

(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15日(15.09.2011)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2011/111853 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01L 33/32 (2010.01) H01S 5/343 (2006.01)  
H01L 31/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/055882
- (22) 国際出願日: 2011年3月14日(14.03.2011)
- (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 2010-055388 2010年3月12日(12.03.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人千葉大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION CHIBA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 Chiba (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 吉川 明彦(YOSHIKAWA Akihiko) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 大学院工学研究科内 Chiba (JP). 石

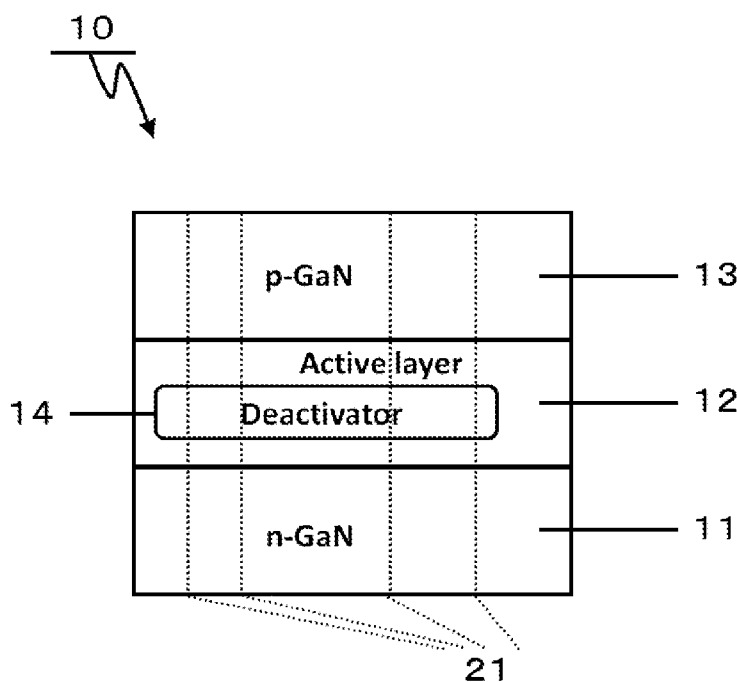
- 谷 善博(ISHITANI Yoshihiro) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 大学院工学研究科内 Chiba (JP). 草部 一秀(KUSAKABE Kazuhide) [JP/JP]; 〒2638522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人千葉大学 大学院工学研究科内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 高橋 昌義(TAKAHASHI Masayoshi); 〒2900143 千葉県市原市ちはら台西1-3-703 Chiba (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, JP, 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.

[続葉有]

(54) Title: PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE AND CHARACTERISTIC INSPECTION METHOD FOR SAME

(54) 発明の名称: 光電変換装置及びその特性検査方法

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a photoelectric conversion device which inhibits characteristic degradation caused by crystal defects, and an inspection method for crystal defects in photoelectric conversion devices. The photoelectric conversion device is provided with an active layer, and a deactivator contained in the active layer.

(57) 要約: 結晶欠陥による特性劣化を抑制する光電変換装置、および光電変換装置に内在する結晶欠陥の検出方法を提供する。そのため、本発明に係る光電変換装置は、光電変換部と、前記光電変換部に含まれる転位不活性部と、を備える。

WO 2011/111853 A1



(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

(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))

## 明 細 書

**発明の名称**： 光電変換装置及びその特性検査方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、光電変換装置及びその特性検査方法に関し、より詳細には、結晶欠陥による特性劣化を抑制することのできる光電変換装置及び光電変換装置に内在する結晶欠陥の検出方法に関する。

### 背景技術

[0002] 半導体による光電変換素子として、発光ダイオードや半導体レーザーなどの発光素子、および太陽電池などの受光素子が知られている。

[0003] 発光素子の実用化、さらには高性能化に要求される事項は、光出力の高出力化および素子寿命の長寿命化である。一方、受光素子の場合では、変換効率の向上である。しかし、光電変換素子を構成する半導体結晶に内在する結晶欠陥（転位）が、上述した高性能化を阻害し、動作特性を劣化させることは周知の通りである。

[0004] 半導体結晶における結晶欠陥が、光電変換素子の動作特性を劣化させる様子を、図8を参照して説明する。

[0005] 図8は一例として、光電変換素子100の構成を示すブロック図であり、n型半導体層101と、前記n型半導体層101上に形成される活性層（光電変換部）102と、前記活性層103上に形成されるp型半導体層103と、を備えており、これらが周知の半導体製造技術等によって、光電変換装置の基本構造として形成されている。

[0006] ここで光電変換素子100の基本動作について、発光素子を例に簡単に説明する。

[0007] 光電変換素子100に電流を注入する場合、n型半導体層101からは電子が注入され、p型半導体103から正孔が注入される。注入された電子および正孔は、活性層102における発光再結合過程により光に変換され、外部へ光を出力する。

[0008] ところが光電変換素子には、半導体結晶の構造不完全性から、図8に示すような結晶欠陥（貫通転位）201が含まれることがある。図8には光電変換素子100を構成する半導体結晶に内在する結晶欠陥が模式的に示されており、貫通転位201と非発光中心202が存在している。例えば、成長基板と成長層との界面で発生し、光電変換素子100まで下から伝搬してくる貫通転位201は、活性層102では光電変換を阻害する非発光中心202として振る舞うこととなる。

[0009] 特に、窒化物系半導体では、貫通転位が通常 $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ の高密度で含まれるため、発光素子の高性能化の大きな障害となっている。

[0010] この結晶欠陥の影響を低減するための技術として、例えば下記特許文献1及び2がある。

#### 先行技術文献

#### 特許文献

[0011] 特許文献1：特開2006-13547号公報

特許文献2：特開2006-5044号公報

#### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0012] 特許文献1および2に記載される結晶欠陥低減技術は、当業者にとってすれば、選択成長もしくは横方向成長と称される結晶成長技術に属する。この横方向成長プロセスには、通常の結晶成長に付随して、マスク形成などの表面加工プロセスが必要となる。このことは、工程数の増加を招くため、歩留まりや製造コストの点で問題が生じることになる。

[0013] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、製造工程数を増やすことなく、結晶欠陥による特性劣化を抑制する光電変換装置、および光電変換装置に内在する結晶欠陥の検出方法を提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

