

(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



(10) 国際公開番号

WO 2011/018984 A1

(43) 国際公開日

2011年2月17日(17.02.2011)

PCT

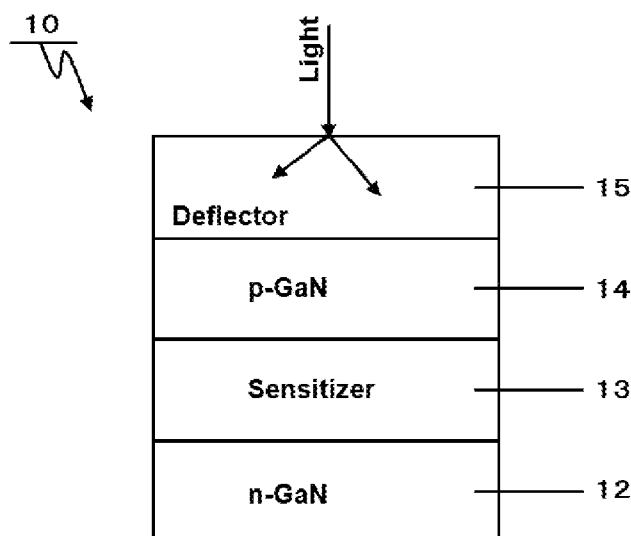
- (51) 国際特許分類: *H01L 31/10* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/063335
- (22) 国際出願日: 2010年8月5日(05.08.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ: 特願 2009-185425 2009年8月10日(10.08.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人千葉大学(National University Corporation Chiba University) [JP/JP]; 〒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
- (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.
- (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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: PHOTOELECTRIC CONVERSION DEVICE

(54) 発明の名称: 光電変換装置

[図1]



(57) Abstract: Disclosed is a photoelectric conversion device which detects, by means of intraband transition, infrared light inputted perpendicularly. The photoelectric conversion device is provided with: a first conductive layer composed of a first conductivity type material; a photosensitizing layer formed on the first conductive layer; a second conductive layer, which is formed on the photosensitizing layer and is composed of a second conductivity type material; and a deflecting section formed on the second conductive layer. The photosensitizing layer performs photoelectric conversion by means of intraband transition process. In such case, the deflecting section may be configured so as to surround the first conductive layer, the photosensitizing layer, and the second conductive layer.

(57) 要約: 垂直入射する赤外光を、バンド内遷移によって検出する光電変換装置を提供する。光電変換装置は、第1伝導型からなる第1伝導層と、前記第1伝導層上に形成される光増感層と、前記光増感層上に形成され、第2伝導型からなる第2伝導層と、前記第2伝導層上に形成される偏向部と、を備え、前記光増感層は、バンド内遷移過程による光電変換を行う。なおこの場合において、偏向部は、前記第1伝導層と、前記光増感層と、前記第2伝導層と、を囲むように構成されていてもよい。

WO 2011/018984 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

**発明の名称**：光電変換装置

**技術分野**

[0001] 本発明は、赤外光の検出およびスイッチングに好適な光電変換装置に関する。

**背景技術**

[0002] 従来、赤外線検出素子は、テルル化水銀カドミニウム（HgCdTe）系光伝導材料によって構成されている。しかし、HgCdTeは、結晶成長などの形成プロセスが非常に困難である。さらに、HgCdTeは毒性が強いため、環境負荷という観点からも、その使用については問題がある。

[0003] 一方で、半導体量子井戸構造で構成される赤外線検出素子が知られている。例えば、特許文献1に記載の赤外線検出器では、光吸収は、量子井戸中のバンド内遷移過程、すなわち、サブバンド間遷移を利用している。

[0004] 次に、半導体量子井戸構造を備える赤外線検出素子の構成について、図10および図11を参照して説明する。図10は一例として、バンド内遷移過程を利用する光電変換装置100の構成を示すブロック図であり、障壁層102と、前記障壁層102上に形成される量子井戸層103と、前記量子井戸層103上に形成される障壁層104と、を備える構成からなり、これらが周知の半導体製造技術などによって、赤外線検出装置の基本構造として形成されている。この基本構造を、複数積層されなる多重量子井戸構造によって、赤外線検出器を構成することもある。赤外線の入射面は、第2の障壁層104上面であり、言い換えれば、赤外線は、図10のz方向から光電変換装置100へ向けて入射される。

[0005] 図11は、障壁層102、104と量子井戸層103の、バンドラインナップを示した概念図である。図11において、図10と同様に、量子井戸層103が、障壁層102、104によって挟まれており、CBMは、伝導帯底部を示し、図中下から上に向かってエネルギーが高くなる配置となってい

る。井戸層 103 における電子の基底準位  $E_c$  は、図中点線のエネルギー位置に形成される。

バンド内遷移過程とは、量子井戸層 103 の電子が、基底準位  $E_c$  から励起準位へ遷移するサブバンド間遷移を含む。この励起準位が、障壁層 103, 104 の伝導帯底部 CBM よりも高いエネルギーであれば、フォノン散乱、外部より印加された電界、または内在する電界のいずれかによって、電子を障壁層 103, 104 へと取り出せる。このような過程によって光電変換を行い、赤外線を検出が可能になる。

