

(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2015-44707  
(P2015-44707A)

(43) 公開日 平成27年3月12日(2015.3.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C30B 29/38 (2006.01)</b>	C30B 29/38 D	4G077
<b>HO1L 33/22 (2010.01)</b>	HO1L 33/00 186	5F141

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2013-176648 (P2013-176648)	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(22) 出願日	平成25年8月28日 (2013.8.28)	(74) 代理人	110001195 特許業務法人深見特許事務所
		(72) 発明者	弘田 龍 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内
		(72) 発明者	佃 至弘 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
		Fターム(参考)	4G077 AA02 AB08 AB09 BE15 DB05 ED06 HA02 HA12 TA04 TB03 TK01 TK11 5F141 AA41 CA04 CA05 CA40 CA65 CA92

(54) 【発明の名称】窒化ガリウム基板および半導体デバイス

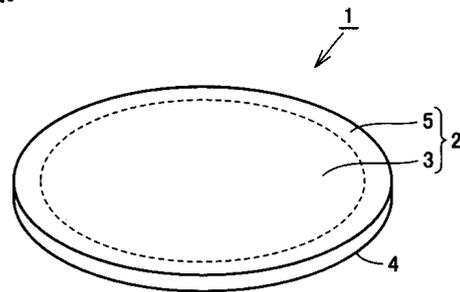
(57) 【要約】

【課題】半導体デバイスの歩留まりを高くする。

【解決手段】GaN基板の18cm<sup>2</sup>以上の面積を有する表面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値とGaN基板の裏面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値を0.5cm<sup>-1</sup>以下とし、第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値を0.5cm<sup>-1</sup>以下とする。

【選択図】図3

図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

18 cm<sup>2</sup>以上の面積を有する表面と、

前記表面の裏側の裏面と、を含む窒化ガリウム基板であって、

前記窒化ガリウム基板の前記表面の周縁から5 mm内側までの領域を除いた第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と、前記窒化ガリウム基板の前記裏面の周縁から5 mm内側までの領域を除いた第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が0.5 cm<sup>-1</sup>以下であって、

前記第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と、前記第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が0.5 cm<sup>-1</sup>以下である、窒化ガリウム基板。

10

## 【請求項 2】

前記第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と、前記第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が0.3 cm<sup>-1</sup>以下である、請求項1に記載の窒化ガリウム基板。

## 【請求項 3】

前記第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と、前記第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が0.3 cm<sup>-1</sup>以下である、請求項1または請求項2に記載の窒化ガリウム基板。

## 【請求項 4】

前記第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と最小値との差の絶対値が0.5 cm<sup>-1</sup>以下である、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の窒化ガリウム基板。

20

## 【請求項 5】

前記第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と最小値との差の絶対値が0.5 cm<sup>-1</sup>以下である、請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の窒化ガリウム基板。

## 【請求項 6】

前記第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値が2.8 cm<sup>-1</sup>以下である、請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の窒化ガリウム基板。

30

## 【請求項 7】

前記第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値が2.3 cm<sup>-1</sup>以下である、請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の窒化ガリウム基板。

## 【請求項 8】

窒化ガリウム基板と、

前記窒化ガリウム基板上の半導体膜と、を含み、

前記窒化ガリウム基板は、18 cm<sup>2</sup>以上の面積を有する表面と、前記表面の裏側の裏面と、を含み、

40

前記窒化ガリウム基板の前記表面の周縁から5 mm内側までの領域を除いた第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と、前記窒化ガリウム基板の前記裏面の周縁から5 mm内側までの領域を除いた第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が0.5 cm<sup>-1</sup>以下であって、

前記第1の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と、前記第2の領域内におけるE<sub>2</sub><sup>H</sup>フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が0.5 cm<sup>-1</sup>以下である、半導体デバイス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

50

本発明は、窒化ガリウム基板および半導体デバイスに関する。

【背景技術】

【0002】

窒化物半導体基板の中でも窒化ガリウム（以下、「GaN」という。）基板は、発光デバイスや電子デバイスなどの半導体デバイスの製造用の基板として注目されている。たとえば特許文献1には、半導体デバイスの作製時におけるクラックおよび割れの発生を低減することができるGaN結晶基板が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-169132号公報

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】播磨 弘, 「GaNおよび関連窒化物のラマン散乱分光」, 材料, 日本材料学会, Vol. 51, No. 9, 2002年9月, pp. 983 - 988

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載のGaN結晶基板は、基板表面内の応力の分布をより均一にすることができる」とされている。

【0006】

しかしながら、現在の産業界においては、半導体デバイスの歩留まりをより高くすることができるGaN基板の開発が要望されている。

【0007】

そこで、本発明は、半導体デバイスの歩留まりを高くすることができるGaN基板および当該GaN基板を用いた半導体デバイスおよび半導体デバイスの製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の第1の態様によれば、 $18\text{ cm}^2$ 以上の面積を有する表面と前記表面の裏側の裏面とを含むGaN基板であって、前記GaN基板の前記表面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と前記GaN基板の前記裏面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、前記第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と前記第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であるGaN基板を提供することができる。

【0009】

本発明の第2の態様によれば、GaN基板と前記GaN基板上の半導体膜とを含み、前記GaN基板は $18\text{ cm}^2$ 以上の面積を有する表面と前記表面の裏側の裏面とを含み、前記GaN基板の前記表面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と前記GaN基板の前記裏面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、前記第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と前記第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である半導体デバイスを提供することができる。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、半導体デバイスの歩留まりを高くすることができるGaN基板および

10

20

30

40

50

当該 GaN 基板を用いた半導体デバイスおよび半導体デバイスの製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】ウルツ鉱型の GaN 結晶の結晶構造を示す図である。

【図2】 $E_2^H$ フォノンモードを説明する図である。

【図3】実施の形態1の GaN 基板の模式的な斜視図である。

【図4】実施の形態1の GaN 基板の表面の模式的な平面図である。

【図5】実施の形態1の GaN 基板の裏面の模式的な平面図である。

【図6】実施の形態1の GaN 基板の表面の第1の領域内における  $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの測定方法の一例を図解する模式的な斜視図である。 10

【図7】実施の形態1の GaN 基板の裏面の第2の領域内における  $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの測定方法の一例を図解する模式的な斜視図である。

【図8】実施の形態1において、下地基板の表面上に GaN 結晶を成長させる工程の一例を図解する模式的な断面図である。

【図9】実施の形態1において、GaN 結晶の表面の第1の領域内および裏面の第2の領域内の  $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定する工程の一例を図解する模式的な断面図である。

【図10】実施の形態1において、GaN 結晶の表面の第1の領域内における  $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定する方法の一例を図解する模式的な斜視図である。 20

【図11】実施の形態1において、GaN 結晶の裏面の第2の領域内における  $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定する方法の一例を図解する模式的な斜視図である。

【図12】実施の形態1において、GaN 結晶の箇所を取り出す工程を図解する模式的な断面図である。

【図13】実施の形態1において、GaN 結晶または GaN 結晶の箇所をスライスする工程の一例を図解する模式的な断面図である。

【図14】実施の形態1において、スライスする工程を行なった後の GaN 基板の一例の模式的な断面図である。 30

【図15】実施の形態1の成膜済み基板の模式的な断面図である。

【図16】実施の形態2において、GaN 基板の表面上に第2の GaN 結晶を成長させる工程を図解する模式的な断面図である。

【図17】実施の形態2において、第2の GaN 結晶の表面の第1の領域内および裏面の第2の領域内の  $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定する工程の一例を図解する模式的な断面図である。

【図18】実施の形態2において、第2の GaN 結晶の表面の第1の領域内における  $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定する方法の一例を図解する模式的な斜視図である。

【図19】実施の形態2において、第2の GaN 結晶の裏面の第2の領域内における  $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定する方法の一例を図解する模式的な斜視図である。 40

