

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6457389号
(P6457389)

(45) 発行日 平成31年1月23日(2019.1.23)

(24) 登録日 平成30年12月28日(2018.12.28)

(51) Int.Cl. F I
C 3 0 B 29/38 (2006.01) C 3 0 B 29/38 D
C 3 0 B 7/10 (2006.01) C 3 0 B 7/10

請求項の数 15 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2015-528453 (P2015-528453)	(73) 特許権者	510123264
(86) (22) 出願日	平成25年2月28日 (2013.2.28)		シックスポイント マテリアルズ, イン
(65) 公表番号	特表2015-530967 (P2015-530967A)		コーポレイテッド
(43) 公表日	平成27年10月29日 (2015.10.29)		アメリカ合衆国 カリフォルニア 934
(86) 国際出願番号	PCT/US2013/028416		27, プエルトン, インダストリアル
(87) 国際公開番号	W02014/031152		ウェイ 37, ユニット 106
(87) 国際公開日	平成26年2月27日 (2014.2.27)	(73) 特許権者	308007273
審査請求日	平成28年2月26日 (2016.2.26)		ソウル セミコンダクター カンパニー
審査番号	不服2017-15285 (P2017-15285/J1)		リミテッド
審査請求日	平成29年10月13日 (2017.10.13)		大韓民国 153-023 ソウル グム
(31) 優先権主張番号	61/693, 122		チョン-グ, ガサン-ドン, 148-
(32) 優先日	平成24年8月24日 (2012.8.24)		29
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100078282
			弁理士 山本 秀策

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ビスマスでドーブされた半絶縁 III 族窒化物ウエハおよびその生産方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半絶縁ウエハであって、前記半絶縁ウエハは、アモノサーマル法を用いて成長された結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$, $0 < x+y < 1$) を備え、前記結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ は、 10 mm^2 を上回る表面積および 200 ミクロン を上回る厚さを有し、前記結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ は、前記ウエハを半絶縁にするために所定量のビスマスでドーブされ、

前記ウエハの抵抗率は、 $10^4\text{ オーム}\cdot\text{cm}$ を上回り、

ビスマスでドーブされた前記結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ は、 10^5 cm^{-2} 未満の転位および/または粒界の密度を有する、半絶縁ウエハ。

【請求項 2】

前記結晶は、超臨界アンモニア中で成長された $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$, $0 < x+y < 1$) のバルクインゴットをスライスすることによって加工される、請求項 1 に記載の半絶縁ウエハ。

【請求項 3】

半絶縁ウエハであって、前記半絶縁ウエハは、アモノサーマル法を用いて成長された結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$, $0 < x+y < 1$) を備え、前記結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ は、 10 mm^2 を上回る表面積および 200 ミクロン を上回る厚さを有し、前記結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ は、前記ウエハを半絶縁にするために所定量のビスマスでドーブされ、

10

20

前記ウエハの抵抗率は、 10^4 オーム・cmを上回り、

前記ウエハは、 10^5 cm⁻²未満の線欠陥および粒界の密度を伴う、高配向多結晶または単結晶の $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$, $0 < x+y < 1$) を備える、半絶縁ウエハ。

【請求項 4】

前記ウエハは、GaNである、請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

【請求項 5】

ビスマスでドーブされた前記結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ は、III 族窒化物基板上の層である、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

【請求項 6】

前記ウエハは、前記ウエハ全体を通して、ビスマスでドーブされた結晶 $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ を備える、請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれかのウエハ上に形成された電子素子または光学素子または光電子素子。

【請求項 8】

10 mm^2 を上回る表面積および 200 ミクロンを上回る厚さを有する、ビスマスでドーブされた III 族窒化物バルク結晶を成長させる方法であって、前記方法は、

