

(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2014-208564

(P2014-208564A)

(43) 公開日 平成26年11月6日(2014.11.6)

|                                 |                 |             |
|---------------------------------|-----------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                    | F I             | テーマコード (参考) |
| <b>C 3 0 B</b> 29/38 (2006.01)  | C 3 0 B 29/38 D | 4 G 0 7 7   |
| <b>C 2 3 C</b> 16/34 (2006.01)  | C 2 3 C 16/34   | 4 K 0 3 0   |
| <b>H 0 1 L</b> 21/205 (2006.01) | H 0 1 L 21/205  | 5 F 0 4 5   |

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 19 頁)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (21) 出願番号 特願2013-183714 (P2013-183714)<br>(22) 出願日 平成25年9月5日(2013.9.5)<br>(31) 優先権主張番号 特願2012-196887 (P2012-196887)<br>(32) 優先日 平成24年9月7日(2012.9.7)<br>(33) 優先権主張国 日本国(JP)<br>(31) 優先権主張番号 特願2013-63712 (P2013-63712)<br>(32) 優先日 平成25年3月26日(2013.3.26)<br>(33) 優先権主張国 日本国(JP) | (71) 出願人 000005968<br>三菱化学株式会社<br>東京都千代田区丸の内一丁目1番1号<br>(74) 代理人 110000109<br>特許業務法人特許事務所サイクス<br>(72) 発明者 常川 高志<br>茨城県牛久市東端穴町1000番地 三菱<br>化学株式会社内<br>(72) 発明者 清見 和正<br>茨城県牛久市東端穴町1000番地 三菱<br>化学株式会社内<br>Fターム(参考) 4G077 AA03 AB01 AB02 AB06 BE15<br>DB08 EA05 EB06 ED05 ED06<br>EF03 HA02 HA06 HA12<br>最終頁に続く |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

(54) 【発明の名称】 エピタキシャルウエハ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】本発明は、キャリア濃度が低減された成長膜を有し、M面を成長主面とする耐圧性に優れたエピタキシャルウエハを提供することを課題とする。

【解決手段】本発明は、M面を成長主面とする周期表第13族金属窒化物半導体基板と、前記成長主面の面上に設けられ、周期表第13族金属窒化物半導体からなりキャリア濃度が $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるエピタキシャル成長膜とを有するエピタキシャルウエハに関する。

【選択図】なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

M面を成長主面とする周期表第 1 3 族金属窒化物半導体基板と、  
前記成長主面の面上に設けられ、周期表第 1 3 族金属窒化物半導体からなり、キャリア  
濃度が  $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  であるエピタキシャル成長膜とを有するエピタキシ  
ャルウエハ。

## 【請求項 2】

前記エピタキシャル成長膜が n 型ドーパントを含み、前記 n 型ドーパントの活性化率が  
0.7 以下である、請求項 1 に記載のエピタキシャルウエハ。

## 【請求項 3】

前記エピタキシャル成長膜の酸素濃度が  $5 \times 10^{15} \sim 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  である、請求項  
1 又は 2 に記載のエピタキシャルウエハ。

## 【請求項 4】

前記エピタキシャル成長膜の転位密度が  $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$  以下である、請求項 1 ～ 3 の  
いずれか 1 項に記載のエピタキシャルウエハ。

## 【請求項 5】

前記周期表第 1 3 族金属窒化物半導体基板の転位密度が  $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$  以下である、  
請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載のエピタキシャルウエハ。

## 【請求項 6】

前記成長主面が c 軸方向にオフ角を有する、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載のエピ  
タキシャルウエハ。

## 【請求項 7】

前記オフ角の絶対値が  $10^\circ$  以下である、請求項 6 に記載のエピタキシャルウエハ。

## 【請求項 8】

前記エピタキシャル成長膜の炭素濃度が  $1 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  である、請求項  
1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載のエピタキシャルウエハ。

## 【請求項 9】

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載したエピタキシャルウエハの製造方法であって、  
M面を成長主面とする周期表第 1 3 族金属窒化物半導体基板上に有機金属化学気相成長  
法によって周期表第 1 3 族金属窒化物半導体からなるエピタキシャル成長膜を成長させる  
成長工程を含み、

前記成長工程では、 $70 \text{ kPa}$  以下の成長圧力で前記エピタキシャル成長膜を成長させ  
るエピタキシャルウエハの製造方法。

## 【請求項 10】

前記成長工程の前に AlN 膜形成工程をさらに含む、請求項 9 に記載のエピタキシャル  
ウエハの製造方法。

## 【請求項 11】

請求項 9 または 10 に記載の製造方法により製造されるエピタキシャルウエハ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、M面を成長主面とし、周期表第 1 3 属金属窒化物半導体膜を含むエピタキシ  
ャルウエハ及びその製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来から、窒化物半導体エピタキシャルウエハの半導体材料には、窒化ガリウム (Ga  
N) 系化合物が用いられており、窒化物半導体エピタキシャルウエハは発光デバイスなど  
の様々なデバイスに使用されている。近年は、窒化物半導体エピタキシャルウエハは、発  
光デバイス用途に加え、電力用半導体素子 (パワーデバイス) にも用いられるようになって  
いる。このため、高圧力、大電流に耐え得る窒化物半導体エピタキシャルウエハの開発

10

20

30

40

50

が進められている。

#### 【0003】

従来は、窒化物半導体エピタキシャルウエハの成長膜は、C面を成長主面とした周期表第13族金属窒化物（以下、単に「第13族窒化物」と称することもある。）基板上に形成されていた。しかし、この場合、Ga<sub>2</sub>Nなどの第13族窒化物結晶の固有特性により、piezo電界の影響が大きくなり、発光素子の効率が低下するという問題があった。また、C面を成長主面とした場合、貫通転位といった結晶欠陥が発生する結果、転位密度が高くなる場合があった。

#### 【0004】

これらの問題を解決するために、C面以外の非極性面を主面としてGa<sub>2</sub>N結晶を成長させ、発光デバイスを作製することが検討されてきた。例えば、特許文献1には、M面を成長主面とした窒化物半導体基板を用いた窒化物半導体が開示されている。ここでは、M面を成長主面とした基板上に、平坦でかつ結晶欠陥が少ないエピタキシャル成長膜を形成することができるとされている。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

【特許文献1】特開2008-91488号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

しかしながら、M面を成長主面とした第13族窒化物半導体基板上に形成したエピタキシャル成長膜は、C面を成長主面とした場合と比較してドーパントとなり得る不純物を取り込み易い傾向にあることがわかった。M面上のエピタキシャル成長においてドーパントとなり得る不純物を取り込みにくいエピタキシャルウエハの製造方法は確立されていなかったため、キャリア濃度が低減された成長膜を有するエピタキシャルウエハを製造できなかった。