【図20】実施の形態2において、第2の GaN 結晶の箇所を取り出す工程を図解する模式的な断面図である。

【図21】実施の形態2において、第2の GaN 結晶または第2の GaN 結晶の箇所をスライスする工程の一例を図解する模式的な断面図である。

【図22】実施の形態2において、スライスする工程を行なった後の GaN 基板の一例の模式的な断面図である。

【図23】実施の形態2の半導体膜を形成した状態の模式的な断面図である。

【図24】実験例において GaN 結晶の成長に用いられた成長炉の概略を示す図である。 50

【図25】サンプルNo. 1～21のGaN基板をそれぞれ用いて作製した青色発光ダイオード素子の模式的な断面図ある。

【発明を実施するための形態】

【0012】

[本発明の実施形態の説明]

最初に本発明の実施形態の内容を列記して説明する。本発明の実施形態は、以下の(1)～(8)を含んでいる。

【0013】

(1)本発明の第1の態様は、 $18\text{ cm}^2$ 以上の面積を有する表面と前記表面の裏側の裏面とを含むGaN基板であって、前記GaN基板の前記表面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と前記GaN基板の前記裏面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、前記第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と前記第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であるGaN基板である。

10

【0014】

第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である場合には、GaN基板の表面が $18\text{ cm}^2$ 以上という大面積を有しているときであっても、GaN基板の表面側と裏面側との間の応力差を小さくすることができる。そのため、半導体デバイスを作製する際に、GaN基板にクラック等が発生するのを抑えることができることから、半導体デバイスの歩留まりを高くすることができる。

20

【0015】

ここで、 $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトとは、ウルツ鉱型のGaN結晶を例にして説明すると、 $E_2^H$ フォノンモードは、図1に示すGa原子(白丸)およびN原子(黒丸)からなる結晶構造を有するGaN結晶において、図2に示すようにN原子がc面で変位するモードである。

30

【0016】

第1の領域内および第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトは、第1の領域内および第2の領域内をラマン分光分析して得られるスペクトルにおいて、 $E_2^H$ フォノンモードに対応するピークの波数である。

【0017】

(2)本発明の第1の態様においては、前記第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と、前記第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が $0.3\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。この場合には、半導体デバイスを作製する際に、GaN基板にクラック等が発生するのをより抑えることができることから、半導体デバイスの歩留まりをより向上させることができる。

40

【0018】

(3)本発明の第1の態様においては、前記第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と、前記第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が $0.3\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。この場合には、半導体デバイスを作製する際に、GaN基板にクラック等が発生するのをより抑えることができることから、半導体デバイスの歩留まりをより向上させることができる。

【0019】

50

(4) 本発明の第1の態様においては、前記第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と最小値との差の絶対値が $0.5 \text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。この場合には、半導体デバイスを作製する際に、GaN基板にクラック等が発生するのをより抑えることができることから、半導体デバイスの歩留まりをより向上させることができる。

【0020】

(5) 本発明の第1の態様においては、前記第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と最小値との差の絶対値が $0.5 \text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。この場合には、半導体デバイスを作製する際に、GaN基板にクラック等が発生するのをより抑えることができることから、半導体デバイスの歩留まりをより向上させることができる。

10

【0021】

(6) 本発明の第1の態様においては、前記第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値が $2.8 \text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。この場合には、半導体デバイスの作製時にGaN基板にクラック等の発生をより低減させることができるだけでなく、GaN基板の結晶性も良好となるため、当該GaN基板を用いて作製された半導体デバイスの特性も良好にすることができる。

【0022】

(7) 本発明の第1の態様においては、前記第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値が $2.3 \text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。この場合には、半導体デバイスの作製時におけるGaN基板のクラック等の発生をより低減させることができるだけでなく、GaN基板の結晶性も良好となるため、当該GaN基板を用いて作製された半導体デバイスの特性も良好にすることができる。

20

【0023】

(8) 本発明の第2の態様は、GaN基板と前記GaN基板上の半導体膜とを含み、前記GaN基板は $18 \text{ cm}^2$ 以上の面積を有する表面と前記表面の裏側の裏面とを含み、前記GaN基板の前記表面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と前記GaN基板の前記裏面の周縁から5mm内側までの領域を除いた第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が $0.5 \text{ cm}^{-1}$ 以下であって、前記第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と前記第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が $0.5 \text{ cm}^{-1}$ 以下である半導体デバイスである。

30

【0024】

GaN基板の第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値が $0.5 \text{ cm}^{-1}$ 以下であって、第1の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と第2の領域内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値が $0.5 \text{ cm}^{-1}$ 以下であるGaN基板を用いて半導体デバイスを作製した場合には、半導体デバイスを作製する際に、GaN基板にクラック等が発生するのを抑えることができる。これにより、半導体デバイスの歩留まりを高くすることができる。

40

【0025】

[ 本発明の実施形態の詳細 ]

以下、本発明の一例である実施の形態について説明する。なお、本明細書の図面において、同一の参照符号は、同一部分または相当部分を表わすものとする。

【0026】

[ 実施の形態1 ]

< GaN基板 >

図3に、実施の形態1のGaN基板の模式的な斜視図を示す。また、図4に、実施の形

50

態 1 の G a N 基板の表面の模式的な平面図を示し、図 5 に、実施の形態 1 の G a N 基板の裏面の模式的な平面図を示す。

【 0 0 2 7 】

図 3 ~ 図 5 に示すように、実施の形態 1 の G a N 基板 1 は、 $18\text{ cm}^2$ 以上の面積を有する表面 2 と、表面 2 の裏側の裏面 4 とを含んでいる。G a N 基板 1 の表面 2 は、表面 2 の周縁から 5 mm 内側までの領域 5 ( 図 3 および図 4 の実線と破線との間の領域 ) と、領域 5 を除いた第 1 の領域 3 ( 図 3 および図 4 の破線で囲まれた領域 ) とを有している。また、G a N 基板 1 の裏面 4 は、裏面 4 の周縁から 5 mm 内側までの領域 7 ( 図 5 の実線と破線との間の領域 ) と、領域 7 を除いた第 2 の領域 6 ( 図 5 の破線で囲まれた領域 ) とを有している。

10

【 0 0 2 8 】

実施の形態 1 の G a N 基板 1 においては、第 1 の領域 3 内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と第 2 の領域 6 内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値 ( 以下、「G a N 基板 1 の最大値の差の絶対値」という。 ) が  $0.5\text{ cm}^{-1}$  以下となっている。また、実施の形態 1 の G a N 基板 1 においては、第 1 の領域 3 内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と第 2 の領域 6 内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値 ( 以下、「G a N 基板 1 の最小値の差の絶対値」という。 ) が  $0.5\text{ cm}^{-1}$  以下となっている。

20

【 0 0 2 9 】

これは、本発明者が鋭意検討した結果、G a N 基板 1 の最大値の差の絶対値が  $0.5\text{ cm}^{-1}$  以下であって、G a N 基板 1 の最小値の差の絶対値が  $0.5\text{ cm}^{-1}$  以下である場合には、G a N 基板 1 の表面 2 が  $18\text{ cm}^2$  以上という大面積を有しているときであっても、G a N 基板 1 を用いて半導体デバイスを作製する際に、G a N 基板 1 にクラック等が発生するのを抑えることができ、半導体デバイスの歩留まりを高くすることができることを見出したことによるものである。

【 0 0 3 0 】

半導体デバイスを作製する際に G a N 基板 1 にクラック等が発生するのが抑えられて半導体デバイスの歩留まりが向上する理由は次のように考えられる。G a N 基板 1 の最大値の差の絶対値が  $0.5\text{ cm}^{-1}$  以下であって、G a N 基板 1 の最小値の差の絶対値が  $0.5\text{ cm}^{-1}$  以下であることにより、G a N 基板 1 上への半導体膜の成長時に約 1000 またはそれ以上の高温に曝された場合であっても、G a N 基板 1 の表面 2 側と裏面 4 側との間の応力差が小さいため、G a N 基板 1 にクラック等が発生するのを避けることができる。また、G a N 基板 1 の表面 2 側と裏面 4 側との間の応力差が小さいため、G a N 基板 1 が高温に曝された場合であっても G a N 基板 1 に反りが生じにくく、G a N 基板 1 上に面内で均質な半導体膜を成膜することができるため、半導体デバイスの特性のばらつきを低減することができる。このように、G a N 基板 1 にクラック等 ( クラック、割れ、成膜中の反り等 ) が発生するのを抑制することができるため、半導体デバイスの歩留まりを向上させることができると考えられる。

