

(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2005-159310

(P2005-159310A)

(43) 公開日 平成17年6月16日(2005.6.16)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/28	HO 1 L 21/28 3 O 1 B	4 M 1 O 4
HO 1 L 21/331	HO 1 L 33/00 C	5 F O O 3
HO 1 L 21/338	HO 1 L 29/80 F	5 F O 4 1
HO 1 L 29/737	HO 1 L 29/72 H	5 F 1 O 2
HO 1 L 29/812		

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2004-294739 (P2004-294739)	(71) 出願人	000005821
(22) 出願日	平成16年10月7日 (2004.10.7)		松下電器産業株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2003-370407 (P2003-370407)		大阪府門真市大字門真1006番地
(32) 優先日	平成15年10月30日 (2003.10.30)	(74) 代理人	100077931
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 前田 弘
		(74) 代理人	100094134
			弁理士 小山 廣毅
		(74) 代理人	100110939
			弁理士 竹内 宏
		(74) 代理人	100110940
			弁理士 嶋田 高久
		(74) 代理人	100113262
			弁理士 竹内 祐二
		(74) 代理人	100115059
			弁理士 今江 克実

最終頁に続く

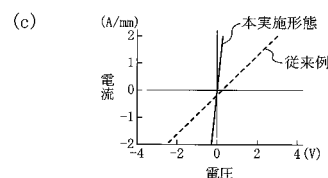
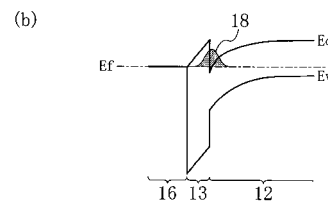
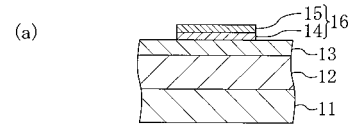
(54) 【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 低抵抗のオーミック電極を備えたIII-V族窒化物半導体装置を実現できるようにする。

【解決手段】 サファイアからなる基板11の上に活性層である窒化ガリウム(GaN)層12が形成され、GaN層12の上にチャネル層として厚さが25nmのn型の窒化アルミニウムガリウム(Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N)層13が形成されている。Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13の上には厚さが200nmの6ホウ化ランタン(LaB<sub>6</sub>)層14を下層とし、厚さが200nmのAl層15を上層とする多層電極16が形成されている。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

n 型の導電性を有する III-V 族窒化物半導体層と、  
前記 III-V 族窒化物半導体層の上に形成されたオーミック電極とを備えた半導体装置であって、

前記オーミック電極は、金属硼化物を含む導電性材料からなることを特徴とする半導体装置。

## 【請求項 2】

前記金属硼化物は、 $HfB_2$ 、 $ZrB_2$ 、 $LaB_6$ 、 $CeB_6$ 、 $YB_4$  及び  $Gd_2B_4$  から選択された単体又はこれらのうち少なくとも 2 つからなる積層体であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

10

## 【請求項 3】

前記金属硼化物は、前記 III-V 族窒化物半導体層の上面に接していることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体装置。

## 【請求項 4】

前記 III-V 族窒化物半導体層と前記オーミック電極との間に形成された金属酸化膜をさらに備えていることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体装置。

## 【請求項 5】

前記金属酸化膜は、マグネシウム、カルシウム、バリウム及びストロンチウムから選択された単体の酸化物又はこれらのうち少なくとも 2 つからなる合金の酸化物であることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体装置。

20

## 【請求項 6】

前記金属酸化膜は、厚さが 1 nm 以上且つ 10 nm 以下であることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体装置。

## 【請求項 7】

前記 n 型の導電性を有する III-V 族窒化物半導体層の下には、ヘテロ接合界面が形成されており、

前記オーミック電極は、2 つの電極が互いに間隔をおいて形成されており、

前記 2 つのオーミック電極は、それぞれソース電極及びドレイン電極であり、

前記ソース電極と前記ドレイン電極との間には、前記ソース電極と前記ドレイン電極との間に流れる電流を制御するゲート電極が形成されており、

30

電界効果トランジスタとして機能することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。

## 【請求項 8】

前記 n 型の導電性を有する III-V 族窒化物半導体層は、コレクタ層及びエミッタ層の 2 層であり、

前記コレクタ層と前記エミッタ層の間には、p 型の導電性を有する III-V 族窒化物半導体層であるベース層が形成されて、前記コレクタ層、前記ベース層及び前記エミッタ層により NPN 接合が形成されており、

前記コレクタ層の上面における所定の領域に形成された前記オーミック電極はコレクタ電極であり、

40

前記エミッタ層の上面における所定の領域に形成された前記オーミック電極はエミッタ電極であり、

バイポーラトランジスタとして機能することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。

## 【請求項 9】

前記 n 型の導電性を有する III-V 族窒化物半導体層は n 型コンタクト層であり、

前記オーミック電極は n 側電極であって、

前記 n 型コンタクト層と接して形成された n 型クラッド層と、前記 n 型クラッド層に接して順次形成された活性層と p 型クラッド層と p 型コンタクト層と、p 型コンタクト層に

50

接して形成された p 側電極とをさらに備え、

半導体発光素子として機能することを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の半導体装置。

【請求項 10】

基板の上に n 型の導電性を有する III-V 族窒化物半導体層を形成する工程と、

前記 III-V 族窒化物半導体層の上面に窒素原子が欠乏した窒素欠乏領域を選択的に形成する工程と、

前記窒素欠乏領域の上に金属硼化物からなるオーミック電極を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 11】

前記窒素欠乏領域は、前記 III-V 族窒化物半導体層を非酸化性の雰囲気において熱処理することにより形成することを特徴とする請求項 10 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 12】

前記非酸化性の雰囲気は、窒素、水素及び希ガスから選択された単体ガス又はこれらのうち少なくとも 2 つを含む混合ガスの雰囲気であることを特徴とする請求項 11 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 13】

前記熱処理は、200 以上且つ 1200 以下の温度で行うことを特徴とする請求項 11 又は 12 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 14】

前記窒素欠乏領域は、前記 III-V 族窒化物半導体層の表面をイオンビーム照射、電子ビーム照射、アルゴンガスによるエッチング、プラズマアッシング及びドライエッチングのうちいずれかの方法により処理することにより形成することを特徴とする請求項 10 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 15】