[0006] バンド内遷移過程には、次に述べる偏光選択則を満足することが要求される。図 10 に示すように、量子井戸層 103 の閉じ込め構造が  $z$  方向である場合、 $z$  方向の偏光成分に対してのみ、バンド内遷移過程が許容される。これが、偏光選択則である。

赤外線が、 $z$  方向に沿って伝搬するとき、赤外線の偏光は  $x-y$  面内を向いている。すなわち、検出される赤外線が、光電変換装置 100 に対して垂直に入射する場合、量子井戸層 103 に対しても、入射赤外線の偏光は  $x-y$  方向である。そのため、前記偏光選択則より、上述したバンド内遷移過程は禁制である。このため、バンド内遷移過程では、光電変換装置 100 は、垂直入射する赤外線を検出できない。

[0007] そこで、バンド内遷移過程を利用するためには、光電変換装置 100 に対して、赤外線を斜め上方、すなわち、 $x-z$  面内、から入射させる必要がある。この入射配置では、 $s$  偏光成分では、量子井戸層 103 に対して、 $z$  方向の偏光成分が含まれないが、 $p$  偏光成分では、 $z$  方向の偏光成分は含まれるため、バンド内遷移過程は許容される。

しかし、このような赤外線の斜め入射は、赤外線の光電変換装置 100 への照射量を低下させるため、検出感度を低減させるという問題がある。

[0008] 特許文献 1：特開 2001-44486 号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0009] 半導体量子井戸構造で構成される赤外線検出素子において、高い光電変換効率を実現するためには、赤外線の垂直入射と、垂直方向の偏光成分を有するという、一見すると相反する2つの条件を同時に満足することが要求される。

[0010] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、バンド内遷移過程を利用する赤外線検出において、高い変換効率を有する光電変換装置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

[0011] 本発明の第1態様である光電変換装置は、第1伝導型からなる第1伝導層と、前記第1伝導層上に形成される光増感層と、前記光増感層上に形成され、第2伝導型からなる第2伝導層と、前記第2伝導層上に形成される偏向部と、を備える光電変換装置であって、前記光増感層は、バンド内遷移過程による光電変換を行う。

[0012] 本発明の第1態様である光電変換装置では、前記第1伝導層は第1バンドギャップエネルギーを有し、前記第2伝導層は第2バンドギャップエネルギーを有し、前記光増感層は第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よりも小さくてもよい。

[0013] 本発明の第1態様である光電変換装置では、前記偏向部は、表面に凹凸形状を有してもよい。

[0014] 本発明の第1態様である光電変換装置では、前記偏向部は、微粒子によって構成されてもよい。

[0015] 本発明の第1態様である光電変換装置では、前記偏向部は、前記第1伝導層と、前記光増感層と、前記第2伝導層と、を囲むように構成されてもよい。

[0016] 本発明の第1態様である光電変換装置では、前記光増感層は、前記第3バンドギャップエネルギーよりも高エネルギーの光吸収によって生成されたキャリアに対して、前記バンド内遷移過程による前記光電変換を行ってもよい。

- 。
- [0017] 本発明の第2態様である光電変換装置は、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  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層上に形成される光増感層と、前記光増感層上に形成され、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、前記第2  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層上に形成される偏向部と、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、前記光増感層は、層厚が2分子層以下の  $\text{InN}$  を含み、前記光増感層におけるキャリアが、前記第1  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層および前記第2  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層の少なくともいずれかに、バンド内遷移過程によって移動自在である。
- [0018] 本発明の第2態様である光電変換装置では、前記偏向部は、表面に凹凸形状を有してもよい。
- [0019] 本発明の第2態様である光電変換装置では、前記偏向部は、微粒子によって構成されてもよい。
- [0020] 本発明の第2態様である光電変換装置では、前記偏向部は、前記第1  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層と、前記光増感層と、前記第2  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層と、を囲むように構成されてもよい。
- [0021] 本発明の第2態様である光電変換装置では、前記光増感層は、前記光増感層の実効バンドギャップエネルギーよりも高エネルギーの光吸収によって生成されたキャリアに対して、前記バンド内遷移過程による前記光電変換を行ってもよい。

### 発明の効果

- [0022] 以上説明したように、本発明によれば、赤外線を光電変換装置に垂直入射させた場合でも、両井戸構造に対して垂直方向の偏光成分によるバンド内遷移過程が許容される。さらに、入射する赤外線の表面反射が低減されるので、高い光電変換効率を有する光電変換装置を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0023] [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増感層の構成を示すブロック図である。

[図3]本発明の実施形態に係る光増感層の構成を示すブロック図である。

[図4]本発明の実施形態に係る光増感層の構成を示すブロック図である。

[図5]Ga<sub>n</sub>NとIn<sub>n</sub>Nのバンドラインナップを示した概念図である。

[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]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9]Ga<sub>n</sub>NとIn<sub>n</sub>Nのバンドラインナップを示した概念図である。