- [0014] 本発明の第1態様に係る光電変換装置は、光電変換部と、光電変換部に含まれる転位不活性部と、を備える。
- [0015] 本発明の第1態様に係る光電変換装置では、転位不活性部は、結晶欠陥を含むように形成されてもよい。
- [0016] 本発明の第1態様に係る光電変換装置では、転位不活性部は、光電変換機能を有してもよい。
- [0017] 本発明の第1態様に係る光電変換装置は、転位不活性部上に形成される第1伝導部と、転位不活性部下に形成される第2伝導部とを更に備えてもよく、第1伝導部は第1バンドギャップエネルギーを有し、第2伝導部は第2バンドギャップエネルギーを有し、転位不活性部は第3バンドギャップエネルギーを有してもよく、第3バンドギャップエネルギーは第1および第2バンドギャップエネルギーのいずれかよりも小さくてもよい。
- [0018] また本発明の第2態様に係る光電変換装置は、第1伝導型からなる第1  $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 層と、第1  $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 層上に形成される  $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 光電変換部と、 $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 光電変換部上に形成され、第2伝導型からなる第2  $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 層と、を備え、 $x$ および $y$ の範囲は $0 \leq x, y \leq 1$ であり、 $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 光電変換部は、 $InN$ 転位不活性部を有する。
- [0019] 本発明の第2態様に係る光電変換装置では、 $InN$ 転位不活性部は、層厚が2分子層以下であってもよい。
- [0020] 本発明の第2態様に係る光電変換装置では、 $InN$ 転位不活性部は、結晶欠陥を含むように形成されてもよい。
- [0021] 本発明の第3態様に係る光電変換装置の結晶欠陥検出方法は、第1伝導型からなる第1  $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 層と、第1  $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 層上に形成される  $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 光電変換部と、 $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 光電変換部上に形成され、第2伝導型からなる第2  $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 層と、を備える光電変換装置の結晶欠陥検出方法であって、 $x$ および $y$ の範囲は $0 \leq x, y \leq 1$ であり、 $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 光電変換部は、 $In$

N転位検出部を有し、I n N転位検出部は、結晶欠陥を含むよう形成されており、I n N転位検出部からの発光特性に基づいて、結晶欠陥を検出する結晶欠陥検出方法である。

[0022] 本発明の第3態様に係る光電変換装置の結晶欠陥検出方法では、I n N転位検出部は、層厚が2分子層以下であってもよい。

[0023] 本発明の第3態様に係る光電変換装置の結晶欠陥検出方法では、I n N転位検出部からのカソードルミネッセンスに基づいて、結晶欠陥を検出してもよい。

### 発明の効果

[0024] 以上説明したように、本発明によれば、光電変換装置に結晶欠陥が内在している場合でも、製造工程数を増やすことなく、結晶欠陥による特性劣化を抑制することができる。さらに、結晶欠陥の検出を容易にするので、光電変換装置の製品検査を簡便にすることができる。

### 図面の簡単な説明

[0025] [図1]本発明の実施形態に係る光電変換装置の構成例を示すブロック図である。

。

[図2]本発明の実施形態に係る光電変換部の構成を示すブロック図である。

[図3]本発明の転位不活性部の作用・効果を示す、カソードルミネッセンス測定による実験データである。

[図4]本発明の実施形態に係る光電変換部の構成を示すブロック図である。

[図5]本発明の実施形態に係る光電変換装置の構成例を示すブロック図である。

。

[図6]本発明の実施形態に係る光電変換装置の構成例を示すブロック図である。

。

[図7]本発明の実施形態に係る光電変換装置の構成例を示すブロック図である。

。

[図8]従来技術の光電変換装置の構成例を示すブロック図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0026] 以下、本発明の実施形態につき、図面を参照して説明する。但し、この実施例の記載は、本発明の範囲をそれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例に過ぎない。

[0027] [第1実施形態]

図1は、本願発明の第1実施形態に係る光電変換装置10の構成例を示すブロック図である。図1において、光電変換装置10は、n型窒化ガリウム（以下、「n-GaN」という。）層11と、n-GaN層11上に形成される光電変換部（Active layer）12と、光電変換部12上に形成されるp型窒化ガリウム（以下、「p-GaN」という。）層13と、光電変換部12に含まれる転位不活性部14と、を有して構成され、周知の半導体製造技術などで形成される。なお窒化物系半導体では、適当な成長基板が殆ど存在しないことから、光電変換素子10を構成する場合、n-GaN層11と基板（図面省略）との界面から発生する貫通転位などの結晶欠陥21を $1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ 程度と高密度に含む。

[0028] n-GaN層11は、電子を輸送するために用いられ、p-GaN層13は、正孔を輸送するために用いられる。従って、n-GaN層11及びp-GaN層13それぞれの抵抗率及び層厚は、キャリア輸送・集率の観点から、それぞれが好適に調整される。

[0029] 光電変換部12は、発光素子の場合では、注入された電子-正孔を再結合過程によって光に変換し、受光素子の場合では、吸収した光を電子-正孔に変換する。この機能を有する限りにおいて限定されるわけではないが、光電変換部12は、例えば、窒化ガリウム（GaN）、窒化インジウムガリウム（InGaN）、または窒化インジウム（InN）を含んで、n-GaN層11およびp-GaN層13のいずれかよりも小さい禁制帯幅（バンドギャップエネルギー）を有するように構成されていることが好ましい。

[0030] ここで転位不活性部14について説明する。ここでは、転位不活性部14がInN超薄膜であり、光電変換部12がGaNである例を用いて説明する。

[0031] InNがGaN上にエピタキシー成長されるとき、例えば、c面成長する

場合では、InNとGaNでは約11%の格子不整合度を有しているため、結晶成長中に高密度の結晶欠陥を新たに導入してしまう。この結晶欠陥は、光電変換素子における変換効率を著しく劣化させることとなる。しかしながら、InNが2分子層（2ML）以下であれば、結晶欠陥を導入せずに弾性変形を保持し、下地であるGaNに対してコヒーレント成長可能であることを本発明者らは見出した。

[0032] さらに、この2分子層以下の超薄膜InNでは、GaNとの非混和性によって極めて構造完全性に優れた結晶成長が実現される。この結果、自己秩序的かつ自己停止的な形成プロセスが可能となり、原子層オーダーで急峻なInN/GaN界面が形成される。