30

【 0 0 3 1 】

図 6 に、G a N 基板 1 の表面 2 の第 1 の領域 3 内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトの測定方法の一例を図解する模式的な斜視図を示す。G a N 基板 1 の表面 2 の第 1 の領域 3 内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトは、たとえば以下のように測定することができる。まず、入射光 2 1 を G a N 基板 1 の表面 2 に対して垂直に G a N 基板 1 の表面 2 の第 1 の領域 3 内に照射する。次に、当該入射光 2 1 のラマン散乱光 2 2 を分光器または干渉計などによって検出してラマンシフトのスペクトルを得る。そして、得られたラマンシフトのスペクトルから、G a N 基板 1 の表面 2 の第 1 の領域 3 内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトを得ることができる。

40

【 0 0 3 2 】

図 7 に、G a N 基板 1 の裏面 4 の第 2 の領域 6 内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応す

50

るラマンシフトの測定方法の一例を図解する模式的な斜視図を示す。GaN基板1の裏面4の第2の領域6内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトは、たとえば以下のように測定することができる。まず、入射光21をGaN基板1の裏面4に対して垂直にGaN基板1の裏面4の第2の領域6内に照射する。次に、当該入射光21のラマン散乱光22を分光器または干渉計などによって検出してラマンシフトのスペクトルを得る。そして、得られたラマンシフトのスペクトルから、GaN基板1の裏面4の第2の領域6内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを得ることができる。

【0033】

なお、GaN基板1の最大値の差の絶対値およびGaN基板1の最小値の差の絶対値は、GaN基板1の表面2の第1の領域3内の任意の複数箇所およびGaN基板1の裏面4の第2の領域6内の任意の複数箇所について、 $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定し、第1の領域3内におけるラマンシフトの最大値および最小値、ならびに第2の領域6内におけるラマンシフトの最大値および最小値を認定することにより算出することができる。

10

【0034】

半導体デバイスを作製する際にGaN基板1にクラック等が発生するのを抑えることによって半導体デバイスの歩留まりをより向上させる観点からは、GaN基板1の最大値の差の絶対値が $0.3\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましく、 $0.1\text{ cm}^{-1}$ 以下であることがより好ましい。また、半導体デバイスを作製する際にGaN基板1にクラック等が発生するのを抑えることによって半導体デバイスの歩留まりをより向上させる観点からは、GaN基板1は、GaN基板1の最小値の差の絶対値が $0.3\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましく、 $0.1\text{ cm}^{-1}$ 以下であることがより好ましい。

20

【0035】

また、半導体デバイスを作製する際にGaN基板1にクラック等が発生するのを抑えることによって半導体デバイスの歩留まりをより向上させる観点からは、GaN基板1の第1の領域3内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と最小値との差の絶対値（以下、「GaN基板1の第1の領域3内における最大値と最小値との差の絶対値」という。）が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましく、 $0.3\text{ cm}^{-1}$ 以下であることがより好ましく、 $0.1\text{ cm}^{-1}$ 以下であることがさらに好ましい。

30

【0036】

また、半導体デバイスを作製する際にGaN基板1にクラック等が発生するのを抑えることによって半導体デバイスの歩留まりをより向上させる観点からは、GaN基板1の第2の領域6内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と最小値との差の絶対値（以下、「GaN基板1の第2の領域6内における最大値と最小値との差の絶対値」という。）が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましく、 $0.3\text{ cm}^{-1}$ 以下であることがより好ましく、 $0.1\text{ cm}^{-1}$ 以下であることがさらに好ましい。

40

【0037】

また、GaN基板1の第1の領域3内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値が $2.8\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。この場合には、半導体デバイスの作製時にGaN基板1におけるクラック等の発生がより低減する傾向にあるだけでなく、GaN基板1の結晶性も良好となるため、GaN基板1を用いて作製された半導体デバイスの特性も良好となる傾向にある。

40

【0038】

また、GaN基板1の第1の領域3内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値が $2.3\text{ cm}^{-1}$ 以下であることがより好ましい。この場合には、半導体デバイスの作製時にGaN基板1におけるクラック等の発生の低減の効果が特に顕著に現れる傾向にあるだけでなく、GaN基板1の結晶性もさらに良好となるため、GaN基板1を用いて作製された半導体デバイスの特性もさらに良好となる傾向にある。

50

【0039】

ここで、GaN基板1の第1の領域3内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅は、GaN基板1の第1の領域3をラマン分光分析して得られたラマンシフトのスペクトルの $E_2^H$ フォノンモードに対応するピークの半値幅( $E_2^H$ フォノンモードに対応するピークの強度が1/2になるときのピークの波数の幅)を測定することにより算出することができる。

【0040】

また、GaN基板1の第2の領域6内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値が $2.8\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが好ましい。この場合には、半導体デバイスの作製時にGaN基板1におけるクラック等の発生がより低減する傾向にあるだけでなく、GaN基板1の結晶性も良好となるため、GaN基板1を用いて作製された半導体デバイスの特性も良好となる傾向にある。

10

【0041】

また、GaN基板1の第2の領域6内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値が $2.3\text{ cm}^{-1}$ 以下であることがより好ましい。この場合には、半導体デバイスの作製時にGaN基板1におけるクラック等の発生の低減の効果が特に顕著に現れる傾向にあるだけでなく、GaN基板1の結晶性もさらに良好となるために、GaN基板1を用いて作製された半導体デバイスの特性もさらに良好となる傾向にある。

【0042】

ここで、GaN基板1の第2の領域6内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅は、GaN基板1の第2の領域6をラマン分光分析して得られたスペクトルの $E_2^H$ フォノンモードに対応するピークの半値幅( $E_2^H$ フォノンモードに対応するピークの強度が1/2になるときのピークの波数の幅)を測定することにより算出することができる。

20

【0043】

また、GaN基板1の表面2および裏面4が大きいほど、半導体デバイスの作製時にGaN基板1にクラックおよび割れが発生しやすくなる。したがって、GaN基板1の表面2および裏面4の面積が好ましくは $40\text{ cm}^2$ 以上、より好ましくは $70\text{ cm}^2$ 以上である場合に、GaN基板1をより有効に用いることができる。

【0044】

30

< GaN基板の製造方法 >

以下、図8～図14を参照して、実施の形態1のGaN基板1の製造方法の一例について説明する。

【0045】

( GaN結晶の成長工程 )

まず、図8の模式的断面図に示すように、 $18\text{ cm}^2$ 以上の面積を有する異種基板である下地基板10の表面上にGaN結晶11を成長させる工程を行なう。ここで、下地基板10としては、たとえばサファイア基板や、GaAs基板などを用いることができる。また、GaN結晶11の成長方法としては、たとえばHVPE(Hydride Vapor Phase Epitaxy)法などを用いることができる。なお、GaN結晶11の成長後においては、GaN結晶11は、下地基板10から切り離される。

40

【0046】

( ラマンシフトの測定工程 )

次に、図9の模式的断面図に示すように、GaN結晶11の $18\text{ cm}^2$ 以上の面積を有する表面12の第1の領域内および表面12の裏側の裏面14の第2の領域内の $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定する工程を行なう。

【0047】

図10に、GaN結晶11の表面12の第1の領域13内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの測定方法の一例を図解する模式的な斜視図を示す。ここで、第1の領域13は、GaN結晶11の表面12の周縁から5mm内側までの領域15(図1

