

(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2019-12826

(P2019-12826A)

(43) 公開日 平成31年1月24日 (2019.1.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 L 21/20 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/20	4 G O 7 7
<b>C 3 O B 29/38 (2006.01)</b>	C 3 O B 29/38	D 4 M 1 1 8
<b>H O 1 L 21/76 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/76	L 5 F O 3 2
<b>H O 1 L 27/146 (2006.01)</b>	H O 1 L 27/146	C 5 F 1 4 O
<b>H O 1 L 21/336 (2006.01)</b>	H O 1 L 29/78 3 O 1 B	5 F 1 5 2
審査請求 未請求 請求項の数 59 O L (全 25 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2018-120352 (P2018-120352)	(71) 出願人	301023238
(22) 出願日	平成30年6月26日 (2018. 6. 26)		国立研究開発法人物質・材料研究機構
(31) 優先権主張番号	特願2017-128960 (P2017-128960)		茨城県つくば市千現一丁目2番地1
(32) 優先日	平成29年6月30日 (2017. 6. 30)	(72) 発明者	生田目 俊秀
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内
(出願人による申告) 平成28年度、文部科学省、科学技術試験研究委託事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(72) 発明者	色川 芳宏
			茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内
		(72) 発明者	三石 和貴
			茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内
		(72) 発明者	木本 浩司
			茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内
		最終頁に続く	

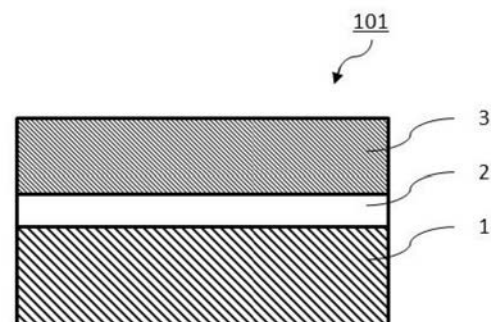
(54) 【発明の名称】 ガリウム窒化物半導体基板、ガリウム窒化物半導体装置、撮像素子およびそれらの製造方法

## (57) 【要約】

【課題】素子間リーク電流や素子間抵抗、容量の問題の少ない半導体装置を製造するのに好適で結晶欠陥の少ない高品質なガリウム窒化物半導体基板、ガリウム窒化物半導体装置の提供。

【解決手段】GaN単結晶上にガリウム酸化膜およびGaN膜が順次積層された半導体基板またはその半導体基板構成による半導体装置であって、ガリウム酸化膜はGaN単結晶の結晶格子と面内格子定数aが整合したガリウム酸化物結晶を50体積%以上100体積%以下含む。

【選択図】図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 の GaN (窒化ガリウム) の単結晶上に、ガリウム酸化物結晶の膜および第 2 の GaN が順次積層された、ガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 2】

前記第 1 の GaN はウルツ鉱構造の単結晶である、請求項 1 記載のガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 3】

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の GaN の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

10

## 【請求項 4】

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の GaN の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 5】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 6】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

20

## 【請求項 7】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 8】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

30

## 【請求項 9】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 10】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 11】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

40

## 【請求項 12】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 13】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 70 体積% 以上 90 体積% 以下、 $Ga_2O_3$  を 10 体積% 以上 30 体積% 以下含む、請求項 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

## 【請求項 14】

50

前記ガリウム酸化物結晶の結晶面が前記第 1 の GaN の結晶面に揃えて配列されている、請求項 1 から 13 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板。

【請求項 15】

前記ガリウム酸化物結晶の膜は、 $Ga_2O_3$  または  $Ga_2O_3$  の群から選ばれる少なくとも何れか 1 を含む、請求項 14 記載のガリウム窒化物半導体基板。

【請求項 16】

第 1 の GaN の単結晶上にガリウム酸化物結晶の膜および第 2 の GaN が順次積層され、前記第 2 の GaN を半導体層とした、ガリウム窒化物半導体装置。

【請求項 17】

前記第 1 の GaN はウルツ鉱構造の単結晶である、請求項 16 記載のガリウム窒化物半導体装置。

10

【請求項 18】

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の GaN の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を 50 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項 19】

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の GaN の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を 70 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項 20】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を 50 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

20

【請求項 21】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を 50 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項 22】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を 50 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

30

【請求項 23】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項 24】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項 25】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

40

【請求項 26】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 50 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項 27】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 70 体積%以上 100 体積%以下含む、請求項 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項 28】

50

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$ を70体積%以上90体積%以下、 $Ga_2O_3$ を10体積%以上30体積%以下含む、請求項16または17記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項29】

前記ガリウム酸化物結晶の結晶面が前記第1のGaNの結晶面に揃えて配列されている、請求項16から28の何れか1記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項30】

前記第2のGaNに前記ガリウム酸化物結晶の膜に達する素子分離絶縁層が形成されている、請求項16から29の何れか1記載のガリウム窒化物半導体装置。

【請求項31】

第1のGaNの単結晶上にガリウム酸化物結晶の膜および第2のGaNが順次積層されて前記第2のGaNを半導体層とした撮像素子であって、

前記第1のGaNに開口が形成され、

前記第2のGaNにフォトダイオードが形成された、撮像素子。

【請求項32】

前記第1のGaNはウルツ鉱構造の単結晶である、請求項31記載の撮像素子。

【請求項33】

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第1のGaNの単結晶の結晶格子と面内格子定数aが整合したガリウム酸化物結晶を50体積%以上100体積%以下含む、請求項31または32記載の撮像素子。

【請求項34】

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第1のGaNの単結晶の結晶格子と面内格子定数aが整合したガリウム酸化物結晶を70体積%以上100体積%以下含む、請求項31または32記載の撮像素子。

【請求項35】

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、請求項31または32記載の撮像素子。

【請求項36】

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、請求項31または32記載の撮像素子。

【請求項37】

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、請求項31または32記載の撮像素子。

【請求項38】

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を70体積%以上100体積%以下含む、請求項31または32記載の撮像素子。

【請求項39】

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を70体積%以上100体積%以下含む、請求項31または32記載の撮像素子。

【請求項40】

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を70体積%以上100体積%以下含む、請求項31または32記載の撮像素子。

【請求項41】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$ を50体積%以上100体積%以下含む、

10

20

30

40

50

請求項 3 1 または 3 2 記載の撮像素子。

【請求項 4 2】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 7 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 3 1 または 3 2 記載の撮像素子。

【請求項 4 3】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 7 0 体積 % 以上 9 0 体積 % 以下、 $Ga_2O_3$  を 1 0 体積 % 以上 3 0 体積 % 以下含む、請求項 3 1 または 3 2 記載の撮像素子。

【請求項 4 4】

前記ガリウム酸化物結晶の結晶面が前記第 1 の  $GaN$  の結晶面に揃えて配列されている、請求項 3 1 から 4 3 の何れか 1 記載の撮像素子。

10

【請求項 4 5】

$GaN$  単結晶基板 ( $GaN(0001)$ ) 上にガリウム酸化物結晶の膜を形成するガリウム酸化物結晶膜形成工程と、

前記ガリウム酸化物結晶の膜上に  $GaN$  膜を形成する  $GaN$  形成工程からなる、ガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 4 6】

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の  $GaN$  の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を 5 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 4 7】

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の  $GaN$  の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を 7 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

20

【請求項 4 8】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0 . 2 8 nm 以上 0 . 3 4 nm 以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を 5 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 4 9】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0 . 2 8 nm 以上 0 . 3 4 nm 以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を 5 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

30

【請求項 5 0】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0 . 2 8 nm 以上 0 . 3 4 nm 以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を 5 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 5 1】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0 . 2 8 nm 以上 0 . 3 4 nm 以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を 7 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 5 2】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0 . 2 8 nm 以上 0 . 3 4 nm 以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を 7 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

40

【請求項 5 3】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が 0 . 2 8 nm 以上 0 . 3 4 nm 以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を 7 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

【請求項 5 4】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 5 0 体積 % 以上 1 0 0 体積 % 以下含む、請求項 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

50

## 【請求項 55】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 70 体積 % 以上 100 体積 % 以下含む、請求項 45 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

## 【請求項 56】

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$  を 70 体積 % 以上 90 体積 % 以下、 $Ga_2O_3$  を 10 体積 % 以上 30 体積 % 以下含む、請求項 45 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

## 【請求項 57】

前記ガリウム酸化物結晶の結晶面が前記 GaN 単結晶基板の結晶面に揃えて配列されている、請求項 45 から 56 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