基板の上に n 型の導電性を有する III-V 族窒化物半導体層を形成する工程と、

前記 III-V 族窒化物半導体層の上面に金属酸化膜を選択的に形成する工程と、

前記金属酸化膜の上に金属硼化物からなるオーミック電極を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 16】

前記金属酸化膜を形成する工程は、

前記 III-V 族窒化物半導体層の上面にマグネシウム、カルシウム、バリウム又はストロンチウムから選択された単体又はこれらのうち少なくとも 2 つからなる合金である金属薄膜を堆積する工程と、

前記金属薄膜を酸化する工程とを含むことを特徴とする請求項 15 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 17】

前記金属酸化膜を酸化する工程は、前記金属薄膜を室温以上且つ 1200 以下の温度で処理する工程であることを特徴とする請求項 16 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 18】

前記金属薄膜の厚さは、1 nm 以上且つ 10 nm 以下であることを特徴とする請求項 16 又は 17 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 19】

前記硼化物は、 $\text{HfB}_2$ 、 $\text{ZrB}_2$ 、 $\text{LaB}_6$ 、 $\text{CeB}_6$ 、 $\text{YB}_4$  及び  $\text{GdB}_4$  から選択された単体又はこれらのうち少なくとも 2 つからなる積層体であることを特徴とする請求項 10 から 17 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 20】

前記硼化物は、真空蒸着法により形成することを特徴とする請求項 19 に記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、III-V族窒化物系化合物半導体を用いた半導体装置及びその製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

III族元素である硼素(B)、アルミニウム(Al)、ガリウム(Ga)及びインジウム(In)と、V族元素である窒素(N)とからなり、一般式が $B_w Al_x Ga_y In_z N$  ( $w + x + y + z = 1 : 0 < w, x, y, z < 1$ )によって表される化合物は、III-V族窒化物系化合物半導体、いわゆるIII-V族窒化物半導体と呼ばれるものである。III-V族窒化物半導体は、広いバンドギャップとそれに伴う高い破壊電圧並びに高い電子飽和速度及び高い移動度、加えてヘテロ接合における高い電子濃度等の利点を有することから、短波長発光素子、高出力高周波素子及び高周波低雑音増幅素子等への応用を目的として、研究開発が進んでいる。

10

## 【0003】

これらのIII-V族窒化物半導体からなる半導体素子において、素子特性を高めるためには、半導体素子におけるコンタクト抵抗を出来る限り低減する必要がある。電流を電子によって搬送する場合は、電子が伝導する領域(以下電子チャネルと総称する。)に外部からオーミック電極を形成する必要がある、このオーミック電極におけるコンタクト抵抗の低減は特に重要である。

20

## 【0004】

以下に、従来のオーミック電極を形成する方法(例えば特許文献1を参照。)について説明する。

## 【0005】

図8はn型の電子チャネルにオーミック電極を形成する最も一般的な方法を示している。図8(a)に示すようにサファイア基板31の上に、活性層であるn型の窒化アルミニウムガリウム( $Al_x Ga_{1-x} N$ :  $0 < x < 1$ )層32を形成し、 $Al_x Ga_{1-x} N$ 層32の上に、チタン(Ti)を最下層とし、その上にアルミニウム(Al)、ニッケル(Ni)及び金(Au)等を含む多層金属薄膜33をリフトオフによって形成する。次に、高温(500 から 900)でアニールを行い、図8(b)に示すように多層金属薄膜33のTiと $Al_x Ga_{1-x} N$ 層32の窒素(N)とを反応させ、窒素(N)の空孔を形成することにより $Al_x Ga_{1-x} N$ 層32の表面近傍に金属性を増した領域34を形成する。同時に、領域34と多層金属薄膜33との界面に存在するGa、Ti、TiN、Al、Ni及びAu等を反応させて安定な金属化合物を形成して、オーミック電極とする。

30

## 【0006】

この方法によれば、電子チャネルと電極金属との界面におけるトンネル効果が増大するため、オーミック電極のコンタクト抵抗を低減することができる。例えば、一般的な、厚さが25nmの $Al_{0.25} Ga_{0.75} N$ 層とGa<sub>2</sub>Nとが積層されたヘテロ接合トランジスタのソース電極及びドレイン電極をこの方法により形成した場合、コンタクト抵抗が $1 \times 10^{-5} / \text{cm}^2$ 程度のオーミック電極を形成することができる。

40

## 【0007】

III-V族窒化物半導体に電極を形成する他の方法としては、III-V族窒化物半導体層と電極との格子整合を改善することを目的として、金属の二硼化物を用いる方法が知られている(例えば特許文献2を参照。)

【特許文献1】特開平11-126947号公報

【特許文献2】特開2003-101038号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0008】

しかしながら、実用レベルの高周波デバイスのオーミック電極には $10^{-7} / \text{cm}^2$ 台

50

のコンタクト抵抗が要求されており、前記従来オーミック電極形成方法によって得られるオーミック電極では、この要求を満たすことができないという問題がある。

【0009】

前記従来例においては、III-V族窒化物半導体層に窒素の空孔を発生させ、電極金属と窒化物半導体層との界面におけるトンネル効果を増大させることにより、オーミック電極のコンタクト抵抗を低減している。しかし、コンタクト抵抗の下限値は、オーミックコンタクトに用いる金属と電子伝導チャネルとの界面におけるポテンシャル障壁の高さ、すなわち障壁高さによって規定される。

【0010】

界面における障壁高さは、電極に用いる金属のフェルミ準位から真空準位までの高さである仕事関数によって決定される。n型の窒化物半導体において通常電極に用いられるTiの仕事関数は約5 eVであり、トンネル効果を増大させてコンタクト抵抗を低減した場合においても、必要とする $10^{-7}$  / cm<sup>2</sup>台のコンタクト抵抗を達成することは極めて困難であるという問題がある。

10

【0011】

本発明は、前記従来問題を解決し、低抵抗のオーミック電極を備えたIII-V族窒化物半導体からなる半導体装置を実現できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

前記の目的を達成するため、本発明の半導体装置は、金属硼化物を含むオーミック電極を有する構成とする。

20

【0013】

具体的に、本発明に係る半導体装置は、n型の導電性を有するIII-V族窒化物半導体層と、III-V族窒化物半導体層の上に形成されたオーミック電極とを備えた半導体装置を対象とし、オーミック電極は、金属硼化物を含む導電性材料からなることを特徴とする。

