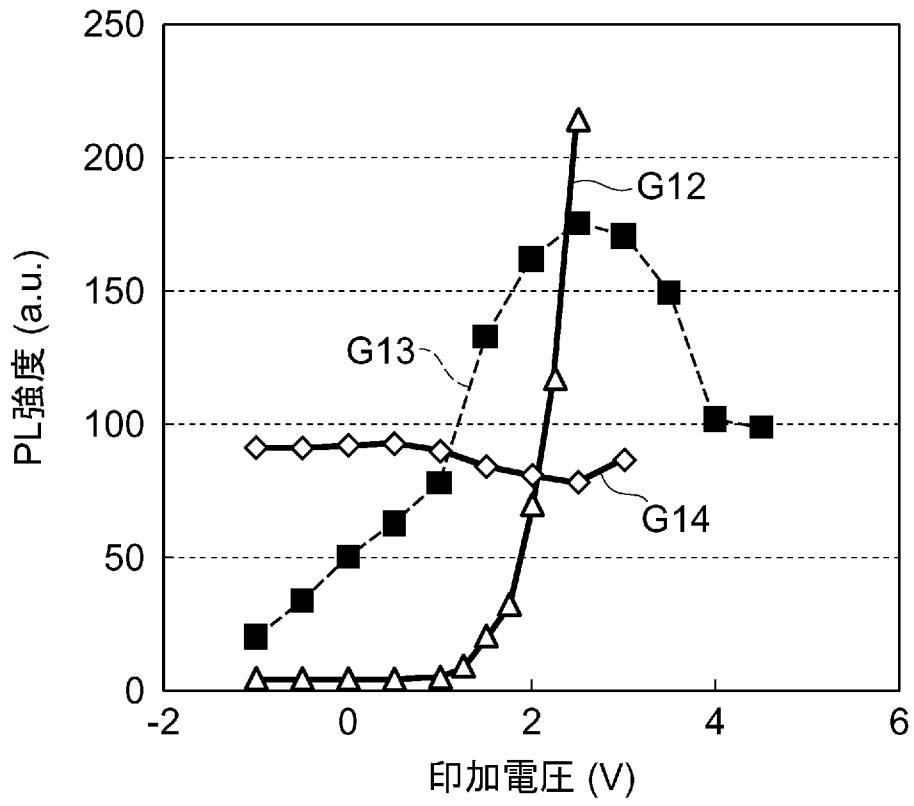
[図6]



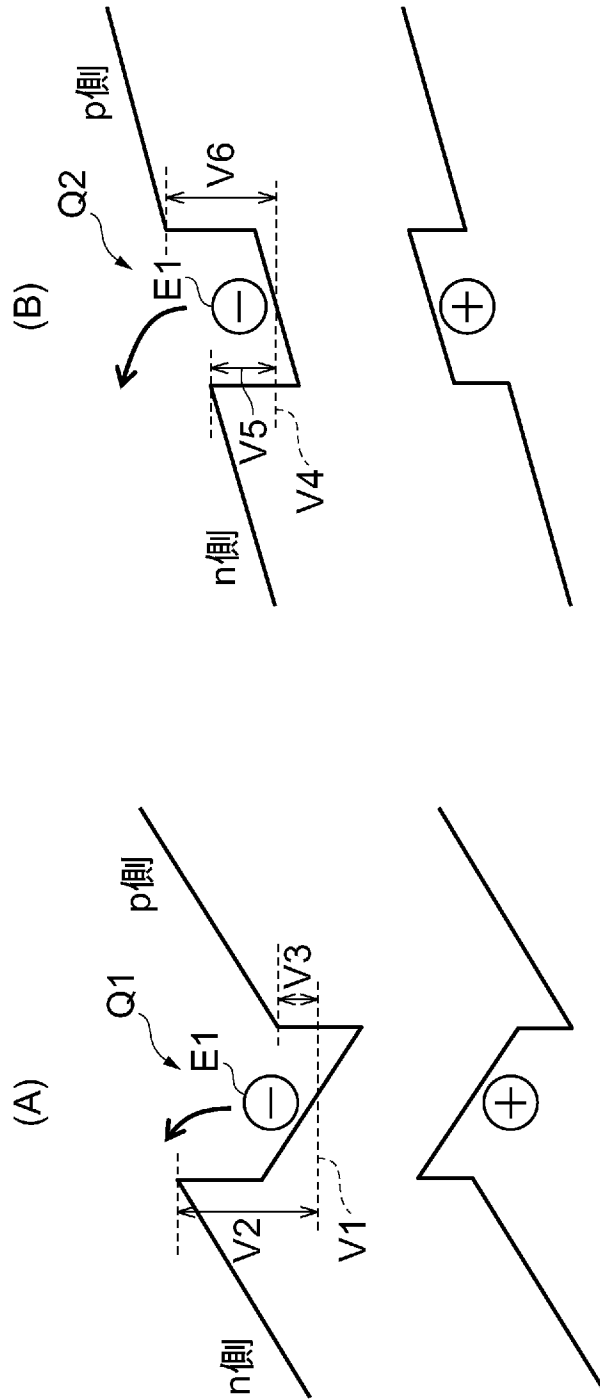
[図7]