10

## 【請求項 58】

請求項 1 から 15 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板、または請求項 45 から 57 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法によって製造されたガリウム窒化物半導体基板を用いて製造する、ガリウム窒化物半導体装置の製造方法。

## 【請求項 59】

請求項 1 から 15 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板、または請求項 45 から 57 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法によって製造されたガリウム窒化物半導体基板を用いて製造する、撮像素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

20

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ガリウム窒化物半導体基板、ガリウム窒化物半導体装置、撮像素子およびそれらの製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、高性能パワー半導体装置の需要が高まり、それに伴ってバンドギャップが広い半導体を用いた半導体装置の開発が精力的に進められている。その中でも特に、GaN 半導体が注目を集めている（特許文献 1 参照）。

GaN は、バンドギャップが 3.4 eV であり、Si や GaAs と比較して 2 倍以上の飽和電子速度 ( $V_{sat}$ ) と、Si の約 10 倍、GaAs の約 7.5 倍の絶縁破壊電界強度 ( $E_c$ ) を有する。半導体を用いた高周波・高出力増幅器の性能を比較する指標としてよく用いられる  $V_{sat} \cdot E_c / 2$  で表される Johnson 指数で比較すると、GaN は、Si と比較して約 27 倍、GaAs と比較しても約 15 倍の大きさであり、これらのことから GaN は圧倒的な優位性を有する半導体と認識されている。

30

## 【0003】

このように高い性能を有する GaN 半導体であるが、それを集積度の高い回路に用いたときには様々な問題がある。

その問題の一つは、素子間のリーク電流や素子間寄生抵抗、寄生容量である。高集積回路の問題としてよく知られている平面的な微細化によるリーク電流、素子間の寄生抵抗や寄生容量に加え、パワー半導体では高い電圧、高い電界が加わるため、素子間のリーク電流や素子間寄生抵抗、容量が従来の集積回路以上に問題となる。

40

## 【0004】

素子間リーク電流や素子間寄生抵抗の問題を解決する方法として SOI (Semiconductor on Insulator) 技術が知られている。SOI は、絶縁体層の上に薄膜の半導体層が形成された構造の半導体であり、素子間を絶縁層で電氣的に十分に隔離することができる。

## 【0005】

窒化ガリウム半導体に対して SOI 技術を適用した例としては特許文献 2 が挙げられる。ここで、特許文献 2 の SOI は、シリコン基板上に  $SiO_2$  からなる絶縁膜を形成し、

50

その上に  $\text{SiO}_2$  側から  $\text{AlN}$  層、 $\text{GaN}$  層、 $\text{AlGaN}$  層からなるヘテロ接合のガリウム窒化物半導体層が形成されたものである。

【0006】

特許文献2に記載のSOIガリウム窒化物半導体は、ヘテロ接合のガリウム窒化物半導体層でありその用途に限定されるということと、多数の層からなり製造工程が複雑になることと、結晶欠陥を含めた欠陥の少ない高品質なガリウム窒化物半導体を得るのが難しいという問題があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

10

【特許文献1】特開2013-67556号公報

【特許文献2】特開2008-34411号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明が解決する課題は、素子間リーク電流や素子間寄生抵抗、容量の問題の少ない半導体装置を製造するのに好適で結晶欠陥の少ない高品質なガリウム窒化物半導体基板、ガリウム窒化物半導体装置およびそれらの製造方法を提供することである。より詳細に述べると、本発明の目的は、素子間リーク電流や素子間寄生抵抗、容量の問題の少ない半導体装置を製造するのに好適なSOI構造で結晶欠陥の少ない高品質なGaNからなるガリウム窒化物半導体基板、ガリウム窒化物半導体装置、撮像素子およびそれらの製造方法を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の構成を下記に示す。

(構成1)

第1のGaN(窒化ガリウム)の単結晶上に、ガリウム酸化物結晶の膜および第2のGaNが順次積層された、ガリウム窒化物半導体基板。

(構成2)

前記第1のGaNはウルツ鉱構造の単結晶である、構成1記載のガリウム窒化物半導体基板。

30

(構成3)

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第1のGaNの単結晶の結晶格子と面内格子定数aが整合したガリウム酸化物結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成1または2記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成4)

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第1のGaNの単結晶の結晶格子と面内格子定数aが整合したガリウム酸化物結晶を70体積%以上100体積%以下含む、構成1または2記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成5)

40

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成1または2記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成6)

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成1または2記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成7)

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成1

50

または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 8)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 9)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 10)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 11)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 12)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 13)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を 70 体積% 以上 90 体積% 以下、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を 10 体積% 以上 30 体積% 以下含む、構成 1 または 2 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 14)

前記ガリウム酸化物結晶の結晶面が前記第 1 の  $\text{GaN}$  の結晶面に揃えて配列されている、構成 1 から 13 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 15)

前記ガリウム酸化物結晶の膜は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  または  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  の群から選ばれる少なくとも何れか 1 を含む、構成 14 記載のガリウム窒化物半導体基板。

(構成 16)

第 1 の  $\text{GaN}$  の単結晶上にガリウム酸化物結晶の膜および第 2 の  $\text{GaN}$  が順次積層され、前記第 2 の  $\text{GaN}$  を半導体層とした、ガリウム窒化物半導体装置。

(構成 17)

前記第 1 の  $\text{GaN}$  はウルツ鉱構造の単結晶である、構成 16 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 18)

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の  $\text{GaN}$  の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 19)

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の  $\text{GaN}$  の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を 70 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 20)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 16 または 17 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 21)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を 50 体積% 以上 100 体積% 以下含む、構成 16 または 17

10

20

30

40

50



記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 2 2)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28 \text{ nm}$  以上  $0.34 \text{ nm}$  以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を  $50$  体積%以上  $100$  体積%以下含む、構成 1 6 または 1 7 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 2 3)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28 \text{ nm}$  以上  $0.34 \text{ nm}$  以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を  $70$  体積%以上  $100$  体積%以下含む、構成 1 6 または 1 7 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 2 4)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28 \text{ nm}$  以上  $0.34 \text{ nm}$  以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を  $70$  体積%以上  $100$  体積%以下含む、構成 1 6 または 1 7 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 2 5)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28 \text{ nm}$  以上  $0.34 \text{ nm}$  以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を  $70$  体積%以上  $100$  体積%以下含む、構成 1 6 または 1 7 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 2 6)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を  $50$  体積%以上  $100$  体積%以下含む、構成 1 6 または 1 7 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 2 7)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を  $70$  体積%以上  $100$  体積%以下含む、構成 1 6 または 1 7 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 2 8)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を  $70$  体積%以上  $90$  体積%以下、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を  $10$  体積%以上  $30$  体積%以下含む、構成 1 6 または 1 7 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 2 9)

前記ガリウム酸化物結晶の結晶面が前記第 1 の  $\text{GaN}$  の結晶面に揃えて配列されている、構成 1 6 から 2 8 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 3 0)

前記第 2 の  $\text{GaN}$  に前記ガリウム酸化物結晶の膜に達する素子分離絶縁層が形成されている、構成 1 6 から 2 9 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体装置。

(構成 3 1)

第 1 の  $\text{GaN}$  の単結晶上にガリウム酸化物結晶の膜および第 2 の  $\text{GaN}$  が順次積層されて前記第 2 の  $\text{GaN}$  を半導体層とした撮像素子であって、

前記第 1 の  $\text{GaN}$  に開口が形成され、

前記第 2 の  $\text{GaN}$  にフォトダイオードが形成された、撮像素子。

(構成 3 2)

前記第 1 の  $\text{GaN}$  はウルツ鉱構造の単結晶である、構成 3 1 記載の撮像素子。

(構成 3 3)

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の  $\text{GaN}$  の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を  $50$  体積%以上  $100$  体積%以下含む、構成 3 1 または 3 2 記載の撮像素子。

(構成 3 4)

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第 1 の  $\text{GaN}$  の単結晶の結晶格子と面内格子定数  $a$  が整合したガリウム酸化物結晶を  $70$  体積%以上  $100$  体積%以下含む、構成 3 1 または 3 2 記載の撮像素子。

(構成 3 5)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28 \text{ nm}$  以上  $0.34 \text{ nm}$  以下の六

10

20

30

40

50

方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

(構成36)

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

(構成37)

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

10

(構成38)

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を70体積%以上100体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

(構成39)