【0014】

本発明の半導体装置によれば、オーミック電極が金属硼化物を含む導電性材料からなり、金属硼化物の仕事関数は非常に小さいため、III-V族窒化物半導体層とオーミック電極との間の障壁高さを0に近づけることができるので、コンタクト抵抗を非常に小さくすることが可能となる。

30

【0015】

本発明の半導体装置において、金属硼化物はHfB<sub>2</sub>、ZrB<sub>2</sub>、LaB<sub>6</sub>、CeB<sub>6</sub>、YB<sub>4</sub>及びGdB<sub>4</sub>から選択された単体又はこれらのうち少なくとも2つからなる積層体であることが好ましく、また、金属硼化物はIII-V族窒化物半導体層の上面に接していることが好ましい。このようにすることによりコンタクト抵抗を確実に低減することができる。

【0016】

本発明の半導体装置は、III-V族窒化物半導体層とオーミック電極との間に形成された金属酸化膜をさらに備えていることが好ましい。このような構成とすることにより、金属硼化物であるオーミック電極とIII-V族窒化物半導体層との相互間における電子の放出が促進されるので、コンタクト抵抗をさらに低減することができる。

40

【0017】

この場合において、金属酸化膜はマグネシウム、カルシウム、バリウム及びストロンチウムから選択された単体の酸化物又はこれらのうち少なくとも2つからなる合金の酸化物であることが好ましく、また、厚さが1 nm以上且つ10 nm以下であることが好ましい。このような構成とすることによりオーミック電極からの電子の放出を確実に促進することができる。

【0018】

本発明の半導体装置において、n型の導電性を有するIII-V族窒化物半導体層の下には、ヘテロ接合界面が形成されており、オーミック電極は、2つの電極が互いに間隔をおいて形成されており、2つのオーミック電極は、それぞれソース電極及びドレイン電極であ

50

り、ソース電極とドレイン電極との間には、ソース電極とドレイン電極との間に流れる電流を制御するゲート電極が形成されており、電界効果トランジスタとして機能することが好ましい。このような構成とすることにより、ソース抵抗及びドレイン抵抗を低減できるので、オン抵抗を小さくすることができ、その結果、高周波特性及び相互コンダクタンスが優れた電界効果トランジスタを確実に実現することができる。

【0019】

本発明の半導体装置は、n型の導電性を有するIII-V族窒化物半導体層は、コレクタ層及びエミッタ層の2層であり、コレクタ層とエミッタ層の間には、p型の導電性を有するIII-V族窒化物半導体層であるベース層が形成されて、コレクタ層、ベース層及びエミッタ層によりNPN接合が形成されており、コレクタ層の上面における所定の領域に形成されたオーミック電極はコレクタ電極であり、エミッタ層の上面における所定の領域に形成されたオーミック電極はエミッタ電極であり、バイポーラトランジスタとして機能することが好ましい。このような構成とすることにより、コレクタ抵抗及びエミッタ抵抗を低減することができるので、オン抵抗を小さくすることができ、その結果、高周波特性に優れた高利得のバイポーラトランジスタを確実に実現することができる。

10

【0020】

本発明の半導体装置において、n型の導電性を有するIII-V族窒化物半導体層はn型コンタクト層であり、オーミック電極はn側電極であって、n型コンタクト層と接して形成されたn型クラッド層と、n型クラッド層に接して順次形成された活性層とp型クラッド層とp型コンタクト層と、p型コンタクト層に接して形成されたp側電極とをさらに備え、半導体発光素子として機能することが好ましい。

20

【0021】

このような構成とすることにより、n側電極の抵抗を低減することができるので、閾値電圧を小さくすることができ、その結果、高効率の半導体発光素子を実現することができる。

【0022】

本発明に係る第1の半導体装置の製造方法は、基板の上にn型の導電性を有するIII-V族窒化物半導体層を形成する工程と、III-V族窒化物半導体層の上面に窒素原子が欠乏した窒素欠乏領域を選択的に形成する工程と、窒素欠乏領域の上に金属硼化物からなるオーミック電極を形成する工程とを備えていることを特徴とする。

30

【0023】

第1の半導体装置の製造方法によれば、III-V族窒化物半導体層の上面に窒素欠乏領域を形成する工程と、窒素欠乏領域の上に金属硼化物からなるオーミック電極を形成する工程とを備えているため、III-V族窒化物半導体層とオーミック電極との間に硼素(B)-窒素(N)化合物が形成されることを防止できる。従って、B-N化合物によるコンタクト抵抗の上昇が生じず、仕事関数が小さな金属硼化物の特性を発揮させることができ、その結果、低抵抗のオーミック電極を備えた半導体装置を容易に得ることが可能となる。

【0024】

第1の製造方法において、窒素欠乏領域は、III-V族窒化物半導体層を非酸化性の雰囲気において熱処理することにより形成することが好ましい。このような構成とすることにより、確実に窒素欠乏領域を形成することができる。

40

【0025】

この場合において、非酸化性の雰囲気は窒素、水素及び希ガスから選択された単体ガス又はこれらのうち少なくとも2つを含む混合ガスの雰囲気であることが好ましい。また、熱処理は200 以上且つ1200 以下の温度で行うことが好ましい。

【0026】

これにより、III-V族窒化物半導体層にダメージを与えることなく確実に窒素欠乏領域を形成することができる。

【0027】

第1の製造方法において、窒素欠乏領域は、III-V族窒化物半導体層の表面をイオンビ

50

ーム照射、電子ビーム照射、アルゴンガスによるエッチング、プラズマアッシング及びドライエッチングのうちいずれかの方法により処理することにより形成してもよい。このような構成によっても、窒素欠乏領域を形成することが可能である。

**【0028】**

本発明に係る第2の半導体装置の製造方法は、基板の上にn型の導電性を有するIII-V族窒化物半導体層を形成する工程と、III-V族窒化物半導体層の上面に金属酸化膜を選択的に形成する工程と、金属酸化膜の上に金属硼化物からなるオーミック電極を形成する工程とを備えていることを特徴とする。

**【0029】**

第2の製造方法によれば、III-V族窒化物半導体層の上面に金属酸化膜を形成する工程と、金属酸化膜の上に金属硼化物からなるオーミック電極を形成する工程とを備えているため、金属硼化物とIII-V族窒化物半導体層との相互間における電子の放出を容易にする金属酸化膜の上にオーミック電極を形成することができる。また、金属硼化物とIII-V族窒化物半導体層とが直接接しておらずB-N化合物が形成されることがない。従って、低抵抗なオーミック電極を備えた半導体装置を容易に得ることができる。