(a) III 族窒含有原料を高圧反応器内に設置することと、

(b) 鉱化剤を前記高圧反応器内に設置することと、

(c) 少なくとも 1 つのシード結晶を前記高圧反応器内に設置することと、

(d) 所定量のビスマス含有ドーパントを前記高圧反応器内に設置することと、

(e) アンモニアを前記高圧反応器内に設置することと、

(f) 前記高圧反応器を密閉することと、

(g) 十分な熱を前記アンモニアに提供し、アンモニアの超臨界状態を生成することと

(h) III 族窒化物を前記シード結晶上に結晶化させることと

を含み、

前記結晶化された III 族窒化物は、前記所定量のビスマス含有ドーパントに起因して半絶縁であり、

前記結晶化された III 族窒化物の抵抗率は、 10^4 オーム・cmを上回る、方法。

【請求項 9】

前記ビスマス含有ドーパントは、金属ビスマスおよびビスマスでドーブされた III 族窒化物から選択される、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記シード結晶上に結晶化される III 族窒化物は、GaNである、請求項 8 または請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記シード結晶は、GaNである、請求項 8 ~ 10 のいずれかに記載の方法。

【請求項 12】

前記鉱化剤は、アルカリ金属を含有する、請求項 8 ~ 11 のいずれかに記載の方法。

【請求項 13】

前記鉱化剤は、ナトリウムを含有する、請求項 8 ~ 12 のいずれかに記載の方法。

【請求項 14】

ビスマスでドーブされた III 族窒化物半絶縁ウエハを加工する方法であって、前記方法は、請求項 8 ~ 13 のいずれかに記載のビスマスでドーブされた III 族窒化物バルク結晶を成長させることと、前記バルク結晶をスライスすることにより、前記ウエハを形成することとを含む、方法。

【請求項 15】

素子が加工されることになる前記ウエハの表面を研磨することをさらに含む、請求項 1

10

20

30

40

50

4に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願への相互参照)

本出願は、2012年8月24日に出願された、Tadao Hashimoto, Edward Letts, およびSierra Hoffの「BISMUTH - DOPE D SEMI - INSULATING GROUP III NITRIDE WAFER AND ITS PRODUCTION METHOD」と題名の米国出願第61 / 693, 122号 (attorney docket number SIXPOI - 013USPRV1) に対して優先権の利益を主張する。上記出願は、以下に全てを提示するようにその全体として参照することによって本明細書において援用される。

10

本出願は、以下の米国特許出願：

2005年7月8日に出願された、Kenji Fujito, Tadao Hashimoto, およびShuji Nakamuraの「METHOD FOR GROWING GROUP III - NITRIDE CRYSTALS IN SUPERCRITICAL AMMONIA USING AN AUTOCLAVE」という題名のPCT特許出願第US2005 / 024239号 (attorneys' docket number 30794.0129 - WO - 01 (2005 - 339 - 1))、

米国特許法Section 119(e)下で、2006年4月7日に出願された、Tadao Hashimoto, Makoto Saito, およびShuji Nakamuraの「METHOD FOR GROWING LARGE SURFACE AREA GALLIUM NITRIDE CRYSTALS IN SUPERCRITICAL AMMONIA AND LARGE SURFACE AREA GALLIUM NITRIDE CRYSTALS」という題名の米国仮特許出願第60 / 790, 310号 (attorneys docket number 30794.179 - US - P1 (2006 - 204)) の利益を主張する、2007年4月6日に出願された、Tadao Hashimoto, Makoto Saito, およびShuji Nakamuraの「METHOD FOR GROWING LARGE SURFACE AREA GALLIUM NITRIDE CRYSTALS IN SUPERCRITICAL AMMONIA AND LARGE SURFACE AREA GALLIUM NITRIDE CRYSTALS」という題名の米国特許出願第11 / 784, 339号 (attorneys docket number 30794.179 - US - U1 (2006 - 204))、

20

30

2007年9月19日に出願された、Tadao HashimotoおよびShuji Nakamuraの「GALLIUM NITRIDE BULK CRYSTALS AND THEIR GROWTH METHOD」という題名の米国特許出願第60 / 973, 662号 (attorneys docket number 30794.244 - US - P1 (2007 - 809 - 1))、