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を70体積%以上100体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

(構成40)

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を70体積%以上100体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

20

(構成41)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$ を50体積%以上100体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

(構成42)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$ を70体積%以上100体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

(構成43)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $Ga_2O_3$ を70体積%以上90体積%以下、 $Ga_2O_3$ を10体積%以上30体積%以下含む、構成31または32記載の撮像素子。

30

(構成44)

前記ガリウム酸化物結晶の結晶面が前記第1のGaNの結晶面に揃えて配列されている、構成31から43の何れか1記載の撮像素子。

(構成45)

GaN単結晶基板(GaN(0001))上にガリウム酸化物結晶の膜を形成するガリウム酸化物結晶膜形成工程と、

前記ガリウム酸化物結晶の膜上にGaN膜を形成するGaN形成工程からなる、ガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成46)

40

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第1のGaNの単結晶の結晶格子と面内格子定数aが整合したガリウム酸化物結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成45記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成47)

前記ガリウム酸化物結晶は、前記第1のGaNの単結晶の結晶格子と面内格子定数aが整合したガリウム酸化物結晶を70体積%以上100体積%以下含む、構成45記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成48)

前記ガリウム酸化物結晶は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を50体積%以上100体積%以下含む、構成45記載のガリ

50

ウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 4 9)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を  $50\text{ 体積}\%$  以上  $100\text{ 体積}\%$  以下含む、構成 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 0)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を  $50\text{ 体積}\%$  以上  $100\text{ 体積}\%$  以下含む、構成 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 1)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の六方晶の酸化ガリウムの結晶を  $70\text{ 体積}\%$  以上  $100\text{ 体積}\%$  以下含む、構成 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 2)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の立方晶の酸化ガリウムの結晶を  $70\text{ 体積}\%$  以上  $100\text{ 体積}\%$  以下含む、構成 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 3)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $a$  軸の格子定数が  $0.28\text{ nm}$  以上  $0.34\text{ nm}$  以下の六方晶および立方晶の酸化ガリウムの結晶を  $70\text{ 体積}\%$  以上  $100\text{ 体積}\%$  以下含む、構成 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 4)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を  $50\text{ 体積}\%$  以上  $100\text{ 体積}\%$  以下含む、構成 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 5)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を  $70\text{ 体積}\%$  以上  $100\text{ 体積}\%$  以下含む、構成 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 6)

前記ガリウム酸化物結晶は、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を  $70\text{ 体積}\%$  以上  $90\text{ 体積}\%$  以下、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を  $10\text{ 体積}\%$  以上  $30\text{ 体積}\%$  以下含む、構成 4 5 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 7)

前記ガリウム酸化物結晶の結晶面が前記  $\text{GaN}$  単結晶基板の結晶面に揃えて配列されている、構成 4 5 から 5 6 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法。

(構成 5 8)

構成 1 から 1 5 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板、または構成 4 5 から 5 7 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法によって製造されたガリウム窒化物半導体基板を用いて製造する、ガリウム窒化物半導体装置の製造方法。

(構成 5 9)

構成 1 から 1 5 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板、または構成 4 5 から 5 7 の何れか 1 記載のガリウム窒化物半導体基板の製造方法によって製造されたガリウム窒化物半導体基板を用いて製造する、撮像素子の製造方法。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、 $3.4\text{ eV}$  という広いバンドギャップ、高い飽和電子速度および高い絶縁破壊電界強度を有する  $\text{GaN}$  からなるガリウム窒化物半導体基板であって、素子間リーク電流や素子関係抵抗の問題の少ない半導体装置を製造するのに好適で結晶欠陥の少ない高品質なガリウム窒化物半導体基板が提供される。

また、本発明によれば、素子間リーク電流、素子間抵抗、素子間容量の問題が少なく、かつ  $3.4\text{ eV}$  という広いバンドギャップ、高い飽和電子速度および高い絶縁破壊電界強

10

20

30

40

50

度を有する GaN 半導体による半導体装置が提供される。このことから、素子間リーク電流、素子間クロストークの少ない高集積パワー半導体装置が提供される。

また、本発明によれば紫外光に対して高い感度を有する裏面照射型の撮像素子が提供される。

また、本発明によれば、上記特性をもった前記ガリウム窒化物半導体基板および半導体装置の製造方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の半導体基板の構造を示す断面図。

【図2】本発明の半導体基板の構造を示す断面図。

10

【図3】本発明の半導体基板の製造工程を説明するための断面図。

【図4】本発明の半導体装置の製造工程を説明するための断面図。

【図5】撮像素子を製造するときの半導体基板を示す断面図。

【図6】本発明の撮像素子の構造を示す要部断面図。

【図7】膜の構造を示す断面TEM観察像。

【図8】(100)面から見た酸化ガリウムの立方晶結晶の構造図である。

【図9】(111)から見た酸化ガリウムの立方晶結晶の構造図である。

【図10】立方晶の酸化ガリウムを(111)面でスライスしたときの切り口における酸素原子の配置を示す構造図である。

【図11】膜の構造を示す断面TEM観察像とFFT図。

20

【図12】膜の構造を示す断面TEM観察像とFFT図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

(実施の形態1)

実施の形態1では、ガリウム窒化物半導体基板およびその製造方法を説明する。

以下、本発明を実施するための形態を図面を参照しながら説明する。

本発明のガリウム窒化物半導体基板101は、図1に示すように、第1のGaNであるGaN基板1上にガリウム酸化物結晶膜2および第2のGaNであるGaN膜3が順次形成された構造になっている。

【0013】

30

GaN基板1は単結晶GaN(0001)であり、その結晶の構造は、安定性の高さからウルツ鉱構造が好ましい。

【0014】

ガリウム酸化物結晶膜2としては、単結晶GaNの結晶格子と面内格子定数aが整合しているガリウム酸化物の結晶を含む膜を好んで用いることができる。このようにすると、ガリウム酸化物結晶膜2の欠陥は少なくなり、その上に形成されるGaN膜3も結晶欠陥の少ない良質なものとなることを見出した。

ガリウム酸化物結晶膜2が単結晶GaNの結晶格子と面内格子定数aが整合しているガリウム酸化物の結晶を含む量は、50体積%以上が好ましく、70体積%以上がより好ましく、100体積%がさらに一層好ましい。

40

ここで、面内格子定数aが整合しているとは、単結晶GaNとガリウム酸化物の結晶格子定数aの差が±15%以内に収まっていることをいう。

【0015】

GaN基板1としてウルツ鉱構造の単結晶を用いた場合は、ガリウム酸化物結晶膜2は、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶、立方晶、または六方晶および立方晶の酸化ガリウムであることが好ましい。

なお、ウルツ鉱構造のGaNの結晶構造は、a軸の格子定数が0.319nmの六方晶である。

【0016】

ここで、本発明におけるa軸の格子定数とは、六方晶結晶の場合は通常のa軸の格子定

50

数を指し、立方晶結晶の場合は、(111)面でスライスしたときの切り口における結晶格子の格子定数を指す。

【0017】

図8は、立方晶の酸化ガリウム、例えば  $Ga_2O_3$  の結晶を(100)面から見た図で、同図の1001は酸素原子(O)を、1002はガリウム原子(Ga)を表す。(100)面でスライスした面(インプレーン)においては、六角形の酸素原子配置は認められず、この面に接するGaN半導体とは格子整合はしない。

【0018】

図9は、立方晶の酸化ガリウム、例えば  $Ga_2O_3$  の結晶を(111)面から見た図である。ここで、図9の1001は、図8の場合と同様に、酸素原子(O)を、1002はガリウム原子(Ga)を表す。そして、この結晶を(111)面、かつ酸素原子1001がある場所でスライスしたとき、その切り口に位置する原子の配置を図10に示す。図10からわかるように、この切り口における(このインプレーンにおける)酸素原子1001は六方晶と同じ結晶配置(結晶格子1011)をなす。

本発明では、このインプレーンでの図10の1021に示される $a_1$ 、1022に示される $a_2$ 、1023に示される $a_3$ をa軸の格子定数とするが、ほぼ正六角形をなすため、 $a_1$ 、 $a_2$ および $a_3$ の値はほぼ等しく、格子定数aで表させる。