10

**【0030】**

第2の製造方法において、金属酸化膜を形成する工程は、III-V族窒化物半導体層の上面にマグネシウム、カルシウム、バリウム又はストロンチウムから選択された単体又はこれらのうち少なくとも2つからなる合金である金属薄膜を堆積する工程と、金属薄膜を酸化する工程とを含むことが好ましい。

20

**【0031】**

このような構成とすることにより、仕事関数が非常に小さい金属酸化膜を確実に形成することができる。

**【0032】**

この場合において、金属酸化膜を酸化する工程は、金属薄膜を室温以上且つ1200以下の温度で処理する工程であることが好ましい。このような構成とすることにより、III-V族窒化物半導体層にダメージを与えることなく確実に金属酸膜を形成することができる。また、金属薄膜の厚さは、1nm以上且つ10nm以下であることが好ましい。

**【0033】**

本発明の半導体装置の製造方法において、硼化物は、 $HfB_2$ 、 $ZrB_2$ 、 $LaB_6$ 、 $CeB_6$ 、 $YB_4$ 及び $Gd_2B_4$ から選択された単体又はこれらのうち少なくとも2つからなる積層体であることが好ましい。また、真空蒸着法により形成することが好ましい。このようにすることにより、確実に低抵抗のオーミック電極を形成することができる。

30

**【発明の効果】****【0034】**

本発明の半導体装置及びその製造方法によれば、低抵抗のオーミック電極を備えたIII-V族窒化物系半導体装置を実現できる。

**【発明を実施するための最良の形態】****【0035】**

(第1の実施形態)

40

本発明の第1の実施形態における半導体装置を、図1を参照しながら説明する。

**【0036】**

図1(a)は本実施形態の半導体装置の要部における断面構造を示している。図1(a)に示すようにサファイアからなる基板11の上に窒化ガリウム( $GaN$ )層12が形成され、 $GaN$ 層12の上に、n型のIII-V族窒化物半導体層として厚さが25nmのn型の窒化アルミニウムガリウム( $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$ )層13が形成されている。 $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$ 層13の上には厚さが200nmの6ホウ化ランタン( $LaB_6$ )層14を下層とし、厚さが200nmのアルミニウム( $Al$ )層15を上層とするオーミック電極である多層電極16が形成されている。

**【0037】**

50

以下に、本実施形態の半導体装置のオーミック電極部分の製造方法について図2を参照しながら説明する。図2は本実施形態の半導体装置のオーミック電極部分の製造方法について工程ごとに断面構造を示している。

【0038】

図2(a)に示すように、まずサファイアからなる基板11の上に厚さが250nmのGa<sub>0.25</sub>N層12を有機金属気相成長法により堆積する。続いて厚さが25nmのn型のAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13を有機金属気相成長法により堆積する。

【0039】

次に、図2(b)に示すようにGa<sub>0.25</sub>N層12とAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13とを形成した基板11を窒素雰囲気中において900の温度で5分間熱処理し、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13の表面近傍に窒素原子が欠乏した窒素欠乏領域17を選択的に形成する。

10

【0040】

次に、図2(c)に示すように厚さが200nmのLaB<sub>6</sub>層14及び厚さが200nmのAl層15を真空蒸着法により順次成膜する。

【0041】

このように、LaB<sub>6</sub>層14の成膜前に、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13の表面近傍に窒素欠乏領域17を形成することにより、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13とLaB<sub>6</sub>層14との界面において硼素(B)と窒素(N)とがB-N化合物を形成することを防止できる。これにより、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13とLaB<sub>6</sub>層14との界面におけるコンタクト抵抗をさらに低減できる。

20

【0042】

図1(b)は本実施形態の半導体層におけるエネルギーダイアグラムを示している。Ga<sub>0.25</sub>N層12とAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13との界面には、Ga<sub>0.25</sub>NとAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Nとの分極量の差により、 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$ の2次元電子ガスが生じる。この2次元電子ガスにより多層電極16は、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13とオーミック接触を形成する。

【0043】

Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13の上に堆積したLaB<sub>6</sub>層14の仕事関数は2.7eVであり、電極として従来用いられているTiの仕事関数4.5eVと比べて2eV程度低く、LaB<sub>6</sub>層14フェルミレベルは、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13に対しての伝導帯の下端とほぼ一致する。従って、このLaB<sub>6</sub>/Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N界面においては、コンタクト抵抗の下限値を規定する障壁高さをほぼ0とすることが可能となる。

30

【0044】

図1(c)は本実施形態の半導体装置の電流-電圧(I-V)特性と従来の半導体装置と比較して示している。図から明らかなように、本発明によるI-V特性の方が傾きが大きく、コンタクト抵抗率は従来の半導体装置が $1 \times 10^{-5} / \text{cm}^2$ であるのに対して $1 \times 10^{-6} / \text{cm}^2$ となり、約1/10に低減されている。なお、従来の半導体装置には、多層電極の下層をTiとし、上層をAlとする構成の装置を用いた。

【0045】

本実施形態においては、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13の表面近傍に窒素欠乏領域17を形成する工程を窒素雰囲気中において行ったが、酸素(O<sub>2</sub>)を含まない雰囲気で行えばよく、窒素(N<sub>2</sub>)、水素(H<sub>2</sub>)又はアルゴン(Ar)若しくはネオン(Ne)等の希ガス雰囲気又はこれらの混合雰囲気において行うことが好ましい。

40

【0046】

また、処理温度は、200以上の温度であればよいが、半導体層へのダメージを避けるためには1200以下の温度で行うことが好ましい。

【0047】

さらに、熱処理に代えて、Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層13の表面へのイオンビーム照射、電子ビーム照射、プラズマアッシング又はドライエッチング等の処理を行うことにより同様の効果が得られる。なお、ドライエッチングの際にはArをプラズマ種に用いることが好ましい。

50

## 【0048】

なお、本実施形態では、電極を  $LaB_6$  と  $Al$  との積層体により形成したが、 $LaB_6$  に代えて、同じく硼化物系化合物であり、 $HfB_2$ 、 $ZrB_2$ 、 $CeB_6$ 、 $YB_4$  又は  $Gd_2B_3$  を用いてもよく、さらに、これらのうちから選択した複数の化合物を積層体として用いてもよい。また、上層の  $Al$  に代えて  $Au$ 、 $Ni$  又は  $Cu$  等の低抵抗の金属を用いることができ、さらにこれらの積層体や化合物を用いてもよい。