[0033] 光電変換部12内に上記超薄膜InNを挿入すると、この超薄膜InNを井戸層とし、GaNをバリア層とした量子井戸構造が構成される。すなわち、超薄膜InN量子井戸層は、光電変換部12の一部として機能してもよい。

[0034] 図2に示すように、結晶欠陥21が光電変換部12内部で超薄膜InNを貫くと、通常概念では、これらは非発光中心となり、光電変換部12での変換効率（量子効率）を低減させると考えられる。しかしながら、超薄膜InNは、この常識に反して、結晶欠陥21によって貫かれているとしても、その貫通点は非発光中心にはならないことを発明者らは見出した。すなわち、超薄膜InNは、それ自体が光電変換部12の一部を構成するだけでなく、結晶欠陥による非発光性を消滅させる転位不活性部14を構成できることを発明者らは見出した。

[0035] この従来の常識から逸脱した転位不活性部14の作用・効果について、超薄膜InNに特有な物性と併せて説明する。

[0036] 図3は、層厚が1分子層に制御された超薄膜InN（1ML-InN）井戸層とGaN層とによって構成される量子井戸構造を、GaN下地層（GaN under layer）上に成長させた試料のカソードルミネッセンス（CL）観察を行った結果（CL像）を示すものである。CL観察とは、試



料表面から加速電子線を照射し、試料からの蛍光分光測定を行うことを指す。加速電子線の加速電圧  $V_{acc}$  を制御することで、電子線の侵入深さを制御し、所望の層構造領域（深さ位置）の発光分布情報を得ることができる。

[0037] 図3は、観察領域を  $19 \times 19 \mu m^2$  とし、同一視野において加速電圧  $V_{acc}$  を変化させた場合のそれぞれのCL像を示している。加速電圧  $V_{acc}$  が3kV、6kV、14kV、18kVとは、電子線侵入長の48nm、160nm、710nm、1100nmにそれぞれ対応する。すなわち、加速電圧  $V_{acc}$  が3kVおよび6kVの場合、主に1ML-InN量子井戸からの発光分布が観測され、加速電圧  $V_{acc}$  が14kVおよび18kVの場合、主にGaN下地層からの発光分布が観測される。

[0038] CL像では、白いコントラストは発光領域に対応し、黒いコントラストは非発光領域（非発光中心）、すなわち結晶欠陥21が存在していることに対応する。

[0039] まず、加速電圧  $V_{acc}$  が14kVおよび18kVのCL像に注目する。幾つかの暗点が観測され、これらはGaN下地層に含まれる結晶欠陥であると考えられる。これらの暗点に、目印としての円形枠を図示してある。

[0040] 一方図3において、加速電圧  $V_{acc}$  が3kVおよび6kVのCL像に注目すると、結晶欠陥に付けた目印である円形枠の領域が、周囲より相対的に明るく光っていることがわかる。従来から、GaN下地層に結晶欠陥21が含まれている領域では、その上に成長された量子井戸も、結晶欠陥21の影響により発光効率は劣化すると考えられてきた。しかし、超薄膜InNはこの常識に反して、結晶欠陥21の存在に関わらず発光効率は劣化しないことが初めて示された。この驚くべき実験事実は、超薄膜InNは、それ自体が光電変換部12の一部を構成するだけでなく、結晶欠陥による非発光性を消滅させる転位不活性部14を構成できることを明示している。

[0041] また、図3に示されている実験結果を、別の視点で解釈を与えると、超薄膜InNは表面被覆率が1未満のアイランド状に形成されているとも考えられる。

[0042] 以下では、このアイランド状超薄膜 I n N 形成とその作用・効果について説明する。

[0043] 図3において、加速電圧 V a c c が 3 k V および 6 k V の C L 像、すなわち、1 M L - I n N 量子井戸領域の発光分布像では、目印としての円形枠で図示された領域が周囲より相対的に明るいことは、この領域にのみ量子井戸構造が形成されて、発光強度が向上したとも理解できる。すなわち、超薄膜 I n N が結晶欠 2 1 を含むように選択的に成長されており、図4に示すようなアイランド構造になっていると考えられる。

[0044] すなわち、転位不活性層 1 4 は、必ずしも表面被覆率が 1 である連続膜である必要はなく、結晶欠陥 2 1 を含むようなアイランド状、すなわち、表面被覆率が 1 未満の構成でも、結晶欠陥 2 1 による非発光性を消滅させることができる。

[0045] 以上述べたように、第 1 実施形態により、光電変換装置 1 0 の光電変換部 1 2 に結晶欠陥 2 1 が内在している場合でも、結晶欠陥 2 1 による特性劣化を抑制することができる。

[0046] [応用例 1]

窒化物半導体による光電変換素子の第 1 の応用として、紫外波長域での発光ダイオード ( L E D ) が注目されている。特に、G a N のバンド端波長である 3 6 5 n m より短波長領域では、発光波長の短波長化に伴い、発光効率が急激に劣化する。ここでは、超薄膜 I n N の非発光中心抑制効果による、紫外 L E D の高効率化について説明する。

[0047] 図5は、本願発明の第 1 実施形態に係る応用例 1 である光電変換装置 3 0 の構成例を示すブロック図である。図5において、光電変換装置 3 0 は、n 型窒化アルミニウムガリウム ( 以下、n - A l G a N ) 層 3 1 と、前記 n - A l G a N 層 3 1 上に形成される光電変換部 ( A c t i v e l a y e r ) 3 2 と、前記光電変換部 3 2 上に形成される p 型窒化アルミニウムガリウム ( 以下、p - A l G a N ) 層 3 3 と、転位不活性部 3 4 を含む光電変換部 3 2 と、を有して構成され、周知の半導体製造技術などで形成される。