2007年10月25日に出願された、Tadao Hashimotoの「METHOD FOR GROWING GROUP III - NITRIDE CRYSTALS IN A MIXTURE OF SUPERCRITICAL AMMONIA AND NITROGEN, AND GROUP III - NITRIDE CRYSTALS GROWN THEREBY」という題名の米国特許出願第11 / 977, 661号 (attorneys docket number 30794.253 - US - U1 (2007 - 774 - 2))、

40

2008年2月25日に出願された、Tadao Hashimoto, Edward Letts, Masanori Ikariの「METHOD FOR PRODUCING GROUP III - NITRIDE WAFERS AND GROUP III - NITRIDE WAFERS」という題名の米国特許出願第61 / 067, 11

50

7号 (attorneys docket number 62158-30002.00)、

2008年6月4日出願された、Edward Letts, Tadao Hashimoto, Masanori Ikariの「METHODS FOR PRODUCING IMPROVED CRYSTALLINITY GROUP III-NITRIDE CRYSTALS FROM INITIAL GROUP III-NITRIDE SEED BY AMMONOTHERMAL GROWTH」という題名の米国特許出願第61/058,900号 (attorneys docket number 62158-30004.00)、

2008年6月4日出願された、Tadao Hashimoto, Edward Letts, Masanori Ikariの「HIGH-PRESSURE VESSEL FOR GROWING GROUP III NITRIDE CRYSTALS AND METHOD OF GROWING GROUP III NITRIDE CRYSTALS USING HIGH-PRESSURE VESSEL AND GROUP III NITRIDE CRYSTAL」という題名の米国特許出願第61/058,910号 (attorneys docket number 62158-30005.00)、

2008年6月12日出願された、Tadao Hashimoto, Masanori Ikari, Edward Lettsの「METHOD FOR TESTING III-NITRIDE WAFERS AND III-NITRIDE WAFERS WITH TEST DATA」という題名の米国特許出願第61/131,917号 (attorneys docket number 62158-30006.00)

に関連する。上記出願は、以下に全てを提示するようにそれらの全体として参照することによって援用される。

【0002】

(背景)

発明分野

本発明は、トランジスタ等の電子素子を含む、種々の素子のために使用される半導体ウエハに関する。より具体的には、本発明は、III族窒化物から成る化合物半導体ウエハに関する。

【背景技術】

【0003】

現存テクノロジーの説明

(注：本特許出願は、括弧内の数字、例えば、[x]を用いて示されるように、いくつかの刊行物および特許を参照する。これらの刊行物および特許の一覧は、「参考文献」という表題の項に見出すことができる。)

【0004】

窒化ガリウム (GaN) およびその関連III族窒化物合金は、マイクロ波電力トランジスタおよびソーラー・ブラインド型光検出器等の種々の電子素子のための重要な材料である。しかしながら、これらの素子の大部分は、GaNウエハが、ヘテロエピタキシャル基板と比較して、非常に高価であるため、サファイアおよび炭化ケイ素等の異種基板 (または、ウエハ) 上にエピタキシャルに成長される。III族窒化物のヘテロエピタキシャル成長は、著しく欠陥またはさらに亀裂がある膜を生じさせ、高電力マイクロ波トランジスタ等の高性能電子素子の実現を妨害する。

【0005】

ヘテロエピタキシによって生じるあらゆる基本問題を解決するために、バルクIII族窒化物結晶インゴットからスライスされたIII族窒化物ウエハを利用することが不可欠である。素子の大部分に関して、GaNウエハは、ウエハの伝導性を制御することが比較的容易であり、GaNウエハが、素子層と最小格子/熱不整合を提供するであろうため

10

20

30

40

50

、好ましい。しかしながら、高融点および高温における高窒素蒸気圧のため、GaN結晶インゴットを成長させることは困難である。現在、市販のGaNウエハの大部分は、水素化物気相エピタキシ(HVPE)と呼ばれる方法によって生産される。HVPEは、気相法であり、転位密度を 10^5 cm^{-2} 未満に低減させることが困難である。

