

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-149376

(P2015-149376A)

(43) 公開日 平成27年8月20日 (2015. 8. 20)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 31/0264 (2006.01)	HO 1 L 31/08	L 5 F 0 4 9
HO 1 L 31/10 (2006.01)	HO 1 L 31/10	D 5 F 0 8 8
B 8 2 Y 30/00 (2011.01)	B 8 2 Y 30/00	
B 8 2 Y 20/00 (2011.01)	B 8 2 Y 20/00	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 (22) 出願日  申請有り	特願2014-20952 (P2014-20952) 平成26年2月6日 (2014. 2. 6)	(71) 出願人 301023238 国立研究開発法人物質・材料研究機構 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 (72) 発明者 サン リウエン 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立 行政法人物質・材料研究機構内 (72) 発明者 リャオ メイヨン 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立 行政法人物質・材料研究機構内 (72) 発明者 小出 康夫 茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立 行政法人物質・材料研究機構内 (72) 発明者 胡 俊青 中国上海市長寧区延安西路1882号 東 華大学内  最終頁に続く
-----------------------------------	--	---

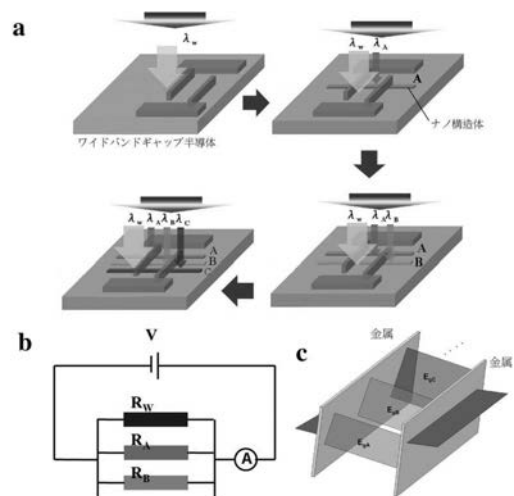
(54) 【発明の名称】 半導体光検出器

(57) 【要約】

【課題】複数種類の半導体を組み合わせることにより、広帯域の半導体光検出器を提供する。

【解決手段】ワイドバンドギャップの半導体または絶縁体基板上に設けられた電極の対の間にナノワイヤ等を接続する。ナノワイヤとして種類の違う半導体で作成したものを混在させたり、また基板とナノワイヤの半導体として種類の異なるものを使用することで、複数種類の半導体光検出器を並列接続した回路構成と等価な広帯域の光検出素子を構成することができる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

絶縁体またはワイドバンドギャップ半導体の基板と、  
前記基板上に設けられた電極の対と、  
前記電極の対の間に接続された複数種類の半導体ナノ構造体と  
を設けた半導体光検出器。

## 【請求項 2】

ワイドバンドギャップ半導体の基板と、  
前記基板上に設けられた電極の対と、  
前記電極の対の間に設けられた一種類の半導体ナノ構造体と  
を設けた半導体光検出器。

10

## 【請求項 3】

前記ワイドバンドギャップ半導体はダイヤモンド、 $\text{InGaN}$ 、 $\text{InGa}_2\text{O}_4$ 、 $\text{ZnGa}_2\text{O}_4$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{SiC}$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 及び $\text{BN}$ からなる群から選択される、  
請求項 1 または 2 に記載の半導体光検出器。

## 【請求項 4】

前記半導体ナノ構造体は長手方向に伸びた形状を有する、請求項 1 から 3 のいずれかに  
記載の半導体光検出器。

## 【請求項 5】

前記半導体ナノ構造体は  $\text{PbSe}$ 、 $\text{PbS}$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{InGaN}$ 、 $\text{CdS}$ 、 $\text{CdSe}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{InGaN}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{GaN}$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SnO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{In}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$ 、 $\text{ZnGe}_2\text{O}_4$ 、 $\text{SiC}$ 、ダイヤモンド、 $\text{AlN}$ 、 $\text{BN}$ 、 $\text{ZnGa}_2\text{O}_4$ 、 $\text{InGa}_2\text{O}_4$  及び  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  からなる群から選択された一または複数の  
半導体を含む、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の半導体光検出器。

20

## 【請求項 6】

前記半導体ナノ構造は、その種類毎に応答する光の波長帯域が異なる、請求項 1 から 5  
のいずれかに記載の半導体光検出器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は複数の半導体の光検出特性を組み合わせることにより、広い波長帯域で光検出  
を行うことができる半導体光検出器に関する。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

高感度でしかも所望の波長で多色光検出を行うことができれば、イメージング、監視、  
光通信、遠隔制御、目標識別などの多様な用途に適用することができる（非特許文献 1、  
2）。しかしながら通常の光検出器は特定の光スペクトル帯域しか検出できない。例えば、  
 $\text{InGaAs}$  やグラフェン- $\text{PbS}$  量子ドットは近赤外（ $\text{NIR}$ ）光しか検出できず、  
 $\text{GdS}$  や  $\text{Si}$  は可視光しか検出できず、 $\text{ZnO}$  や  $\text{III}$  族窒化物は紫外光しか検出できな  
い（非特許文献 3～5）。これまでに開発された光検出器は何れも、6S 要求（任意スペ  
クトル選択、高感度、高速、高い  $\text{S/N}$  比、高安定、単純さ（arbitrary spectral selec  
tivity, high sensitivity, high speed, high signal-to-noise ratio, high stability  
, simplicity））のうちの高感度、高速、高い  $\text{S/N}$  比、高安定及び単純さを維持しなが  
ら任意スペクトル選択可能性を達成することはできなかった。