- [0048] 光電変換部32は、例えば、窒化ガリウム（GaN）、窒化アルミニウムガリウム（AlGa<sub>N</sub>）、または窒化アルミニウムインジウムガリウム（AlInGa<sub>N</sub>）などによって構成され、n-AlGa<sub>N</sub>層31およびp-AlGa<sub>N</sub>層33のいずれかよりも小さい禁制帯幅（バンドギャップエネルギー）を有するように構成されていることが好ましい。転位不活性部34は、超薄膜InNによって構成される。
- [0049] n-AlGa<sub>N</sub>層31は、電子を輸送するために用いられる。p-AlGa<sub>N</sub>層33は、正孔を輸送するために用いられる。従って、n-AlGa<sub>N</sub>層31およびp-AlGa<sub>N</sub>層33の抵抗率および層厚はキャリア輸送を効率よく行うために、それぞれが好適に調整される。光電変換部32は、注入された電子-正孔を再結合過程によって紫外光に変換する。
- [0050] 次に、転位不活性部34によって、非発光中心が抑制され、紫外LEDが高効率化されることについて説明する。ここでは、光電変換部32がAlGa<sub>N</sub>である場合について説明する。
- [0051] n-AlGa<sub>N</sub>層31、p-AlGa<sub>N</sub>層33、および光電変換部32をそれぞれ構成するAlGa<sub>N</sub>のAl組成を増加させることで、紫外LEDの発光波長が短波長化される。しかし、一般にAlGa<sub>N</sub>のAl組成が増加すると、結晶成長の困難性がより顕著となり、光電変換装置30に含まれる結晶欠陥21の密度も増大する。そのため、発光効率が劣化する。
- [0052] ところが、光電変換部32に超薄膜InNを挿入すると、図3で示したように、結晶欠陥21による非発光性が低減される。すなわち、紫外LEDである光電変換装置30において、転位不活性部34を超薄膜InNによって構成することによって、発光波長の短波長化に伴う発光効率の劣化を抑制することができる。
- [0053] 以上、応用例1により、光電変換装置30の光電変換部32に結晶欠陥21が内在している場合でも、結晶欠陥21による特性劣化を抑制することができる。
- [0054] [応用例2]

窒化物半導体による光電変換素子の第2の応用として、緑色レーザーおよび赤色-赤外波長域での発光ダイオード(LED)が注目されている。特に、500

nmより長波長領域では、発光波長の長波長化に伴い、発光効率が急激に劣化する。ここでは、超薄膜InNの非発光中心抑制効果による、緑色レーザーおよび赤色-赤外波長域LEDの高効率化について説明する。

[0055] 図6は、本願発明の第1実施形態に係る応用例2である光電変換装置40の構成例を示すブロック図である。図6において、光電変換装置40は、n型窒化インジウムガリウム(以下、n-InGa<sub>N</sub>)層41と、前記n-InGa<sub>N</sub>層41上に形成される光電変換部(Active layer)42と、前記光電変換部42上に形成されるp型窒化インジウムガリウム(以下、p-InGa<sub>N</sub>)層43と、前記光電変換部42に含まれる転位不活性部44と、によって構成され、周知の半導体製造技術などで形成される。

[0056] 光電変換部42は、例えば、窒化インジウム(InN)、窒化インジウムガリウム(InGa<sub>N</sub>)、または窒化アルミニウムインジウムガリウム(AlInGa<sub>N</sub>)などによって構成され、n-InGa<sub>N</sub>層41およびp-InGa<sub>N</sub>層43のいずれかよりも小さい禁制帯幅(バンドギャップエネルギー)を有するように構成されていることが好ましい。転位不活性部44は、超薄膜InNによって構成される。

[0057] n-InGa<sub>N</sub>層41は、電子を輸送するために用いられる。p-InGa<sub>N</sub>層43は、正孔を輸送するために用いられる。従って、n-InGa<sub>N</sub>層41およびp-InGa<sub>N</sub>層43の抵抗率および層厚はキャリア輸送を効率よく行うために、それぞれが好適に調整される。光電変換部42は、注入された電子-正孔を再結合過程によって光に変換する。

[0058] 次に、転位不活性部44によって、非発光中心が抑制され、緑色レーザーおよび赤色-赤外波長域LEDが高効率化されることについて説明する。ここでは、光電変換部42がInGa<sub>N</sub>である場合について説明する。

[0059] n-InGa<sub>N</sub>層41、p-InGa<sub>N</sub>層43、および光電変換部42を

それぞれ構成する  $InGaN$  の  $In$  組成を増加させることで、緑色レーザーおよび赤色ー赤外波長域  $LED$  の発光波長が長波長化される。しかし、一般に  $InGaN$  の  $In$  組成が増加すると、結晶成長の困難性がより顕著となり、光電変換装置 40 に含まれる結晶欠陥 21 の密度も増大する。そのため、発光効率が劣化する。

[0060] ところが、光電変換部 42 に超薄膜  $InN$  を挿入すると、図 3 で示したように、結晶欠陥 21 による非発光性が低減される。すなわち、緑色レーザーおよび赤色ー赤外波長域  $LED$  である光電変換装置 40 において、転位不活性部 44 を超薄膜  $InN$  によって構成することによって、発光波長の長波長化に伴う発光効率の劣化を抑制することができる。

[0061] 以上、応用例 2 により、光電変換装置 40 の光電変換部 42 に結晶欠陥 21 が内在している場合でも、結晶欠陥 21 による特性劣化を抑制することができる。

[0062] [応用例 3]

窒化物半導体による光電変換素子の第 3 の応用として、広い太陽光スペクトルに対応する太陽電池が注目されている。特に、窒化物半導体は、高密度の結晶欠陥を含むため、太陽電池の接合特性が粗悪である。ここでは、超薄膜  $InN$  の転位不活性効果による、窒化物太陽電池の高効率化について説明する。

[0063] 図 7 は、本願発明の第 1 実施形態に係る応用例 3 である光電変換装置 50 の構成例を示すブロック図である。図 7 において、光電変換装置 50 は、 $n$  型窒化アルミニウムインジウムガリウム（以下、 $n-AlInGaN$ ）層 51 と、前記  $n-AlInGaN$  層 51 上に形成される光電変換部（*Depletion layer*）52 と、前記光電変換部 52 上に形成される  $p$  型窒化アルミニウムインジウムガリウム（以下、 $p-AlInGaN$ ）層 53 と、前記光電変換部 52 に含まれる転位不活性部 54 と、によって構成され、周知の半導体製造技術などで形成される。