#### 【0007】

また、M面を成長主面とした第13族窒化物半導体基板上に形成したエピタキシャル成長膜は、酸素（O）やケイ素（Si）などのn型ドーパントとなり得る不純物、特にOを多く取り込みキャリア濃度が高くなるため、耐圧性が低くなり、逆バイアス電圧をかけた時に流れる電流（リーク電流）が大きくなる。このため、高圧力、大電流に耐えられないという課題があった。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

上記の課題を解決するために鋭意検討を行った結果、本発明者らは、特定の条件を採用することで、OやSiなどのn型ドーパントとなり得る不純物を取り込みにくく、かつ簡便にM面を成長主面とした基板上に低キャリア濃度の成長膜を成長させる方法を見出した。また、本発明者らは、M面を成長主面とした第13族窒化物半導体基板上に形成したエピタキシャル成長膜のキャリア濃度を一定範囲内に収めることにより、耐圧性の高いエピタキシャルウエハを得られることを見出した。具体的に、本発明は、以下の構成を有する。

#### 【0009】

〔1〕M面を成長主面とする周期表第13族金属窒化物半導体基板と、前記成長主面の面上に設けられ、周期表第13族金属窒化物半導体からなり、キャリア濃度が $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるエピタキシャル成長膜とを有するエピタキシャルウエハ。

〔2〕前記エピタキシャル成長膜がn型ドーパントを含み、前記n型ドーパントの活性化率が0.7以下である、〔1〕に記載のエピタキシャルウエハ。

〔3〕前記エピタキシャル成長膜の酸素濃度が $5 \times 10^{15} \sim 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である、〔1〕又は〔2〕に記載のエピタキシャルウエハ。

10

20

30

40

50

〔４〕前記エピタキシャル成長膜の転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である、〔１〕～〔３〕のいずれかに記載のエピタキシャルウエハ。

〔５〕前記周期表第１３族金属窒化物半導体基板の転位密度が $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下である、〔１〕～〔４〕のいずれかに記載のエピタキシャルウエハ。

〔６〕前記成長主面がｃ軸方向にオフ角を有する、〔１〕～〔５〕のいずれかに記載のエピタキシャルウエハ。

〔７〕前記オフ角の絶対値が $10^\circ$ 以下である、〔６〕に記載のエピタキシャルウエハ。

〔８〕前記エピタキシャル成長膜の炭素濃度が $1 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ である、〔１〕～〔７〕のいずれかに記載のエピタキシャルウエハ。

〔９〕〔１〕～〔８〕のいずれかに記載したエピタキシャルウエハの製造方法であって、  
Ｍ面を成長主面とする周期表第１３族金属窒化物半導体基板上に有機金属化学気相成長法  
によって周期表第１３族金属窒化物半導体からなるエピタキシャル成長膜を成長させる成  
長工程を含み、前記成長工程では、 $70 \text{ kPa}$ 以下の成長圧力で前記エピタキシャル成長  
膜を成長させるエピタキシャルウエハの製造方法。

10

〔１０〕前記成長工程の前にＡｌＮ膜形成工程をさらに含む、〔９〕に記載のエピタキ  
シャルウエハの製造方法。

〔１１〕〔９〕または〔１０〕に記載の製造方法により製造されるエピタキシャルウエハ  
。

#### 【発明の効果】

#### 【００１０】

20

本発明によれば、Ｍ面を成長主面とした第１３族窒化物半導体基板上に、ｎ型ドーパ  
ントとなり得る不純物を取り込みにくいエピタキシャル成長膜を有するエピタキシャルウエ  
ハとその製造方法を提供することができる。本発明では、Ｍ面を成長主面とした第１３族  
窒化物半導体基板上に、ｎ型ドーパントとなり得る不純物の濃度が低減され、キャリア濃  
度が低減されたエピタキシャル成長膜を、簡便に製造することができる。

#### 【００１１】

また、本発明によれば、Ｍ面を成長主面として第１３族窒化物半導体基板上に、 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有するエピタキシャル成長膜を成長させること  
により、耐圧性の高いエピタキシャルウエハを得ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

30

#### 【００１２】

【図１】図１は、第１３族窒化物半導体の結晶構造のユニットセルを表した模式図である  
。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【００１３】

以下において、本発明について詳細に説明する。以下に記載する構成要件の説明は、代  
表的な実施形態や具体例に基づいてなされることがあるが、本発明はそのような実施形態  
に限定されるものではない。なお、本明細書において「～」を用いて表される数値範囲は  
「～」前後に記載される数値を下限値および上限値として含む範囲を意味する。

#### 【００１４】

40

（エピタキシャルウエハ）

エピタキシャルウエハは、主として周期表第１３族金属窒化物半導体基板（以下、単に  
「第１３族窒化物半導体基板」と称することがある。）と、その基板上に設けられたエピ  
タキシャル成長膜を含む半導体積層構造を有する。本発明に係るエピタキシャルウエハは  
、第１３族窒化物半導体素子の製造に適した六方晶構造の結晶からなり、Ｍ面を成長主面  
とするエピタキシャル成長用の第１３族窒化物半導体基板と、その基板の成長主面の面上  
に形成された第１３族窒化物半導体のエピタキシャル成長膜から構成される。

#### 【００１５】

本発明の製造方法における第１３族窒化物半導体基板としては、例えば、 $\text{GaN}$ や $\text{AlN}$   
に代表される周期表第１３族金属窒化物の基板が挙げられる。また、周期表第１３族金

50

属窒化物の中でも、第13族窒化物半導体基板は、その上に成長させるエピタキシャル成長膜と同種の結晶であることが好ましい。例えば、エピタキシャル成長膜としてGa<sub>2</sub>N結晶を成長させようとしている場合は、第13族窒化物半導体基板もGa<sub>2</sub>N基板であることが好ましい。

周期表第13族金属窒化物としては、Ga<sub>2</sub>Nの他に、AlN、InN、またはこれらの混晶などを挙げることができる。混晶としては、AlGa<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>N、AlInN、AlInGa<sub>2</sub>Nなどを挙げることができる。好ましいのはGa<sub>2</sub>NおよびGaを含む混晶であり、より好ましいのはGa<sub>2</sub>Nである。

なお、第13族窒化物半導体基板として、その上に成長させるエピタキシャル成長膜と異種の結晶を含む基板を用いる場合には、異種の結晶上にその上に成長させる周期表第13族金属窒化物半導体結晶と同種の結晶からなる結晶層を形成したもの（テンプレート基板）を用いることが好ましい。