50

0の実線と破線との間の領域)を除いた領域(図10の破線で囲まれた領域)である。GaN結晶11の表面12の第1の領域13内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトは、たとえば以下のように測定することができる。まず、入射光21をGaN結晶11の表面12に対して垂直にGaN結晶11の表面12の第1の領域13内に照射する。次に、当該入射光21のラマン散乱光22を分光器または干渉計などによって検出してラマンシフトのスペクトルを得る。そして、得られたラマンシフトのスペクトルから、GaN結晶11の表面12の第1の領域13内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを得ることができる。

#### 【0048】

図11に、GaN結晶11の裏面14の第2の領域16内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの測定方法の一例を図解する模式的な斜視図を示す。ここで、第2の領域16は、GaN結晶11の裏面14の周縁から5mm内側までの領域17(図11の実線と破線との間の領域)を除いた領域(図11の破線で囲まれた領域)である。GaN結晶11の裏面14の第2の領域16内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトは、たとえば以下のように測定することができる。まず、入射光21をGaN結晶11の裏面14に対して垂直にGaN結晶11の裏面14の第2の領域16内に照射する。次に、当該入射光21のラマン散乱光22を分光器または干渉計などによって検出してラマンシフトのスペクトルを得る。そして、得られたラマンシフトのスペクトルから、GaN結晶11の裏面14の第2の領域16内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを得ることができる。

10

20

#### 【0049】

なお、ラマンシフトの測定の順序は特に限定されず、たとえば、GaN結晶11の表面12の第1の領域13内におけるラマンシフトを先に測定してもよく、GaN結晶11の裏面14の第2の領域16内におけるラマンシフトを先に測定してもよく、第1の領域13内におけるラマンシフトと第2の領域16内におけるラマンシフトとを同時に測定してもよい。

#### 【0050】

(確認工程)

次に、第1の領域13内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と第2の領域16内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値(以下、「GaN結晶11の最大値の差の絶対値」という。)が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、第1の領域13内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と第2の領域16内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値(以下、「GaN結晶11の最小値の差の絶対値」という。)が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である部分を確認する工程を行なう。

30

#### 【0051】

この確認工程により、GaN結晶11の最大値の差の絶対値およびGaN結晶11の最小値の差の絶対値がともに $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である部分を予め確認してから、後述するスライス工程を行ない、実施の形態1のGaN基板1を作製することによって、GaN基板1の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であってGaN基板1の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である実施の形態1のGaN基板1を効率的に作製することができる。

40

#### 【0052】

(取り出し工程)

上記の確認工程において、GaN結晶11の最大値の差の絶対値およびGaN結晶11の最小値の差の絶対値の少なくとも一方が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下ではないことが判明した場合には、たとえば図12の模式的断面図に示すように、GaN結晶11の最大値の差の絶対値およびGaN結晶11の最小値の差の絶対値がともに $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下となるGaN結晶11の箇所11aを取り出す工程を行なうことが好ましい。箇所11aを取り出すには、たとえば、研削、研磨またはスライスなどの公知の加工法を用いることができる。

50

## 【0053】

このように、GaN結晶11の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、GaN結晶11の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であるGaN結晶11の箇所11aを取り出してGaN結晶11の箇所11aをスライスすることによって、GaN基板1の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、GaN基板1の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である実施の形態1のGaN基板1を効率良く作製することができる。

## 【0054】

箇所11aの最大の大きさは、たとえば、下地基板10の種類や大きさ、結晶成長の方法、または結晶成長の条件などによって変化することがある。しかしながら、仮に、このような箇所11aを取り出す工程を経た後に、箇所11aの大きさが、所望の大きさのGaN基板1を作製するのに必要な大きさに満たない場合には、それ以降は、箇所11aの不足した幅や厚さと同じかまたはそれよりも多く、下地基板10の幅を広くする、またはGaN結晶11の厚さを厚くするなどの調整をすることによって、所望の大きさの箇所11aが得られるGaN結晶11を得ることが可能である。

10

## 【0055】

なお、上記の確認工程において、GaN結晶11の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、GaN結晶11の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であることが確認された場合には、GaN結晶11の上記の箇所11aを取り出す工程を行なう必要がないことは言うまでもない。

20

## 【0056】

(断面測定)

GaN結晶11の箇所11aの特定は、GaN結晶11の表面1や裏面4に垂直な面における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定することによっても行なうことができる。この場合には、GaN結晶11の表面1や裏面4に垂直な側面や断面において、GaN結晶11の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下になるとともに、GaN結晶11の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下となるGaN結晶11の厚さ方向の範囲を特定することができる。したがって、この場合には、箇所11aの取り出し工程をより正確、効率的にすることができ、実施の形態1のGaN基板1を効率的に作製することができる。

30

## 【0057】

このような確認工程および取り出し工程を経た場合には、同一方法および同一条件により結晶成長させたGaN結晶11ごとにラマンシフトを測定しなくても取り出す箇所11aを特定することができるようになるため、実施の形態1のGaN基板1を効率的に作製することができる。また、この場合に、GaN結晶11の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下の領域をさらに精度良く取り出すためには、下地基板10とGaN結晶11との界面からGaN結晶11の厚さ方向に $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上離れた領域から箇所11aを取り出すことが好ましく、 $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上離れた領域から箇所11aを取り出すことがより好ましく、 $1000\text{ }\mu\text{m}$ 以上離れた領域から箇所11aを取り出すことがさらに好ましい。また、GaN結晶11の最表面側からは、GaN結晶11内で下地基板10側に $100\text{ }\mu\text{m}$ 以上離れた領域から箇所11aを取り出すことが好ましく、 $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上離れた領域から箇所11aを取り出すことがより好ましい。またGaN結晶11の主面内では、GaN結晶11の最外周部から、 $1.5\text{ mm}$ 以上内側に入り込んだ領域から箇所11aを取り出すことが好ましく、 $3\text{ mm}$ 以上内側に入り込んだ領域から箇所11aを取り出すことがより好ましい。

40

## 【0058】

その理由は、以下のように考えられる。すなわち、下地基板10とGaN結晶11との界面においては、下地基板10とGaN結晶11との格子定数差、熱膨張係数差、あるいは下地基板10の表面加工処理等で除去されていないダメージ、または下地基板10に結晶成長前に付着した微細な粉塵などを原因とした局所的な歪みが発生することがしばしばある。しかしながら、下地基板10から厚さ方向にある程度離れた領域ではこれらの影響

50

が緩和されるため、GaN結晶11の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下になるとともに、GaN結晶11の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下になりやすい。

【0059】

また、GaN結晶11の最表面側は、気相成長法、フラックス法またはアモノサーマル法などの製法に関わらず、結晶成長終了時に僅かに成長が進むことがあるため、他の領域よりも低温で結晶が成長することで歪みが発生することがしばしばある。しかしながら、GaN結晶11の最表面側から離れた領域ではこの影響が緩和されるため、GaN結晶11の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下になるとともに、GaN結晶11の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下になりやすい。

【0060】

また、GaN結晶11の最外周部においては、気相成長法の場合はガス流れの不均一が起こり、またフラックス法やアモノサーマル法など溶液成長法においては溶液中の原料濃度の不均一が起こるため、成長速度が他の領域よりも速くなるなどの異なる成長条件で成長することによる歪みが発生することがしばしばある。しかしながら、GaN結晶11の最外周部から離れた領域ではこの影響が緩和されるため、GaN結晶11の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下になるとともに、GaN結晶11の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下になりやすい。

【0061】

しかしながら、上述した下地基板10とGaN結晶11との界面や、GaN結晶11の最表面や、GaN結晶11の最外周部に歪みが発生する懸念が無い場合には、GaN結晶11のラマンシフトを測定した結果に応じて、同一方法および同一条件により結晶成長させたGaN結晶11の取り出し箇所11aを精度良く取り出すことができる。

【0062】

(スライス工程)