[0064] 光電変換部 52 は、例えば、窒化ガリウム（ $GaN$ ）、窒化インジウムガ

リウム (InGaN)、窒化アルミニウムインジウム (AlInN)、または窒化アルミニウムインジウムガリウム (AlInGaN) などによって構成され、n-AlInGaN層51およびp-AlInGaN層53のいずれかよりも小さい禁制帯幅 (バンドギャップエネルギー) を有するように構成されていることが好ましい。転位不活性部54は、前記超薄膜InNによって構成される。

[0065] n-AlInGaN層51は、電子を輸送するために用いられる。p-AlInGaN層53は、正孔を輸送するために用いられる。従って、n-AlInGaN層51およびp-AlInGaN層53の抵抗率および層厚はキャリア輸送・集率の観点から、それぞれが好適に調整される。光電変換部52は、吸収した光を電子-正孔に変換する。

[0066] 次に、転位不活性部54によって、太陽電池の接合特性が改善され、窒化物太陽電池が高効率化されることについて説明する。ここでは、光電変換部52がInGaNである場合について説明する。

[0067] n-AlInGaN層51、p-AlInGaN層53、および光電変換部52をそれぞれ構成するInGaNのIn組成を増加させることで、太陽光スペクトルのほぼ全域をカバーする太陽電池が構成される。しかし、一般にAlInGaNおよびInGaNのIn組成が増加すると、結晶成長の困難性がより顕著となり、光電変換装置50に含まれる結晶欠陥21の密度も増大する。そのため、太陽電池の接合特性が劣化し、太陽電池の変換効率も低減される。

[0068] ところが、光電変換部52に超薄膜InNを挿入すると、図3で示したように、結晶欠陥21による転位不活性効果が発現される。すなわち、太陽電池である光電変換装置50において、転位不活性部54を超薄膜InNによって構成することによって、太陽電池の接合特性劣化に伴う変換効率の低下を抑制することができる。

[0069] 以上、応用例3により、光電変換装置50の光電変換部52に結晶欠陥21が内在している場合でも、結晶欠陥21による特性劣化を抑制することが

できる。

[0070] [第2実施形態]

第1実施形態では、超薄膜 I n N による転位不活性部の作用・効果について述べた。ところで、図3に示されている実験結果を、別の視点で解釈を与えると、超薄膜 I n N は転位検出部 15 として利用できることがわかる。以下、超薄膜 I n N による転位検出部 15 の作用・効果について説明する。

[0071] 超薄膜 I n N の成長メカニズムとは、設計膜厚より過剰な I n N を供給し、成長表面での蒸発・脱離による自己秩序的かつ自己停止的なプロセスである。ところが、結晶欠陥が存在する領域では I n N がピン止めされるために、結晶欠陥を含まない領域に対して、蒸発・脱離レートが抑制されていると考えられる。

[0072] そのため、図4で示されるように、超薄膜 I n N は結晶欠陥が存在する領域のみに分数層 I n N として成長されていると解釈される。分数層 I n N とは、表面被覆率が1以下であることを意味し、例えば、0.5分子層とは、1分層厚かつ表面被覆率が50%であるアイランド構造、すなわち、量子ディスク構造であることに対応する。

[0073] 一般に、結晶転位の検出するためには、透過型電子顕微鏡による観察手段、もしくは、エッチング処理によるピット（エッチピット）検出が知られているが、いずれの手法も試料の破壊検査に属し、その工程も複雑となる。

[0074] ところが、カソードルミネッセンス（CL）観察は、基本的に非破壊検査に属し、かつ試料に対しての事前処理は必要ない。そのため、結晶欠陥の検出が容易となるので、光電変換装置の製品検査を簡便にすることができる。

[0075] また、従来のCL観察では、結晶欠陥をCL像における暗点として評価していた。これは、発光効率の高い試料では、暗点とのコントラスト比が高く取れるので問題はないが、発光効率の低い試料、すなわち、転位検出の必要性が高い場合では、比較的暗い視野の中に暗点が存在することになり、CL像の明暗コントラストが十分に得られない。

[0076] ところが、本実施形態では、光電変換装置 10 における光電変換部 12 に

超薄膜  $I_n N$  を挿入することで、超薄膜  $I_n N$  が結晶欠陥 21 を含むよう形成され、なおかつ発光特性を示すことから、転位検出部 15 として利用できる。

[0077] 以上述べたように、第 2 実施形態により、光電変換装置 10 の光電変換部 12 に結晶欠陥 21 が内在している場合に、転位検出部 15 を観測することで、容易に結晶欠陥 21 を検出でき、光電変換装置 10 の製品検査を簡便にすることができる。

[0078] なお、上述した各実施形態では、超薄膜  $I_n N$  が 1 層で構成される例について述べたが、これだけに限定されず、例えば、多数層挿入された構成も可能である。

[0079] また、本願発明は、上記実施形態によって限定されるものではなく、発明の意図から逸脱しない範囲での、変形、置換、省略がなされてもよいものとする。

[0080] また、上記の実施形態から明らかなように、光電変換部を挟み込む窒化物を含む層は伝導性を有しており、それぞれ第 1 伝導部と第 2 伝導部として表現することができ、材料に着目すると、第 1 伝導部と第 2 伝導部はそれぞれ  $I_n x G a_y A l_{1-x-y} N$  層として表現することができ、特に第 1 伝導部を第 1 伝導型  $I_n x G a_y A l_{1-x-y} N$  層、第 2 伝導部を第 2 伝導型  $I_n x G a_y A l_{1-x-y} N$  層と表現することができる。なお、それらにおける  $x$ ,  $y$  は同じであっても異なっても良く、 $x$  および  $y$  の範囲は  $0 \leq x, y \leq 1$  であっても良い。

[0081] また、上記実施形態から明らかなように、上記光電変換部は  $I_n x G a_y A l_{1-x-y} N$  層として表現することができる。

[0082] また、上記実施形態から明らかなように、上記第 1 伝導部、第 2 伝導部及び光電変換部はそれぞれバンドギャップエネルギーを有しており、第 3 伝導部のバンドギャップエネルギー（第 3 バンドギャップエネルギー）は第 1 伝導部のバンドギャップエネルギー（第 1 バンドギャップエネルギー）および第 2 伝導部のバンドギャップエネルギー（第 1 バンドギャップエネルギー）