#### 【0016】

（周期表第13族金属窒化物半導体基板）

本発明に係る第13族窒化物半導体基板を構成する第13族窒化物系化合物は、図1に示すように、六方晶系の結晶構造を有している。この結晶構造において、六角柱とみなせる六方晶のc軸[0001]を法線とする面（六角柱の上面と下面）をC面[0001]と呼び、六角柱の側壁面の各々をM面{1-100}と呼ぶ。

第13族窒化物半導体では、c軸方向に対称面が存在しないため、分極方向がc軸方向に沿っている。このため、C面は、+c軸側と-c軸側とで異なる性質を示す。すなわち、+c面（(0001)面）と-c面（(000-1)面）とは幾何学的に等価な面であっても、化学的な性質は異なる。

一方、M面は、C面に対して直角な結晶面であるため、M面の法線は、分極方向に対して直交している。このため、M面は、極性のない非極性面である。なお、上述のように、六角柱の側壁面の各々がM面となるため、M面は、6種類の面方位（(1-100)、(10-10)、(01-10)、(-1100)、(-1010)、(0-110)）で示されるが、これらの面方位は、幾何学的に等価な面方位であり、化学的性質も等価であるため、これらを総称して{1-100}と示す。

#### 【0017】

本発明のエピタキシャルウエハの第13族窒化物半導体基板は、非極性面の1つであるM面を成長主面とする。M面を成長主面とする第13族窒化物半導体基板は、例えば、C面を主面としたGa<sub>2</sub>Nなどのバルク単結晶から切り出して作製することができる。切り出された基板のM面は、たとえば、化学的機械的研磨処理によって研磨され、c軸方向およびa軸方向の両方に関する方位誤差が、±1°以内、好ましくは±0.3°以内とされる。

第13族窒化物半導体基板を切り出すためのバルク単結晶は、ハイドライド気相（HVPE）法や昇華法などの気相法、液相エピタキシ（LPE）法などの液相法、アモノサーマル法などの方法で得られた結晶を用いることができる。中でも、HVPE法またはアモノサーマル法により得られた単結晶からなる第13族窒化物半導体基板が好ましい。

#### 【0018】

M面を成長主面として第13族窒化物半導体結晶の成長を行った場合、良好な結晶性を示す。M面を成長主面とすることにより、基板の主面を貫通する転位密度を低減することができるため、成長したエピタキシャル膜も貫通転位が少なく、結晶欠陥を低減したエピタキシャルウエハを得ることができる。よって、M面を結晶成長の主面とすることにより、結晶欠陥の少ない周期表13族窒化物半導体結晶の成長を行うことができ、C面を結晶成長主面とする場合よりも、結晶性を向上させることができる。

#### 【0019】

本発明における第13族窒化物半導体基板のM面は、c軸方向にオフ角を有することが好ましく、-c軸方向にオフ角を有することがより好ましい。オフ角とは、所定の低指数面からのずれを表す角度のことをいう。本発明では、成長主面のオフ角は、M面からのず

10

20

30

40

50

れを表す角度を示す。本発明では、オフ角を有する第13族窒化物半導体基板の成長主面は、M面に対して所定の角度に傾斜した面となる。

#### 【0020】

オフ角の絶対値は $0^\circ$ を超えることが好ましく、より好ましくは $2^\circ$ 以上、さらに好ましくは $4^\circ$ 以上であって、通常 $10^\circ$ 以下であることが好ましい。c軸方向のオフ角を上記範囲内となるように調整することによって、エピタキシャル成長膜へのn型ドーパントとなり得る不純物の取り込みを抑制することができる。これにより、エピタキシャルウエハの耐圧性を高めることができる。さらに、第13族窒化物半導体基板の主面のオフ角を調整することによって、エピタキシャル成長膜の表面を平坦に保つことができるため好ましい。

10

#### 【0021】

第13族窒化物半導体基板の厚みは、設計により適宜決定することができる。例えば、エピタキシャルウエハでは基板の厚みは $100\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $200\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましく、 $250\mu\text{m}$ 以上であることがさらに好ましい。また、エピタキシャルウエハでは基板の厚みは $700\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $650\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $500\mu\text{m}$ 以下であることがさらに好ましい。

#### 【0022】

第13族窒化物半導体基板の転位密度は、特に限定されることはないが、 $1\times 10^7\text{cm}^{-2}$ 以下であることが好ましく、より好ましくは $5\times 10^6\text{cm}^{-2}$ 以下、さらに好ましくは $1\times 10^6\text{cm}^{-2}$ 以下である。特に、アモノサーマル法により得られる単結晶からなる第13族窒化物半導体基板は転位密度が $1\times 10^6\text{cm}^{-2}$ 以下であるため、その上に成長させるエピタキシャル膜に伝播する転位が低減され、より高品質のエピタキシャル成長膜を得ることができるため好ましい。

20

#### 【0023】

(エピタキシャル成長膜)

本発明では、第13族窒化物半導体基板の成長主面上には、エピタキシャル成長膜が積層され、エピタキシャル成長膜は、 $1\times 10^{15}\sim 1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ のキャリア濃度を有する。本発明では、エピタキシャル成長膜に、酸素をn型ドーパントとして添加することで目的の濃度のキャリアを含有することができる。酸素をドーパントとして結晶原料に含ませるために、例えば、酸素又は水蒸気を含むガスを容器内に流通させてもよい。

30

#### 【0024】

酸素以外のn型ドーパントとしては、例えば、Si、Ge、Se、S等が挙げられる。これらの不純物は、n型ドーパントとして第13族窒化物結晶に添加され、第13族窒化物結晶中でキャリアとなる。Siは窒化ガリウム結晶において、一般的に用いられる不純物であり、好適に用いられる。

#### 【0025】

エピタキシャル成長膜のキャリア濃度は、 $1\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以上であることが好ましく、 $2\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以上であることがより好ましく、 $3\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以上であることがさらに好ましい。また、エピタキシャル成長膜のキャリア濃度は、 $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $9\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下であることがより好ましく、 $8\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下であることがより好ましく、 $5\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下であることがより好ましく、 $1\times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ 以下であることがより好ましく、 $9\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 以下であることがさらに好ましい。

40

#### 【0026】

本発明では、エピタキシャル成長膜のキャリア濃度を上記範囲内に抑えることにより、耐圧性の高いエピタキシャルウエハを得ることができる。

GaN基板を電力用半導体素子(パワーデバイス)に用いる場合、一般的に、 $600\text{V}$ でリーク電流 $1.0\times 10^{-4}\text{A}/\text{cm}^2$ 以下の耐圧性が要求される。本発明で得られるエピタキシャルウエハは $600\text{V}$ 以上の高電圧に耐えることができる。このため、本発明に係るエピタキシャルウエハはパワーデバイス等にも適用することができる。