[図10]従来例におけるバンド内遷移過程による光電変換装置の構成を示すブロック図である。

[図11]従来例における光電変換装置のバンド内遷移過程を示す概念図である

。

### 発明を実施するための最良の形態

[0024] 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。

[0025] [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）層12と、n-GaN層12上に形成される光増感層13と、光増感層13上に形成されるp型窒化ガリウム（以下、p-GaN）層14と、p-GaN層14上に形成される偏向部15と、によって構成される。

[0026] 光増感層13は、以下で説明される窒化インジウム（InN）量子井戸構

造によって構成され、バンド内遷移過程による光電変換のために用いられる。n-GaN層12は、バンド内遷移過程によって励起された電子を輸送するために用いられる。p-GaN層14は、バンド内遷移過程によって励起された正孔を輸送するために用いられる。従って、n-GaN層12およびp-GaN層14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。偏向部15は、入射する赤外線の変搬方向を偏向させ、この結果、入射赤外線の偏光を制御する。

[0027] 次に、本願発明の第1の重要なポイントであるInNの物性について説明する。

一般にInNは、GaN上に周知の半導体製造技術などで形成される。例えば、c面成長する場合には、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格子欠陥が導入されてしまう。この格子欠陥は、光電変換効率を著しく劣化させる。InNが格子欠陥を導入せずに弾性変形を保持し、GaNに対してコヒーレント成長可能な膜厚の上限、すなわち臨界膜厚、が2分子層(2ML)であることを発明者らは見出した。

[0028] 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。

図2は、本実施形態に係る光増感層13を示すブロック図である。図2に示されるように、前記超薄膜InNによる量子井戸層と、GaN層による障壁層とで構成される量子井戸構造が、本実施形態に係る光増感層13に対応する。

[0029] また、InNの成長温度は、例えば分子線エピタキシー(MBE)法では約600°C以下に限られていたが、前記超薄膜InNでは、600°C以上の成長が可能となることも発明者らは見出した。この高温成長によって、超薄膜InNの結晶性は飛躍的に向上する。この結果、光増感層13は、高い光



電変換効率（内部量子効率）を示す。このように、通常バルク InN とは異なり、超薄膜 InN は特有の物性を示す。

[0030] さらに、超薄膜 InN の成長温度とその層厚について、以下に説明する。成長温度が 600°C から 650°C の範囲では、2 分子層 InN が自己秩序的かつ自己停止的に形成される。成長温度を約 650°C とすると、1 分子層 InN が自己秩序的かつ自己停止的に形成され、さらに温度を上げ、約 650°C から約 720°C の範囲では 1 分子層以下の分数層 InN が形成される。図 3 は、分数層 InN で構成される光増感層 13 を示すブロック図である。図 3 に示されるように、分数層 InN 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。

[0031] 超薄膜 InN の成長は、下地 GaN の表面モフォロジーに影響を受ける。GaN の成長表面は、実際には原子層ステップの集合体によるうねり構造を示す。図 4 は、GaN の表面うねり構造上に形成された超薄膜 InN によって構成される光増感層 13 を示すブロック図である。図 4 に示されるように、GaN の表面うねり構造上に超薄膜 InN を形成すると、この表面うねり構造を反映して、超薄膜 InN も同様の表面うねり構造を示す。この場合も、超薄膜 InN は、各原子層ステップのテラスごとに、高い構造完全性を有し、かつ自己秩序的かつ自己停止的な形成プロセスによって形成される。

[0032] さらに、光増感層 13 は、単層のみならず多層の超薄膜 InN による多重量子井戸構造となる構成でもよい。この構成によれば、InN 超薄膜による量子井戸の層数が増加するに従って、吸収する光量は増加するので、光電変換効率をより増強することができる。

[0033] 図 5 は、GaN と InN のバンドラインナップを示した概念図である。図 5 では、図 2 と同様に、超薄膜 InN による量子井戸層が、GaN 障壁層によって挟まれており、CBM と VBM は、伝導帯底部と価電子帯頂部をそれぞれ示し、図中左から右に向かってエネルギーが高くなる配置となっている。

InNとGaNのバンドギャップエネルギーはそれぞれ約0.65 eVと3.4 eVであり、伝導帯バンドオフセットが約2 eV、価電子帯バンドオフセットが約0.75 eVである。これら大きなポテンシャル障壁は、InN層内のキャリアをほぼ完全に閉じ込めるため、このままでは室温での熱励起過程とあわせても、赤外線吸収によるバンド内遷移過程によってInN層からキャリアをGaN層へ、電流として取り出すことができない。すなわち、赤外線を検出することはできない。

