

(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2006-93087  
(P2006-93087A)

(43) 公開日 平成18年4月6日(2006.4.6)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
 HO 1 J 1/30 (2006.01) HO 1 J 1/30 S 5 C 1 3 5

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2005-104679 (P2005-104679)                  (22) 出願日 平成17年3月31日 (2005.3.31)                  (31) 優先権主張番号 特願2004-247832 (P2004-247832)                  (32) 優先日 平成16年8月27日 (2004.8.27)                  (33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(71) 出願人 304023318                  国立大学法人静岡大学                  静岡県静岡市駿河区大谷836                  (74) 代理人 100079049                  弁理士 中島 淳                  (74) 代理人 100084995                  弁理士 加藤 和詳                  (74) 代理人 100085279                  弁理士 西元 勝一                  (74) 代理人 100099025                  弁理士 福田 浩志                  (72) 発明者 石田 明広                  静岡県浜松市富塚町600-50                  (72) 発明者 井上 翼                  静岡県浜松市入野町16408-2                  最終頁に続く</p>
--	--

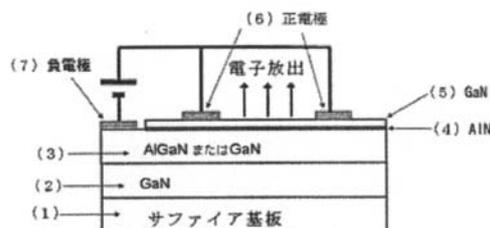
(54) 【発明の名称】窒化物半導体電子放出素子

(57) 【要約】

【課題】電子線励起ディスプレイなど次世代の電子装置に広く応用される高効率、低電圧で動作し、容易に集積化できる電子放出素子を提供する。

【解決手段】窒化物半導体に生じる自発分極やピエゾ分極による大きな内部電界を効率的に素子表面部に加えて電子放出を行う電子放出素子及び光電素子に関するもので、素子構造は、AlGaN、AlN及びGaNの3層構造からなり、素子の外部の電極を用いずにGaN表面に電子引き出し用電極を配置することにより、低い駆動電圧で動作する電子放出源となる窒化物半導体電子放出素子。

【選択図】図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

絶縁性基板上に、Ga<sub>2</sub>N層、n型のAlGa<sub>2</sub>N層（ただし、Al<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>N、 $x < 0.5$ ）、厚さ1nm～10nmの中間層としてのAlN層、及び、厚さ20nm～100nmの表面露出部を有するGa<sub>2</sub>N層を、接合することで順次積層させた構造を有し、該Ga<sub>2</sub>N層の表面に電子取り出し用の正電極を備え、且つ、該AlGa<sub>2</sub>N層に負電極を備えることを特徴とする窒化物半導体電子放出素子。

## 【請求項2】

前記中間層としてのAlN層に代えて、n型のAlGa<sub>2</sub>N層よりもAl組成が大きいAlGa<sub>2</sub>N層（ただし、Al<sub>y</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>N、 $y > x$ ）を中間層として有することを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体電子放出素子。

10

## 【請求項3】

n型のAlGa<sub>2</sub>N層に代えて、Ga<sub>2</sub>N層を設けてなることを特徴とする請求項1又は請求項2に記載の窒化物半導体電子放出素子。

## 【請求項4】

前記n型のAlGa<sub>2</sub>N層がn型高抵抗AlGa<sub>2</sub>N層であり、前記n型高抵抗AlGa<sub>2</sub>N層が、絶縁性基板上に負電極として選択的に設けたZrB<sub>2</sub>（ホウ化ジルコニウム）と接する構造の単一素子であり、この単一素子を集積化したことを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体電子放出素子。

## 【請求項5】

前記n型高抵抗AlGa<sub>2</sub>N層がn型高抵抗Ga<sub>2</sub>N層であることを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体電子放出素子。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、電子顕微鏡等の電子源、電子線励起ディスプレイなどにもちいる窒化物半導体を用いた電子放出素子に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

電子放出源材料としては、タングステンフィラメントのほかに、ダイヤモンド、Si、Ga<sub>2</sub>Nを用いた電子放出源や最近報告されているカーボンナノチューブ等の電界放出素子がある。また、外部から電界を加える構成のダイヤモンドを用いた電界放出電子素子も提案されている（例えば、特許文献1参照。）。