【0006】

転位および/または粒界の密度が未満 10^5 cm^{-2} である、高品質GaNウエハを得るために、アモノサーマル成長と呼ばれる新しい方法が、開発されている[1-6]。最近、 10^5 cm^{-2} 未満の転位および/または粒界の密度を有する高品質GaNウエハが、アモノサーマル成長によって得られることができる。しかしながら、アモノサーマル法によって成長されたGaNインゴットは、典型的には、n-型伝導性を示し、高電子移動度トランジスタ(HEMT)に好ましくない。高周波数動作のため、伝導性基板は、基板を通して高レベルの静電容量損失を生じさせる。トランジスタの性能を改善するために、半絶縁ウエハが、非常に求められる。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

(発明の要約)

本発明は、ビスマス(Bi)でドーブされた $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$, $0 < x+y < 1$)の半絶縁ウエハを開示する。半絶縁ウエハは、抵抗率 10^4 オーム・cm以上を有する。III族窒化物の単結晶インゴットを得ることは非常に困難であるが、アモノサーマル法は、 10^5 cm^{-2} 未満の転位/粒界の密度を有するIII族窒化物の高配向多結晶インゴットを成長させることができる。

20

例えば、本願発明は以下の項目を提供する。

(項目1)

半絶縁ウエハであって、前記半絶縁ウエハは、 10 mm^2 を上回る表面積および 200 μm を上回る厚さを有する $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$, $0 < x+y < 1$)を備え、前記 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ は、ビスマスでドーブされる、半絶縁ウエハ。

(項目2)

前記ウエハの抵抗率は、 10^4 オーム・cmを上回る、項目1に記載の半絶縁ウエハ。

30

(項目3)

前記結晶は、超臨界アンモニア中で成長された $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$, $0 < x+y < 1$)のバルクインゴットをスライスすることによって加工される、項目1または項目2に記載の半絶縁ウエハ。

(項目4)

前記ウエハは、 10^5 cm^{-2} 未満の線欠陥および粒界の密度を伴う、 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1$, $0 < x+y < 1$)の高配向多結晶または単結晶を備える、項目1-3のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

(項目5)

前記ウエハは、GaNである、項目1-4のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

40

(項目6)

ビスマスでドーブされた前記 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ は、約 10^4 オーム・cmを上回る抵抗率を有する、項目1-5のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

(項目7)

ビスマスでドーブされた前記 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ は、 10^5 cm^{-2} 未満の転位および/または粒界の密度を有する、項目1-6のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

(項目8)

ビスマスでドーブされた前記 $\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ は、III族窒化物基板上の層である、項目1-7のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

(項目9)

50

前記ウエハは、前記ウエハ全体を通して、ビスマスでドーピングされた $Ga_xAl_yIn_{1-x-y}N$ を備える、項目 1 - 7 のいずれかに記載の半絶縁ウエハ。

(項目 10)

項目 1 - 9 のいずれかのウエハ上に形成される、電子、光学、または光電子素子。

(項目 11)

10 mm^2 を上回る表面積および $200\text{ }\mu\text{m}$ を上回る厚さを有する、ビスマスでドーピングされた III 族窒化物バルク結晶を成長させる方法であって、前記方法は、

(a) III 族含有原料を高圧反応器内に設置することと、

(b) 触媒剤を前記高圧反応器内に設置することと、

(c) 少なくとも 1 つのシード結晶を前記高圧反応器内に設置することと、

(d) ビスマス含有ドーパントを前記高圧反応器内に設置することと、

(e) アンモニアを前記高圧反応器内に設置することと、

(f) 前記高圧反応器を密閉することと、

(g) 十分な熱を前記アンモニアに提供し、アンモニアの超臨界状態を生成することと

、

(h) III 族窒化物を前記シード結晶上に結晶化させることと

を含む、方法。

(項目 12)

前記ビスマス含有ドーパントは、金属ビスマスおよびビスマスでドーピングされた III 族窒化物から選択される、項目 11 に記載の方法。

(項目 13)

前記シード結晶上に結晶化される III 族窒化物は、 GaN である、項目 11 または項目 12 に記載の方法。

(項目 14)

前記シード結晶は、 GaN である、項目 11 - 13 のいずれかに記載の方法。

(項目 15)