[0034] 一方、InN層の層厚をナノメートルオーダーまで薄くしていくと、電子および正孔の量子準位 $E_c$ 、 $E_v$ が、図中点線のエネルギー位置に形成される。この量子サイズ効果により、超薄膜InNの実効バンドギャップエネルギー（ $E_c$ と $E_v$ との差）は0.65 eVからシフトする。例えば、2分子層InNでは、前記実効バンドギャップエネルギーは、常にGaNのバンドギャップエネルギーより500 meV低くなり、1分子層InNでは前記実効バンドギャップエネルギーは、常にGaNのバンドギャップエネルギーより200 meV低くなることを発明者らは見出した。

[0035] 超薄膜InNが自己秩序的かつ自己停止的に得られるため、前記実効バンドギャップエネルギーとGaNのバンドギャップエネルギー差も、それぞれ2分子層では約500 meV、1分子層では約200 meVと自動的に制御される。このように、超薄膜InNの構造完全性によって、前記実効バンドギャップエネルギーは、容易かつ精密に決定される。これらの値は、上述した通常のInNとGaNの場合と比べて大幅に低減されている。つまり、光増感層13を2分子層以下の構成とすることで、赤外線吸収によるバンド内遷移過程でも、十分に光増感層13からn-GaN層12およびp-GaN層14へ、キャリアが移動自在となり、電流として取り出せる。すなわち、赤外線を検出することが可能となる。

[0036] 本願発明の第2の重要なポイントである偏向部15の作用および効果について説明する。

光増感層13において、バンド内遷移過程を許容にするためには、入射す

る赤外光の偏光が、光増感層 13 の積層方向の成分を含んでいることが要求される。言い換えれば、図 2 における InN 量子井戸面に対して、垂直な偏光成分を含んでいることが要求される。すなわち、光電変換装置 10 に垂直上方から入射する赤外線に対して、この偏光選択則を満足させるために、偏向部 15 は、入射する赤外線の伝搬方向を偏向させ、入射赤外線が p 偏光成分を有するよう好適に制御する。これによって、図 10 で示される斜め入射の配置と同様に、光増感層 13 に対する p 偏光成分が発現することになるので、前記偏光選択則が満足されることを発明者らは見出した。

[0037] 入射赤外線の伝搬方向を偏向させるために、偏向部 15 は、不均質な屈折率分布によって構成となる。例えば、この不均質な屈折率とは、平坦な膜構造の場合、屈折率が内部で変化していることに対応する一方、屈折率が均一な媒質の場合、平坦でない膜構造に対応する。

[0038] 以下では、本願発明に係る光電変換装置を構成する偏向部の構成について、図 6～図 8 を参照して説明する。ただし、これ以外については、図 1 に示される構成と同様であるので、その説明は割愛する。

[0039] [実施例 1]

図 6 は、本願発明の第 1 の実施例である光電変換装置 20 の構成を示すブロック図である。図 6 において、光電変換装置 20 は、n 型窒化ガリウム (n-GaN) 層 22 と、n-GaN 層 22 上に形成される光増感層 23 と、光増感層 23 上に形成される p 型窒化ガリウム (p-GaN) 層 24 と、p-GaN 層 24 上に形成される偏向部 25 と、によって構成される。偏向部 25 は、赤外線の入射面に凹凸構造を有する構成となっている。

[0040] 赤外線が偏向部 25 に垂直入射する場合、偏向部 25 の入射面に存在する凹凸構造は、反射や屈折によって、赤外線の伝搬方向を偏向させる。このため、この凹凸の段差や間隔などの寸法は、入射される赤外線の波長と同程度、もしくはそれよりも大きくなる。この結果、実効的な入射方向は、垂直方向から外れ、斜め入射と同様と見なせる。言い換えれば、光増感層 23 に対する p 偏光成分が発現することになるので、バンド内遷移過程を許容するた

めの偏光選択則が満足される。この結果、赤外線を検出することが可能となる。

さらに、赤外線が偏向部 25 に斜め入射する場合、偏向部 25 の入射面に存在する凹凸構造によって、平坦な場合と比べて、表面反射率が抑制されているので、実効的な光取り込み効率が向上する。

[0041] 偏向部 25 の凹凸構造は、周知の半導体製造技術などで形成される窒化物半導体のエッチング加工、または選択成長によるファセットによって形成される。またこれ以外にも、周知の製膜技術などで形成される材料のエッチング加工によって形成される。この誘電体とは、例えば、酸化亜鉛 ( $ZnO$ )、酸化インジウムスズ ( $ITO$ )、二酸化珪素 ( $SiO_2$ )、二酸化チタン ( $TiO_2$ )、または二酸化ジルコニウム ( $ZrO_2$ ) などによって構成される。

[0042] [実施例 2]

図 7 は、本願発明の第 2 の実施例である光電変換装置 30 の構成を示すブロック図である。図 7 において、光電変換装置 30 は、 $n$  型窒化ガリウム ( $n-GaN$ ) 層 32 と、 $n-GaN$  層 32 上に形成される光増感層 33 と、光増感層 33 上に形成される  $p$  型窒化ガリウム ( $p-GaN$ ) 層 34 と、 $p-GaN$  層 34 上に形成される偏向部 35 と、によって構成される。偏向部 35 は、微粒子状の構造によって構成される。