30

## 【0003】

これらの電子放出素子は電子顕微鏡等の電子源のみでなく、今後、電子線励起ディスプレイなど次世代の電子装置に広く応用される可能性があるが、これらの期待される応用分野に対しては実用上十分な集積化がなされていないのが現状であり、より効率が良く、低電圧で動作し、且つ、容易に集積化できる電子放出素子が求められている。

Siを用いた電界放出電子素子はSi集積回路技術を基盤として開発されているが、通常の電界放出素子の場合、素子の外部から電界を加え電子放出を促すため、電子の放出には高電圧を必要とし、高い電界密度を得るために素子構造が複雑となる欠点を有している。

40

## 【特許文献1】特開2001-266736

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

前記問題点を考慮してなされた本発明の目的は、構造が簡単であり、且つ、より低電圧で、効率のよい電界密度を達成しうる窒化物半導体電子放出素子を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0005】

50

上記課題を解決するための本発明の窒化物半導体電子放出素子は、絶縁性基板上に、GaN層、n型のAlGaN層（ただし、 $Al_xGa_{(1-x)}N$ 、 $x < 0.5$ ）、厚さ1nm～10nmの中間層としてのAlN層、及び、厚さ20nm～100nmの表面露出部を有するGaN層を、接合することで順次積層させた構造を有し、該GaN層の表面に電子取り出し用の正電極を備え、且つ、該AlGaN層に負電極を備えることを特徴とする。

より具体的には、絶縁性基板（1）上にGaN層（2）を有し、前記GaN層（2）の表面に接合して設けたn型のAlGaN層（ただし、 $Al_xGa_{(1-x)}N$ 、 $x < 0.5$ ）（3）に接合されて、1nmから10nmの厚さの中間層であるAlN層（4）を有し、前記AlN層（4）に接合された20nmから100nmの厚さの表面露出部を有するGaN層（5）を積層させた構造を持ち、且つ、GaN層（5）の表面に電子取り出し用の正電極（6）を備え、前記AlGaN層（3）に負電極（7）を備えることを特徴とする窒化物半導体電子放出素子である。

10

なお、このような窒化物半導体電子放出素子において、中間層であるAlN層をn型のAlGaN層よりもAl組成が大きいAlGaN層（ただし、 $Al_yGa_{(1-x)}N$ 、 $y > x$ ）とした窒化物半導体電子放出素子、さらには、n型のAlGaN層をGaN層とした窒化物半導体電子放出素子などの変形例もまた、本発明の優れた効果を得ることが可能である。

#### 【0006】

この構成によって窒化物半導体中に現われる自発分極やピエゾ分極を利用し、素子表面に巨大な電界を生じさせて電子放出を行う電子放出素子に関するものであり、Siを用いた電界放出デバイスに比べ遥かに低い駆動電圧で動作し、かつ、デバイス構造も単純となる。

20

#### 【発明の効果】

#### 【0007】

通常、電界放出素子は固体外部に電界を加え、電子を引き出すため、高い駆動電圧が必要となるが、本発明では、電界放出素子の素子内部に加わる電界を利用し電子を引き出すため、低い駆動電圧での動作が可能であり、素子構造も単純であるため集積化も極めて容易である。

本発明の窒化物半導体電子放出素子は、従来の電界放出型の電子放出源に比べ、低い駆動電圧で動作し構造も単純なため、他の電子素子とのマッチングが良く集積化も容易である。本発明を用いて、将来の低電圧動作電子線励起ディスプレイや電子線励起発光素子・照明機器の電子源として利用できる。したがって、この素子は将来のフラットパネルディスプレイや照明用電子放出源として有用である。

30

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0008】

以下、本発明の窒化物半導体電子放出素子を図面を用いて詳細に説明する。

図1は、本発明の窒化物半導体電子放出素子の一態様を示す概略断面図である。

窒化物半導体電子放出素子は、絶縁性基板（1）上に、GaN層（2）、n型のAlGaN層（ただし、 $Al_xGa_{(1-x)}N$ 、 $x < 0.5$ ）（3）、厚さ1nm～10nmの中間層としてのAlN層（4）、及び、厚さ20nm～100nmの表面露出部を有するGaN層（4）を、接合することで順次積層させた構造を有している。

40

なお、各層の厚さと組成比は最良の形態として例示する。

本態様では、サファイア基板上（1）へ、AlGaN層（3）のためのバッファ層としてキャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型GaN層（2）を、厚さ約1000nmとなるように形成し、さらに、その上にキャリア濃度 $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型AlGaN層（3）として、 $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ からなる厚さ1000nmの層を形成し、その上に中間層としてのAlN層（4）を5nmとキャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ のn型GaN層（5）を30nm成長させる。