50

## 【0027】

また、M面の成長主面上に形成されたエピタキシャルウエハは、エピタキシャル成長膜の表面の状態が平坦であり、良質なエピタキシャルウエハを得ることができる。これにより、該エピタキシャルウエハ上に更にエピタキシャル膜を成長させてデバイス構造などを形成するのに好適である。

本発明に係るエピタキシャルウエハは、高い耐圧性と、良好な表面状態を有するため、パワーデバイス等に特に好適に用いることができる。

## 【0028】

エピタキシャル成長膜の酸素濃度は、 $5 \times 10^{15} \sim 3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であることが好ましい。エピタキシャル成長膜の酸素濃度を上記範囲とすることにより、エピタキシャル成長膜のキャリア濃度を好ましい値とすることができる。これにより、エピタキシャルウエハの耐圧性を高めることができる。

また、エピタキシャル成長膜の酸素濃度は、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることがより好ましく、 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることがさらに好ましい。

## 【0029】

エピタキシャル成長膜の酸素濃度を上記範囲内とするために、エピタキシャル成長膜を成長させる反応炉内の酸素含有量を調節することができる。例えば、エピタキシャル成長膜を成長させる際に、反応炉内に酸素、酸化物又は水蒸気を共存させることができる。また、反応炉内の酸素量を制御する場合は、エピタキシャル成長膜を成長させる反応炉内にカーボングラファイトやAlNなど酸素を吸着するような部材を配置することもできる。反応炉内が酸化物からなる材料で形成される場合には、反応炉内壁を酸化物以外の化合物でコーティングしてもよい。

## 【0030】

エピタキシャル成長膜はn型ドーパントを含み、該n型ドーパントの活性化率は0.7以下であることが好ましく、0.55以下であることがより好ましく、0.4以下であることがさらに好ましい。

## 【0031】

ここで、n型ドーパントの活性化率とは、エピタキシャル成長膜中のn型ドーパント濃度に対するキャリア濃度の百分率を指している。またn型ドーパント濃度とは、酸素、ケイ素などドナーとして働き得る不純物濃度の総和を指している。キャリア濃度は膜中で不純物が結晶格子位置に正しく置換され、且つ正（負）の電荷を放出した状態（イオン化した状態）の不純物濃度を指している。

つまり活性化率が高いとは、ドーピングされたn型ドーパントがキャリアとして働く電子を放出する割合が大きいことを表しており、活性化率が低いとはその逆を指している。つまりエピタキシャル成長膜中のドーパントである不純物濃度が大きくても、n型ドーパントの活性化率を低くする事で、低キャリア濃度の成長膜を作製することができる。

## 【0032】

一般的に膜中にドナー（n型不純物）とアクセプター（p型不純物）が存在するとき、電子がドナー準位からアクセプター準位に遷移する事により、ドナー濃度よりアクセプター濃度が高い場合はn型半導体の、逆の場合はp型半導体の性質を示す。本明細書における電荷補償とはこの電子の遷移現象を指しており、n型ドーパント濃度としては、酸素やケイ素などのドナー濃度がアクセプター濃度分だけ減少した値になると考えられる。

本明細書においては、電荷補償を考慮して酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引いた数値をn型ドーパント濃度とし、その数値でキャリア濃度を除算したものを活性化率としている。

## 【0033】

エピタキシャル成長膜の転位密度は、 $1 \times 10^7 \text{ cm}^{-2}$ 以下であることが好ましく、 $1 \times 10^6 \text{ m}^{-2}$ 以下であることがより好ましく、 $1 \times 10^3 \text{ cm}^{-2}$ 以下であることがさらに好ましい。転位密度は、上記範囲内であれば、0であっても良い。転位密度を上記上限値以

10

20

30

40

50

下とすることにより、貫通転位が少ないエピタキシャル成長膜を得ることができる。また、転位密度を上記上限値以下とすることにより、結晶欠陥を低減することができ、エピタキシャルウエハの耐圧性を高めることができる。このエピタキシャル成長膜を発光デバイスに用いた場合には、良好な発光効率を得ることができる。

#### 【0034】

エピタキシャル成長膜の炭素濃度は、 $1 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であることが好ましい。炭素濃度は $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましく、 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることがより好ましく、 $8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることがさらに好ましい。また、炭素濃度は $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることが好ましく、 $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることがより好ましく、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることがより好ましく、 $9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることがさらに好ましい。エピタキシャル成長膜の炭素濃度を調節することにより、本発明ではエピタキシャル成長膜のキャリア濃度を好ましい範囲内とすることができる。

10

#### 【0035】

p型ドーパントとなり得る不純物である炭素は、エピタキシャル成長膜に含まれるn型ドーパントである酸素やケイ素などの一部をドナー補償（電荷補償）するものと考えられる。このため、上述したように、エピタキシャル成長膜に一定量の炭素を含有させることにより、エピタキシャル成長膜のキャリア濃度を上記範囲内に抑えることができる。

本発明では、p型ドーパントである炭素濃度を調節することにより、所望のキャリア濃度を有するエピタキシャル成長膜を得ることができる。

20

#### 【0036】

エピタキシャル成長膜の厚みは、キャリア濃度と厚みの相関式より適宜決定することができる。例えばキャリア濃度 $6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の場合は、エピタキシャルウエハでは基板の厚みは $2 \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。また、エピタキシャル成長膜の厚みは $10 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $8 \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $6 \mu\text{m}$ 以下であることがさらに好ましい。

#### 【0037】

（有機金属化学気相成長法）

本発明に係るエピタキシャルウエハを製造する場合には、有機金属化学気相成長法（MOCVD法）を用いることが好ましい。MOCVD法は、有機金属を原料とした化学蒸着法（CVD法）であり、基板表面に原料となるガスを供給し、化学反応により膜を堆積する方法である。MOCVD法は、結晶の膜厚や組成を精密に制御できる方法であるため好適である。

30

MOCVD法では、周期表第13族原料としてトリメチルガリウム（TMG）、トリメチルアルミニウム（TMA）、トリメチルインジウム（TMI）等を用い、窒素原料としては、アンモニア（ $\text{NH}_3$ ）等を用いて反応炉内で結晶を成長させる。

#### 【0038】

本発明に係るエピタキシャルウエハの製造方法は、M面を成長主面とする第13族窒化物半導体基板上にエピタキシャル成長膜をMOCVD法で成長させる成長工程を含む。この成長工程では、 $850 \sim 1150^\circ\text{C}$ の成長温度でエピタキシャル成長膜を成長させることが好ましい。