【0019】

発明者は、ガリウム酸化物結晶膜2が、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶構造の酸化ガリウムであると、GaN基板1とガリウム酸化物結晶膜2の格子が整合されて、ガリウム酸化物結晶膜2の結晶欠陥は小さなものとなり、また、ガリウム酸化物結晶膜2の上に形成されるGaN膜3も結晶欠陥の少ない良質なものとなることを見出した。また、発明者は、ガリウム酸化物結晶膜2が(111)面の立方晶の酸化ガリウムの場合、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下において六方晶構造であるウルツ鉱構造の窒化ガリウムと格子が十分に整合されて、ガリウム酸化物結晶膜2の結晶欠陥は小さなものとなり、また、ガリウム酸化物結晶膜2の上に形成されるGaN膜3も結晶欠陥の少ない良質なものとなることを見出した。さらに、発明者は、ガリウム酸化物結晶膜2が、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶構造および立方晶の酸化ガリウムであると、GaN基板1とガリウム酸化物結晶膜2の格子が整合されて、ガリウム酸化物結晶膜2の結晶欠陥は小さなものとなり、また、ガリウム酸化物結晶膜2の上に形成されるGaN膜3も結晶欠陥の少ない良質なものとなることを見出した。

ここで、ガリウム酸化物結晶膜2が、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶、立方晶の少なくとも何れか1の酸化ガリウムを含む量は、50体積%以上が好ましく、70体積%以上がより好ましく、100体積%がさらに一層好ましい。

【0020】

また、ガリウム酸化物結晶膜2は、構造の酸化ガリウム若しくは構造の酸化ガリウムから構成され、または、構造の酸化ガリウムおよび構造の酸化ガリウムの組合せから構成されてもよい。

ここで、構造の酸化ガリウムは、六方晶の結晶構造であり、そのa軸の結晶格子定数は0.290nmである。また、構造の酸化ガリウムは、立方晶の結晶構造であり、(111)面におけるそのa軸の結晶格子定数は0.291nmである。

【0021】

ガリウム酸化物結晶膜2は、 $Ga_2O_3$ を50体積%以上、好ましくは70体積%以上100体積%以下含むガリウム酸化膜が好ましい。

また、ガリウム酸化物結晶膜2は、 $Ga_2O_3$ を70体積%以上90体積%以下、 $Ga_2O_3$ を10体積%以上30体積%以下含んでよい。

そして、ガリウム酸化物結晶膜2の結晶面は、単結晶GaN(0001)の結晶面に揃えて配列されることが好ましい。

【0022】

10

20

30

40

50

ガリウム酸化物結晶膜 2 が、GaN 基板の結晶格子と格子が整合したガリウム酸化物結晶を 50 体積%以上、好ましくは 70 体積%以上 100 体積%以下含むガリウム酸化膜であることを満たさない場合は、ガリウム酸化物結晶膜 2 の上に形成される GaN 膜 3 の結晶性が低下し、GaN 膜 3 は結晶欠陥が多い品質の低い膜となる。

また、ガリウム酸化物結晶膜 2 が、a 軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶、立方晶の少なくとも何れか 1 の酸化ガリウムを 50 体積%以上、好ましくは 70 体積%以上 100 体積%以下含むガリウム酸化膜であることを満たさない場合は、ガリウム酸化物結晶膜 2 の上に形成される GaN 膜 3 の結晶性が低下し、GaN 膜 3 は結晶欠陥が多い品質の低い膜となる。

また、ガリウム酸化物結晶膜 2 が  $Ga_2O_3$  または  $Ga_2O_3$  と  $Ga_2O_3$  を含むこと、および  $Ga_2O_3$  または  $Ga_2O_3$  と  $Ga_2O_3$  を上で示した比率で含むこと、を満たさない場合は、ガリウム酸化物結晶膜 2 の上に形成される GaN 膜 3 の結晶性が低下し、GaN 膜 3 は結晶欠陥が多い品質の低い膜となる。

#### 【0023】

ここで、ガリウム酸化物結晶膜 2 の膜厚は 5 nm 以上 300 nm 以下、好ましくは 10 nm 以上 100 nm 以下が好ましい。なお、 $Ga_2O_3$  および  $Ga_2O_3$  は準安定のガリウム酸化膜と位置づけられているガリウム酸化膜の結晶構造体である。

GaN 膜 3 は単結晶の GaN からなる。

#### 【0024】

なお、上記では、第 1 の GaN の単結晶上に、ガリウム酸化物結晶の膜および第 2 の GaN が順次積層されたガリウム窒化物半導体基板について説明した。

しかしながら、このガリウム窒化物半導体に限らず、GaN の単結晶上に、この GaN の結晶格子と面内格子定数 a が整合したガリウム酸化物結晶の膜が形成されたガリウム酸化物半導体基板として、このガリウム酸化物結晶の膜を半導体層として用いることもできる。このガリウム酸化物半導体基板では、このガリウム酸化物結晶の膜は欠陥の少ない良質な半導体層となるため好ましい特性が得られる。

#### 【0025】

ガリウム窒化物半導体基板 101 は以下の工程により製造される。

最初に、表面が清浄された単結晶 GaN (0001)、特にウルツ鉱構造の単結晶 GaN を GaN 基板 1 (第 1 の GaN) として準備し、その表面を清浄する。表面の清浄方法は通常の方法でよく、例えば、有機洗浄、アンモニア過水洗浄、硫酸過水洗浄、加熱洗浄などを挙げることができる。

#### 【0026】

次に、GaN 基板 1 にガリウム酸化物の結晶からなるガリウム酸化物結晶膜 2 を形成する。

例えば、GaN 基板 1 上に、GaN と面内格子定数 a が整合されたガリウム酸化物結晶を 50 体積%以上、好ましくは 70 体積%以上、より好ましくは 100 体積%含んだガリウム酸化物結晶膜 2 を形成する。

または、GaN 基板 1 上に、a 軸の格子定数が 0.28 nm 以上 0.34 nm 以下の六方晶、立方晶、または六方晶および立方晶の酸化ガリウムを、50 体積%以上、好ましくは 70 体積%以上、より好ましくは 100 体積%含んだガリウム酸化物結晶膜 2 を形成する。

あるいは、 $Ga_2O_3$  を 50 体積%以上、好ましくは 70 体積%以上 100 体積%以下、または、 $Ga_2O_3$  を 70 体積%以上 90 体積%以下で  $Ga_2O_3$  を 10 体積%以上 30 体積%以下含むガリウム酸化物結晶膜 2 を形成する。

#### 【0027】

ガリウム酸化物結晶膜 2 を形成する方法としては、下記のものが挙げられる。

#### 【0028】

ガリウム酸化物結晶膜 2 を形成する第 1 の方法は、洗浄作用を有する化学薬品で GaN 基板 1 を処理して酸化膜を形成し、成長させる方法である。

10

20

30

40

50

## 【0029】

この第1の方法をもう少し詳しく説明すると、GaN基板1の表面を、硫酸、過酸化水素水、アンモニア、弗酸、塩酸、硝酸、リン酸、水酸化カリウムからなる群から選択された少なくとも1つの化学溶液によって酸化させ、その後、酸素存在下でこの酸化膜を成長させる方法である。

この方法では、酸化膜の成長速度を高めるため、酸素を加圧したり、熱処理を加えてもよい。ここで、加圧する酸素にオゾンを添加しても、酸素をオゾンに代えてもよい。

また、光照射を併用してもよい。すなわち、この化学溶液による酸化処理中に、波長280nm以上380nm未満の紫外線(UV)光や波長190nm以上280nm未満の遠視外光(DUV)を照射することによって酸化を促進してもよい。

10

## 【0030】

GaN基板1を化学溶液によって洗浄を伴って酸化させる具体的な方法としては、SC1(Standard Cleaning solution 1)( $\text{NH}_4\text{OH}$ (アンモニア水) -  $\text{H}_2\text{O}_2$ (過酸化水素水) -  $\text{H}_2\text{O}$ (水))、SC2(Standard Cleaning solution 2)( $\text{HCl}$ (塩酸) -  $\text{H}_2\text{O}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$ )、SPM(Sulfuric acid hydrogen Peroxide Mixture)( $\text{H}_2\text{SO}_4$ (硫酸) -  $\text{H}_2\text{O}_2$  -  $\text{H}_2\text{O}$ )、バッファードフッ酸溶液(Buffered Hydrogen Fluoride: BHF)など通常は洗浄として用いられる方法を挙げることができる。