## 【0049】

本実施形態においては、 $n$  型の III-V 族窒化物半導体層に  $n$  型の  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層を用いたが、一般式が  $B_wAl_xGa_yIn_zN$  ( $w+x+y+z=1$  :  $0 < w, x, y, z < 1$ ) で表される化合物のうちから選択した任意の化合物を  $n$  型にドーピングして用いることができる。

10

## 【0050】

(第2の実施形態)

以下に、本発明の第2の実施形態における半導体装置を、図3を参照しながら説明する。

## 【0051】

図3(a)は第2の実施形態の半導体装置の要部における断面構造を示している。図3(a)に示すように、サファイアからなる基板11上に形成された  $GaN$  層12の上に、 $n$  型の III-V 族窒化物半導体層として厚さが  $25\text{nm}$  の  $n$  型の  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13が形成されている。本実施形態においては、 $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13の上に厚さが  $3\text{nm}$  の酸化ストロンチウム ( $SrO$ ) からなる金属酸化膜24が形成され、金属酸化膜24の上に厚さが  $200\text{nm}$  の  $LaB_6$  層14と厚さが  $200\text{nm}$  の  $Al$  層15が下から順次積層されて、オーミック電極である多層電極16が形成されている。

20

## 【0052】

以下に、本実施形態の半導体装置のオーミック電極部分の製造方法について図4を参照しながら説明する。図4は本実施形態の半導体装置のオーミック電極部分の製造方法について工程ごとに断面構造を示している。

## 【0053】

図4(a)に示すようにまず、サファイアからなる基板11の上に  $GaN$  層12と  $n$  型の  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13とを順次形成する。

30

## 【0054】

次に、図4(b)に示すように  $n$  型の  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13の上に、厚さが  $2\text{nm}$  のストロンチウム ( $Sr$ ) からなる金属薄膜23を真空蒸着法により成膜する。さらに、図4(c)に示すように濃度が  $100\%$  の酸素雰囲気中において、 $100^\circ\text{C}$  の温度で  $10$  分間処理を行い、厚さが  $3\text{nm}$  の  $SrO$  からなる金属酸化膜24を形成する。

## 【0055】

次に、図4(d)に示すように真空蒸着法により厚さが  $200\text{nm}$  の厚さが  $200\text{nm}$  の  $LaB_6$  層14と厚さが  $200\text{nm}$  の  $Al$  層15を順次成膜して、多層電極16を形成する。

## 【0056】

図3(b)に本実施形態の構成におけるエネルギーダイアグラムを示す。 $GaN$  層12と  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13との界面には、 $GaN$  層12と  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13との分極量の違いから、 $1 \times 10^{13} / \text{cm}^2$  の2次元電子ガスが生じる。この2次元電子ガスにより多層電極16は、 $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13とオーミック接触を形成する。

40

## 【0057】

本実施形態においては、 $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13と  $LaB_6$  層14との間に厚さが  $3\text{nm}$  の  $SrO$  からなる金属酸化膜24が形成されている。 $SrO$  は仕事関数が  $1.25\text{eV}$  と極めて低い絶縁性酸化物であり、 $LaB_6$  層14から  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13への電子放出を促進する。また、 $LaB_6$  層14が  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13と直接接しておらず、 $LaB_6$  層14と  $Al_{0.25}Ga_{0.75}N$  層13との界面においてコンタクト抵抗を上

50

昇させる硼素 ( B ) - 窒素 ( N ) 化合物が形成されないため、第 1 の実施形態と異なり窒素欠乏領域を形成する工程が不用となる。

【 0 0 5 8 】

図 3 ( c ) は本実施形態の半導体装置の電流 - 電圧 ( I - V ) 特性と従来の半導体装置と比較して示している。図から明らかなように、本発明による I - V 特性の方が傾きが大きく、コンタクト抵抗率は従来の半導体装置が  $1 \times 10^{-5} / \text{cm}^2$  であるのに対して  $5 \times 10^{-7} / \text{cm}^2$  となり、約 1 / 20 に低減されている。なお、従来の半導体装置には、多層電極の下層を Ti とし、上層を Al とする構成の装置を用いた。

【 0 0 5 9 】

本実施形態においては、金属酸化膜 2 4 の厚さを 3 nm としたが、LaB<sub>6</sub> 層 1 4 と Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N 層 1 3 との間に十分なトンネル電流が流れるようにするためには、金属酸化膜 2 4 の厚さを 10 nm 以下とすることが好ましい。また、LaB<sub>6</sub> 層 1 4 からの電子放出を促進し、B - N 化合物の形成を防止するためには、厚さを 1 nm 以上とすることが好ましい。

【 0 0 6 0 】

また、金属酸化膜 2 4 には絶縁性を有し且つ仕事関数が低い金属酸化物を用いることが可能であり、ストロンチウム ( Sr )、マグネシウム ( Mg )、カルシウム ( Ca ) 及びバリウム ( Ba ) のうちのいずれかの酸化物又はこれらの合金の酸化物を用いても同様の効果が得られる。

【 0 0 6 1 】

また、本実施形態においては堆積した金属薄膜を酸素雰囲気中で処理することにより金属酸化膜 2 4 を形成したが、酸素濃度は 3 % 以上であればよく、反応は室温においても進行するため特に限定はされないが、半導体層へのダメージを避けるためには 1 2 0 0 以下の温度で行うことが好ましい。また、プラズマ酸化によって金属薄膜を金属酸化膜 2 4 としてもよい。

【 0 0 6 2 】

さらに、本実施形態においては金属薄膜 2 3 を堆積した後、酸化処理を行い金属酸化膜 2 4 を形成したが、スパッタ法又はリアクティブスパッタ法等により金属酸化膜 2 4 を直接 Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N 層 1 3 の上に成膜してもよい。

【 0 0 6 3 】

また、第 1 の実施形態と同様に LaB<sub>6</sub> に代えて、HfB<sub>2</sub>、ZrB<sub>2</sub>、CeB<sub>6</sub>、YB<sub>4</sub> 又は Gd<sub>2</sub>B<sub>4</sub> を用いてもよく、さらに、これらを積層体として用いてもよい。

【 0 0 6 4 】

( 第 3 の実施形態 )