40

成長温度は、 $850^\circ\text{C}$ 以上であれば良く、 $900^\circ\text{C}$ 以上であることが好ましく、 $950^\circ\text{C}$ 以上であることがより好ましく、 $980^\circ\text{C}$ 以上であることがより好ましく、 $1000^\circ\text{C}$ 以上であることがさらに好ましい。また、成長温度は、 $1150^\circ\text{C}$ 以下であれば良く、 $1120^\circ\text{C}$ 以下であることが好ましく、 $1100^\circ\text{C}$ 以下であることがさらに好ましい。

#### 【0039】

本発明では、成長温度を、通常採用されるエピタキシャル成長膜の成長温度よりも高く設定し、 $850 \sim 1150^\circ\text{C}$ の範囲内としている。エピタキシャル成長膜の成長温度を通常よりも高い温度に設定することにより、炭素、酸素の取り込みを抑制する事が出来る。これによりエピタキシャル成長膜のキャリア濃度を $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲

50

内に調整することができる。これにより、耐圧性に優れたエピタキシャルウエハを得ることができる。

#### 【0040】

本発明に係るエピタキシャルウエハの製造方法の成長工程では、70 kPa以下の成長圧力でエピタキシャル成長膜を成長させることが好ましい。成長圧力は、70 kPa以下であれば良く、50 kPa以下であることが好ましく、40 kPa以下であることより好ましく、20 kPa以下であることがさらに好ましい。成長圧力を上記上限値以下とすることにより、結晶中への酸素の取り込みが抑制され、エピタキシャル成長膜のキャリア濃度を、 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内とすることができる。これにより、エピタキシャルウエハの耐圧性を高めることができる。

10

#### 【0041】

本発明に係るエピタキシャルウエハの製造方法の成長工程では、供給する窒素原料（V族原料）と周期表第13族原料（III族原料）との供給量の比率であるV/III比を、800以上としてエピタキシャル成長膜を成長させることが好ましい。V/III比は、900以上であることが好ましく、より好ましくは950以上であり、さらに好ましくは1050以上である。また、4000以下であることが好ましく、3260以下であることがより好ましく、2200以下であることがさらに好ましい。V/III比を調整することにより、エピタキシャル成長膜に取り込まれるC濃度を調整することができる。V/III比を上記上限値以下とすることによりC濃度が高くなる傾向があり電荷補償の効果が大きくなることが期待でき、上記下限値以上とすることにより膜抵抗が大きくなりすぎることを防ぐことができ、キャリア濃度を $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の範囲内とすることができるため好ましい。

20

なお、V/III比は、供給される原料ガスの流量から、原料ガスに含まれる窒素元素と第13族元素とのモル比を算出することで求められる。

#### 【0042】

MOCVD装置は、反応炉内に、下地基板、下地基板を載置するための部材、ガス供給管、排気管を備えている。

反応炉及び下地基板を載置するための部材の構成材質としては、石英、焼結体窒化ホウ素、ステンレス等が挙げられる。中でも、好ましい材質は石英である。反応炉内には、反応開始前にあらかじめ雰囲気ガスを充填しておいても良い。雰囲気ガス（キャリアガス）としては、例えば、水素、窒素、He、Ne、Arのような不活性ガス等を挙げることができる。

30

#### 【0043】

MOCVD装置を用いてエピタキシャル成長膜を成長させる際には、反応炉内に下地基板を載置するための部材を配置し、その中の一部に反応部を設ける。反応部にはサセプターを配置し、サセプター上に石英部材を配置し、その上に成長基板を配置する。サセプターの材質としては、例えば炭化珪素（SiC）、カーボン、PBN、SiCでコーティングされたカーボン等を挙げることができる。サセプターは成長室から取り外し可能であり、搬送のための基板キャリアとしても機能する。また、サセプターは、回転機構を有することが好ましい。

40

#### 【0044】

下地基板の成長面はガス流れの上流側を向くように載置することが好ましい。すなわち、ガス供給管から供給されるエピタキシャル成長膜形成用ガスが下地基板の結晶成長面に向かって流れるように載置することが好ましく、ガスが下地基板の結晶成長面に垂直な方向から流れるようにすることがより好ましい。このように基板を載置することによって、より均一で結晶性に優れた成長結晶を得ることができる。

#### 【0045】

本発明の製造方法においては、成長工程の前にAlN膜形成工程をさらに含むことが好ましい。AlN膜形成工程は、成長工程の前に反応炉内の石英部材の表面にAlNコーティングを施す工程である。AlNコーティングは、コールドスプレー法などにより、石英

50

製の部材の表面を覆うようにAlからなるコーティング原料粒子を吹き付け、AlNコーティング膜を形成することによって行われる。

本発明では、成長前にリアクター内の石英部材の表面をAlNコーティングすることにより、エピタキシャル成長膜中のOやSiなどの濃度を減らすことができる。これにより、より効果的にエピタキシャル成長膜のキャリア濃度を減らすことができる。AlNコーティングを施すことにより、耐圧性に優れたエピタキシャルウエハを得ることができる。

#### 【0046】

本発明の製造方法により、M面を成長主面とした第13族窒化物半導体基板上に、n型ドーパントとなり得る不純物を取り込みにくいエピタキシャル成長膜を製造することができる。本発明では、上述したように簡便な方法により、M面を成長主面とした第13族窒化物半導体基板上に、n型ドーパントとなり得る不純物の濃度が低減されたエピタキシャル成長膜を製造することができる。本発明の製造方法により得られたエピタキシャルウエハは、耐圧性に優れ、表面状態が平坦である。

#### 【0047】

(デバイス)

本発明の製造方法により得られたエピタキシャルウエハは、デバイス、即ち発光素子や電子デバイス、パワーデバイスなどの用途に好適に用いられる。本発明のエピタキシャルウエハが用いられる発光素子としては、発光ダイオード、レーザーダイオード、それらと蛍光体を組み合わせた発光素子などを挙げることができる。

また、本発明のエピタキシャルウエハが用いられる電子デバイスとしては、高周波素子、高耐圧高出力素子などを挙げることができる。高周波素子の例としては、トランジスター(HEMT、HBT)があり、高耐圧高出力素子の例としては、サイリスター(SCR、GTO)、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ(IGBT)、ショットキーバリアダイオード(SBD)がある。本発明のエピタキシャルウエハは、耐圧性に優れるという特徴を有することから、上記のいずれの用途にも適している。