のいずれかよりも小さいことが好ましい。

### 産業上の利用可能性

[0083] 本発明に係る光電変換装置は、紫外～赤外光に対応する発光素子および受光素子、特に太陽電池に利用が可能である。

### 符号の説明

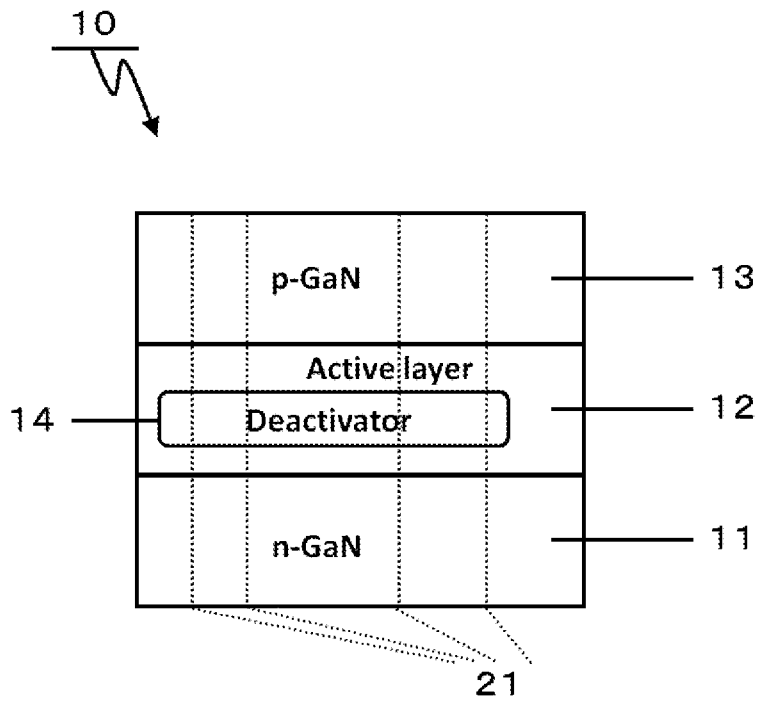
[0084] 10, 30, 40, 50, 100…光電変換装置 11…n型Ga<sub>2</sub>N層  
13…p型Ga<sub>2</sub>N層 12, 32, 42, 52, 102…光電変換部 14  
, 34, 44, 54…転位不活性部 15…転位検出部 31…n型AlGa<sub>2</sub>N層  
33…p型AlGa<sub>2</sub>N層 41…n型InGa<sub>2</sub>N層 43…p型InGa<sub>2</sub>N層  
51…n型AlInGa<sub>2</sub>N層 53…p型AlInGa<sub>2</sub>N層  
101…n型半導体層 103…p型半導体層 21, 201…結晶欠陥  
202…非発光中心

## 請求の範囲

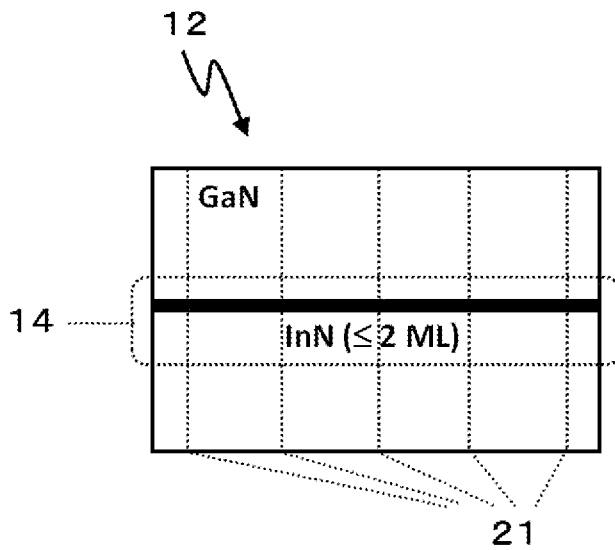
- [請求項1] 光電変換部と、  
前記光電変換部に含まれる転位不活性部と、を備える光電変換装置  
。
- [請求項2] 前記転位不活性部は、結晶欠陥を含むように形成される請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項3] 前記転位不活性部は、光電変換機能を有する請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項4] 前記転位不活性部上に形成される第1伝導部と、  
前記転位不活性部下に形成される第2伝導部と  
を備え、  
前記第1伝導部は第1バンドギャップエネルギーを有し、  
前記第2伝導部は第2バンドギャップエネルギーを有し、  
前記転位不活性部は第3バンドギャップエネルギーを有し、  
前記第3バンドギャップエネルギーは前記第1および前記第2バンドギャップエネルギーのいずれかよりも小さい請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項5] 第1伝導型からなる第1  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層と、  
前記第1  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層上に形成される  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 光電変換部と、  
前記  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 光電変換部上に形成され、第2伝導型からなる第2  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層と、  
を備える光電変換装置であって、  
前記  $x$  および  $y$  の範囲は  $0 \leq x, y \leq 1$  であり、  
前記  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 光電変換部は、 $\text{InN}$ 転位不活性部を有する光電変換装置。
- [請求項6] 前記  $\text{InN}$ 転位不活性部は、層厚が2分子層以下である請求項5に記載の光電変換装置。

- [請求項7] 前記  $I_nN$  転位不活性部は、結晶欠陥を含むように形成される請求項5に記載の光電変換装置。
- [請求項8] 第1伝導型からなる第1  $I_nxGa_yAl_{1-x-y}N$  層と、  
前記第1  $I_nxGa_yAl_{1-x-y}N$  層上に形成される  $I_nxGa_yAl_{1-x-y}N$  光電変換部と、  
前記  $I_nxGa_yAl_{1-x-y}N$  光電変換部上に形成され、第2伝導型からなる第2  $I_nxGa_yAl_{1-x-y}N$  層と、  
を備える光電変換装置の結晶欠陥検出方法であって、  
前記  $x$  および  $y$  の範囲は  $0 \leq x, y \leq 1$  であり、  
前記  $I_nxGa_yAl_{1-x-y}N$  光電変換部は、 $I_nN$  転位検出部を有し、  
前記  $I_nN$  転位検出部は、結晶欠陥を含むよう形成され、  
前記  $I_nN$  転位検出部からの発光特性に基づいて、結晶欠陥を検出する結晶欠陥検出方法。
- [請求項9] 前記  $I_nN$  転位検出部は、層厚が2分子層以下である請求項8に記載の結晶欠陥検出方法。
- [請求項10] 前記  $I_nN$  転位検出部からのカソードルミネッセンスに基づいて、結晶欠陥を検出する請求項8に記載の結晶欠陥検出方法。