40

## 【0003】

特定の波長における二色あるいは多色検出を行うためのいくつかの手法が提案されてい  
る。一つの従来手法では、バンド間/バンド内遷移あるいはホモ接合/ヘテロ接合構造を  
使用した量子井戸光検出器（非特許文献 6～8）のような、薄膜構造の光吸収材料をいく  
つか積層したものを使用する。この積層法は各吸収層間の界面の品質に依存しているが、  
これによって、とりわけ大きな格子不整合のあるヘテロ接合の場合に作製が困難かつ複雑

50

になる。この問題は、広い帯域の光に応答する検出器の制限となる。

【0004】

他の手法として、カットオフ波長を長波長側にシフトするように半導体にドーピングするというものがある。しかしながら、この手法では、応答速度の低下などの、デバイス性能の劣化を引き起こすようなギャップ状態をもたらされる。

【0005】

NIRからUVまでの全帯域光検出を達成するため、これまでの素材に代わる有機材料が提案された(非特許文献9)。しかし、有機材料はよく知られているように熱的に不安定である。とりわけ、このような有機材料からの暗電流は非常に大きい。他のやり方としては、グラフェンなどのある種の材料を構造的に修飾することで多帯域検出を達成しようというものがある。しかしながら、致命的な欠陥をもたらすことなく、この手法を用いてエネルギーバンドギャップを広い範囲で制御することは達成不能である。

10

【0006】

組成調節可能な半導体ナノ構造により多色光検出を行うのは見込みのある手法である(非特許文献10、11)。例えば組成を段階的に変化させた $CdS_xSe_{1-x}$ ナノワイヤを並列に配置したアレイを作製したことがNing他により非特許文献11で報告されている。しかしながら報告された $CdS_xSe_{1-x}$ は可視光域中の特定帯域の光検出に使用されている。 $CdS_xSe_{1-x}$ だけを使用して光帯域を遠紫外(DUV)あるいは赤外(IR)域へ拡張することは困難である。Yang他の非特許文献12では、 $In_xGa_{1-x}N$ ナノワイヤのバンドギャップを、 $In$ 量を変えることで赤外域から紫外域まで調節した。この手法は多色光検出に有望なはずである。残念なことに、 $In_xGa_{1-x}N$ 混成集積によって多色光検出を実現しようとする努力はなされていない。

20

【0007】

従って、6S要求を満足しながら広いスペクトル(つまりDUVからIRまで)で多色光検出を行うことは重大な課題であった。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の課題は、DUVからIRまでの広い帯域中で検出できる光の波長帯域を任意に設定できる半導体光検出器を提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の一側面によれば、絶縁体またはワイドバンドギャップ半導体の基板と、前記基板上に設けられた電極の対と、前記電極の対の間に接続された複数種類の半導体ナノ構造体とを設けた半導体光検出器が与えられる。

また、ワイドバンドギャップ半導体の基板と、前記基板上に設けられた電極の対と、前記電極の対の間に設けられた一種類の半導体ナノ構造体とを設けた半導体光検出器も与えられる。

ここで、前記ワイドバンドギャップ半導体はダイヤモンド、 $InGaN$ 、 $InGa_2O_4$ 、 $ZnGa_2O_4$ 、 $ZnO$ 、 $SiC$ 、 $Ga_2O_3$ 、 $AlN$ 及び $BN$ からなる群から選択されてよい。

40

また、前記半導体ナノ構造体は長手方向に伸びた形状を有してよい。

また、前記半導体ナノ構造体は $PbSe$ 、 $PbS$ 、 $GaAs$ 、 $Si$ 、 $InGaN$ 、 $CdS$ 、 $CdSe$ 、 $Si$ 、 $InGaN$ 、 $ZnO$ 、 $GaN$ 、 $Ga_2O_3$ 、 $SnO_2$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $In_2O_3$ 、 $In_2Ge_2O_7$ 、 $ZnGe_2O_4$ 、 $SiC$ 、ダイヤモンド、 $AlN$ 、 $BN$ 、 $ZnGa_2O_4$ 、 $InGa_2O_4$ 及び $Ga_2O_3$ からなる群から選択された一または複数の半導体を含んでよい。

また、前記半導体ナノ構造は、その種類毎に応答する光の波長帯域が異なってよい。

【発明の効果】

【0010】

50

本発明によれば、複数の半導体の光検出特性を組み合わせることにより、D U VからI Rまでの広い帯域中で任意の波長帯域を選んで検出帯域に設定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】(a)本発明の半導体光検出器の構造及び動作を概念的に説明する図。(b)互いに異なる複数の半導体が電荷移動を起こすことなく、個別に光に応答する様子を説明する図。(c)各半導体のエネルギーバンドを概念的に示す図。このエネルギーバンドダイヤグラムにより、各半導体のフェルミレベルは当該半導体と金属によって決まることが分かる。

【図2】本発明の一実施例の、ダイヤモンド層の上にGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ナノベルトを集積することにより作製された、D U V及びU V帯域の二帯域半導体光検出器の構造及び動作を示す図。

10

【図3】本発明の一実施例の、真性単結晶ダイヤモンド層の上にCdSナノワイヤを集積することによって作製された、可視光及びD U V帯域の二帯域半導体光検出器の構造及び動作を示す図。