前記触媒剤は、アルカリ金属を含有する、項目 11 - 14 のいずれかに記載の方法。

(項目 16)

前記触媒剤は、ナトリウムを含有する、項目 11 - 15 のいずれかに記載の方法。

(項目 17)

前記結晶化された III 族窒化物が半絶縁であるように、十分な量の前記ビスマス含有ドーパントが存在する、項目 11 - 16 のいずれかに記載の方法。

(項目 18)

ビスマスでドーピングされた III 族窒化物半絶縁ウエハを加工する方法であって、前記方法は、項目 11 - 17 のいずれかに記載のようにビスマスでドーピングされた III 族窒化物バルク結晶を成長させることと、前記バルク結晶をスライスし、前記ウエハを形成することを含む、方法。

(項目 19)

素子が加工されることになる前記ウエハの表面を研磨することをさらに含む、項目 18 に記載の方法。

【0008】

ここで、類似参照番号が全体を通して対応する部品を表す図面を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】図1は、Biでドーピングされた半絶縁 III 族窒化物ウエハを加工するための典型的プロセスフローである。

【図2】図2は、Biでドーピングされた GaN バルク結晶の写真である。 図中、各番号は、以下を表す。 1. Biでドーピングされた GaN バルク結晶

【発明を実施するための形態】

【0010】

10

20

30

40

50

(発明の詳細な説明)

概要

本発明の半絶縁基板は、高電子移動度トランジスタ (HEMT) 等の GaN 系高周波数トランジスタの加工に好適な特性を提供する。III 族窒化物の単結晶基板の欠如のため、GaN 系高周波数トランジスタが、いわゆる、サファイア、シリコン、および炭化ケイ素等のヘテロエピタキシャル基板上に加工されている。ヘテロエピタキシャル基板は、III 族窒化物と化学的および物理的に異なるため、素子は、ヘテロエピタキシャル基板と素子層との間の界面に生成される高密度の転位 ($10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$) を含有する。そのような転位は、素子の性能および信頼性を劣化させ、したがって、GaN および AlN 等の単結晶 III 族窒化物から成る基板が、開発されている。現在、市販の GaN 基板の大部分は、ハイドライド気相エピタキシ (HVPE) を使用して生産されるが、そのプロセスは、転位密度を 10^5 cm^{-2} 未満まで低減させることが困難である。HVPE-GaN 基板の転位密度は、ヘテロエピタキシャル基板上の GaN 膜より数桁小さいが、転位密度は、依然として、電子機器内の典型的シリコン素子より数桁大きい。より高い素子性能を達成するために、より低い転位密度が、要求される。 10^5 cm^{-2} 未満の転位密度を達成するために、超臨界アンモニアを利用する、アモノサーマル成長が、現在までに開発されている。現在、アモノサーマル法は、 10^5 cm^{-2} 未満の転位密度を伴う GaN ウエハを生産することができる。しかしながら、アモノサーマル成長は、典型的には、高レベルの電子を伴う結晶を生産し、したがって、基板は、n 型または n+ 型である。トランジスタ用途のための低欠陥アモノサーマルウエハを使用するために、抵抗率を増加させることが必要である。

【0011】

本発明の技術説明

半絶縁基板の本発明は、アモノサーマル成長によって、低転位 III 族基板の利点を最大限にすることが予想される。半絶縁 GaN 系基板を得るために、遷移金属のドーピングが、提案されている [7]。しかしながら、開示される方法は、HVPE に焦点を当て、 10^5 cm^{-2} 未満の転位密度を有する高品質バルク結晶には適用可能ではない。低転位 III 族窒化物バルク結晶を達成するために、アモノサーマル法等のバルク成長法が、使用されなければならない。しかしながら、遷移金属のドーピング効率は、アモノサーマル成長では、効率的ではない。したがって、アモノサーマル法と互換性があり、III 族窒化物基板内で半絶縁特性を実現するであろう、新しいドーパントを探した。研究を通して、Bi がアモノサーマル成長におけるドーピングに好適であることを見出した。