#### 【実施例】

#### 【0048】

以下に実施例と比較例を挙げて本発明の特徴をさらに具体的に説明する。以下の実施例に示す材料、使用量、割合、処理内容、処理手順等は、本発明の趣旨を逸脱しない限り適宜変更することができる。したがって、本発明の範囲は以下に示す具体例により限定的に解釈されるべきものではない。

#### 【0049】

(実施例1)

MOCVD装置を用いて第13族窒化物半導体基板の上に、エピタキシャル成長膜を成長させた。第13族窒化物半導体基板の成長主面は、(10-10)のM面とした。反応炉内には石英製の部材を配置し、その中の一部に反応部を存在させた。反応部にはカーボン製のサセプターを配置し、サセプター上に石英製トレイを配置し、その上に第13族窒化物半導体基板を配置した。基板は抵抗加熱により加熱した。原料ガスを反応部の上流から供給し、原料ガスを基板上に到達させることによりエピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。原料はNH<sub>3</sub>流量10 l/min (slm)、TMG供給量205.8 μmol/minとし、炉内圧力は常圧(101.3 kPa)とした。成長温度は1040℃とした。

#### 【0050】

(実施例2)

サセプター温度を1200℃まで昇温させた後、10分かけて石英部材の内壁にAlNコーティングを実施した。AlNコーティングのコーティング原料はNH<sub>3</sub>流量3 l/min (slm)、TMA供給量7.86 μmol/minとし、炉内圧力は常圧(101.3 kPa)で行った。その後、実施例1と同様の条件でエピタキシャル成長膜を形成し、エピタキシャルウエハを得た。

#### 【0051】

## (実施例 3)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 2 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

## 【 0 0 5 2 】

## (実施例 4)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 4 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

## 【 0 0 5 3 】

## (実施例 5)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 2 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は 1 0 1 0 ° C とし、成長圧力は 2 0 k P a とした。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

## 【 0 0 5 4 】

## (実施例 6)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 2 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は 1 0 1 0 ° C とし、成長圧力を 6 6 . 7 k P a とした。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

## 【 0 0 5 5 】

## (実施例 7)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 2 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は 1 0 1 0 ° C とし、成長圧力を 4 0 k P a とした。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

## 【 0 0 5 6 】

## (実施例 8)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 2 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は 8 6 0 ° C とし、成長圧力を 4 0 k P a とした。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

## 【 0 0 5 7 】

## (実施例 9)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 4 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は 1 0 1 0 ° C とし、成長圧力を 4 0 k P a とした。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

## 【 0 0 5 8 】

## (実施例 1 0)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 1 0 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は 1 0 1 0 ° C とし、成長圧力を 4 0 k P a とした。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

## 【 0 0 5 9 】

## (実施例 1 1)

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面

10

20

30

40

50

とし、オフ角度が(000-1)方向に2°である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は1010℃とし、成長圧力を常圧(101.3 kPa)とした。その他の成長条件は実施例1と同様とした。

【0060】

(実施例12)

実施例2と同様にAlNコーティングを実施した。基板の主面を(10-10)のM面とし、オフ角度が(000-1)方向に4°である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は1100℃とし、成長圧力を12.5 kPaとした。その他の成長条件は実施例1と同様とした。

【0061】

(実施例13)

実施例2と同様にAlNコーティングを実施した。基板の主面を(10-10)のM面とし、オフ角度が(000-1)方向に4°である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は1070℃とし、成長圧力を12.5 kPaとした。その他の成長条件は実施例1と同様とした。

【0062】

(実施例14)

実施例2と同様にAlNコーティングを実施した。基板の主面を(10-10)のM面とし、オフ角度が(000-1)方向に4°である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は1040℃とし、成長圧力を12.5 kPaとした。その他の成長条件は実施例1と同様とした。

【0063】

(実施例15)

実施例2と同様にAlNコーティングを実施した。基板の主面を(10-10)のM面とし、オフ角度が(000-1)方向に4°である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は1010℃とし、成長圧力を12.5 kPaとした。その他の成長条件は実施例1と同様とした。

【0064】

(実施例16)

実施例2と同様にAlNコーティングを実施した。基板の主面を(10-10)のM面とし、オフ角度が(000-1)方向に4°である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は1010℃とし、成長圧力を12.5 kPaとした。NH<sub>3</sub>流量は15 l/min (slm)とした。その他の成長条件は実施例1と同様とした。

【0065】

(実施例17)

実施例2と同様にAlNコーティングを実施した。基板の主面を(10-10)のM面とし、オフ角度が(000-1)方向に4°である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は1010℃とし、成長圧力を12.5 kPaとした。NH<sub>3</sub>流量は5 l/min (slm)とした。その他の成長条件は実施例1と同様とした。

【0066】

(実施例18)

実施例2と同様にAlNコーティングを実施した。基板の主面を(10-10)のM面とし、オフ角度が(000-1)方向に2°である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は1010℃とし、成長圧力を40 kPaとした。TMG供給量205.8 μmol/minとした。その他の成長条件は実施例1と同様とした。

【0067】

(比較例1)

10

20

30

40

50

実施例 2 と同様に A l N コーティングを実施した。基板の主面を ( 1 0 - 1 0 ) の M 面とし、オフ角度が ( 0 0 0 - 1 ) 方向に 4 ° である窒化ガリウム基板を準備し、エピタキシャル成長膜を成長させ、エピタキシャルウエハを得た。成長温度は 1 0 1 0 °C とし、成長圧力を 1 2 . 5 k P a とした。N H <sub>3</sub> 流量は 2 l / m i n ( s l m ) とした。その他の成長条件は実施例 1 と同様とした。