20

## 【0031】

バッファードフッ酸溶液は通常酸化膜を除去する方法として知られているが、除去とともに生成され、それを成長させたGa<sub>2</sub>Nと面内格子定数aが整合された結晶を有する膜、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶、立方晶、または六方晶および立方晶の酸化ガリウムを有する膜、構造の酸化ガリウム、または構造と構造の酸化ガリウムを有する酸化膜は、ガリウム酸化物結晶膜2として好適な膜となる。そして、この方法によるガリウム酸化物結晶膜2は、構造と構造の酸化ガリウムを有する場合、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が70体積%以上90体積%以下、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が10体積%以上30体積%以下となる。

## 【0032】

ここで、SPM処理を行ったGa<sub>2</sub>N(0001)面上に形成される酸化膜の構造をTEM(Transmission electron microscopy)、LEIS(Low-energy ion scattering)、RHEED(Reflection high energy electron diffraction)、STEM(Scanning transmission electron microscopy)およびEDS(Energy dispersive spectroscopy)を用いて詳細に調べたところ、その酸化膜は体積比でGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が80%、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が20%の混載系単結晶膜であった。

30

## 【0033】

ガリウム酸化物結晶膜2を形成する第2の方法は、Ga<sub>2</sub>N基板1の表面を、500以下の雰囲気においてプラズマ酸化処理することによって酸化させる方法、および/または500以下の雰囲気においてオゾン酸化処理することによって酸化させる方法である。

40

## 【0034】

ガリウム酸化物結晶膜2を形成する第3の方法は、700以下の雰囲気による電子ビーム蒸着法および/または分子線エピタキシー(Molecular Beam Epitaxy: MBE)法、870以下の雰囲気による化学的気相成長(Chemical Vapor Deposition: CVD)法、700以下の雰囲気によるハイドライド気相成長(Hydride Vapor Phase Epitaxy: HVPE)法、および/または400以下の雰囲気において原子層堆積(Atomic Layer Deposition: ALD)法による酸化膜堆積法である。

なお、ガリウム酸化物結晶膜2の形成において酸素リッチな条件で成膜すると、構造

50

の酸化ガリウムおよび／または 構造の酸化ガリウムが形成される。

【0035】

その後、ガリウム酸化物結晶膜2の上に単結晶のGa<sub>2</sub>N膜3を成膜する。このGa<sub>2</sub>N膜3の形成は、最初に種結晶をガリウム酸化物結晶膜2の上に形成し、その後HVPE (Hydride vapor phase epitaxy) 法、THVPE (Tri-HVPE) 法、MBE (Molecular beam epitaxy) 法などのエピタキシャル成膜法を用いて単結晶のGa<sub>2</sub>N膜を形成する。ここで、Ga<sub>2</sub>N膜3の膜厚は、結晶欠陥密度の観点から10nm以上300nm以下が好ましいが、用途によってはこの範囲を超えるものであっても構わない。

より結晶欠陥の少ないGa<sub>2</sub>N膜3を形成するには、レーザーアニールやフラッシュランプアニールを併用するのが好ましい。レーザーアニールやフラッシュランプアニールはGa<sub>2</sub>N膜3を形成後に行うことも可能であるが、エピタキシャル成膜を途中で中断してその段階までに形成されたGa<sub>2</sub>N膜に対してレーザーアニールやフラッシュランプアニールを行い、その後エピタキシャル成膜を続けて行うのが結晶欠陥低減のために好ましい。ここで、ガリウム酸化物結晶膜2の温度が870℃を超えないように、好ましくは800℃以下になるようにレーザーアニールやフラッシュランプアニールの照射条件を設定する。なお、種結晶はNaフลักス法やMOCVD (Metal organic chemical vapor deposition) 法、MBE法などによって形成することができる。

【0036】

ガリウム酸化物結晶膜2の形成方法は、上記の第1から第3の方法のほか、洗浄作用を有する化学薬品でGa<sub>2</sub>N基板1を処理して種結晶となる酸化膜を形成し、その種結晶を基にガリウム酸化物結晶膜2を成長形成する方法としてもよい。

ここで、洗浄作用を有する化学薬品とは、過酸化水素水、アンモニア、弗酸、塩酸、硝酸、リン酸、水酸化カリウムからなる群から選択された少なくとも1つの化学溶液であり、具体的には、SC1、SC2、SPM、バッファードフッ酸溶液など通常は洗浄として用いられる方法を挙げることができる。

【0037】

この第4の方法によるガリウム窒化物半導体基板102の形成方法を図3を参照しながら説明する。

【0038】

まず、Ga<sub>2</sub>N (0001) からなるGa<sub>2</sub>N基板1を準備する (図3 (a))。

Ga<sub>2</sub>N基板1の表面を有機洗浄、加熱洗浄などで十分に清浄した後、過酸化水素水、アンモニア、弗酸、塩酸、硝酸、リン酸、水酸化カリウムからなる群から選択された少なくとも1つの化学溶液で処理をし、種結晶となるガリウム酸化物結晶膜21を形成する。

しかる後、ガリウム酸化物結晶膜22をエピタキシャル成膜法により形成し、ガリウム酸化物結晶膜21と、ガリウム酸化物結晶膜22からなる所望の膜厚のガリウム酸化物結晶膜2を形成する (図3 (b))。このときのエピタキシャル成膜法としては、MBE法、CVD法、PEVE法、ALD法、MOCVD (Metal organic chemical vapor deposition) 法などを挙げることができる。使用するガスとしては、GaCl<sub>3</sub>ガス、GaCl<sub>2</sub>ガス、GaCl<sub>3</sub>ガス等の塩化ガリウム系ガスを用いることができる。また、トリエチルガリウム (Triethylgallium: TEGa) と酸素ガス (O<sub>2</sub> ガス) を用いてもよい。

【0039】

ここで、ガリウム酸化物結晶膜2は、ガリウム酸化物結晶膜21とガリウム酸化物結晶膜22を含んだ平均としてGa<sub>2</sub>Nと面内格子定数aが整合されたガリウム酸化物結晶を有する膜を50体積%以上、好ましくは70体積%以上、さらに好ましくは100体積%含むガリウム酸化物膜とする。または、a軸の格子定数が0.28nm以上0.34nm以下の六方晶、立方晶、または六方晶および立方晶の酸化ガリウムを、50体積%以上、好ましくは70体積%以上、より好ましくは100体積%含んだガリウム酸化物膜とする。



または、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を 50 体積 % 以上、好ましくは 70 体積 % 以上、さらに好ましくは 100 体積 % 含むガリウム酸化膜とする。あるいは、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を 70 体積 % 以上 90 体積 % 以下で  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  を 10 体積 % 以上 30 体積 % 以下含むガリウム酸化膜とする。

【0040】

その後、上述の方法によって  $\text{GaN}$  膜 3 をガリウム酸化物結晶膜 22 上に形成してガリウム窒化物半導体基板 102 を得る（図 3（c））。

【0041】

上述の工程により形成された  $\text{GaN}$  膜 3 は結晶欠陥の少ない単結晶  $\text{GaN}$  膜となる。また、ガリウム酸化物結晶膜 2 は絶縁膜として機能する。

10

【0042】

（実施の形態 2）

実施の形態 2 では、実施の形態 1 で製造したガリウム窒化物半導体基板を用いた、素子間リーク電流、素子間寄生抵抗、素子間寄生容量の問題、すなわち素子間での非所望のクロストークが少ないガリウム窒化物半導体装置 103 について図 4 を参照しながら説明する。

【0043】

実施の形態 2 のガリウム窒化物半導体装置 103 は素子分離絶縁層 41 がガリウム酸化物結晶膜 2 に届き、素子部が絶縁体である素子分離絶縁層 41 とガリウム酸化物結晶膜 2 によって電氣的に隔離されることを特徴とする。この電氣的隔離により素子間のリーク電流、寄生抵抗、寄生容量による問題が解決される。

20

【0044】

ガリウム窒化物半導体装置 103 の製造工程を以下に示す。

まず、 $\text{GaN}$  基板 1 上にガリウム酸化物結晶膜 2 および  $\text{GaN}$  膜 3 が順次形成されたガリウム窒化物基板を準備する（図 4（a））。このガリウム窒化物基板は上述のガリウム酸化物結晶膜 2 を成長させたガリウム窒化物基板 101 でもガリウム酸化物結晶膜 21 の上にエピタキシャル成膜法でガリウム酸化物結晶膜 22 を形成し、ガリウム酸化物結晶膜 21 とともにガリウム酸化物結晶膜 2 としたガリウム窒化物基板 102 でも構わない。