以下に、本発明の第 3 の実施形態における半導体装置を、図 5 を参照しながら説明する。本実施形態の半導体装置は、電界効果トランジスタ ( F E T ) であり、第 1 の実施形態のオーミック電極をソース電極及びドレイン電極として用いている。

【 0 0 6 5 】

図 5 は本実施形態の半導体装置の断面構造を示している。図 5 に示すように、サファイアからなる基板 4 1 の上に形成された GaN からなる動作層 4 2 の上に、厚さが 25 nm の n 型の Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N からなる障壁層 4 3 が形成されている。障壁層 4 3 の上には、所定の間隔をおいてソース電極及びドレイン電極となる 2 つの多層電極 4 6 が形成されている。多層電極 4 6 は第 1 の実施形態と同様に厚さが 200 nm の LaB<sub>6</sub> 層 4 4 を下層とし、厚さが 200 nm の Al 層 4 5 を上層として積層されている。また、障壁層 4 3 の上面におけるソース電極とドレイン電極との間の領域にはパラジウム ( Pd ) とシリコン ( Si ) との合金からなるゲート電極 4 7 が形成されている。

【 0 0 6 6 】

以下に、本実施形態の半導体装置の製造方法の一例を示す。まず、サファイアからなる基板 4 1 の上に GaN からなる動作層 4 2 及び Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N からなる障壁層 4 3 をエピタキシャル成長させる。次に、障壁層 4 3 の上に第 1 の実施形態の方法により LaB

10

20

30

40

50

層 4 4 と A 1 層 4 5 とが積層された導電層を形成する。続いて、導電層をパターニングして所定の部分を除去することによりソース電極及びドレイン電極となる 2 つの多層電極 4 6 を形成する。さらに、障壁層 4 3 の表面におけるソース電極とドレイン電極との間の領域に P d と S i との合金からなるゲート電極 4 7 を形成する。

【 0 0 6 7 】

本実施形態の半導体装置は、ソース電極及びドレイン電極に L a B<sub>6</sub> を含む多層電極を用いているため、ソース電極及びドレイン電極のオーミック抵抗を低くすることができ、ソース抵抗及びドレイン抵抗が小さい。また、これに伴いオン抵抗が減少するため、高周波特性の優れた相互コンダクタンスが大きな F E T となる。

【 0 0 6 8 】

本実施形態においては、多層電極を第 1 の実施形態の多層電極と同一の構造としたが、第 2 の実施形態のように金属酸化膜を有する構造としてもよい。また、L a B<sub>6</sub> に代えて他の硼化物系化合物を用いてもよい。また、F E T として機能すれば、各層の厚さ、基板の材質、動作層及び障壁層の組成比及びゲート電極の材質等を変更してもよい。

【 0 0 6 9 】

( 第 4 の実施形態 )

以下に、本発明の第 4 の実施形態における半導体装置を、図 6 を参照しながら説明する。本実施形態の半導体装置は、ヘテロバイポーラトランジスタ ( H B T ) であり、第 1 の実施形態のオーミック電極をコレクタ電極及びエミッタ電極として用いている。

【 0 0 7 0 】

図 6 は本実施形態の半導体装置の断面構造を示している。図 6 に示すように、サファイアからなる基板 6 1 上に形成された厚さが 5 0 n m の G a N からなるバッファ層 6 2 の上に、厚さが 1 0 0 0 n m の n 型の G a N からなるコレクタ層 6 3 が形成されている。コレクタ層 6 3 の上における所定の領域にはコレクタ電極として下層が L a B<sub>6</sub> 層 6 6 であり、上層が A 1 層 6 7 である多層電極 6 9 が形成されている。

【 0 0 7 1 】

コレクタ層 6 3 の上におけるコレクタ電極を除く領域の上には、厚さが 2 5 n m の p 型の I n G a N からなるベース層 6 4 が形成されており、ベース層 6 4 の上における所定の領域には P d と S i との合金からなるベース電極 6 8 が形成されている。また、ベース層 6 4 の上におけるベース電極を除く領域の上には、厚さが 2 5 n m の n 型の A l G a N からなるエミッタ層 6 5 が形成され、エミッタ層 6 5 の上にはエミッタ電極として L a B<sub>6</sub> 層 6 6 と A 1 層 6 7 とが下から順次積層された多層電極 6 9 が形成されている。

【 0 0 7 2 】

以下に、本実施形態の半導体装置の製造方法の一例を示す。まず、サファイアからなる基板 6 1 の上に G a N からなるバッファ層 6 2 、 n 型の G a N からなるコレクタ層 6 3 、 p 型の I n G a N からなるベース層 6 4 及び n 型の A l G a N からなるエミッタ層 6 5 を順次積層する。続いて、エミッタ層 6 5 の所定の部分をエッチングにより選択的に除去してベース層 6 4 を露出させる。さらに、ベース層 6 4 の所定の部分をエッチングにより除去して、コレクタ層 6 3 を露出させる。次に、エミッタ層 6 5 及びコレクタ層 6 3 の上に第 1 の実施形態と同様にして多層電極 6 9 をそれぞれ形成し、ベース層 6 4 の上に P d と S i との合金からなるベース電極 6 8 を形成する。

【 0 0 7 3 】

本実施形態の半導体装置は、エミッタ電極及びコレクタ電極として L a B<sub>6</sub> を含む多層電極を用いているため、両電極のオーミック抵抗を低減することができ、エミッタ抵抗及びコレクタ抵抗を減少させることが可能となる。これに伴い、オン抵抗を低減することができるため、高周波特性に優れ、高利得な H B T を実現できる。

【 0 0 7 4 】

本実施形態においては、多層電極を第 1 の実施形態の多層電極と同一の構造としたが、第 2 の実施形態のように金属酸化膜を有する構造としてもよい。また、L a B<sub>6</sub> に代えて他の硼化物系化合物を用いてもよい。また、H B T として機能すれば、各層の厚さ、各層

10

20

30

40

50

の組成、基板の材質、ベース電極の材質等を変更してもよい。

【0075】

(第5の実施形態)

以下に、本発明の第5の実施形態における半導体装置を、図7を参照しながら説明する。本実施形態の半導体装置は、半導体発光素子であり、第1の実施形態のオーミック電極をn側電極として用いている。