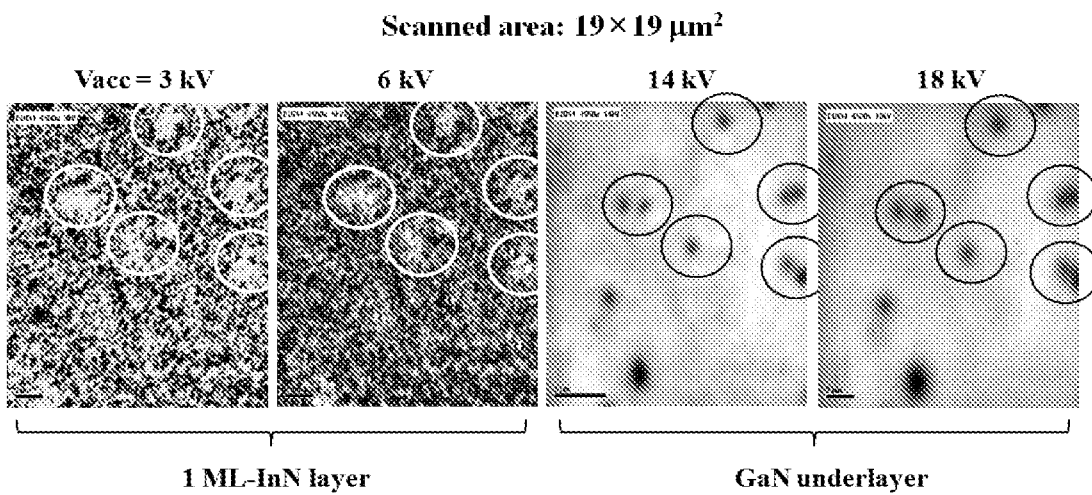
[図1]



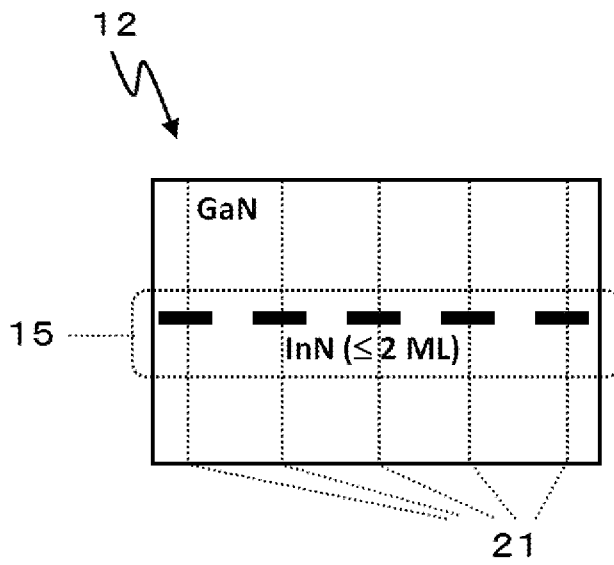
[図2]



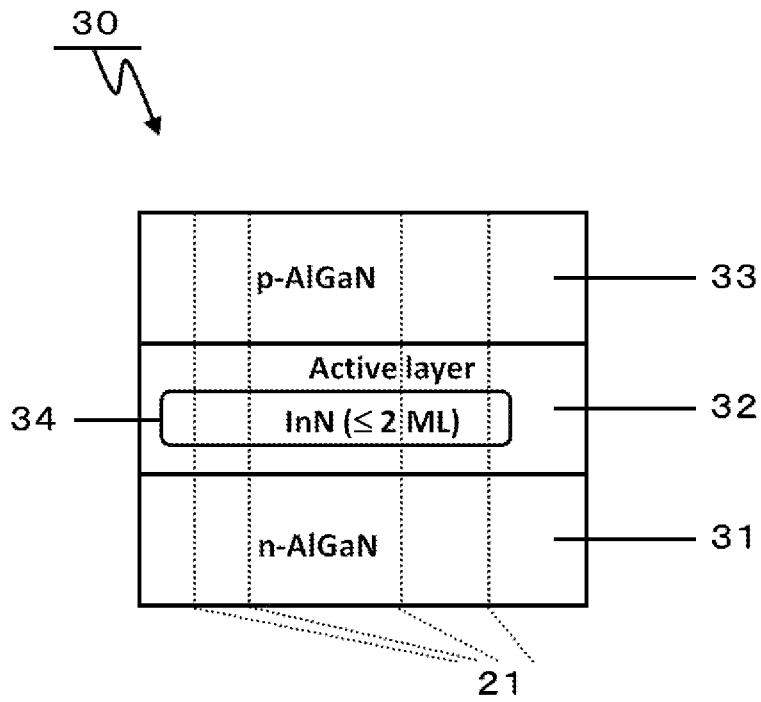
[図3]



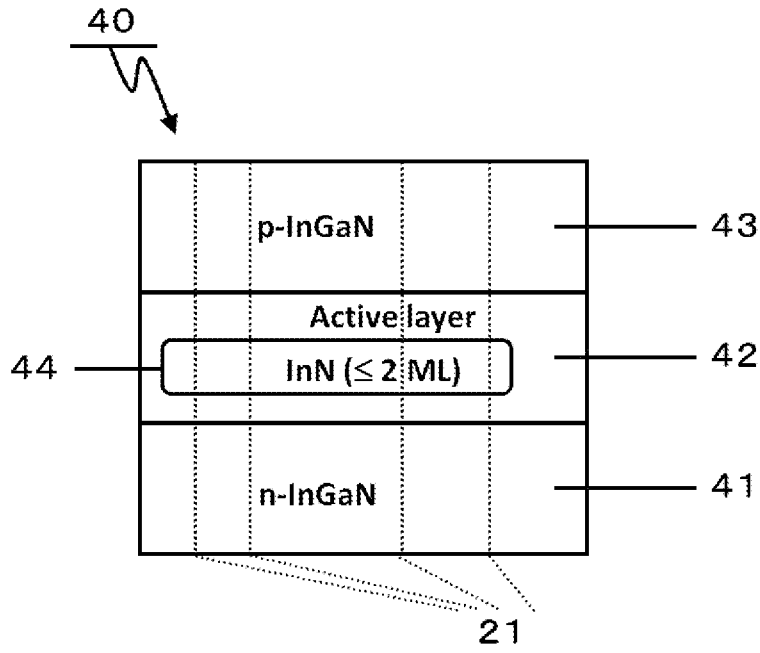
[図4]