【 0 0 6 8 】

【表 1】

|       | 条件 |            |     |              |                               |                  |                                         | 結果            |                             |                             |                             |                               |      |       |
|-------|----|------------|-----|--------------|-------------------------------|------------------|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------|-------|
|       | 基板 | オフ角<br>(°) | コート | 成長温度<br>(°C) | NH <sub>3</sub> 流量<br>(l/min) | TMG供給量<br>(μmol) | V/III比<br>(NH <sub>3</sub> mol/TMG mol) | 成長圧力<br>(kPa) | 酸素濃度<br>(cm <sup>-3</sup> ) | 炭素濃度<br>(cm <sup>-3</sup> ) | Si濃度<br>(cm <sup>-3</sup> ) | キャリア濃度<br>(cm <sup>-3</sup> ) | 活性化率 | 表面状態  |
| 実施例1  | M面 | 0          | 無し  | 1040         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 常圧(101.3)     | 2.8×10 <sup>17</sup>        | 2.5×10 <sup>15</sup>        | —                           | 9.7×10 <sup>16</sup>          | 0.34 | 荒れ    |
| 実施例2  | M面 | 0          | AIN | 1040         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 常圧(101.3)     | 1.3×10 <sup>17</sup>        | 1.4×10 <sup>15</sup>        | —                           | 5.4×10 <sup>16</sup>          | 0.39 | 荒れ    |
| 実施例3  | M面 | -2         | AIN | 1040         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 常圧(101.3)     | 4.0×10 <sup>16</sup>        | 1.7×10 <sup>15</sup>        | 8.9×10 <sup>15</sup>        | —                             | —    | 平坦(粒) |
| 実施例4  | M面 | -4         | AIN | 1040         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 常圧(101.3)     | 2.7×10 <sup>16</sup>        | 2.2×10 <sup>15</sup>        | 1.3×10 <sup>16</sup>        | —                             | —    | 平坦(粒) |
| 実施例5  | M面 | -2         | AIN | 1010         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 20            | 3.3×10 <sup>16</sup>        | 2.6×10 <sup>15</sup>        | 1.1×10 <sup>16</sup>        | 1.8×10 <sup>16</sup>          | 0.43 | 平坦    |
| 実施例6  | M面 | -2         | AIN | 1010         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 66.7          | 5.5×10 <sup>16</sup>        | 2.9×10 <sup>15</sup>        | 1.2×10 <sup>16</sup>        | 5.4×10 <sup>16</sup>          | 0.84 | 平坦    |
| 実施例7  | M面 | -2         | AIN | 1010         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 40            | 3.2×10 <sup>16</sup>        | 1.6×10 <sup>15</sup>        | 1.6×10 <sup>16</sup>        | 2.9×10 <sup>16</sup>          | 0.63 | 平坦    |
| 実施例8  | M面 | -2         | AIN | 860          | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 40            | 8.7×10 <sup>16</sup>        | 2.1×10 <sup>16</sup>        | 1.2×10 <sup>16</sup>        | 2.5×10 <sup>16</sup>          | 0.32 | 平坦    |
| 実施例9  | M面 | -4         | AIN | 1010         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 40            | 2.3×10 <sup>16</sup>        | 1.7×10 <sup>15</sup>        | —                           | 1.3×10 <sup>16</sup>          | 0.42 | 平坦    |
| 実施例10 | M面 | -10        | AIN | 1010         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 40            | 2.0×10 <sup>16</sup>        | 1.4×10 <sup>15</sup>        | —                           | 7.2×10 <sup>15</sup>          | 0.25 | 平坦(良) |
| 実施例11 | M面 | -2         | AIN | 1010         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 常圧(101.3)     | —                           | —                           | —                           | 8.0×10 <sup>16</sup>          | —    | 平坦    |
| 実施例12 | M面 | -4         | AIN | 1100         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 12.5          | 1.5×10 <sup>16</sup>        | 2.2×10 <sup>15</sup>        | 1.0×10 <sup>16</sup>        | 5.0×10 <sup>15</sup>          | 0.22 | やや荒れ  |
| 実施例13 | M面 | -4         | AIN | 1070         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 12.5          | —                           | —                           | —                           | 5.4×10 <sup>15</sup>          | —    | 少々荒れ  |
| 実施例14 | M面 | -4         | AIN | 1040         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 12.5          | —                           | —                           | —                           | 1.1×10 <sup>16</sup>          | —    | 平坦    |
| 実施例15 | M面 | -4         | AIN | 1010         | 10                            | 205.8            | 2169                                    | 12.5          | 2.2×10 <sup>16</sup>        | 3.0×10 <sup>15</sup>        | 9.1×10 <sup>15</sup>        | 8.6×10 <sup>15</sup>          | 0.31 | 平坦    |
| 実施例16 | M面 | -4         | AIN | 1010         | 15                            | 205.8            | 3254                                    | 12.5          | 2.5×10 <sup>16</sup>        | 2.4×10 <sup>15</sup>        | 9.4×10 <sup>15</sup>        | 1.1×10 <sup>16</sup>          | 0.34 | 平坦    |
| 実施例17 | M面 | -4         | AIN | 1010         | 5                             | 205.8            | 1085                                    | 12.5          | 2.3×10 <sup>16</sup>        | 6.5×10 <sup>15</sup>        | 4.9×10 <sup>15</sup>        | 6.8×10 <sup>15</sup>          | 0.32 | 平坦    |
| 実施例18 | M面 | -2         | AIN | 1010         | 10                            | 411.3            | 1085                                    | 40            | 4.6×10 <sup>16</sup>        | 3.9×10 <sup>15</sup>        | —                           | 2.9×10 <sup>16</sup>          | 0.56 | 平坦    |
| 比較例1  | M面 | -4         | AIN | 1010         | 2                             | 205.8            | 434                                     | 12.5          | 2.9×10 <sup>16</sup>        | 3.8×10 <sup>16</sup>        | 1.1×10 <sup>16</sup>        | 測定不可                          | —    | 平坦    |

【0069】

表1に示すような条件でエピタキシャル成長膜を成長させ、各実施例及び比較例のエピタキシャルウエハを得た。

## 【0070】

実施例1は、キャリア濃度が $9.7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $2.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $2.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.34であった。活性化率は酸素濃度と推定されるSi濃度( $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態はやや荒れていたが、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例2は、キャリア濃度が $5.4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $1.3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $1.4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.39であった。活性化率は酸素濃度と推定されるSi濃度( $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態はやや荒れていたが、耐圧性は良好であると考えられる。AlNコーティングを行うことにより、実施例1よりも低いキャリア濃度を得ることができた。

実施例1と2を比較すると、AlNコーティングを行った場合には酸素濃度が低減し、低キャリア濃度となることがわかる。

## 【0071】

実施例3は、酸素濃度は $4.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $1.7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $8.9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であったことから、キャリア濃度は $5.4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であると考えられる。表面状態は平坦であり、耐圧性は良好であると考えられる。AlNコーティングを行い、さらにオフ角を $-2^\circ$ とすることにより、より低いキャリア濃度を得ることができる。また、表面状態も良好であった。

実施例4は、酸素濃度は $2.7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $2.2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $1.3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であったことから、キャリア濃度は $5.4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満であると考えられる。表面状態は平坦であり、耐圧性は良好であると考えられる。AlNコーティングを行い、さらにオフ角を $-4^\circ$ とすることにより、より低いキャリア濃度を得ることができる。また、表面状態も良好であった。