各層の形成方法は任意であり、公知の方法、例えば、原子層エピタキシャル成長、CVD法などを用いることができる。

50

## 【0009】

このような積層体に、さらに幅  $4 \mu\text{m}$  のストライプ状の正電極 (6) を間隔  $10 \mu\text{m}$  で配置している。

なお、正電極の形状は、必ずしもストライプ状でなくてもよく、電極形状は、円環状、格子状、3角形などの多角形であってもよい。

本発明における絶縁性基板とは、完全な絶縁性を有するもののみならず、電子放出素子の使用目的に応じた高抵抗の基板、例えば、 $500 \Omega \cdot \text{cm}$  以上の高抵抗基板、半絶縁性基板をも包含するものとする。従って、本態様では、絶縁性基板として、サファイア基板 (1) を用いているが、これに代えて、 $500 \Omega \cdot \text{cm}$  以上の高抵抗であってほぼ絶縁性の Si 結晶基板、半絶縁性の GaAs 基板や絶縁性の  $\text{SiO}_2$  結晶基板などを用いることもできる。

10

## 【0010】

これら、各層構成は、同面積の層状構造である必要はなく、相互に電氣的に接合されていれば、部分的に接合された構造でも良い。(以下は、Ga層を Ga、AlGaIn層を AlGaIn、AlN層を AlN と記す。)

ここで、素子表面は +C 面 (Ga 面) となっており、サファイア基板側が -C 面 (N 面) となっている。

## 【0011】

このときのエネルギーバンド構造を図 2 (a) に示す。AlN (4) とその上の GaN (5) はたいへん薄いため、下地の AlGaIn (3) と同じ面内格子定数を持ち、AlN (4) には引っ張り歪、GaN (3) には圧縮歪が加わっている。この際、AlN (4) に発生する自発分極とピエゾ分極による電界は 1 原子層当り  $0.2 \text{ V}$  程度となり、20 原子層からなる厚さ  $5 \text{ nm}$  の AlN (4) には  $4 \text{ V}$  の分極電圧が加わる。

20

## 【0012】

一方、GaN (5) には、AlN (4) とは逆方向に、1 原子層当り  $0.02 \text{ V}$  程度のピエゾ電界が加わり、この厚さの GaN (5) には  $2.4 \text{ V}$  程度のピエゾ電圧が、表面に向かいバンド端が下がる方向に加わる。なお、電圧を加えていないときには、表面の正電極 (6) と AlGaIn (3) のフェルミレベルが一致するようにキャリア移動が生じるので、図 2 (a) に示すようなエネルギーバンド構造になる。AlN (4) の下地を AlGaIn (3) から GaN (3) に変えると表面の GaN (5) にはピエゾ電界が加わらないが、内部のフェルミレベルは表面の正電極 (6) のフェルミレベルと等しいので、その場合のバンド構造も図 2 (a) に示すのと同様になる。

30

## 【0013】

この状態で表面から、GaN (5) のバンドギャップより大きなフォトンエネルギーを持つ光を入射させると、伝導帯へ励起された電子は、GaN (5) 中の電界により表面方向へ加速されるので、効率の良い紫外線の光電面としても利用できる。

## 【0014】

図 2 (b) は素子表面に + 電圧 ( $+7 \text{ V}$ ) を加えた時のエネルギーバンド構造を示す。AlN (4) と表面の GaN (5) に発生する電界により、表面 GaN (5) が空乏層化 (高抵抗化) されているので、外部から加えられた電圧は AlN (4) と表面 GaN (5) に加わり、図 2 (b) のようなエネルギーバンド図になる。この際、n 型 AlGaIn (3) の伝導帯電子は AlN (4) をトンネルし、表面 GaN (5) に加わった大きな電界により加速され、GaN (5) の表面に達する。正電極 (6) は、GaN (5) の表面側に選択的に設け、負電極 (7) を AlGaIn (3) に設ける。

40

## 【0015】

この電子のうち正電極 (6) のある部分に到達した電子は正電極 (6) に捕まってしまうが、正電極 (6) の無い部分或いは薄い部分に到達した電子のうち、真空準位より大きなエネルギーを持つ電子は容易に素子から外部へ放出される。この素子では正電極 (6) のない部分から電子を取り出しているが、デバイス表面のエネルギー状態は GaN (5) の表面状態の影響を受けるので、正電極 (6) に加えた電圧がそのまま正電極のない Ga