【0012】

Bi でドーピングされた半絶縁 III 族窒化物ウエハを調製するための典型的プロセスフローは、図 1 に表される。アモノサーマル法または他のバルク成長法 (フラックス法、高圧溶液成長等) を使用することによって、Bi でドーピングされた III 族窒化物バルク結晶が、成長される。Bi でドーピングされた III 族窒化物バルク結晶は、ウエハにスライスされるために十分に大きくあるべきである。また、Bi でドーピングされた III 族窒化物バルク結晶は、 10^5 cm^{-2} 未満の転位および / または粒界の密度を伴う高配向多結晶または単結晶であるべきである。Bi でドーピングされた III 族窒化物バルク結晶は、複数のワイヤソーを用いて、ウエハにスライスされ、次いで、ウエハは、研削、ラップ仕上げ、および研磨によって仕上げられる。アモノサーマル法等のバルク成長法を使用することによって、 10^5 cm^{-2} 未満の転位密度が、達成されることができる。商業使用のために、直径が 1 インチより大きく、200 ミクロンより厚い基板が、好ましい。素子層または構造が形成される表面は、原子レベルまで研磨される。研磨プロセスは、典型的には、ダイヤモンドツールを用いた研削と、ダイヤモンドスラリーを用いたラップ仕上げと、コロイド状シリカを用いた研磨とから成る。仕上げられたウエハは、随意に、仕上げ表面を化学的、物理的、および / または機械的損傷から保護するための保護層を有することができる。

【0013】

(実施例 1)

GaNのバルク結晶が、原料としての多結晶GaN、溶媒としての超臨界アンモニア、
鉍化剤としてのナトリウム（アンモニア内に対して4.5mol%）、およびドーパント
としての元素Bi（原料に対して6%）を使用して、アモノサーマル法を用いて成長され
た。元素Biは、鉍化剤とともに設置された。成長温度は、500～600であり、成
長は、4日に及んだ。200ミクロンを超える厚さのGaNが、c-平面GaNシード結
晶上に成長された〔図2〕。結晶のサイズは、約10mm²であった。結晶品質は、X線
回折を用いて特性評価された。002回折の半値全幅（FWHM）は、231秒角であり
、201回折のFWHMは、485秒角であった。011、110、013、020、1
12、004、022、121、006等の他の平面からの回折は、測定されないが、同
様の数のFWHMが、予想される。Biドーパを用いても、結晶品質は、著しく劣化され
なかった。GaN結晶の抵抗率が、2プローブ法を用いて測定された。プローブの分離は
、2.5mmであり、印加された電圧は、10Vであった。回路を通る電流は、電流計の
検出限界（10マイクロA）を下回った。本実験から、抵抗率10⁴オーム・cm以上で
あると推定した。図2に示されるように、結晶色は、暗茶色または黒色であった。明ら
かに、光学吸収係数は、可視波長範囲全体を通して、10cm⁻¹より高い。転位密度は、
本特定の結晶上で測定されなかったが、X線FWHMに基づいて、転位密度が約10⁵cm⁻²
以下であると推定する。

10

【0014】

利点および改良点

本発明は、10⁵cm⁻²を下回る転位密度を有する半絶縁III族窒化物ウエハを提供
する。Biは、アモノサーマル成長によって半絶縁III族窒化物バルク結晶を成長させ
るための効率的ドーパントである。Biの高濃度ドーパを用いても、結晶品質は、著しく
劣化しなかった。BiでドーパされたIII族窒化物バルク結晶をスライスすることによ
って加工されたウエハは、HEMT等の電子素子に好適であることが予想される。

20

【0015】

可能性として考えられる修正

好ましい実施形態は、GaN基板を説明するが、基板は、AlN、AlGaN、InN
、InGaN、またはGaAlInN等の種々の組成物のIII族窒化物合金であること
ができる。

【0016】

好ましい実施形態は、バルク成長法として、アモノサーマル成長を説明するが、高圧溶
液成長、フラックス成長、水素化物気相エピタキシ、物理気相輸送、または昇華成長等の
他の成長法も、使用されることができる。