【図4】本発明の一実施例の、InGa<sub>N</sub>層の上にCdSナノワイヤを集積することにより作製された、可視光及びU V帯域の二帯域半導体光検出器の構造及び動作を示す図。

【図5】本発明の一実施例の、ダイヤモンド層の上にSnOナノワイヤを集積することによって作製された、D U V及びU V帯域の二帯域半導体光検出器の動作特性を示す図。

【図6】本発明の一実施例の、ダイヤモンド層の上にZnOサブマイクロロッド及びCdSナノワイヤを集積することによって作製された、可視光、U V及びD U V帯域の三帯域半導体光検出器の構造及び動作を示す図。

20

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明では、ワイドバンドギャップ半導体(エネルギーバンドギャップが2 e Vよりも大きな半導体)あるいは絶縁体基板上に多様な半導体ナノ構造体を集積することにより、任意のスペクトルを選択して光検出を行うようにした汎用の構造を有する半導体光検出器が提供される。なお、基板上のナノ構造体の各々は、ヘテロ集積された光検出器上でのナノ構造体の占める面積が小さいため、他のナノ構造体との間で影響し合うことなしで、当該部分の光応答特性を決定する。互いに異なる特性及び高い結晶品質を有する複数の半導体

30

【0013】

本発明の複数帯域光検出器の具体的な構造は、ワイドバンドギャップ半導体または絶縁体の基板上に電極の対を設け、この電極対の間に複数種類の長手方向に伸びた半導体線状部材を互いに並列に接続する。これにより、これら線状部材の各々の特性に従った波長域の光検出特性を合成した検出能力を有する多帯域光検出器が与えられる。

【0014】

ワイドギャップ半導体基板上にナノ構造を有する半導体をヘテロ集積した構造(NOW、Nanostructures on Wide-band gap Semiconductor)または他の半導体基板上へナノ構造を有するナノ構造半導体をヘテロ集積した構造(SOS、Semiconductor on Semiconductor)の半導体光検出器が開示される。その具体的な構成及び動作については以下の実施例で説明するが、このようなデバイスの概略の構成は図1に示すとおりである。本発明の構成は従来報告された半導体ナノ構造ベースの光検出器とは明らかに異なっている。そのような従来構成は、通常は絶縁基板上に一つのナノ構造が集積され、従ってただ一つの特定のスペクトルの帯域だけを検出する光検出器が提供されるものであった。

40

【0015】

図1の構成により与えられる半導体光検出器では基板がワイドバンドギャップ半導体で構成されているため(もちろん、基板を絶縁体で構成しても良い)、基板自体をU V(波長400~10nm)あるいはD U V(波長280~10nm)帯域を検出するために利

50

用することができる(図1(a)左上の構成)。また、図1(b)右上に示すように、電極対間に半導体のナノ構造体Aを接続すれば、基板が検出できる帯域に加えて、ナノ構造体Aが検出できる帯域が検出器全体の検出帯域に追加される。図1(a)の右下及び左下に示すように、半導体のナノ構造体B及びCを追加すれば、これらの半導体ナノ構造体が検出する帯域が同様に検出器減退の検出帯域に追加される。これは、図1(b)に示すように、検出可能な帯域の光照射により変化する基板の抵抗 $R_w$ 、半導体ナノ構造体A~Cの抵抗である抵抗 $R_A \sim R_C$ (図1(b)では $R_C$ は省略)は電極対の間に並列接続されることになるため、これらの抵抗の並列回路に流れる電流は各半導体の光照射に従って決まる電流を加算したものになるからである。

【0016】

なお、図1を参照して上で説明したように、基板としてワイドギャップ半導体を使用し、また当該ワイドギャップ半導体が検出可能な帯域が検出したい帯域の一部である場合には、基板のワイドギャップ半導体にも光検出用の半導体として利用することができる。この場合、検出したい帯域のうちの当該基板が受け持つ帯域以外の部分の範囲によっては、電極対間に接続する接続すべき半導体線状部材は複数種類ではなく一種類で良い場合もある。

【0017】

基板に使用できるワイドバンドギャップ半導体としては、例えばダイヤモンド、InGa<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、ZnGa<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、ZnO、SiC、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlN、BNなどがある。また、基板に使用できる絶縁体としては、例えばAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、HfO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、CaF<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>などがある。

【0018】

また、基板は他の基材の上に形成された、例えば上記材料の薄膜であってもよいし、あるいはバルクでもよい。

【0019】

半導体線状部材としては、ナノワイヤ、ナノロッド、ナノベルトなどのナノ構造体を使用することができる。どのような種類のナノ構造体を使用できるかは、半導体の種類などによって決まる。また、半導体線状部材は一種類の半導体について一本だけ使用してもよいし、あるいは同一種類の半導体毎に複数本の線状部材を使用してもよい。また、同一種類の半導体毎に複数本の線状部材を使用する場合、同一径の線状部材を使用してもよいし、あるいは互いに径の異なる線状部材としてもよい。

【0020】

更に、本発明では、ダイヤモンドやIII族窒化物のようなワイドバンドギャップ半導体は、暗電流が小さいこと及びUV検出に当たっての高い応答性により、基板としてだけでなく、図1を参照して上で説明したように、UV検出材料としても使用することができる。