次に、GaN結晶11の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、GaN結晶11の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であるGaN結晶11またはGaN結晶11の箇所11aを表面12および裏面14と平行な方向にスライスする工程を行なう。これにより、図13の模式的断面図に示すように、複数のGaN基板1を得ることができる。

【0063】

(研磨工程)

次に、上記のスライスする工程を行なった後の図14の模式的断面図に示すGaN基板1を研磨する工程を行なう。このようにして得られた実施の形態1のGaN基板1は、GaN基板1の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、GaN基板1の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下となる。

【0064】

<半導体デバイス>

図15に、実施の形態1の成膜済み基板の模式的な断面図を示す。実施の形態1の成膜済み基板41は、実施の形態1のGaN基板1と、GaN基板1上に形成された半導体膜31とを備えている。ここで、半導体膜31は、GaN基板1の表面2上および裏面4上の少なくとも一方に形成されていればよい。また、半導体膜31の形成方法は特に限定されず、たとえば従来から公知の有機金属気相成長法を用いることができる。また、半導体膜31の構成は特に限定されず、実施の形態1の成膜済み基板41を用いて作製される実施の形態1の半導体デバイスが目的とする機能を達成できるものであればよい。さらに、半導体膜31の成膜後に、電極等の他の部材が形成されていてもよいことは言うまでもない。

【0065】

実施の形態1の半導体デバイスとしては、たとえば、発光ダイオード若しくはレーザダイオードなどの発光素子、ショットキーバリアダイオードなどの整流器、バイポーラトランジスタ、電界効果トランジスタ若しくはHEMT(High Electron Mo

10

20

30

40

50

bility Transistor)などの電子素子、温度センサ、圧力センサ、放射センサ若しくは可視 - 紫外光検出器などの半導体センサ、SAWデバイス(Surface Acoustic Wave Device)、振動子、共振器、発振器、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)部品または圧電アクチュエータなどの半導体デバイスが挙げられる。

【0066】

<作用効果>

実施の形態1のGaN基板1は、GaN基板1の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、GaN基板1の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下となっている。そのため、GaN基板1の表面2が $18\text{ cm}^2$ 以上という大面積を有しているときであってもGaN基板1の表面2側と裏面4側との間の応力差を小さくすることができ、半導体デバイスを作製する際にGaN基板1にクラック等が発生するのを抑えることができるため、半導体デバイスの歩留まりを高くすることができる。

10

【0067】

実施の形態1の半導体デバイスは、GaN基板1の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、GaN基板1の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である実施の形態1のGaN基板1上に半導体膜を形成して作製される。これにより、半導体デバイスを作製する際にGaN基板1にクラック等が発生するのを抑えることができるため、半導体デバイスの歩留まりを高くすることができる。

20

【0068】

[実施の形態2]

以下、図16~図21を参照して、実施の形態2について説明する。実施の形態2においては、実施の形態1で作製されたGaN基板1を下地基板として、当該GaN基板1上に第2のGaN結晶を成長させることを特徴としている。

【0069】

すなわち、まず、実施の形態1のようにしてGaN基板1を作製し、図16の模式的断面図に示すように、 $18\text{ cm}^2$ 以上の面積を有するGaN基板1の表面2上に第2のGaN結晶51を成長させる。

【0070】

次に、図17の模式的断面図に示すように、第2のGaN結晶51の $18\text{ cm}^2$ 以上の面積を有する表面52の第3の領域内および表面52の裏側の裏面54の第4の領域内の $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトを測定する。図18に、第2のGaN結晶51の表面52の第3の領域53内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの測定方法の一例を図解する模式的な斜視図を示し、図19に、第2のGaN結晶51の裏面54の第4の領域56内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの測定方法の一例を図解する模式的な斜視図を示す。

30

【0071】

次に、第3の領域53内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と第4の領域56内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値(以下、「第2のGaN結晶51の最大値の差の絶対値」という。)が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、第3の領域53内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と第4の領域56内における $E_2^H$ フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値(以下、「第2のGaN結晶51の最小値の差の絶対値」という。)が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である箇所を確認し、たとえば図20の模式的断面図に示すように、当該箇所51aを取り出す。

40

【0072】

その後、図21の模式的断面図に示すように、上記の箇所51aをスライスすることによって、複数のGaN基板1を得ることができる。そして、スライス後の図22の模式的断面図に示すGaN基板1を研磨する。このようにして得られた実施の形態2のGaN基板1も、GaN基板1の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下となる部分を含むとともに

50

に、GaN基板1の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下となる部分を含んでいる。そして、図23の模式的断面図に示すように、実施の形態2のGaN基板1上に半導体膜31を形成した実施の形態2の成膜済み基板41を経て、実施の形態2の半導体デバイスを形成することができる。

#### 【0073】

実施の形態2においては、GaN基板1の最大値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下であって、GaN基板1の最小値の差の絶対値が $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下である実施の形態1のGaN基板1上に第2のGaN結晶51を成長させている。そのため、第2のGaN結晶51の最大値の差の絶対値および第2のGaN結晶51の最小値の差の絶対値がともに $0.5\text{ cm}^{-1}$ 以下となりやすくなる。これにより、実施の形態2においては、実施の形態1のよ

10

#### 【0074】

実施の形態2における上記以外の説明については、実施の形態1と同様であるため、その説明については繰り返さない。

#### 【0075】

##### [実験例]

##### <サンプルの作製>

図24にその概略を示す成長炉300を使用して、HVPE法により、GaN結晶の成長を行なう。

20

#### 【0076】

ここで、成長炉300は、反応室301と、反応室301内に下地基板10を保持するための基板ホルダ302と、Ga原料ガス(GaCl)133を合成するための合成室303と、合成室303内にHClガス131を導入するためのガス導入管305と、反応室301内にN原料ガス(NH<sub>3</sub>)136を導入するためのガス導入管306と、反応後のガスを反応室301から排気するための排気管307と、を含んでいる。また、合成室303内にはGa132が収容されているGaポート304が設置されており、反応室301、合成室303、ガス導入管305およびガス導入管306の周囲には、ヒータ308、ヒータ309およびヒータ310が設置されている。

30

#### 【0077】

まず、反応室301内の基板ホルダ302上に下地基板10を設置する。ここで、下地基板10としては、直径が2インチの円形のサファイア基板の全面に有機金属気相成長法でGaN膜を2 $\mu\text{m}$ の厚さで成長させたサファイアテンプレート基板上に、直線状の4 $\mu\text{m}$ 幅のSiO<sub>2</sub>マスクを8 $\mu\text{m}$ 間隔で全面に形成したものをを用いている。下地基板10は、下地基板10の表面内における原料ガスの供給量の均一性を向上させるために10°傾けて設置されている。

#### 【0078】

次に、下地基板10を加熱して下地基板10の表面温度を1100に保持するとともに下地基板10を10rpmの速度で回転させた状態で、Ga原料ガス133およびN原料ガス136を含む原料ガスを反応室301内に導入することにより、下地基板10の表面上にGaN結晶を成長させる。ここで、Ga原料ガス133の分圧は $2 \times 10^3\text{ Pa}$ であり、N原料ガス136の分圧は $1 \times 10^4\text{ Pa}$ であって、キャリアガスとしてH<sub>2</sub>ガスを用いている。

40

#### 【0079】

なお、Ga原料ガス133は、合成室303内に設置されているGaポート304を850に加熱し、ガス導入管305により合成室303内にHClガス131を導入して、Gaポート304中のGa132とHClガス131とを反応させることにより生成される。また、HClガス131は、キャリアガスであるH<sub>2</sub>ガスとともに合成室303内に導入される。

50

## 【 0 0 8 0 】

そして、下地基板 1 0 の表面上に平坦で傾斜のない ( 0 0 0 1 ) 面からなり、 $18\text{ cm}^2$ 以上の面積の表面および裏面を有する厚さ  $6\text{ mm}$  の  $\text{Ga N}$  結晶を成長させる。そして、下地基板 1 0 から  $\text{Ga N}$  結晶を切り離す。