[0043] 赤外線が偏向部 35 に垂直入射する場合、偏向部 35 を構成する微粒子構造は、反射や屈折によって、赤外線の伝搬方向を偏向させる。このため、この微粒子の粒径は、入射される赤外線の波長と同程度、もしくはそれよりも大きくなる。この結果、実効的な入射方向は、垂直方向から外れ、斜め入射と同様と見なせる。言い換えれば、光増感層 33 に対する  $p$  偏光成分が発現することになるので、バンド内遷移過程を許容するための偏光選択則が満足される。この結果、赤外線を検出することが可能となる。

さらに、赤外線が偏向部 35 に斜め入射する場合、偏向部 35 の入射面に存在する表面構造によって、平坦な場合と比べて、表面反射率が抑制されて

いるので、実効的な光取り込み効率が向上する。

[0044] 偏向部 35 の微粒子構造は、周知の半導体製造技術などで形成される窒化物半導体のエッチング加工、または選択成長によって形成される。またこれ以外にも、周知の製造技術などで形成される微小球を p-GaN 層 34 上へのコーティング加工によって形成される。この微小球は、例えば、酸化亜鉛 (ZnO)、酸化インジウムスズ (ITO)、二酸化珪素 (SiO<sub>2</sub>)、二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>)、または二酸化ジルコニウム (ZrO<sub>2</sub>) などによって構成される。

[0045] [実施例 3]

図 8 は、本願発明の第 3 の実施例である光電変換装置 40 の構成を示すブロック図である。図 8 において、光電変換装置 40 は、n 型窒化ガリウム (n-GaN) 層 42 と、n-GaN 層 42 上に形成される光増感層 43 と、光増感層 43 上に形成される p 型窒化ガリウム (p-GaN) 層 44 と、n-GaN 層 42 と InN 光増感層 43 と p-GaN 層 44 とを囲むように形成される偏向部 45 と、によって構成される。偏向部 45 は、例えば、表面に凹凸構造を有する、もしくは微粒子状の構造によって構成されてもよい。

[0046] 赤外線が偏向部 45 に入射する場合、偏向部 45 は屈折によって、あらゆる方位から入射される赤外線の伝搬方向を偏向させる。この結果、光増感層 43 に対する p 偏光成分が発現することになるので、バンド内遷移過程を許容するための偏光選択則が満足される。この結果、赤外線を検出することが可能となる。

さらに、偏向部 45 には、あらゆる方位からの赤外線が入射可能であるので、実効的な受光面積が増大し、光取り込み効率が向上する。

[0047] 偏向部 45 は、周知の半導体製造技術などで形成される窒化物半導体の製膜工程、またはエッチング加工によって形成される。またこれ以外にも、周知の製造技術などで形成される材料によって形成される。この誘電体とは、例えば、酸化亜鉛 (ZnO)、酸化インジウムスズ (ITO)、二酸化珪素 (SiO<sub>2</sub>)、二酸化チタン (TiO<sub>2</sub>)、または二酸化ジルコニウム (Zr

O<sub>2</sub>)などによって構成される。

[0048] [第2実施形態]

第1実施形態では、本願発明に係る光電変換装置として、バンド内遷移過程を利用した赤外線検出について述べた。本実施形態では、バンド内遷移過程を外部光によって制御する、赤外線のスイッチング、すなわち、光-光変調、について述べる。

以下の説明では、本願発明に係る光電変換装置の構成は、第1実施形態と同様であるので、赤外線の光-光変調の動作原理について図1および図9を参照して述べる。

[0049] 図9は、Ga<sub>n</sub>NとIn<sub>n</sub>Nのバンドラインナップを示した概念図である。図9では、図2と同様に、超薄膜In<sub>n</sub>Nによる量子井戸層が、Ga<sub>n</sub>N障壁層によって挟まれており、CBMとVBMは、伝導帯底部と価電子帯頂部をそれぞれ示し、図中左から右に向かってエネルギーが高くなる配置となっている。量子井戸における電子および正孔の量子準位E<sub>c</sub>、E<sub>v</sub>が、図中点線のエネルギー位置に形成され、超薄膜In<sub>n</sub>Nの実効バンドギャップエネルギーは、E<sub>c</sub>とE<sub>v</sub>との差に対応する。

[0050] 前述した様に、超薄膜In<sub>n</sub>Nの実効バンドギャップエネルギーは、通常のIn<sub>n</sub>Nのバンドギャップエネルギーである約0.65 eVとは大きく異なり、2分子層In<sub>n</sub>Nでは、前記実効バンドギャップエネルギーは、常にGa<sub>n</sub>Nのバンドギャップエネルギーより500 meV低くなり、1分子層In<sub>n</sub>Nでは前記実効バンドギャップエネルギーは、常にGa<sub>n</sub>Nのバンドギャップエネルギーより200 meV低くなる。そのため、前記実効バンドギャップエネルギーは、2.9 eV以上に対応する。