【0045】

次に、 $\text{GaN}$  膜 3 に底部がガリウム酸化物結晶膜 2 に達する素子分離絶縁層 41 を形成する（図 4（b））。

30

素子分離絶縁層 41 は、リソグラフィおよびドライエッチングにより  $\text{GaN}$  膜 3 の所望の場所に開口を形成し、その開口部に CVD 法などにより  $\text{SiO}_x$  などの絶縁膜を埋め込むことにより形成することができる。なお、絶縁膜を埋め込まず開口空間を絶縁層とすることもできる。

【0046】

その後、 $\text{GaN}$  膜 3 上にゲート絶縁膜 42 を形成する（図 4（c））。

ゲート絶縁膜 42 としては、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{HfO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ge}_2\text{O}_3$  などの酸化膜、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{AlN}$  などの窒化膜、 $\text{GdF}_3$ 、 $\text{LaF}_3$  などのフッ化膜からなる単層膜やこれらの膜を組み合わせた複合膜を用いることができる。これらの膜はスパッタリング法、ALD 法、CVD 法などで成膜することができる。

40

【0047】

しかる後、ゲート絶縁膜 42 の上に所望のゲート電極 43 を形成する（図 4（d））。そして、 $\text{GaN}$  膜 3 に所望の不純物拡散層を形成する（図示なし）。

次に、ソース電極 44 およびドレイン電極 45 と  $\text{GaN}$  膜 3 が電氣的接触をとれるようにゲート絶縁膜 42 に所定の開口パターンをリソグラフィおよびドライエッチングで形成したゲート絶縁膜 42a とした後、ソース電極 44 およびドレイン電極 45 を形成し、ガリウム窒化物半導体装置 103 とする（図 4（e））。

ここで、ゲート電極 43、ソース電極 44 およびドレイン電極 45 は、金属、合金、金

50

属化合物、シリサイド、ポリサイドまたはドーパントが添加されたポリシリコンなどの導電膜からなる。具体的には、金（Au）、銀（Ag）、銅（Cu）、白金（Pt）、パラジウム（Pd）、タングステン（W）、チタン（Ti）、アルミニウム（Al）、クロム（Cr）、タンタル（Ta）、ロジウム（Rh）などの金属、AlCu、CuNiFe、NiCrなどの合金、WSi、TiSiなどのシリサイド、WN、TiN、CrN、Ta<sub>2</sub>Nなどの金属化合物を挙げることができる。

#### 【0048】

（実施の形態3）

実施の形態3では、実施の形態1で製造したガリウム窒化物半導体基板を撮像素子の製造、提供に適用した場合を図5および図6を参照しながら示す。

10

#### 【0049】

実施の形態3で述べる撮像素子は裏面照射型の撮像素子で、GaN膜にフォトダイオードが形成されたものである。

GaNは波長365nmなどの紫外線に強い感度をもつフォトダイオードを形成できる。しかしながら、通常の表側を受光面とすると、表側にはゲート電極やソース電極、ドレイン電極、および多数の配線が形成されるため、これらの配線が入射光を遮り撮像感度が低下する。一方、基板に開口を開けて裏面側を受光面とする裏面照射型の撮像素子は撮像感度を上げやすいという特徴がある。

#### 【0050】

裏面照射型の撮像素子の難しさは、十分な加工精度で基板に開口を開けることである。開口の深さにばらつきがあると撮像ピクセル間の感度ばらつきに直結する。また、必要以上に基板が掘り込まれ、フォトダイオードが形成されている部分にまで掘り込みが達するとフォトダイオードが十分機能しなくなる。

20

#### 【0051】

実施の形態3では、図5に示すように、ガリウム酸化物結晶膜2をエッチングストッパとしてGaN基板を加工する。この場合、GaN（図5の1a）には十分な加工精度をもつ開口51を形成することができ、しかもこの加工でのフォトダイオードとなるGaN膜3へのダメージは十分小さくすることができる。このため、撮像ピクセル間の感度ばらつきを抑制して、かつ高い撮像感度を有する撮像素子を提供することが可能になる。

GaN基板への開口51の形成は、例えば、そのエッチングの途中までCl<sub>2</sub>ガスを用いたドライエッチングとしてエッチングレートを上げた上で、ガリウム酸化物結晶膜2の近くになった段階でCl<sub>2</sub>ガスにO<sub>2</sub>ガスを添加したドライエッチングに切り換え、GaNとガリウム酸化膜とのエッチングレート差を十分に確保するようにすればよい。

30

#### 【0052】

製造する撮像素子104の構成を図6に示す。ここで、61はP層、62はN層で、61と62によりフォトダイオードが形成される。63はN<sup>+</sup>層からなるフローティングディフュージョンで、64は素子分離領域、65はフォトダイオードゲート電極、そして66は読み出しゲート電極である。ここで、素子分離領域64をガリウム酸化物結晶膜2に届く深さまで形成し、電気的な素子分離をより高めることもできる。

フォトダイオードゲート電極65を金属で形成すると、開口部51側から入射される光がフォトダイオードゲート電極65で反射されて再び61と62で構成されるフォトダイオードを通るので撮像感度をより高めることが可能になる。

40

但し、これは一例にすぎない。肝要なことは、ガリウム酸化物結晶膜2をエッチングストッパにしてGaN基板に開口51が形成され、GaN膜3にフォトダイオードが形成されているという構成である。

なお、実施の形態3では撮像素子の例を示したが、発光素子も同様に製造、提供が可能である。

#### 【実施例】

#### 【0053】

以下、本発明の実施例について説明する。当然ながら、本発明はこのような特定の形式

50

に限定されるものではなく、本発明の技術的範囲は特許請求の範囲により規定されるものである。

【0054】

(実施例1)

実施例1ではガリウム窒化物半導体基板、特にその作製について述べる。

【0055】

まず、HVPE法で作製したGaN(0001)基板1を準備した。その膜厚は330 $\mu\text{m}$ で、フリースタANDINGであり、その結晶転移密度は $10^6/\text{cm}^2$ 台である。ここで、このGaNはウルツ鉱構造の単結晶である。

そして、GaN基板1をアセトン、エタノール、3体積%の希弗酸、純水により洗浄し、その後、硫酸と過酸化水素水を体積比で2:1の比率で混合させた混合液を用いて洗浄を行ったGaN基板1の表面に酸化膜を形成した。

【0056】

次に、室温23のクリーンルーム中に1日放置した時点でのGaN(0001)基板上1に形成された酸化膜の状態を調べた。詳細には、この試料に対して75015分の熱処理を行って酸化膜の表面を清浄した後、プラズマCVD法による100nmの膜厚のSiO<sub>2</sub>をこの酸化膜の上に成膜し、断面TEMにより酸化膜の状態を調べた。

その結果を図7に示す。同図中の(a)はGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の結晶の構造図を示し、(b)は観察結果を示す。結晶構造図の大きな球はGa(ガリウム)を表し、小さな球はO(酸素)を表す。ここで、参考までに、観察結果の上部にはGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の結晶の要部構造図をはめ込んでいる。SiO<sub>2</sub>とGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>との界面がやや不鮮明になっているが、これは測定系のS/Nに起因するものである。TEMに加え、LEIS、RHEED、STEMおよびEDSを用いた測定も行っており、この酸化膜が体積比でGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が80%、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が20%からなる膜であることを同定した。そして、その結晶面は、基板であるGaN(0001)基板1の結晶面に揃っていることを確認した。

【0057】

その後、トリエチルガリウム(Triethylgallium:TEGa)と高純度酸素ガスを用いたMOCVDによってその酸化膜上にGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる酸化膜を形成し、GaN基板1上の合計膜厚50nmのGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を主成分とするガリウム酸化物結晶膜2を形成した。ここで、MOCVDの温度は500であり、その時の反応チャンパー内の圧力は3500Paとした。

【0058】

次に、MOCVD法によりガリウム酸化物結晶膜2の上にGaN種結晶を形成し、その後HVPE法を用いて膜厚50nmのGaN膜3を成膜した。このHVPE法では、水素ガス、窒素ガス、塩化ガリウムガスおよびアンモニアガスを用い、圧力は100kPaとした。

このようにして作製されたガリウム窒化物半導体基板101はSOI構造を有し、GaN膜3からなる半導体層は結晶欠陥の少ないものであった。

【0059】

(実施例2)