## 【 0 0 8 1 】

次に、 $\text{Ga N}$  結晶をスライスすることによって厚さ  $350\text{ }\mu\text{ m}$  の複数の  $\text{Ga N}$  基板を得る。そして、 $\text{Ga N}$  基板の表面および裏面の加工歪を研磨によって除去した後に、 $\text{Ga N}$  基板の表面の周縁から  $5\text{ mm}$  内側までの領域を除いた第 1 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトと、 $\text{Ga N}$  基板の裏面の周縁から  $5\text{ mm}$  内側までの領域を除いた第 2 の領域内の  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトをそれぞれの領域内で均一に計  $100$  点ずつ測定する。なお、 $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトのピークは、測定領域や測定条件によって変化するが、 $564.0\text{ cm}^{-1} \sim 569.0\text{ cm}^{-1}$  の範囲内に存在する。また、 $\text{Ga N}$  基板の第 1 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅および第 2 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅についても同様に測定する。

10

## 【 0 0 8 2 】

そして、上記の測定値から以下の ( a ) ~ ( f ) の値を算出し、算出された値に応じて、 $\text{Ga N}$  基板を表 1 のサンプル No . 1 ~ No . 1 3 に分類する。なお、サンプル No . 1 ~ No . 3 および No . 7 ~ No . 1 3 は実施例であり、サンプル No . 4 ~ No . 6 は比較例である。

20

## 【 0 0 8 3 】

( a )  $\text{Ga N}$  基板の最大値の差の絶対値 (  $\text{Ga N}$  基板の第 1 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と第 2 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値との差の絶対値 ) 。

## 【 0 0 8 4 】

( b )  $\text{Ga N}$  基板の最小値の差の絶対値 (  $\text{Ga N}$  基板の第 1 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値と第 2 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最小値との差の絶対値 ) 。

## 【 0 0 8 5 】

( c )  $\text{Ga N}$  基板の第 1 の領域内における最大値と最小値との差の絶対値 (  $\text{Ga N}$  基板の第 1 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と最小値との差の絶対値 ) 。

30

## 【 0 0 8 6 】

( d )  $\text{Ga N}$  基板の第 2 の領域内における最大値と最小値との差の絶対値 (  $\text{Ga N}$  基板の第 2 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトの最大値と最小値との差の絶対値 ) 。

## 【 0 0 8 7 】

( e )  $\text{Ga N}$  基板の第 1 の領域内におけるラマンシフトのピークの半値幅の平均値 (  $\text{Ga N}$  基板の第 1 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値 ) 。

40

## 【 0 0 8 8 】

( f )  $\text{Ga N}$  基板の第 2 の領域内におけるラマンシフトのピークの半値幅の平均値 (  $\text{Ga N}$  基板の第 2 の領域内における  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトのピークの半値幅の平均値 ) 。

## 【 0 0 8 9 】

上記の  $E_2^{\text{H}}$  フォノンモードに対応するラマンシフトは、以下のようにして測定している。まず、光源として  $\text{YAG}$  ( イットリウム・アルミニウム・ガーネット ) 第 2 高調波のレーザ装置を用い、当該レーザ装置から出射された波長  $532\text{ nm}$  のレーザ光を幅  $100\text{ }\mu\text{ m}$  のスリットに通した後、レンズで集光する。ここで、レーザ光のスポット径は  $50$  倍の対物レンズを使用しているため約  $2\text{ }\mu\text{ m}$  となり、露光は積算  $30$  秒で  $1$  回とする。また、

50

レーザー光の強度は、発振出力 0.1 W (GaN 結晶の表面では約 10 mW) である。そして、GaN 結晶の表面の周縁から 5 mm 内側までの領域を除いた第 1 の領域内に上記レーザー光を表面に対して垂直に照射し、c 軸方向の後方散乱配置でラマン散乱光を GaN 結晶の表面の温度が 20 °C の状態で検出する。なお、波数校正には Ne ランプの 4 本の輝線スペクトルを二次関数で近似する方法を用い、測定した数値データはローレンツ関数で近似し、得られたラマンシフトのスペクトルにおいて、 $E_2^H$  フォノンモードに対応するピークの最大ピーク時の波数を求めることができる。

#### 【0090】

次に、No. 1 のサンプルを下地基板 10 に用いたこと以外は上記と同一のプロセスで、厚さ 6 mm の GaN 結晶を成長させ、下地基板 10 から GaN 結晶を切り離し、GaN 結晶をスライスすることによって、厚さ 350  $\mu\text{m}$  の複数の GaN 基板を得る。そして、GaN 基板の表面および裏面の加工歪を研磨によって除去した後に、GaN 基板の表面の周縁から 5 mm 内側までの領域を除いた第 1 の領域内における  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトと、GaN 基板の裏面の周縁から 5 mm 内側までの領域を除いた第 2 の領域内の  $E_2^H$  フォノンモードに対応するラマンシフトをそれぞれの領域内で均一に計 100 点ずつ測定し、上記の測定値から (a) ~ (f) の値を算出し、算出された値に応じて、GaN 基板を表 1 のサンプル No. 14 ~ No. 21 に分類する。なお、サンプル No. 14 ~ No. 21 は実施例である。

10

#### 【0091】

上記のようにして分類した結果、サンプル No. 4 および 5 は、下地基板から GaN 結晶の厚さ方向に 30  $\mu\text{m}$  離れた位置から取り出された GaN 基板であり、サンプル No. 1, 6 ~ 8, 13, 16 および 19 は、下地基板から GaN 結晶の厚さ方向に 100  $\mu\text{m}$  離れた位置から取り出された GaN 基板である。また、サンプル No. 2, 9, 10, 14, 17, 20 は、下地基板から GaN 結晶の厚さ方向に 300  $\mu\text{m}$  離れた位置から取り出された GaN 基板であり、サンプル No. 3, 11, 12, 15, 18, 21 は、下地基板から GaN 結晶の厚さ方向に 1000  $\mu\text{m}$  以上離れた位置から取り出された GaN 基板である。

20

#### 【0092】

また、サンプル No. 4 および 6 は、GaN 結晶の最外周部から 0 mm 内側に入り込んだ位置から取り出された GaN 基板であり、サンプル No. 1 ~ 3, 5 および 13 ~ 15 は、GaN 結晶の最外周部から 1.5 mm 内側に入り込んだ位置から取り出された GaN 基板である。また、サンプル No. 7, 9, 11 および 16 ~ 18 は、GaN 結晶の最外周部から 3 mm 内側に入り込んだ位置から取り出された GaN 基板であり、サンプル No. 8, 10, 12 および 19 ~ 21 は、GaN 結晶の最外周部から 4 mm 内側に入り込んだ位置から取り出された GaN 基板である。

30

#### 【0093】

【表 1】

サンプル No.	GaN 基板の 最大値の絶 対値	GaN 基板の 最小値の絶 対値	GaN 基板の第 1 の 領域内における最 大値と最小値との 差の絶対値	GaN 基板の第 2 の 領域内における最 大値と最小値との 差の絶対値	GaN 基板の第 1 の 領域内におけるラ ットのピークの半値幅 の平均値	GaN 基板の第 2 の 領域内におけるラ ットのピークの半値幅 の平均値
1	0.3~0.5	0.3~0.5	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3~2.8	2.3~2.8
2	0.1~0.3	0.1~0.3	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3~2.8	2.3~2.8
3	0.1以下	0.1以下	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3~2.8	2.3~2.8
4	0.5<	0.5<	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3~2.8	2.3~2.8
5	0.5<	0.3~0.5	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3~2.8	2.3~2.8
6	0.3~0.5	0.5<	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3~2.8	2.3~2.8
7	0.3~0.5	0.3~0.5	0.1~0.3	0.1~0.3	2.3~2.8	2.3~2.8
8	0.3~0.5	0.3~0.5	0.1以下	0.1以下	2.3~2.8	2.3~2.8
9	0.1~0.3	0.1~0.3	0.1~0.3	0.1~0.3	2.3~2.8	2.3~2.8
10	0.1~0.3	0.1~0.3	0.1以下	0.1以下	2.3~2.8	2.3~2.8
11	0.1以下	0.1以下	0.1~0.3	0.1~0.3	2.3~2.8	2.3~2.8
12	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	2.3~2.8	2.3~2.8
13	0.3~0.5	0.3~0.5	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3以下	2.3以下
14	0.1~0.3	0.1~0.3	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3以下	2.3以下
15	0.1以下	0.1以下	0.3~0.5	0.3~0.5	2.3以下	2.3以下
16	0.3~0.5	0.3~0.5	0.1~0.3	0.1~0.3	2.3以下	2.3以下
17	0.3~0.5	0.3~0.5	0.1以下	0.1以下	2.3以下	2.3以下
18	0.1~0.3	0.1~0.3	0.1~0.3	0.1~0.3	2.3以下	2.3以下
19	0.1~0.3	0.1~0.3	0.1以下	0.1以下	2.3以下	2.3以下
20	0.1以下	0.1以下	0.1~0.3	0.1~0.3	2.3以下	2.3以下
21	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	2.3以下	2.3以下