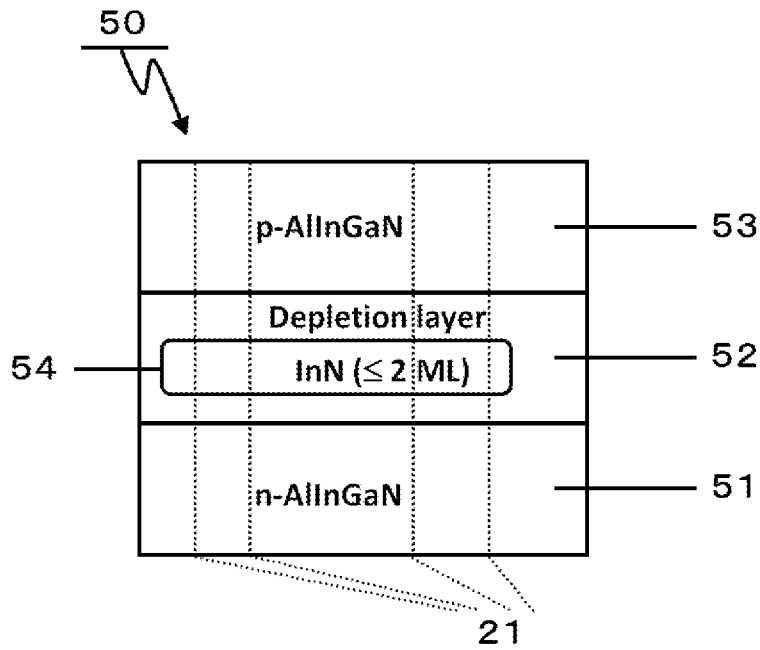
[図5]



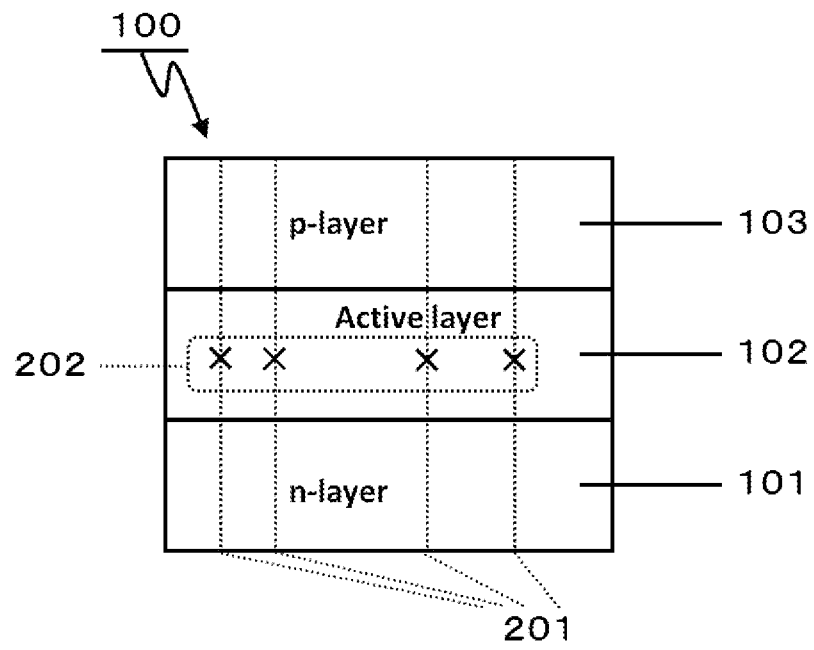
[図6]



[図7]



[図8]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/055882

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L33/32(2010.01)i, H01L31/04(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)

JSTPlus (JDreamII)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	CHE Song-Bek et al., "Cho Usumaku InN/GaN Ryoshi Ido Kozo kara no Yudo Hoshutsu", Dai 69 Kai Extended abstracts; the Japan Society of Applied Physics, 2008, page 322	1-7 8-10
X	CHE Song-Bek et al., "Chikka Indium-kei Nano Kozo Hakko Device no Gijutsu Kaihatsu", Gekkan Display, 01 February 2009 (01.02.2009), vol.15, no.2, pages 17 to 26	1-3
X	Kazuhide KUSABE et al., "Proposal of ultrathin InN-based asymmetric structure III-N QWs for novel photonic devices : Development from emitters into solar cells", IEICE Technical Report, vol.109, no.289, 12 November 2009 (12.11.2009), pages 79 to 82	1-3

 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

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
15 June, 2011 (15.06.11)Date of mailing of the international search report  
28 June, 2011 (28.06.11)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2011/055882

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 2007-254258 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 October 2007 (04.10.2007), paragraph [0113] & US 2006/0272572 A1      & US 2009/0155989 A1 & EP 1731632 A2          & KR 10-2006-0127743 A & CN 1877877 A	8-10

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, H01L31/04(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 (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 1971-2011年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2011年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2011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)  
 JSTPlus(JDreamII)

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 Y	崔成伯等, 超薄膜 InN/GaN 量子井戸構造からの誘導放出, 第69回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, 2008, p322	1-7 8-10
X	崔成伯等, 窒化インジウム系ナノ構造発光デバイスの技術開発, 月刊ディスプレイ, 2009.02.01, Vol.15 No.2, p17-26	1-3
X	草部一秀等, InN系窒化物半導体超薄膜非対称量子井戸構造の新規発光デバイス開発に向けて-発光素子から太陽電池への展開-, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109 No.289, 2009.11.12, p79-82	1-3

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 15.06.2011	国際調査報告の発送日 28.06.2011
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 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) 土屋 知久 電話番号 03-3581-1101 内線 3255

2K 8826

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
Y	JP 2007-254258 A (住友電気工業株式会社) 2007. 10. 04, 【0113】欄 & US 2006/0272572 A1 & US 2009/0155989 A1 & EP 1731632 A2 & KR 10-2006-0127743 A & CN 1877877 A	8-10