実施例2ではガリウム窒化物半導体装置について述べる。

【0060】

まず、実施例1で作製したガリウム窒化物基板を準備した(図4(a))。

次に、GaN膜3上にSiO<sub>2</sub>膜とポリシリコン膜を順次CVD法により形成し、その上に素子分離のパターンを有するレジスト膜を形成した。そして、レジスト膜をマスクにしてポリシリコン膜、SiO<sub>2</sub>膜、GaN膜3をドライエッチングした。このドライエッチングのときのガスはおのこのCl<sub>2</sub>ガス、CF<sub>4</sub>ガス、Cl<sub>2</sub>ガスである。

その後、レジストパターンをアッシングで除去し、CVD法によりSiO<sub>x</sub>膜を堆積させた。

しかる後、SiO<sub>x</sub>膜をポリシリコン膜をエッチングストッパにしてCF<sub>4</sub>ガスを用い

10

20

30

40

50

てエッチバックし、露出したポリシリコン膜をポリシリコン膜とGaN膜3との間に形成してあるSiO<sub>2</sub>膜をエッチングストッパにしてCl<sub>2</sub>ガスを用いてドライエッチングにより除去した。

その後、SiO<sub>2</sub>膜をウェットエッチングにより除去し、GaN膜3にSiO<sub>x</sub>膜からなる素子分離絶縁層41を形成した(図4(b))。

#### 【0061】

次に、体積比2:1の硫酸と過酸化水素水によるSPM(Sulfuric acid hydrogen peroxide mixture)洗浄を行ってGaN膜3の表面を処理した後、ALD法によってAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜を堆積させた。ここでは、前駆体をTMA(Tetra Methyl Alminium)、パージをN<sub>2</sub>ガスとし、TMA投入、N<sub>2</sub>ガスパージ、水蒸気投入、パージの4ステップを1サイクルにして膜厚が10nmになるまでそのサイクルを100回繰り返した。温度は300℃である。

同様にして作製した別の試料を用いてGaN膜3とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜の界面の状態を調べたところ、GaN膜3とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜の間に1.7nmの膜厚のGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>酸化膜が形成されていた。

このようにして、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>酸化膜とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜からなるゲート絶縁膜42をGaN膜3の上に形成した(図4(c))。

#### 【0062】

しかる後、ゲート絶縁膜42の上にスパッタリング法によるタングステン(W)を用いてゲート電極43を形成し(図4(d))、その後GaN膜3に所定の不純物層を形成した。

次に、ソース44およびドレイン45とGaN膜3が電氣的接触をとれるようにゲート絶縁膜42に所定の開口パターンをリソグラフィおよびドライエッチングで形成した後、ソース電極44およびドレイン電極45を形成し、ガリウム窒化物半導体装置103を作製した(図4(e))。

#### 【0063】

実施例2で作製したガリウム窒化物半導体装置103は、素子分離絶縁層41がガリウム窒化物結晶膜2に届き、素子部が絶縁体である素子分離絶縁層41とガリウム窒化物結晶膜2によって電氣的に隔離された。この電氣的隔離により素子間のリーク電流、寄生抵抗、寄生容量による問題が解決され、作製した電気素子は隣接素子からのクロストークを受けることなく安定に動作した。また、半導体層にGaNを用いているため、絶縁耐圧も高く、GaNの欠陥が少ないため電気特性は安定した。このため、実施例2で作製したガリウム窒化物半導体装置103は高い電気特性を有する集積回路となった。

#### 【0064】

(実施例3)

実施例3ではガリウム窒化物半導体基板とその作製について述べる。

#### 【0065】

まず、市販のn型GaN(0001)基板1を準備した。ここで、このGaN基板1はウルツ鉱構造の単結晶である。そして、GaN基板1をアセトン、エタノール、3体積%の希弗酸、純水により洗浄し、その後、硫酸と過酸化水素水を体積比で2:1の比率で混合させた混合液を用いて洗浄を行ったGaN基板1の表面に酸化膜を形成した。

#### 【0066】

次に、室温23℃のクリーンルーム中に1日放置した時点でのGaN(0001)基板上1に形成された酸化膜の状態を断面TEMおよびそのデータを基にしたFFT(Fast Fourier Transform)解析により調べた。FFT解析により、結晶の格子整合性が調べられる。

その結果を図11に示す。同図中の(a)は断面観察図であり、(b)は(a)の断面TEM像にFFT信号解析を施した像である。図11(b)の白線は回折パターンを示す。その白線が一直線上にあると基板1の結晶とその上に形成された膜の結晶格子が格子整合されていることになる。観察の結果、白線は一直線上に並んでおり、基板1上に形成された

膜は基板 1 の結晶と結晶格子が整合し、その結晶面は基板である GaN (0001) 基板 1 の結晶面に揃っていることを確認した。

次に、基板 1 上に形成された膜が酸化膜であることは低速イオン散乱分光法によって確認した。

#### 【0067】

その後、トリエチルガリウム (Triethylgallium: TEGa) と高純度酸素ガスを用いた MOCVD によってその酸化膜上にその酸化膜と格子整合のとれた単結晶酸化膜を形成し、GaN 基板 1 上の合計膜厚 50 nm の基板 1 の結晶と格子が整合した単結晶のガリウム酸化物結晶膜 2 を形成した。ここで、MOCVD の温度は 500 であり、その時の反応チャンバー内の圧力は 3500 Pa とした。

10

#### 【0068】

次に、MOCVD 法によりガリウム酸化物結晶膜 2 の上に GaN 種結晶を形成し、その後 HVPE 法を用いて膜厚 50 nm の GaN 膜 3 を成膜した。この HVPE 法では、水素ガス、窒素ガス、塩化ガリウムガスおよびアンモニアガスを用い、圧力は 100 kPa とした。

このようにして作製されたガリウム窒化物半導体基板 101 は SOI 構造を有し、GaN 膜 3 からなる半導体層は結晶欠陥の少ないものであった。

#### 【0069】

##### (実施例 4)

実施例 4 ではガリウム窒化物半導体基板とその作製について述べる。

20

#### 【0070】

まず、市販の p 型 GaN (0001) 基板 1 を準備した。ここで、この GaN 基板 1 はウルツ鉱構造の単結晶であり、その上に MOCVD 法によって、意図的なドーパントを含まない GaN 層が 2 μm、その上に、Mg をアクセプターとしてドーブした p-GaN 層が 2 μm 形成されている。そして、GaN 基板 1 をアセトン、エタノール、3 体積%の希弗酸、純水により洗浄し、その後、硫酸と過酸化水素水を体積比で 2:1 の比率で混合させた混合液を用いて洗浄を行った GaN 基板 1 の表面に酸化膜を形成した。

#### 【0071】

次に、室温 23 のクリーンルーム中に 1 日放置した時点での GaN (0001) 基板上 1 に形成された酸化膜の状態を、実施例 3 と同様に、断面 TEM およびそのデータを基にした FFT 解析により調べた。

30

その結果を図 12 に示す。同図中の (a) は断面観察図であり、(b) は (a) の断面 TEM 像に FFT 信号解析を施した像である。観察の結果、実施例 3 と同様に、白線は一直線上に並んでおり、基板 1 上に形成された膜は基板 1 の結晶と結晶格子が整合し、その結晶面は基板である GaN (0001) 基板 1 の結晶面に揃っていることを確認した。

次に、基板 1 上に形成された膜が酸化膜であることは低速イオン散乱分光法によって確認した。

#### 【0072】

その後、実施例 3 と同様の工程でガリウム窒化物半導体基板 101 を作製した。

このようにして作製されたガリウム窒化物半導体基板 101 は SOI 構造を有し、GaN 膜 3 からなる半導体層は結晶欠陥の少ないものであった。

40

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0073】

以上説明したように、本発明によれば、素子間リーク電流や素子間寄生抵抗、容量の問題の少ない半導体装置を製造するのに好適で結晶欠陥の少ない高品質なガリウム窒化物半導体基板が提供される。

また、本発明により提供される半導体装置は、広いバンドギャップ、高い飽和電子速度および高い絶縁破壊電界強度を有する GaN からなる半導体層を有し、かつ素子間リーク電流や素子間寄生抵抗、容量の問題が少ない高集積パワー半導体に好適なものになるので、多くの産業分野で利用される可能性がある。