10

20

30

40

【0094】

なお、表 1 において、「0.5<」は「0.5 cm<sup>-1</sup>以上」を、「0.3~0.5」は「0.3 cm<sup>-1</sup>よりも大きく0.5 cm<sup>-1</sup>以下」を、「0.1~0.3」は「0.1 cm<sup>-1</sup>よりも大きく0.3 cm<sup>-1</sup>以下」を、「0.1以下」は「0.1 cm<sup>-1</sup>以下」を、「2.3~2.8」は「2.3 cm<sup>-1</sup>以上2.8 cm<sup>-1</sup>以下」を、「2.3以下」は「2.3 cm<sup>-1</sup>以下」を意味している。

50

## 【0095】

<青色発光ダイオード素子の作製>

図25に、サンプルNo. 1~21のGaN基板をそれぞれ用いて作製した青色発光ダイオード素子の模式的な断面図を示す。図25に示す青色発光ダイオード素子は、以下のようにして作製される。まず、サンプルNo. 1~21のそれぞれのGaN基板1上に、直接、有機金属気相成長法によって、厚さ2 $\mu$ mのn型GaNからなる半導体膜31を1100で成長させる。そして、引き続き、半導体膜31の表面上に厚さ3nmのInGa<sub>0.15</sub>N井戸層と厚さ15nmの障壁層とが交互に6周期積層された多重量子井戸発光層203を800で成長させ、多重量子井戸発光層203上に、p型AlGa<sub>0.15</sub>N電子ブロック層204およびp型GaNコンタクト層205を成長する。そして、p型GaNコンタクト層205の表面上に幅400 $\mu$ m×長さ400 $\mu$ mのNi層206を形成し、Ni層206上にAu層207を形成してpオーミック電極を形成する。また、GaN基板1の裏面にはTi/Alからなるnオーミック電極208を形成する。以上の工程を経て、図25に示す青色発光ダイオード素子が完成する。

10

## 【0096】

<評価>

上記のようにして得られたサンプルNo. 1~21のGaN基板をそれぞれ用いて作製した青色発光ダイオード素子のp電極およびn電極間に20mAの電流を10kHzの周波数でパルス状に電流注入を行ない、青色発光ダイオード素子のp電極側から光を取り出し、光出力の測定を行なう。

20

## 【0097】

上記のようにして作製したサンプルNo. 1~No. 21のそれぞれのGaN基板1を用いて青色発光ダイオード素子を作製したときに良品の割合、クラックが生じた割合、および波長ずれが生じた割合(%)を調査した。その結果を表2に示す。

## 【0098】

なお、評価基準は、以下のとおりである。発光の中心波長が460nmの青色光で、4mWの光出力が得られるものを良品とする。一方、光出力が全く得られず、GaN基板1および半導体膜31に顕微鏡で確認される微細なクラックが生じた青色発光ダイオード素子、および発光の中心波長が10nm以上ずれた青色発光ダイオード素子を良品としない。

30

## 【0099】

【表 2】

サンプル No.	クラック・波長ずれ 発生なし (%)	クラック発生 あり (%)	波長ずれ 発生あり (%)
1	67	0	33
2	74	0	26
3	88	0	12
4	5	45	50
5	13	35	52
6	15	33	52
7	67	0	33
8	70	0	30
9	78	0	22
10	83	0	17
11	93	0	7
12	98	0	2
13	63	0	37
14	75	0	25
15	91	0	9
16	68	0	32
17	80	0	20
18	96	0	4
19	71	0	29
20	86	0	14
21	100	0	0

10

20

## 【0100】

表 2 に示すように、サンプル No. 1 ~ No. 3 および No. 7 ~ No. 21 の GaN 基板は、サンプル No. 4 ~ No. 6 の GaN 基板と比較して、良品の割合が向上している。これにより、サンプル No. 1 ~ No. 3 および No. 7 ~ No. 21 の GaN 基板は、サンプル No. 4 ~ No. 6 の GaN 基板と比較して、半導体デバイスとしての青色発光ダイオード素子の歩留まりが高くなると考えられる。

30

## 【0101】

なお、微細なクラックが GaN 基板 1 および半導体膜 3 1 に生じる原因は、GaN 基板 1 の最大値の差の絶対値が  $0.5 \text{ cm}^{-1}$  以下であって、GaN 基板 1 の最小値の差の絶対値が  $0.5 \text{ cm}^{-1}$  以下であるという条件を満たさない場合には基板に残留していた応力分布が、半導体膜 3 1 成膜中の高温において割れを誘起したためと考えられる。

## 【0102】

また、発光波長のずれの原因は、半導体膜 3 1 の成膜中に、GaN 基板 1 がクラックを生じないまでも高温に加熱されて応力を解放することで反ってしまい、GaN 基板 1 上の半導体膜 3 1 の品質が面内で一様でなくなるためと考えられる。

40

## 【0103】

以上のように本発明の実施の形態および実験例について説明を行なったが、上述の各実施の形態および各実験例の構成を適宜組み合わせることも当初から予定している。

## 【0104】

今回開示された実施の形態および実験例はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

50

【産業上の利用可能性】

【0105】

本発明は、GaN基板および半導体デバイスに利用することができる。

【符号の説明】

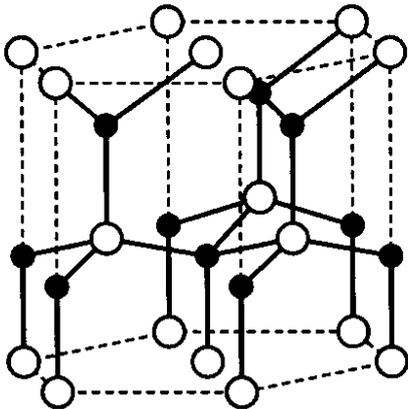
【0106】

1 GaN基板、2 表面、3 第1の領域、4 裏面、5 領域、6 第2の領域、7 領域、10 下地基板、11 GaN結晶、11a 箇所、12 表面、13 第1の領域、14 裏面、15 領域、16 第2の領域、17 領域、21 入射光、22 ラマン散乱光、31 半導体膜、41 成膜済み基板、51 第2のGaN結晶、51a 箇所、52 表面、53 第3の領域、54 裏面、55 領域、56 第4の領域、131 HClガス、132 Ga、133 Ga原料ガス、136 N原料ガス、203 多重量子井戸発光層、204 p型AlGaN電子ブロック層、205 p型GaNコンタクト層、206 Ni層、207 Au層、208 nオーミック電極、300 成長炉、301 反応室、302 基板ホルダ、303 合成室、304 Gaポート、305、306 ガス導入管、307 排気管、308、309、310 ヒータ。