【0076】

図7は本実施形態の半導体装置の断面構造を示している。図7に示すように、サファイアからなる基板71の上に形成された厚さが50nmのGaNからなるバッファ層72の上に、厚さが100nmのn型のGaNからなるn型コンタクト層73が形成されている。n型コンタクト層73の上における所定の領域にはn側電極として下層がLaB<sub>6</sub>層81であり、上層がアルミニウム(Al)、チタン(Ti)及び金(Au)からなる金属多層膜82である多層電極83が形成されている。

10

【0077】

n型コンタクト層73の上におけるn側電極を除く領域の上には、厚さが500nmのn型のAlGaNからなるn型クラッド層74が形成され、n型クラッド層74の上には、GaNからなる光ガイド層75と光ガイド層76との間に挟まれたGaNとInGaNとの量子井戸構造を有する発光層76、厚さが500nmのp型のAlGaNからなるp型クラッド層78及び厚さが100nmのp型のGaNからなるp型コンタクト層79が下から順に積層されている。また、p型コンタクト層79の上には白金からなるp側電極80が形成されている。

20

【0078】

以下に、本実施形態の半導体装置の製造方法の一例を示す。まず、サファイアからなる基板71の上にバッファ層72、n型コンタクト層73を積層する。さらに、n型クラッド層74、光ガイド層75、発光層76、光ガイド層77、p型クラッド層78及びp型コンタクト層79を順に堆積する。次に、p型コンタクト層79、p型クラッド層78、光ガイド層77、発光層76、光ガイド層75及びn型クラッド層74の一部をエッチングにより選択的に除去してn型コンタクト層73が露出した積層構造を形成する。露出したn型コンタクト層73の上にはLaB<sub>6</sub>層81を含む多層電極であるn側電極83を第1の実施形態と同様に形成する。また、p型コンタクト層79の上には、Ptからなるp側電極80を形成する。

30

【0079】

本実施形態の半導体装置は、n側電極にLaB<sub>6</sub>を用いている。このため、n側電極のオーミック抵抗を小さくすることができるので、閾値電圧を低減することが可能となり、高効率の半導体発光素子を実現できる。

【0080】

本実施形態においては、LaB<sub>6</sub>層をn型コンタクト層の上に直接形成したが、第2の実施形態のように金属酸化膜を形成した上にLaB<sub>6</sub>層を形成してもよい。また、LaB<sub>6</sub>に代えて他の硼化物系化合物を用いてもよい。また、半導体発光素子として機能すれば、各層の厚さ、各層の組成、基板の材質及びp側電極の材質等を変更してもよい。

40

【産業上の利用可能性】

【0081】

本発明の半導体装置及びその製造方法は、低抵抗のオーミック電極を備えたIII-V族窒化物半導体からなる半導体装置を実現できるため、III-V族窒化物系化合物半導体を用いた半導体装置及びその製造方法等として有用である。

【図面の簡単な説明】

【0082】

【図1】(a)は本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の要部を示す断面図であり、(b)は本発明の第1の実施形態に係る半導体装置のエネルギー・ダイアグラムを示す図であり、(c)は本発明の第1の実施形態に係る半導体装置と従来の半導体装置とにおける

50

I - V 特性を比較して示す図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態に係る半導体装置の要部の製造方法を工程順に示す断面図である。

【図 3】( a ) は本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置の要部を示す断面図であり、( b ) は本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置のエネルギー・ダイアグラムを示す図であり、( c ) 本発明の第 2 の実施形態に係る半導体装置と従来の半導体装置とにおける I - V 特性を比較して示す図である。