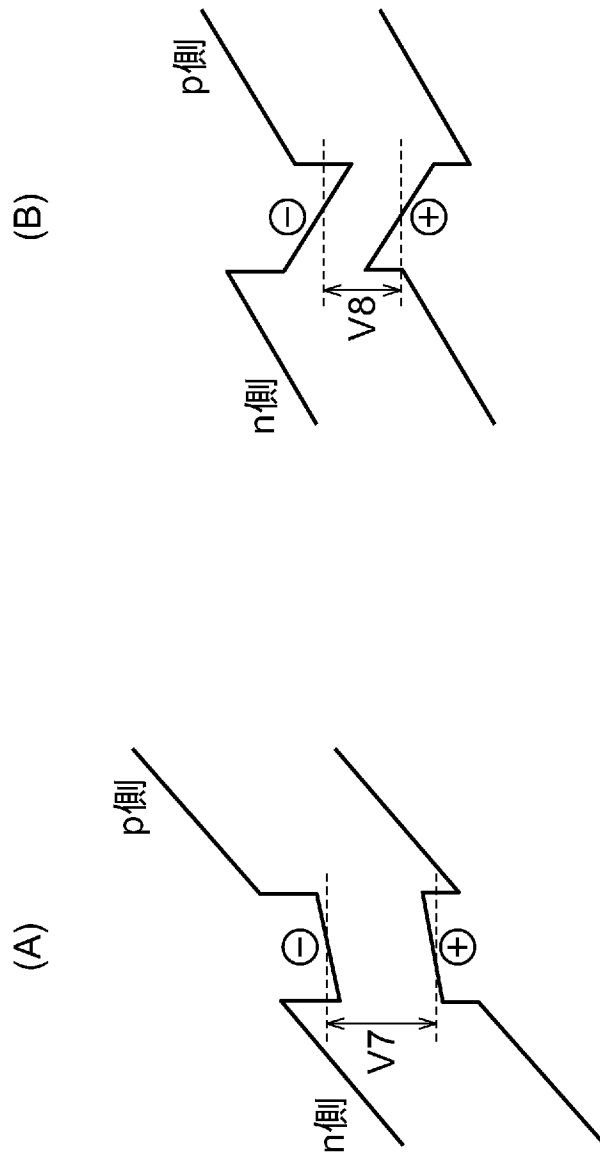
[図8]