50

N ( 5 ) 表面に加わらない場合もある。したがって、効率的に表面 GaN ( 5 ) に電界を加えるため、電子放出部に数 nm 以下の厚さの正電極 ( 6 ) を形成しても良い。

【 0 0 1 6 】

通常電界放出素子は、電子放出部を尖らせ、素子外部に大きな電界を作り電子を放出させるため、高い印加電圧を必要とするが、この素子では固体内部の電界を利用し電子放出を行わせるため、正電極 ( 6 ) への 10 V 以下の低い印加電圧で電子を放出させることができる。

【 0 0 1 7 】

以上の最良の形態を示した実施例としての説明では、中間層として 5 nm の AlN ( 4 ) を使用したが、この AlN ( 4 ) の厚さは、薄ければトンネル現象による漏れ電流の過大が生じるので 5 分子層程度に相当する約 1 nm 以上が必要であり、AlN ( 4 ) を厚くすると電子のトンネル確率が減少するので、AlN ( 4 ) の厚さは 10 nm を超えない方が良い。

n 型 AlGaIn ( 3 ) ( または n 型 GaN ( 3 ) ) と n 型 GaN ( 5 ) は、キャリア濃度が  $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  よりも大きな低抵抗としなければならない。

AlN ( 4 ) は、n 型 AlGaIn ( 3 ) ( または n 型 GaN ( 3 ) ) 、 n 型 GaN ( 5 ) よりもキャリア濃度が小さい高抵抗としなければならない。

【 0 0 1 8 】

また、中間層としての AlN 層 ( 4 ) の代わりに AlGaIn 層を用いても良いが、自発及びピエゾ分極により、表面に向かいバンドを持ち上げる必要があるため、下地の AlGaIn より大きな Al 組成でなければならない。

また、他の変形例として、n 型の AlGaIn 層 ( 3 ) に代えて GaN 層を用いる態様が挙げられ、この構成によっても、本発明の優れた効果が得られる。

【 実施例 】

【 0 0 1 9 】

図 3 は、ディスプレイ用電子放出源に用いる際の、本発明による単一素子 ( 電子放出素子 ) の断面図を示す。

以上のように製作された電子放出素子を単一の素子とした多数個を集積して、ディスプレイ用の電子放出源に用いるための実施例を述べる。この際、多数個を集積するために格子状、ハニカム状などに単一の素子を配置した集合体として集積する。格子状に配置した場合は、各単一素子に電圧を印加するために、サファイア基板 ( 1 ) にあらかじめ予め電極材料として、GaN とほぼ同一の格子定数を持つ材料である  $\text{ZrB}_2$  ( ホウ化ジルコニウム ) を、ストライプ状に形成して電圧印加の負電極 ( 17 ) とする。さらに、集積化を行うこの実施例では高抵抗の AlGaIn ( 13 ) または GaN ( 13 ) を形成する。

【 0 0 2 0 】

これらの上に、AlN ( 4 ) 、 GaN ( 5 ) を設ける。正電極 ( 6 ) はストライプ状の負電極 ( 17 ) 、と交差する素子に正の電位を与えるべく、ストライプ状の正電極 ( 16 ) を設ける。

図 4 は、ディスプレイ用電子放出源の一態様を示す配置図であり、本発明の単一素子 ( 電子放出素子 ) ( 18 ) の配置位置が示されている。各単一素子 ( 18 ) に電圧を印加するために、ストライプ状の正電極 ( 16 ) 、ストライプ状の負電極 ( 17 ) が設けられている。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 1 】