[0051] このため、光電変換装置10に、2.9 eV以上のエネルギーの光が入射すると、光増感層13におけるIn<sub>n</sub>N量子井戸層には、光励起キャリアが生成される。さらに、前述したように、赤外線が偏向部15を介して光電変換装置10に入射すると、In<sub>n</sub>N量子井戸層に存在する前記光励起キャリアは、バンド内遷移過程を引き起こす。すなわち、光電変換装置10に、2.9

$eV$ より大きなエネルギーの光が入射したときのみ、赤外線吸収が起こることになる。言い換えると、光電変換装置10は、 $2.9eV$ 以上のエネルギーの外部光によって、赤外光のスイッチング、すなわち、光-光変調を行うことが可能となる。

[0052] なお、上述した実施形態では、 $pn$ 接合および量子井戸の障壁層が $GaN$ によって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、窒化インジウムガリウムアルミニウム（以下、 $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ 、 $x$ および $y$ の範囲は $0 \leq x, y \leq 1$ ）による構成も可能である。

[0053] 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。

### 産業上の利用可能性

[0054] 本発明に係る光電変換装置は、中赤外光に対応する検出器および変調器、もしくは太陽電池における光増感機能に好適な光電変換装置に利用が可能である。

### 符号の説明

[0055] 10, 20, 30, 40, 100…光電変換装置 12, 22, 32, 42… $n$ 型 $GaN$ 層 13, 23, 33, 43…光増感層 14, 24, 34, 44… $p$ 型 $GaN$ 層 15, 25, 35, 45…偏向部 102, 104…障壁層 103…量子井戸層

## 請求の範囲

- [請求項1] 第1伝導型からなる第1伝導層と、  
前記第1伝導層上に形成される光増感層と、  
前記光増感層上に形成され、第2伝導型からなる第2伝導層と、  
前記第2伝導層上に形成される偏向部と、を備える光電変換装置であって、  
前記光増感層は、バンド内遷移過程による光電変換を行う光電変換装置。
- [請求項2] 前記第1伝導層は第1バンドギャップエネルギーを有し、  
前記第2伝導層は第2バンドギャップエネルギーを有し、  
前記光増感層は第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よりも小さい請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項3] 前記偏向部は、表面に凹凸形状を有する請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項4] 前記偏向部は、微粒子によって構成される請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項5] 前記偏向部は、前記第1伝導層と、前記光増感層と、前記第2伝導層と、を囲むように構成される請求項1に記載の光電変換装置。
- [請求項6] 前記光増感層は、前記第3バンドギャップエネルギーよりも高エネルギーの光吸収によって生成されたキャリアに対して、前記バンド内遷移過程による前記光電変換を行う  
請求項2に記載の光電変換装置。
- [請求項7] 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  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層上に形成される光増感層と、  
前記光増感層上に形成され、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、  
前記第2  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}\text{N}$ 層上に形成される偏向部と、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、

前記光増感層は、層厚が2分子層以下の  $I n N$  を含み、

前記光増感層におけるキャリアが、前記第1  $I n_x G a_y A l_{1-x-y} N$  層および前記第2  $I n_x G a_y A l_{1-x-y} N$  層の少なくともいずれかに、バンド内遷移過程によって移動自在である光電変換装置。

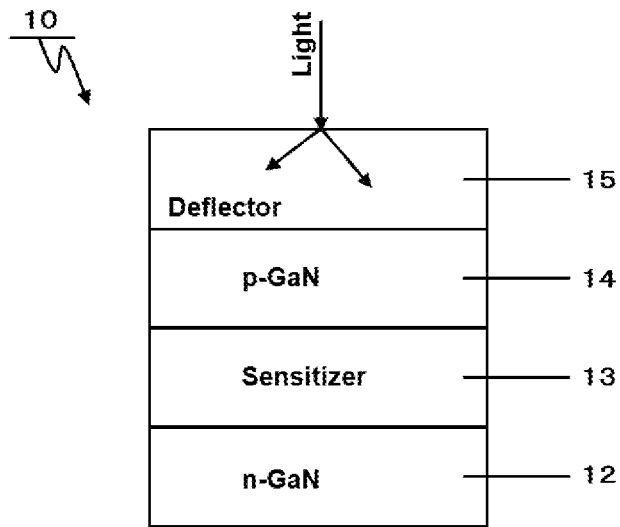
[請求項8] 前記偏向部は、表面に凹凸形状を有する請求項7に記載の光電変換装置。

[請求項9] 前記偏向部は、微粒子によって構成される請求項7に記載の光電変換装置。

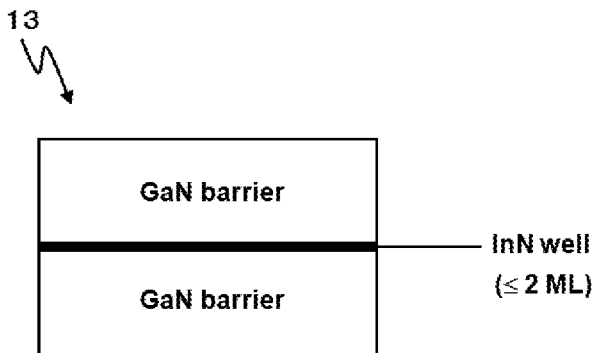
[請求項10] 前記偏向部は、前記第1  $I n_x G a_y A l_{1-x-y} N$  層と、前記光増感層と、前記第2  $I n_x G a_y A l_{1-x-y} N$  層と、を囲むように構成される請求項7に記載の光電変換装置。