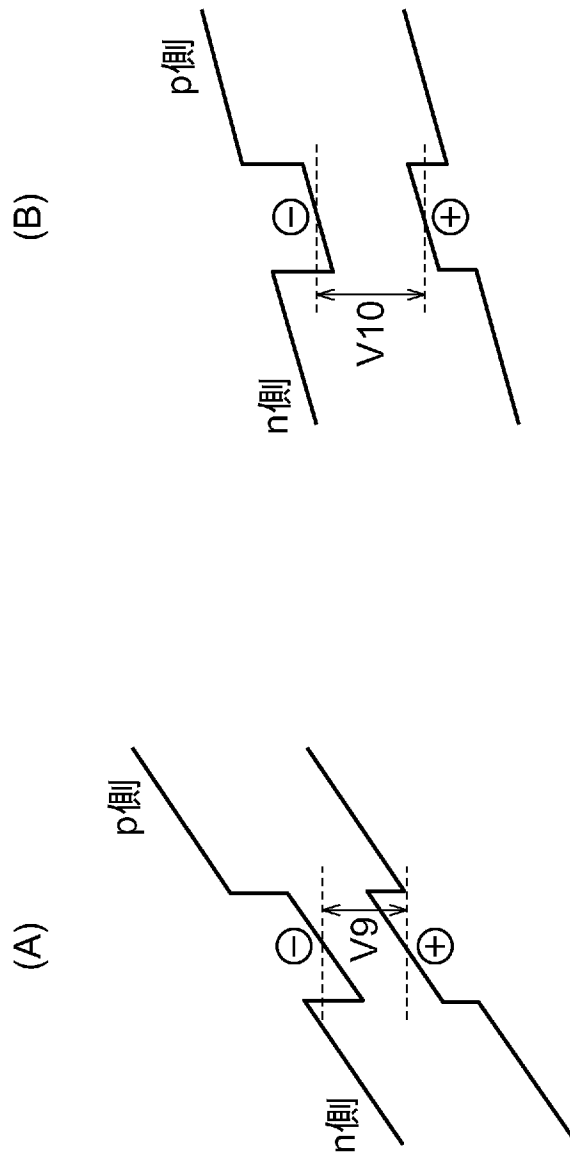
[図9]



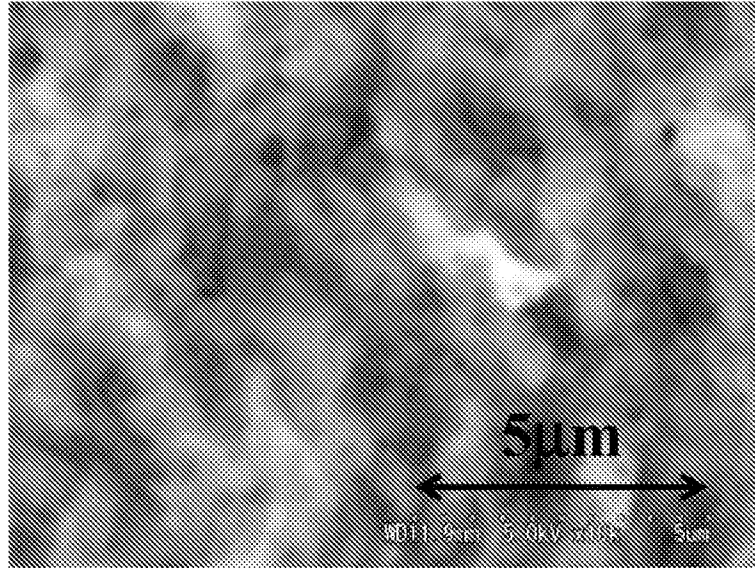
[図10]



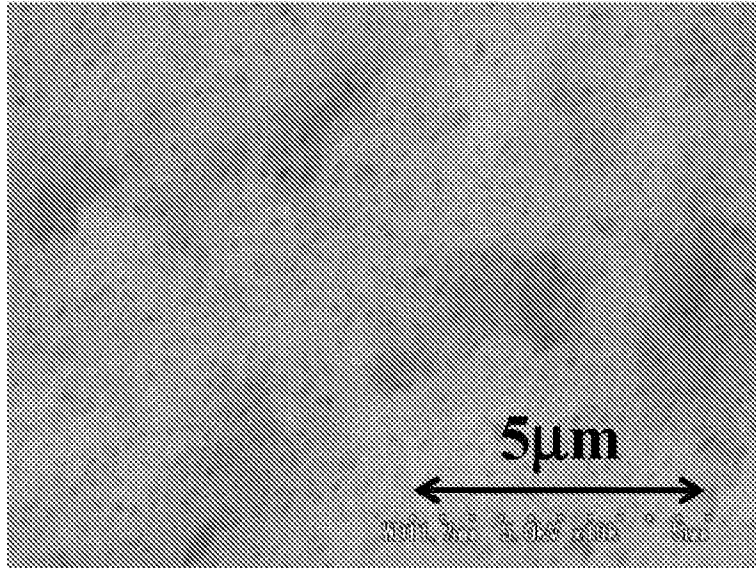
[図11]