【0021】

このような構造の光検出器において使用することができる光検出用の半導体としては、これに限定する意図はないが、例えば以下の物質を使用することができる。

- ・IR光：PbSe、PbS、GaAs、Si、InGa<sub>2</sub>N
- ・可視光：CdS、CdSe、Si、InGa<sub>2</sub>N
- ・UV光：ZnO、Ga<sub>2</sub>N、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SnO<sub>2</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、In<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub>O<sub>7</sub>、ZnGe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、SiC
- ・DUV光：ダイヤモンド、AlN、BN、ZnGa<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、InGa<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

【0022】

また、電極の材料としては基板や半導体ナノ構造体との接続等、半導体光検出器を作成・使用するに当たって問題が出ない限り、基本的に任意の材料を使用することができる。

【実施例】

【0023】

10

20

30

40

50

以下、実施例に基づいて本発明をさらに詳細に説明する。なお、以下で説明する実施例はあくまで本発明の理解を助けるための例示であり、本発明は特許請求の範囲によって規定されるものであることに注意されたい。

【0024】

[実施例1：ダイヤモンド基板 -  $Ga_2O_3$  ナノベルトによるDUV - UV半導体光検出器]

図2(a)は単斜晶系 $Ga_2O_3$  ( $Ga_2O_3$ 、バンドギャップ4.2~4.9 eV) ナノベルトを真性単結晶ダイヤモンド層(バンドギャップ5.5 eV)の上に集積することによって作製されたDUV及びUV帯域半導体光検出器の構成を概念的に示す図、及びその光学顕微鏡写真を示す。図2(b)にこの $Ga_2O_3$ ヘテロ集積光検出器の暗黒下、220 nm光(ダイヤモンドのバンド端に対応)照射時、及び240 nm ( $Ga_2O_3$ のバンド端に対応)光照射時の電圧 - 電流特性を示す。図2(c)にはこの $Ga_2O_3$ ヘテロ集積光検出器の照射光の波長に対する応答特性を、電極間に印加する電圧(4、16、32 V)をパラメータとして示す。印加する電圧4 Vと低い場合には、この半導体光検出器の主要なカットオフ波長は225 nmであったが、これはダイヤモンドの吸収波長帯域の上端に相当する。これよりも長波長側では $Ga_2O_3$ ナノベルトの光応答だけとなり、印加電圧を高くするにつれてこの長波長側における応答が大きくなった。印加電圧が16 Vでは220 nmにおける応答と240 nmにおける応答とが同等になった。印加電圧を32 Vまで増加すると、 $Ga_2O_3$ ナノベルト側の応答の方が支配的になった。

10

20

【0025】

ヘテロ集積プロセスは $Ga_2O_3$ /ダイヤモンド検出器の応答速度に悪影響を与えないことが、図2(d)及び(e)により確認された。図2(d)は印加電圧を4 Vとして波長220 nmの照射光の点滅(機械的な遮蔽/遮蔽の解除による。以下同様)に対する電流応答を示す。図2(e)は印加電圧を32 Vとして波長240 nmの照射光の点滅を行った場合の電流応答を示す。何れの波長の場合でも、照射光を遮蔽した時、0.3秒以内に非照射時の電流値に復帰することが確認できた。

【0026】

以上説明したように、本発明の検出器構成によれば、検出器全体の特性は、検出器を構成する各半導体が相互に干渉することなく、これらの半導体個別での検出特性の合成結果と同等な特性として与えられることが確認できた。

30

【0027】

[実施例2：ダイヤモンド基板 - CdS ナノワイヤによるDUV - 可視光半導体検出器]

図3(a)はCdS(バンドギャップ2.5 eV)ナノワイヤを真性単結晶ダイヤモンド層の上に集積することによって作製されたDUV及び可視光帯域半導体光検出器の構成を概念的に示す図、及びその光学顕微鏡写真を示す。図3(b)にこの半導体光検出器の暗黒下、220 nm光照射時、及び480 nm光照射時の電圧 - 電流特性を示す。図3(c)は、この半導体光検出器の照射光の波長に対する応答特性を、電極間に印加する電圧(16、32 V)をパラメータとした応答であり、この二帯域半導体光検出器のDUV及び可視光に対するスペクトル応答を示す。

40

【0028】

図3(d)及び(e)は、それぞれ波長220 nm及び480 nmの照射光を実施例1の場合と同じように断続した時の電流応答を示す。この測定の際の印加電圧は何れも32 Vとした。この結果から、本実施例でもそれぞれの半導体の高速光応答性が集積後も維持されることが確認できた。

【0029】

[実施例3：InGaN基板 - CdS ナノワイヤによるUV - 可視光半導体光検出器]

図4(a)はCdSナノワイヤをInGaN層の上に集積することによって作製されたUV - A及び可視光帯域検出器の構成を概念的に示す図及びその光学顕微鏡写真を示す。図4(b)にこの光検出器の暗黒下、378 nm光照射時、及び480 nm光照射時の電

50

圧 - 電流特性を示す。図 4 ( c ) は、この光検出器の照射光の波長に対する応答特性を、電極間に 2 V の電圧を印加した状態で測定したものである。この波長応答特性には、この二帯域半導体光検出器における UV - A 帯域での InGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>層からの応答及び青 - 緑帯域での CdS ナノワイヤからの応答が明確に示されている。