[請求項11] 前記光増感層は、前記光増感層の実効バンドギャップエネルギーよりも高エネルギーの光吸収によって生成されたキャリアに対して、前記バンド内遷移過程による前記光電変換を行う請求項7に記載の光電変換装置。

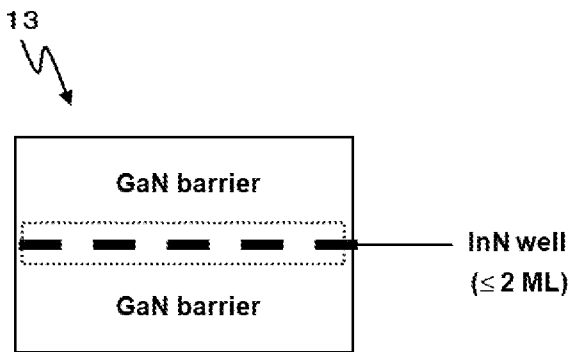
[図1]



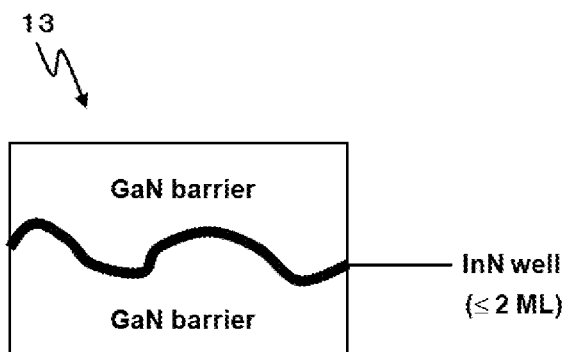
[図2]



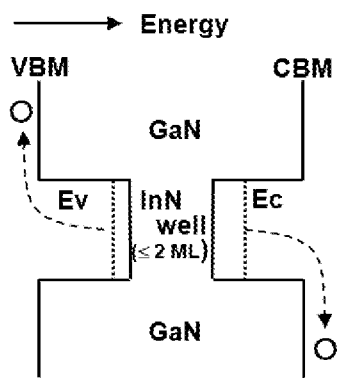
[図3]



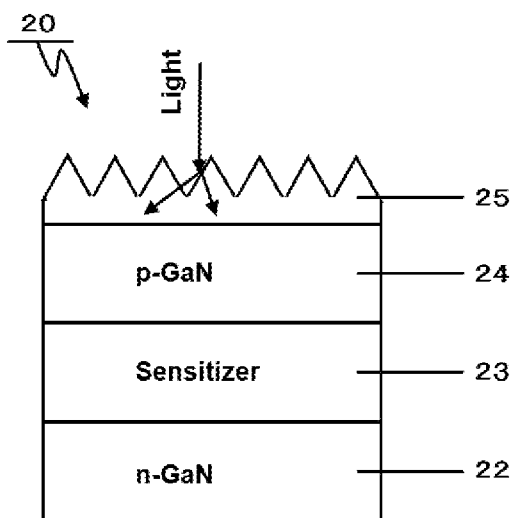
[図4]



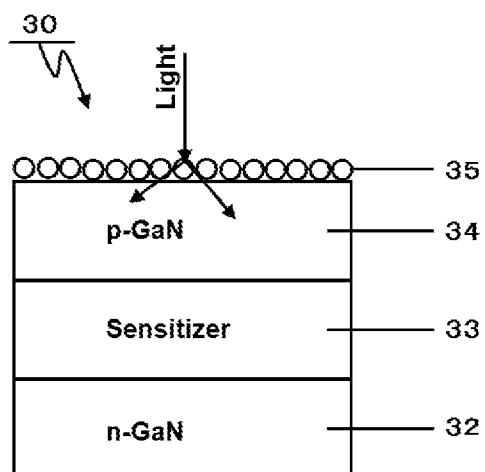
[図5]



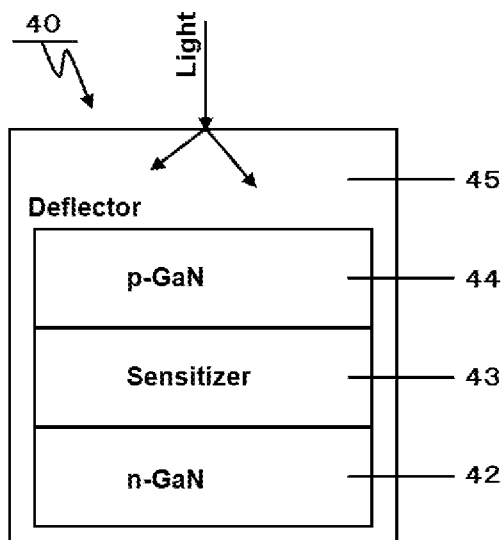
[図6]