実施例2～4を比較すると、オフ角の絶対値が大きいほど酸素濃度が低減していることから、低キャリア濃度となっていると考えられる。

## 【0072】

実施例7は、キャリア濃度が $2.9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $3.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $1.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $1.6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.63であった。活性化率は酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦であった。また、耐圧性は良好であると考えられる。AlNコーティングを行い、さらにオフ角を $-2^\circ$ とし、成長圧力を40kPaとすることにより、より低いキャリア濃度を得ることができた。また、表面状態も極めて良好であった。

実施例9は、キャリア濃度が $1.3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $2.3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $1.7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.42であった。活性化率は酸素濃度と推定されるSi濃度( $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦であり、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例10は、キャリア濃度が $7.2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $2.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $1.4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.25であった。活性化率は酸素濃度と推定されるSi濃度( $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦(良好)であり、耐圧性は良好であると考えられる。

また、実施例7と実施例9と実施例10を比較すると、オフ角の絶対値が大きいほど酸素濃度が低減し、低キャリア濃度となることがわかる。また、また、実施例7、9、10を比較すると、オフ角の絶対値が大きいほど活性化率も小さくなっている事が分かる。すなわちオフ角の絶対値を大きくするほど、酸素濃度、及び活性化率が低減し、低キャリア濃度となることがわかる。

## 【0073】

実施例5は、キャリア濃度が $1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $3.3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $2.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $1.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.43であった。活性化率は酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦であった。また、耐圧性は良好であると考えられる。AlNコーティングを行い、さらにオフ角を $-2^\circ$ とし、成長圧力を20 kPaとすることにより、より低いキャリア濃度を得ることができた。また、表面状態も極めて良好であった。

実施例6は、キャリア濃度が $5.4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $5.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $2.9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $1.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.84であった。活性化率は酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦であった。また、耐圧性は良好であると考えられる。AlNコーティングを行い、さらにオフ角を $-2^\circ$ とし、成長圧力を66.7 kPaとすることにより、より低いキャリア濃度を得ることができた。また、表面状態も極めて良好であった。また、表面状態も極めて良好であった。

また、実施例11は、キャリア濃度が $8.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。表面状態は平坦であり、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例5、6、7、11を比較すると、成長圧力が低い方が活性化率が低くなり、低キャリア濃度となることがわかる。

## 【0074】

実施例8は、キャリア濃度が $2.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $8.7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $2.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $1.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.32であった。活性化率は酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦であった。また、耐圧性は良好であると考えられる。AlNコーティングを行い、さらにオフ角を $-2^\circ$ とし、成長圧力を40 kPaとすることにより、より低いキャリア濃度を得ることができた。

実施例7と8を比較すると、成長温度が特に低い範囲においては、低い方が、炭素濃度が高くなっていることがわかる。さらに、成長温度が低い方が、酸素濃度が大幅に高くなっているにもかかわらず、キャリア濃度はそれほど上昇していないことから、結晶中に取り込まれた炭素がp型ドーパントとして働き、電荷補償が進むことがわかる。

## 【0075】

実施例12は、キャリア濃度が $5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $2.2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.22であった。活性化率は酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態やや荒れていたが、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例13は、キャリア濃度が $5.4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。表面状態少々荒れていたが、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例14は、キャリア濃度が $1.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。表面状態は平坦であり、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例15は、キャリア濃度が $8.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $2.2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $3.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $9.1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.31であった。活性化率は酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦であり、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例12～15を比較すると、成長温度が低い方が、表面状態が良化する傾向となることがわかる。成長温度が比較的高い範囲においては、成長温度を上げると、酸素濃度および炭素濃度ともに減少する傾向にあり、その結果キャリア濃度が低くなることがわかる。

また、エピタキシャル成長膜中の不純物全体の濃度が減少しているため、結晶性が向上していると推察される。

【0076】

実施例16は、キャリア濃度が $1.1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $2.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $2.4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $9.4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.34であった。活性化率は酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦であり、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例17は、キャリア濃度が $6.8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $2.3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $6.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、Si濃度は $4.9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.32であった。活性化率は酸素濃度とSi濃度を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。表面状態は平坦であり、耐圧性は良好であると考えられる。

実施例18は、キャリア濃度が $2.9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であり、酸素濃度は $4.6 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $3.9 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ であった。活性化率は0.56であった。活性化率は酸素濃度と推定されるSi濃度( $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )を加えた数値から炭素濃度を引き、その数値でキャリア濃度を除算したものを示している。

実施例16、17、及び7、18を比較すると、V/I I I比を低くする事で活性化率が低くなることがわかる。

【0077】

一方、比較例1は、キャリア濃度は、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ を下回り測定不可であり、酸素濃度は $2.9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 、炭素濃度は $3.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ であった。このことより、十分な導電性が得られないと考えられる。

実施例15～17、比較例1を比較すると、実施例16、15、17、比較例1の順にV/I I I比が減少しており、V/I I I比が小さい方が酸素濃度が低減、炭素濃度が増大し、その結果キャリア濃度が低くなることがわかる。

【産業上の利用可能性】

【0078】

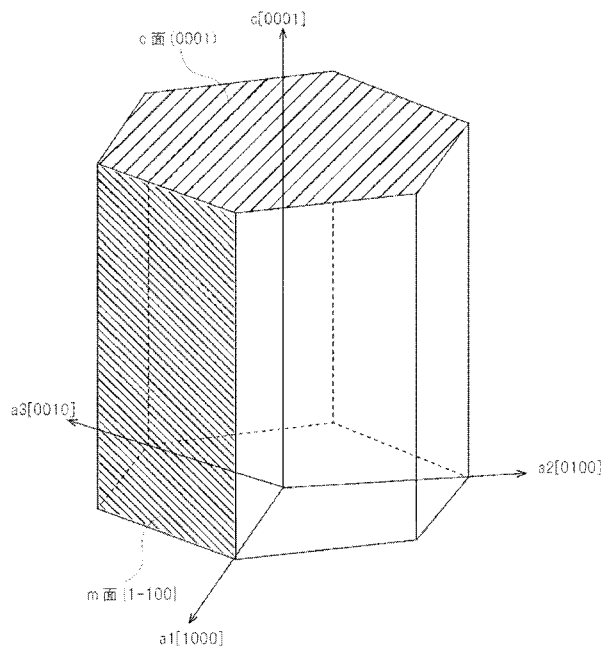
本発明によれば、高耐圧性を有するエピタキシャルウエハを提供することができる。このため、本発明はパワーデバイス等の様々なデバイスに応用することができ、産業上の利用可能性が高い。

10

20

30

【図 1】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 4K030 AA11 AA13 BA08 BA38 BB02 CA04 CA12 DA06 FA10 JA09  
5F045 AA04 AB09 AB14 AC08 AC12 AD12 AD14 AD16 AE25 AE29  
AF04 AF13 BB16 EE12