【 0 0 3 0 】

図 4 ( d ) 及び ( e ) は、それぞれ波長 378 nm 及び 480 nm の照射光を実施例 1、2 の場合と同じように断続した時の電流応答を示す。この測定の際の印加電圧は何れも 2 V とした。この結果から、本実施例においてもそれぞれの半導体の高速光応答性が集積後も維持されることが確認できた。

【 0 0 3 1 】

[ 実施例 4 : ダイヤモンド基板 - SnO<sub>2</sub> ナノワイヤによる DUV - UV 半導体光検出器 ]

図 5 は SnO<sub>2</sub> ナノワイヤを真性ダイヤモンド層の上に集積することによって作製された DUV 及び UV 帯域半導体光検出器の照射光の波長に対する応答特性を測定した結果を示す。これまでの実施例と同様に、この波長応答特性にも、この二帯域半導体光検出器におけるダイヤモンド層及び SnO<sub>2</sub> ナノワイヤからの応答が明確に現れている。

【 0 0 3 2 】

[ 実施例 5 : ダイヤモンド基板 - ZnO サブマイクロロッド及び CdS ナノワイヤによる DUV - UV - 可視光半導体光検出器 ]

図 6 ( a ) は ZnO ( バンドギャップ 3 . 37 eV ) テトラポッド状分岐付ナノロッド ( tetrapod-branched nanorod ) 及び CdS ナノワイヤをダイヤモンド層の上に集積することによって作製された DUV、UV 及び可視光帯域半導体光検出器の構成を概念的に示す図及びその光学顕微鏡写真を示す。この光学顕微鏡写真からわかるように、横方向に伸びた平行な 2 本の電極の間に CdS ナノワイヤ ( 写真左端付近 ) 及び ZnO テトラポッド状ナノロッド ( 写真右端付近 ) が接続されていることがわかる。もし必要であれば 3 本あるいはより多くの半導体ナノ構造体をこの電極対の間に接続できることは明らかであろう。

【 0 0 3 3 】

図 6 ( b ) には、図 6 ( a ) に示す三帯域半導体光検出器の照射光の波長に対する応答特性を測定した結果を示す。これまでの実施例と同様に、この波長応答特性にも、この三帯域半導体光検出器におけるダイヤモンド層、ZnO ナノロッド及び SnO<sub>2</sub> ナノワイヤのそれぞれからの応答が明確に現れている。このように、電極対間に複数種類の半導体ナノ構造体を接続した場合でも、光検出器全体の特性は、光検出器を構成する個々の半導体ナノ構造体 ( また、基板が半導体である場合にはその半導体の ) 光検出特性を足し合わせたものとなることがわかる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 3 4 】

本発明によれば、DUV から IR までの広い帯域中で任意の波長域を選択した広帯域半導体光検出器を提供するための高い自由度を得ることができるため、本発明は半導体光検出器のみならず、全帯域太陽電池、発光ダイオード、光化学用触媒についての新たな分野を開くものと期待される。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 3 5 】

【 特許文献 1 】 ヨーロッパ公開特許公報 1 3 4 1 2 3 4 A 2 ( 2 0 0 3 )

【 非特許文献 】

【 0 0 3 6 】

【 非特許文献 1 】 Konstantatos, G. & Sargent, E. H. Nanostructured materials for photon detection. Nat. Nanotechnol. 5, 391-400 (2010).

10

20

30

40

50

【非特許文献 2】Steenbergen, E. H., DiNezza, M. J., Dettlaff, W. H. G., Lim, S. H. & Zhang, Y. H. Optically-addressed two-terminal multicolor photodetector. *Appl. Phys. Lett.* 97, 161111 (2010).

【非特許文献 3】Chakrabarti, S., Adhikary, S., Halder, N., Aytac, Y. A. & Perera, G. U. High-performance, long-wave (similar to 10.2  $\mu\text{m}$ ) InGaAs/GaAs quantum dot infrared photodetector with quaternary  $\text{In}_{0.21}\text{Al}_{0.21}\text{Ga}_{0.58}\text{As}$  capping. *Appl. Phys. Lett.* 99, 181102 (2011).

【非特許文献 4】Li, D. H., Zhang, J., Zhang, Q. & Xiong, Q. H. Electric-field-dependent photoconductivity in CdS nanowires and nanobelts: Exciton Ionization, Franz-Keldysh, and Stark Effects. *Nano Lett.* 12, 2993-2999 (2012).

【非特許文献 5】Sang, L.W., Liao, M.Y., and Sumiya, M. A comprehensive review of semiconductor ultraviolet photodetectors: From thin film to one-dimensional nanostructures. *Sensor*, 13, 10482 (2013)

【非特許文献 6】Liu, H. C. et al. Dual-band photodetectors based on interband and intersubband transitions. *Infrared Phys. Technol.* 42, 163-170 (2001).

【非特許文献 7】Ariyawansa, G. et al. Characteristics of a Si dual-band detector responding in both near-and very-long-wavelength-infrared regions. *Appl. Phys. Lett.* 89, 061112 (2006).

【非特許文献 8】Rogalski, A., Antoszewski, J. & Faraone, L. Third-generation infrared photodetector arrays. *J. Appl. Phys.* 105, 091101 (2009).

【非特許文献 9】Gong, X. et al. High-detectivity polymer photodetectors with spectral response from 300 nm to 1450 nm. *Science* 325, 1665-1667 (2009).