【 図 1 】 本発明における電子放出素子の構造図

【 図 2 】 本発明における電子放出素子のエネルギーバンド図

【 図 3 】 ディスプレイ用電子放出源に用いる際の、本発明による単一素子の断面図

【 図 4 】 ディスプレイ用電子放出源の配置図

【 符号の説明 】

【 0 0 2 2 】

10

20

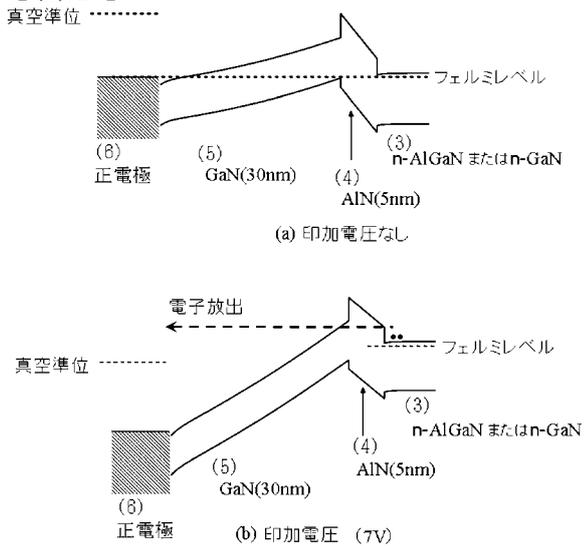
30

40

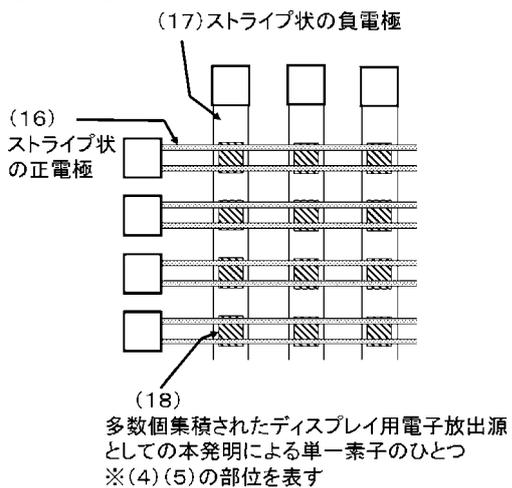
50

- ( 1 ) サファイア基板
- ( 2 ) GaN層 ( バッファ層 )
- ( 3 ) AlGaN層 または GaN層
- ( 4 ) AlN層
- ( 5 ) GaN層 ( 表面層 )
- ( 6 ) 正電極 ( 表面 )
- ( 7 ) 負電極
- ( 13 ) 高抵抗 AlGaN層 または 高抵抗 GaN層
- ( 16 ) ストライプ状の正電極
- ( 17 ) ストライプ状の負電極
- ( 18 ) ディスプレイ用電子放出源としての本発明の電子放出素子

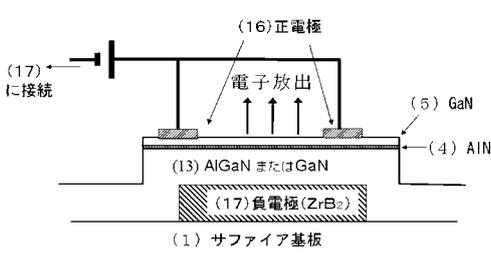
【 図 2 】



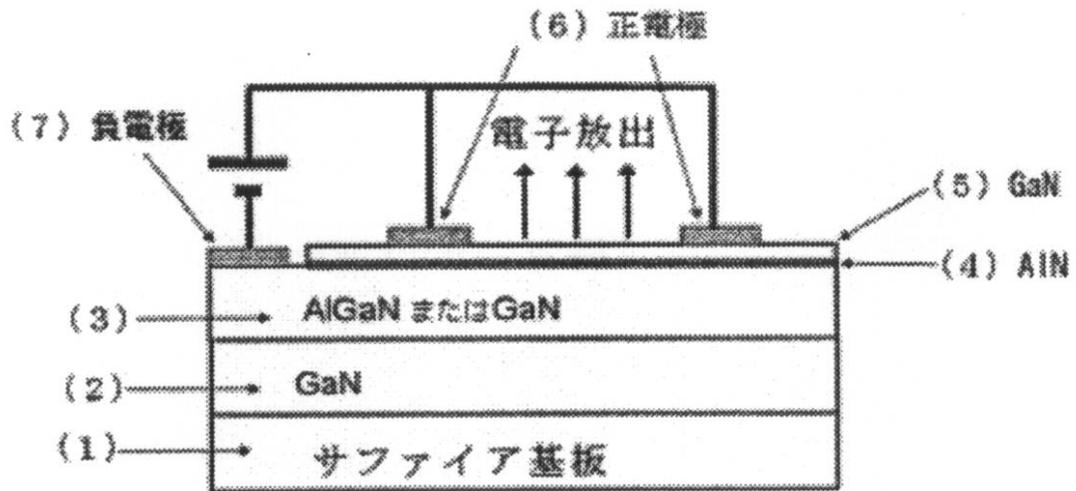
【 図 4 】



【 図 3 】



【図1】



---

フロントページの続き

(72)発明者 松江 一真

静岡県藤枝市下之郷308-1

Fターム(参考) 5C135 DD30 GG16 HH02 HH06 HH15