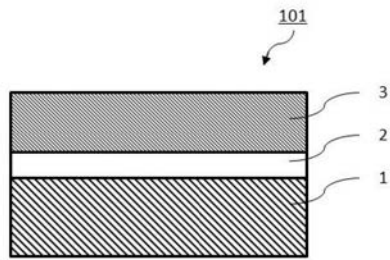
50

## 【符号の説明】

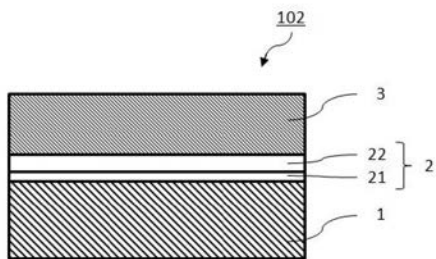
## 【 0 0 7 4 】

1	: GaN 基板	
1 a	: GaN	
2	: ガリウム酸化物結晶膜	
3	: GaN 膜	
2 1	: ガリウム酸化物結晶膜	
2 2	: ガリウム酸化物結晶膜	
4 1	: 素子分離絶縁層	
4 2	: ゲート絶縁膜	10
4 2 a	: パターンが形成されたゲート絶縁膜	
4 3	: ゲート電極	
4 4	: ソース電極	
4 5	: ドレイン電極	
5 1	: 開口	
6 1	: P 層	
6 2	: N 層	
6 3	: N <sup>+</sup> 層 (フローティングディフュージョン)	
6 4	: 素子分離領域	
6 5	: フォトダイオードゲート電極	20
6 6	: 読み出しゲート電極	
1 0 1	: 半導体基板	
1 0 2	: 半導体基板	
1 0 3	: 半導体装置	
1 0 4	: 撮像素子	
1 0 0 1	: 酸素原子 (O)	
1 0 0 2	: ガリウム原子 (Ga)	
1 0 1 1	: 結晶格子	
1 0 2 1	: 格子定数 $a_1$	
1 0 2 2	: 格子定数 $a_2$	30
1 0 2 3	: 格子定数 $a_3$	

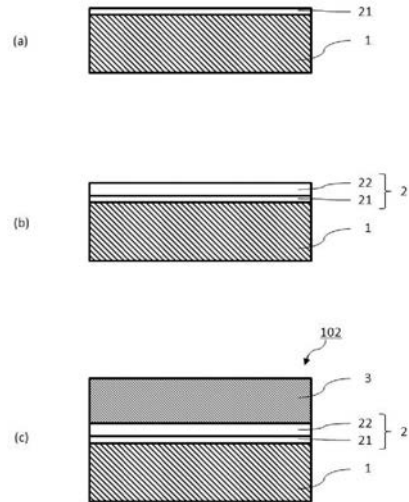
【図 1】



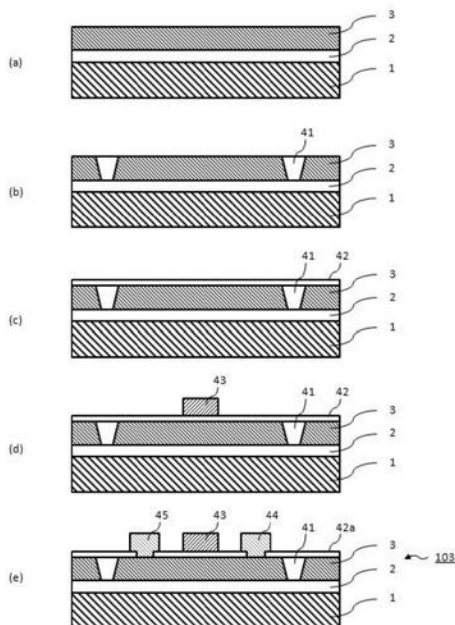
【図 2】



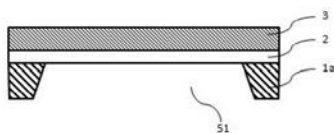
【図 3】



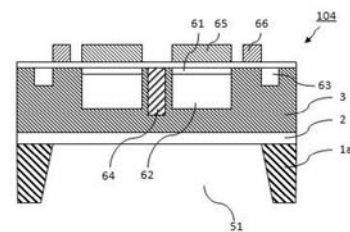
【図 4】



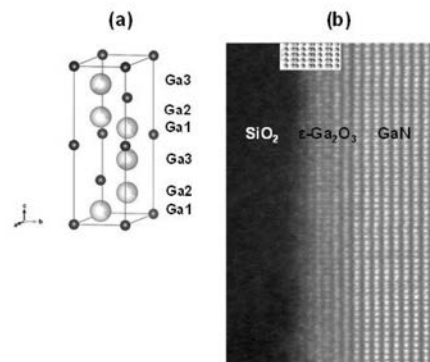
【図 5】



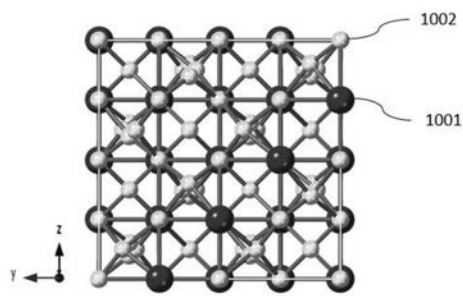
【図 6】



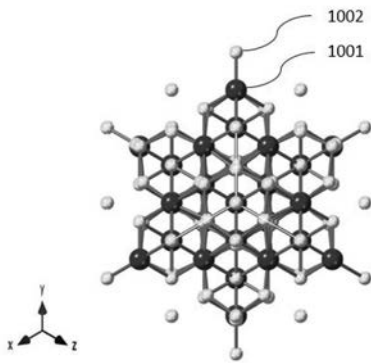
【図 7】



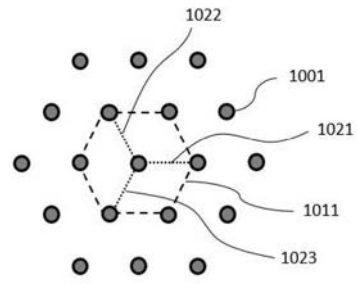
【 図 8 】



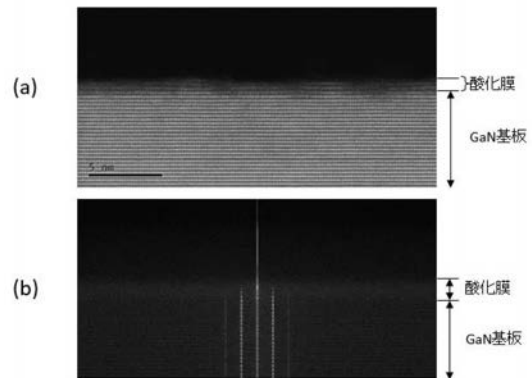
【 図 9 】



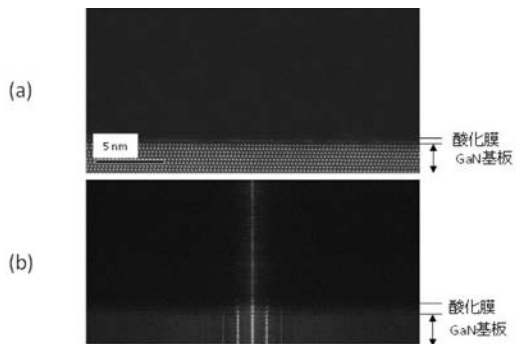
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】





## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード(参考)
H 0 1 L 29/78 (2006.01)		H 0 1 L 31/10	A	5 F 8 4 9
H 0 1 L 31/10 (2006.01)				

(72)発明者 小出 康夫

茨城県つくば市千現一丁目2番地1 国立研究開発法人物質・材料研究機構内

Fターム(参考) 4G077 AA03 AB02 BE15 DB05 DB08 ED05 ED06 EF03 HA01 HA12  
 TA04 TB03 TB05 TC12 TC19 TK01 TK06  
 4M118 AB01 BA05 CA02 CA07 CB01 DD04 EA01 GA02  
 5F032 AA34 AA44  
 5F140 BA01 BA06 BA16 BA20 BD01 BD04 BD05 BD07 BD11 BE09  
 BE10 BF04 BF05 BF06 BF07 BF08 BF10 BJ04 BJ05 BJ06  
 BJ07 BJ08 BJ10 CB04  
 5F152 LL03 LL05 LL08 LL09 MM04 MM12 NN09 NP12 NP27 NQ09  
 5F849 AA02 AB07 BA14 BA15 BB03 CB04 CB14 DA05 EA04 EA05  
 FA05 FA16 GA06 GA11 XB08 XB18