30

【0017】

好ましい実施形態は、c-平面GaNを説明するが、a-面、m-面、および種々の半
極性表面等の他の配向もまた、使用されることができる。加えて、表面は、若干、これら
の配向からミスカット（ずれてスライス）されることができる。

【0018】

好ましい実施形態は、ドーパントとして金属Biを説明するが、Biでドーパされた多
結晶GaN、Biでドーパされた非晶質GaN、Biでドーパされた単結晶GaN等のB
iでドーパされたIII族窒化物も、ドーパ濃度のより優れた制御のために使用されるこ
とができる。

40

【0019】

BiでドーパされたIII族窒化物結晶が、前述で論じられるが、硫黄、セレン、アン
チモン、スズ、または鉛、あるいはこれらの任意の組み合わせ等の他の元素が、半絶縁I
II族窒化物結晶の代わりに、またはそのためのビスマスと組み合わせて、ドーパントと
して作用してもよい。

【0020】

参考文献

以下の参考文献は、参照することによって本明細書に組み込まれる。

50

[1] R. Dwilinski, R. Doradzinski, J. Garczynski, L. Sierzputowski, Y. Kanbara (米国特許第6,656,615号)

[2] R. Dwilinski, R. Doradzinski, J. Garczynski, L. Sierzputowski, Y. Kanbara (米国特許第7,132,730号)

[3] R. Dwilinski, R. Doradzinski, J. Garczynski, L. Sierzputowski, Y. Kanbara (米国特許第7,160,388号)

[4] K. Fujito, T. Hashimoto, S. Nakamura (国際特許出願第PCT/US2005/024239号、第WO07008198号)

[5] T. Hashimoto, M. Saito, S. Nakamura (国際特許出願第PCT/US2007/008743号、第WO07117689号。また、第US20070234946号、2007年4月6日出願の米国出願第11/784,339号も参照。)

[6] D' Eyelyn (米国特許第7,078,731号)

[7] Vaudo, et al., (米国特許第7,170,095号)

前述の参考文献はそれぞれ、特に、アモノサーマル法を作製、使用し、これらの窒化ガリウム基板を使用する方法の説明に関して、本明細書に完全に記載される場合と同様に、参照することによって全体として組み込まれる。

10

20

【図1】

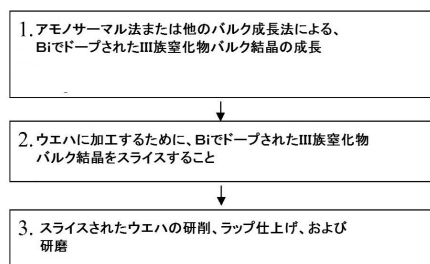


FIG. 1

【図2】

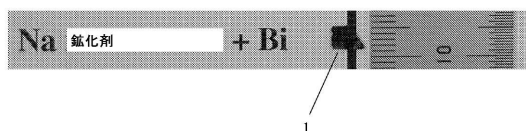


FIG. 2

フロントページの続き

(74)代理人 100113413

弁理士 森下 夏樹

(74)代理人 100181674

弁理士 飯田 貴敏

(74)代理人 100181641

弁理士 石川 大輔

(74)代理人 230113332

弁護士 山本 健策

(72)発明者 橋本 忠朗

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93111, サンタ バーバラ, カーレ リアル 506
6, ビー

(72)発明者 レッツ, エドワード

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93427, ブエルトン, シカモア ドライブ 371

(72)発明者 ホフ, シエラ

アメリカ合衆国 カリフォルニア 93463, ソルバング, 2エヌディー ストリート 4
71, ユニット ケー - 2

合議体

審判長 豊永 茂弘

審判官 宮澤 尚之

審判官 小川 進

(56)参考文献 特表2011-513180(JP,A)

特開2003-124128(JP,A)

特開2009-164611(JP,A)

特開平08-222764(JP,A)

特開2007-119276(JP,A)

特表2006-513122(JP,A)

特表2008-503102(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C30B29/38

H01L21/205