【非特許文献 10】Liu, Y. et al. Plasmon resonance enhanced multicolour photodetection by graphene. *Nat. Commun.* 2, 579 (2011).

【非特許文献 11】A. L. Pan, R. B. Liu, M. Sun, and C.Z Ning, Spatial Composition Grading of Quaternary ZnCdSSe Alloy Nanowires with Tunable Light Emission between 350 and 710 nm on a Single Substrate, *ACS Nano* 4, 671 (2010).

【非特許文献 12】T. Kuykendall, P. Ulrich, S. Aloni, and P. D. Yang, Complete composition tunability of InGaN nanowires using a combinatorial approach, *Nat. Mater.* 6, 951 (2007).

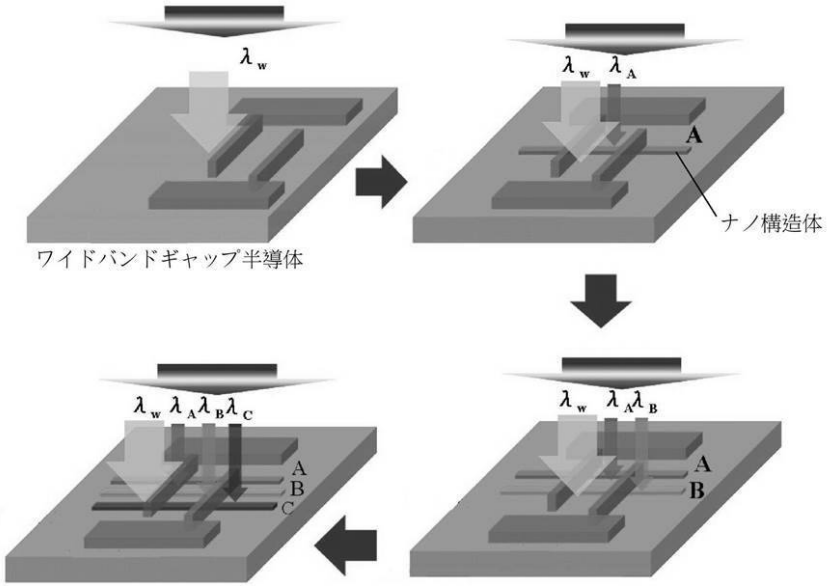
10

20

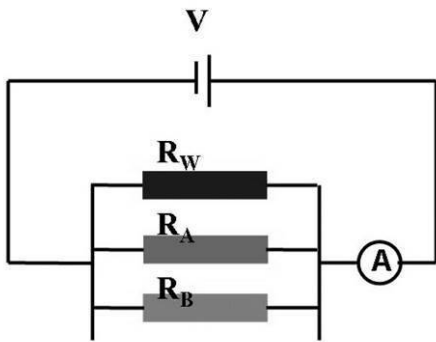
30

【 図 1 】

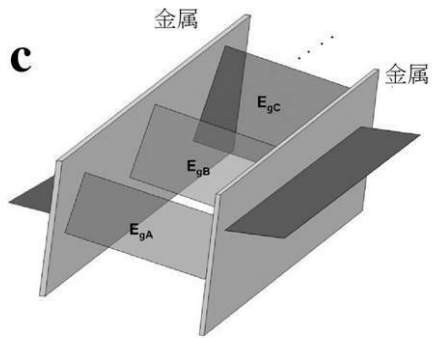
**a**



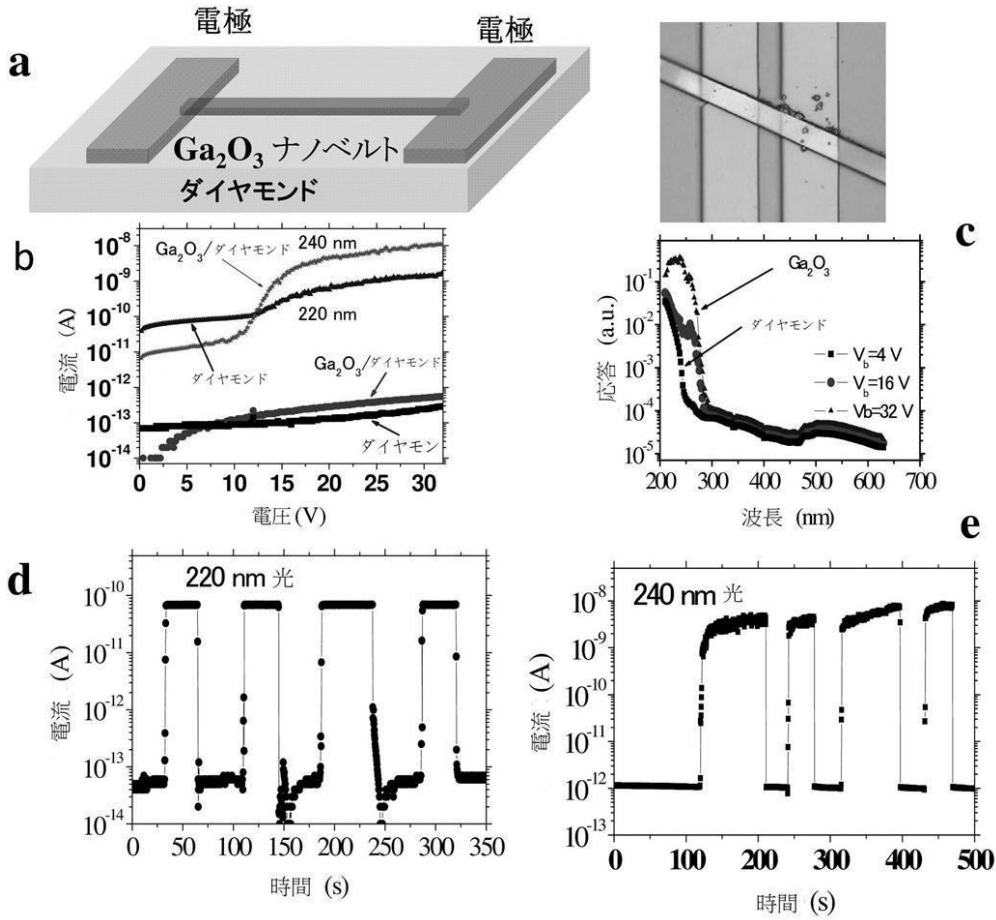
**b**



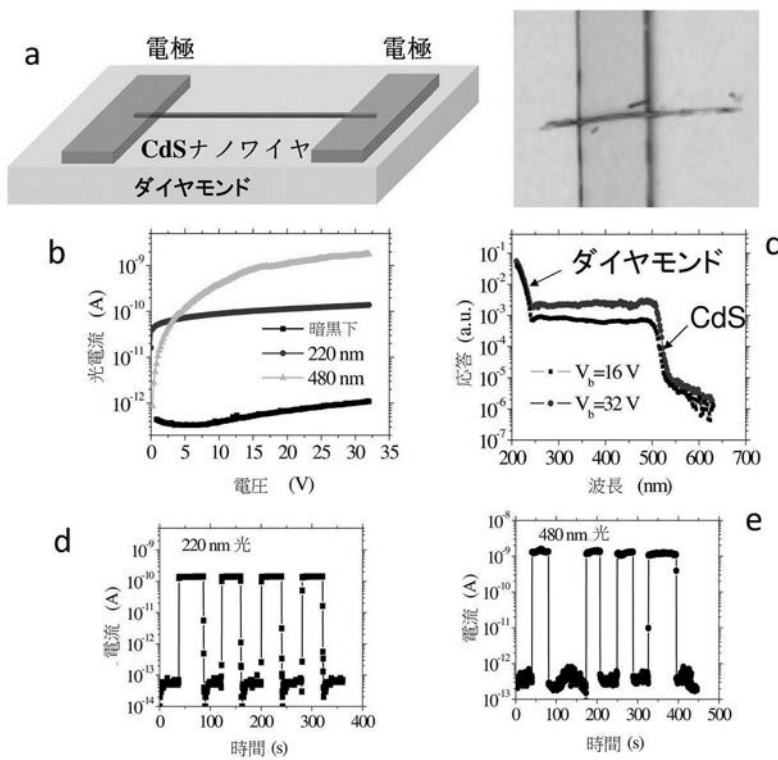