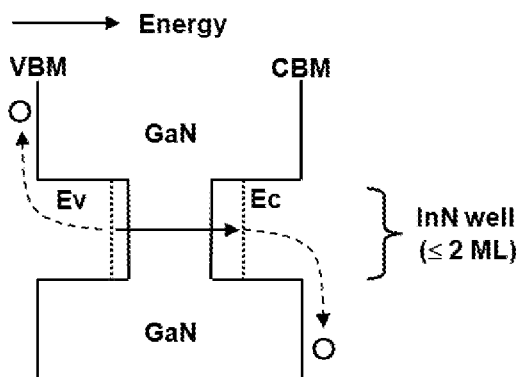
[図7]



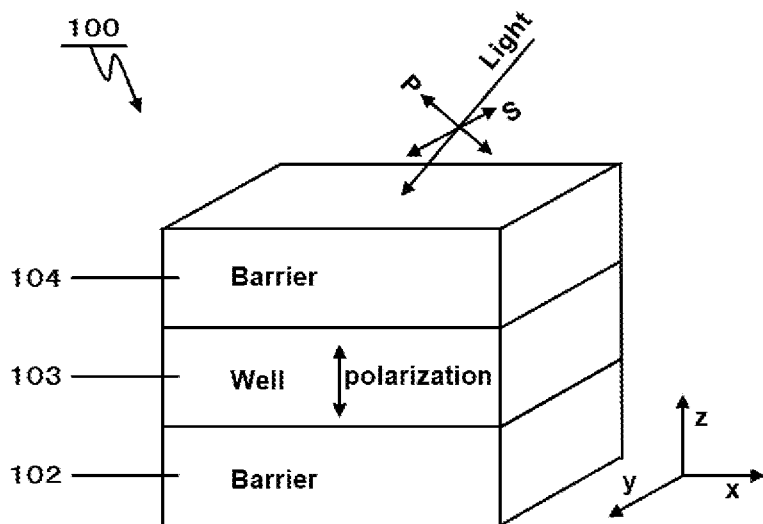
[圖8]



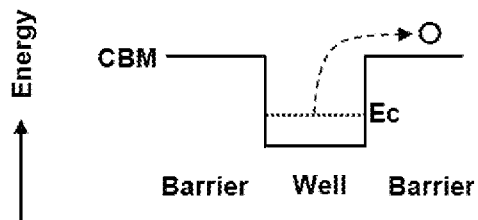
[圖9]



[圖10]



[圖11]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/063335

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L31/10 (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)

H01L31/10-31/119

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)

JSTPlus (JDreamII), JST7580 (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	JP 2001-44453 A (Fujitsu Ltd.), 16 February 2001 (16.02.2001), paragraphs [0022] to [0026]; fig. 1 to 2 & US 6445000 B1	1-6 7-11
Y	JP 2007-335854 A (National University Corporation Chiba University), 27 December 2007 (27.12.2007), paragraphs [0027] to [0057], [0076]; fig. 1 to 4 (Family: none)	7-11
A	JP 2000-183319 A (Fujitsu Ltd.), 30 June 2000 (30.06.2000), paragraphs [0011] to [0012]; fig. 1 (Family: none)	1-11

 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  
28 October, 2010 (28.10.10)Date of mailing of the international search report  
09 November, 2010 (09.11.10)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/063335

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2-241064 A (Fujitsu Ltd.), 25 September 1990 (25.09.1990), page 3, upper right column, lines 2 to 10; fig. 1 (Family: none)	6, 11
A	Akihiko YOSHIKAWA et al., "Epitaxy control of InN-based III-nitrides towards development of novel nanostructure photonic devices", Oyo Butsuri, 2007, vol.76, no.5, pages 482 to 488	7-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H01L31/10(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. H01L31/10-31/119		
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) JSTPlus(JDreamII), JST7580(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	JP 2001-44453 A (富士通株式会社) 2001.02.16, 段落【0022】 - 【0026】, 第1-2図 & US 6445000 B1	1-6
Y		7-11
Y	JP 2007-335854 A (国立大学法人 千葉大学) 2007.12.27, 段落【0027】 - 【0057】, 【0076】, 第1-4図 (ファミリーなし)	7-11
A	JP 2000-183319 A (富士通株式会社) 2000.06.30, 【0011】 - 【0012】, 第1図 (ファミリーなし)	1-11
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 28.10.2010	国際調査報告の発送日 09.11.2010	
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) 山本 元彦 電話番号 03-3581-1101 内線 3255	2K 3914

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2-241064 A (富士通株式会社) 1990.09.25, 第3頁右上欄第2-10行, 第1図 (ファミリーなし)	6, 11
A	吉川明彦 外2名, InN系窒化物半導体のエピタキシー制御とナノ構造作製, 応用物理, 2007, Vol.76, No.5, pp.482-488	7-11