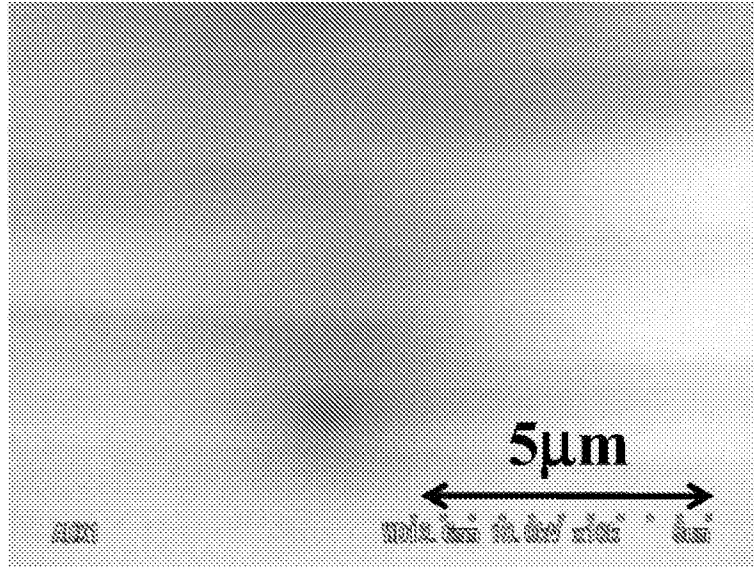
[圖12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/060054

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/32(2010.01)i, H01L33/06(2010.01)i, H01L33/16(2010.01)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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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.
X Y	JP 2008-60375 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 13 March 2008 (13.03.2008), paragraph [0077]; fig. 1 (Family: none)	1-3 4-8
X	JP 2003-347585 A (Norihiro SAWAKI), 05 December 2003 (05.12.2003), paragraphs [0022], [0050] to [0053]; fig. 10 (Family: none)	1
P, X	JP 4475358 B1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 09 June 2010 (09.06.2010), paragraph [0045]; fig. 1 (Family: none)	1-4

 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
06 July, 2010 (06.07.10)Date of mailing of the international search report
13 July, 2010 (13.07.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/060054

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-88230 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 23 April 2009 (23.04.2009), paragraph [0013] (Family: none)	4
Y	JP 2007-134507 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 31 May 2007 (31.05.2007), paragraph [0033]; fig. 1 & US 2008/0023708 A1	5-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int.Cl. H01L33/32(2010.01)i, H01L33/06(2010.01)i, H01L33/16(2010.01)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. H01L33/00-33/64, H01S5/00-5/50

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 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2010年
 日本国実用新案登録公報 1996-2010年
 日本国登録実用新案公報 1994-2010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
X	JP 2008-60375 A (三洋電機株式会社) 2008.03.13, 段落 0077, 図 1	1-3
Y	ファミリーなし	4-8
X	JP 2003-347585 A (澤木宣彦) 2003.12.05, 段落 0022, 0050-0053, 図 10 ファミリーなし	1

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。

<p>* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な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</p>	<p>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</p>
--	---

国際調査を完了した日 06.07.2010	国際調査報告の発送日 13.07.2010
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 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
P, X	JP 4475358 B1 (住友電気工業株式会社) 2010.06.09, 段落 0045, 図 1 ファミリーなし	1-4
Y	JP 2009-88230 A (古河電気工業株式会社) 2009.04.23, 段落 0013 ファミリーなし	4
Y	JP 2007-134507 A (住友電気工業株式会社) 2007.05.31, 段落 0033, 図 1 & US 2008/0023708 A1	5-8