**c**



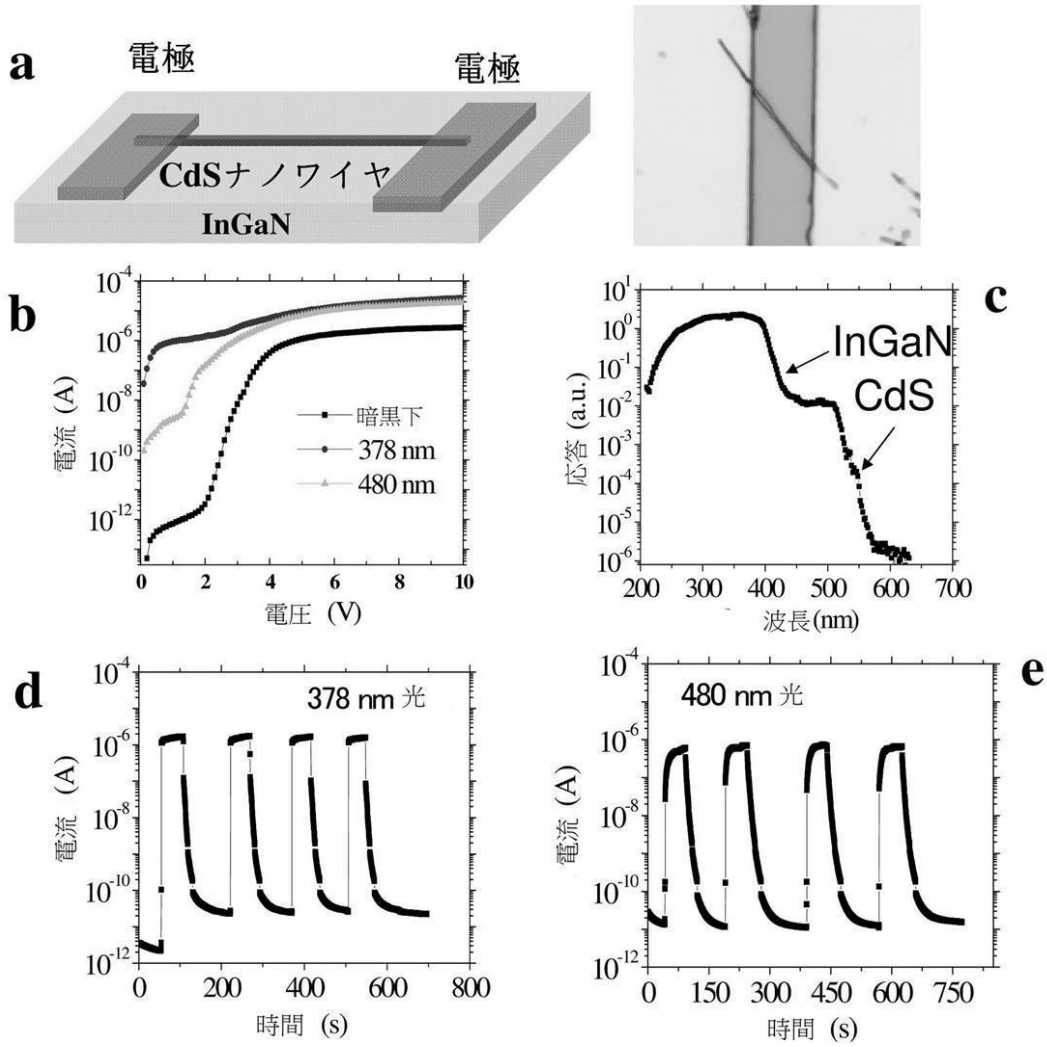
【図2】



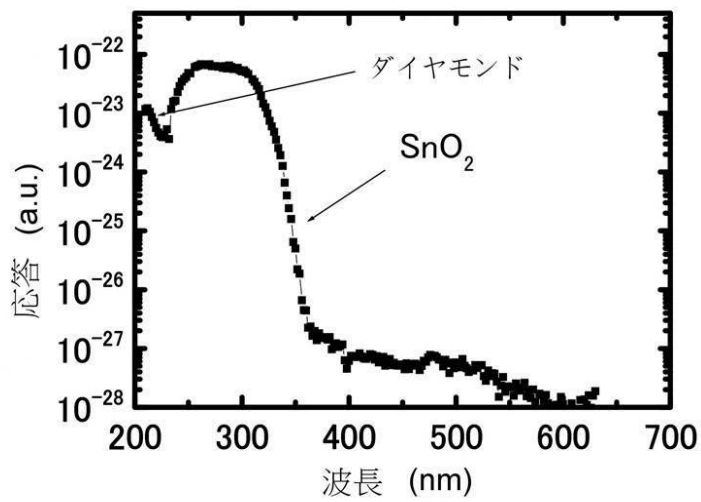
【図3】



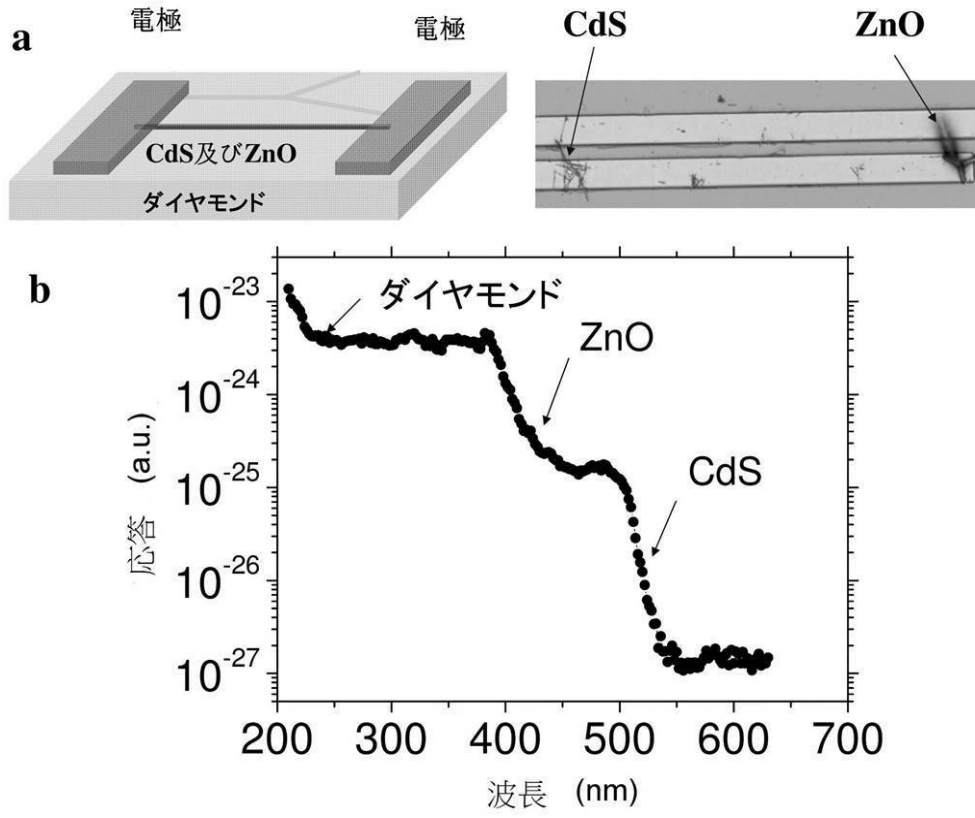
【 図 4 】



【 図 5 】



【図6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 雛 儒佳

中国上海市長寧区延安西路1882号 東華大学内

Fターム(参考) 5F049 MA05 MB01 MB02 MB07 NA20 SS01 SS03 SS04 WA03 WA05  
5F088 AA11 AB02 AB07 AB09 BA20 GA02 GA04 GA05 LA01 LA03  
LA05