【図 4】本発明の第 3 の実施形態に係る半導体装置の要部の製造方法を工程順に示す断面図である。

【図 5】本発明の第 3 の実施形態に係る半導体装置を示す断面図である。 10

【図 6】本発明の第 4 の実施形態に係る半導体装置を示す断面図である。

【図 7】本発明の第 5 の実施形態に係る半導体装置を示す断面図である。

【図 8】従来のオーミック電極の製造方法を工程順に示す断面図である。

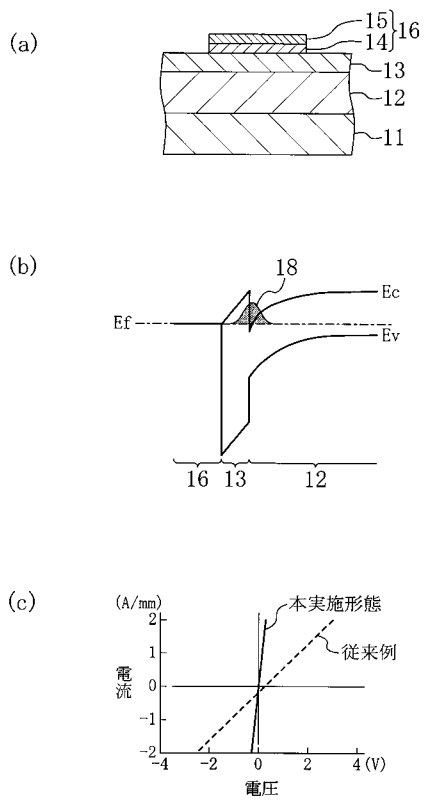
【符号の説明】

【 0 0 8 3 】

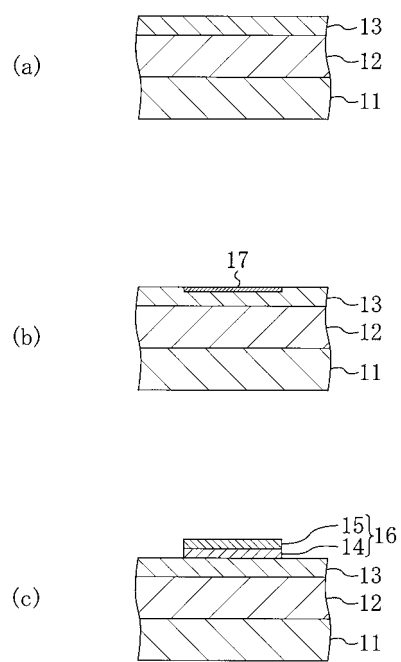
- |     |                                             |    |
|-----|---------------------------------------------|----|
| 1 1 | 基板                                          |    |
| 1 2 | G a N 層                                     |    |
| 1 3 | A l <sub>0.25</sub> G a <sub>0.75</sub> N 層 |    |
| 1 4 | L a B <sub>6</sub> 層                        |    |
| 1 5 | A l 層                                       | 20 |
| 1 6 | 多層電極                                        |    |
| 1 7 | 窒素欠乏領域                                      |    |
| 1 8 | 2 次元電子ガス                                    |    |
| 2 3 | 金属薄膜                                        |    |
| 2 4 | 金属酸化膜                                       |    |
| 4 1 | 基板                                          |    |
| 4 2 | 動作層                                         |    |
| 4 3 | 障壁層                                         |    |
| 4 4 | L a B <sub>6</sub> 層                        |    |
| 4 5 | A l 層                                       | 30 |
| 4 6 | 多層電極                                        |    |
| 4 7 | ゲート電極                                       |    |
| 6 1 | 基板                                          |    |
| 6 2 | バッファ層                                       |    |
| 6 3 | コレクタ層                                       |    |
| 6 4 | ベース層                                        |    |
| 6 5 | エミッタ層                                       |    |
| 6 6 | L a B <sub>6</sub> 層                        |    |
| 6 7 | A l 層                                       |    |
| 6 8 | ベース電極                                       | 40 |
| 6 9 | 多層電極                                        |    |
| 7 1 | 基板                                          |    |
| 7 2 | バッファ層                                       |    |
| 7 3 | n 型コンタクト層                                   |    |
| 7 4 | n 型クラッド層                                    |    |
| 7 5 | 光ガイド層                                       |    |
| 7 6 | 発光層                                         |    |
| 7 7 | 光ガイド層                                       |    |
| 7 8 | p 型クラッド層                                    |    |
| 7 9 | p 型コンタクト層                                   | 50 |

- 8 0 p 側 電 極
- 8 1 L a B<sub>6</sub> 層
- 8 2 金 属 多 層 膜
- 8 3 n 側 電 極

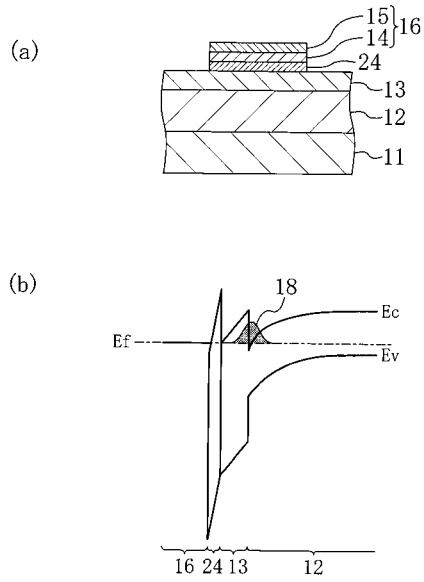
【 図 1 】



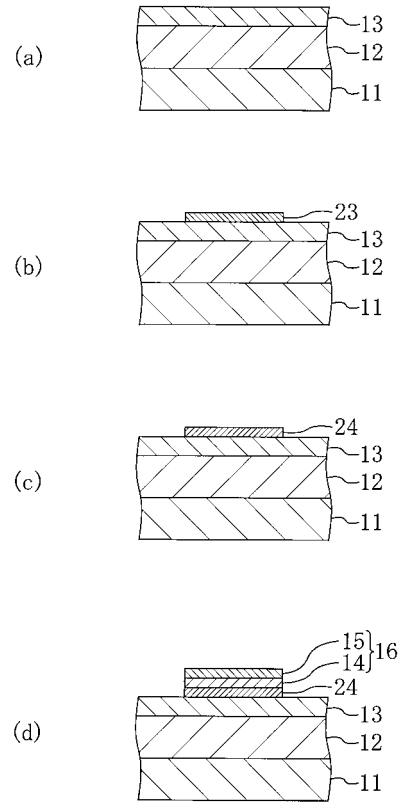
【 図 2 】



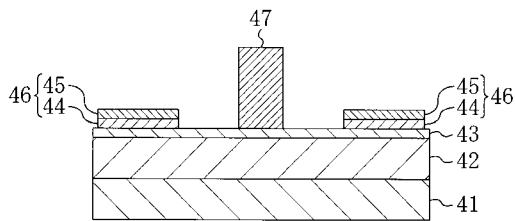
【 図 3 】



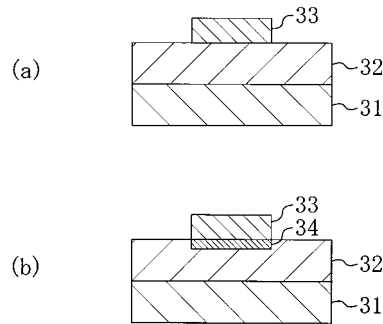
【 図 4 】



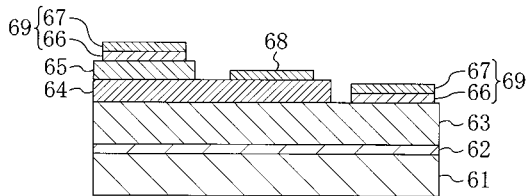
【 図 5 】



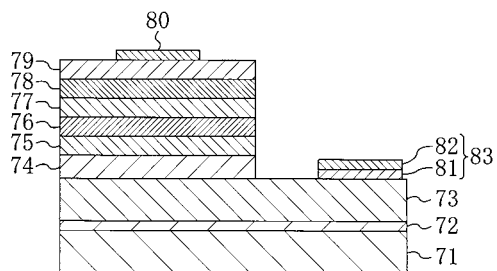
【 図 8 】



【 図 6 】



【 図 7 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup> F I テーマコード(参考)  
H 0 1 L 33/00

(74)代理人 100115691  
弁理士 藤田 篤史

(74)代理人 100117581  
弁理士 二宮 克也

(74)代理人 100117710  
弁理士 原田 智雄

(74)代理人 100121728  
弁理士 井関 勝守

(72)発明者 廣瀬 裕  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

(72)発明者 田中 毅  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

(72)発明者 上本 康裕  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

F ターム(参考) 4M104 AA04 AA07 BB06 BB23 BB35 BB36 CC01 DD21 DD29 FF13  
GG04 GG06 GG12 HH15  
5F003 BA92 BB04 BC04 BE04 BE90 BF06 BG06 BH05 BH08 BM02  
BM03 BP11 BP32  
5F041 AA24 CA05 CA34 CA40 CA46 CA84 CA87 CA92 CB11  
5F102 FA03 GB01 GC01 GD01 GJ10 GL04 GM04 GM07 GQ01 GS01  
GT03 GT05 HC01 HC15