10

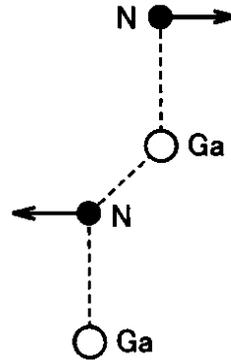
【図1】

図1



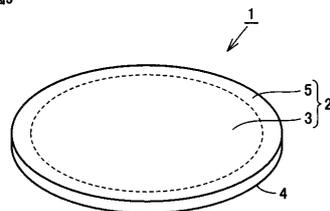
【図2】

図2



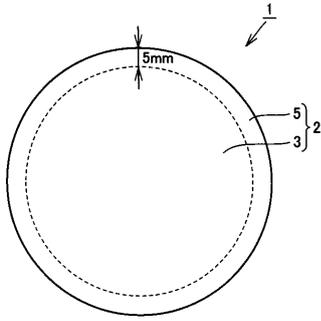
【図3】

図3



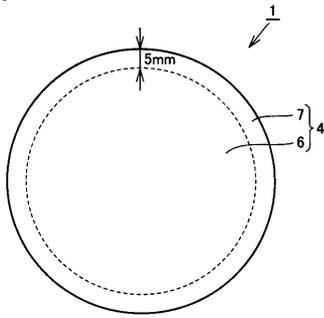
【 図 4 】

図4



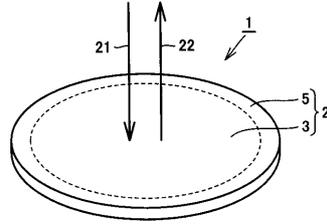
【 図 5 】

図5



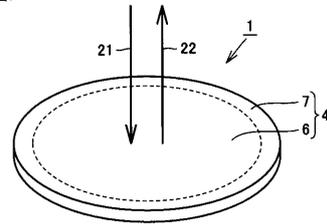
【 図 6 】

図6



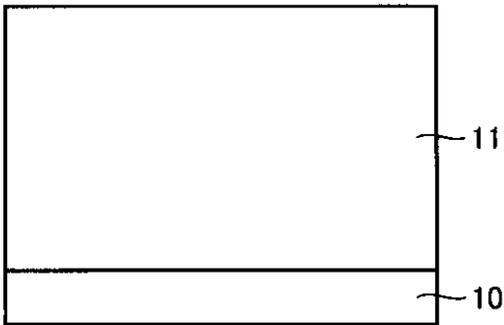
【 図 7 】

図7



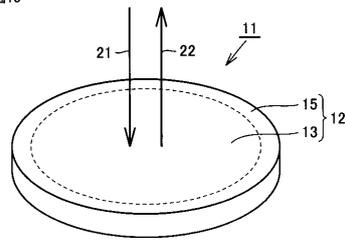
【 図 8 】

図8



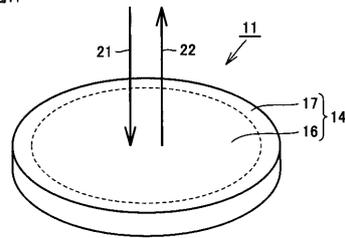
【 図 10 】

図10



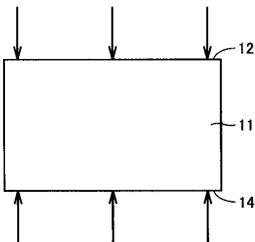
【 図 11 】

図11



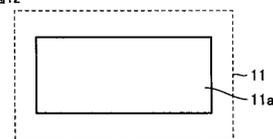
【 図 9 】

図9



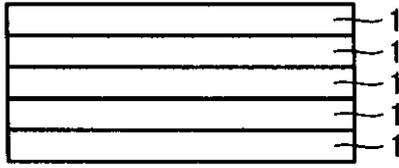
【 図 12 】

図12



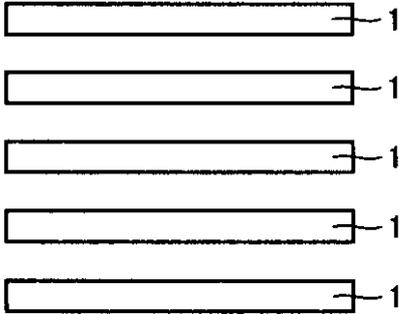
【 図 1 3 】

図13



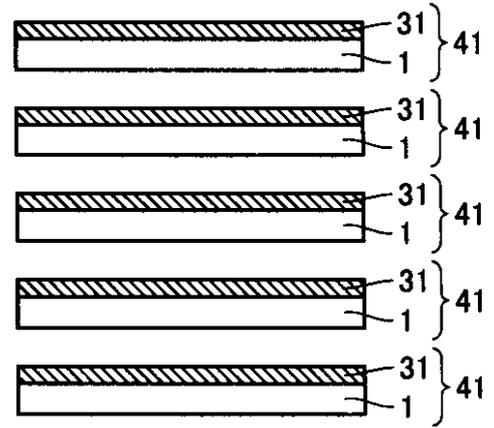
【 図 1 4 】

図14



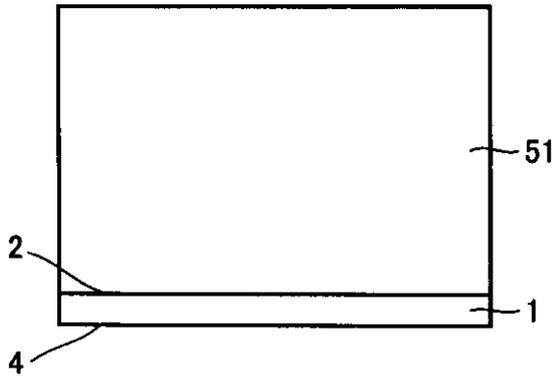
【 図 1 5 】

図15



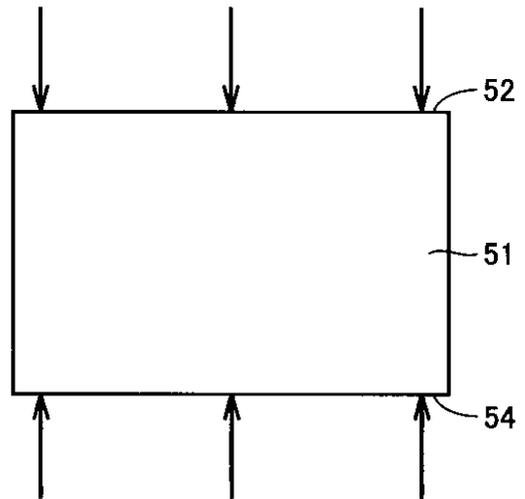
【 図 1 6 】

図16



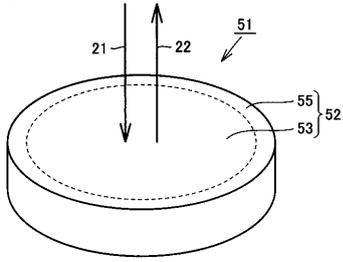
【 図 1 7 】

図17



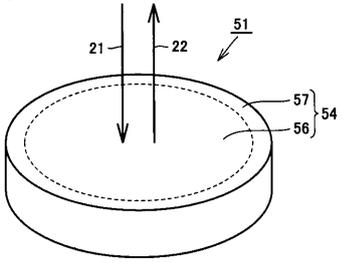
【 図 1 8 】

図18



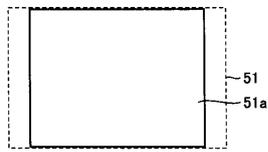
【 図 1 9 】

図19



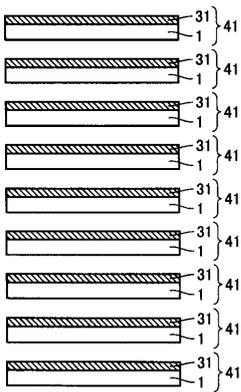
【 図 2 0 】

図20



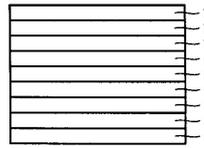
【 図 2 3 】

図23



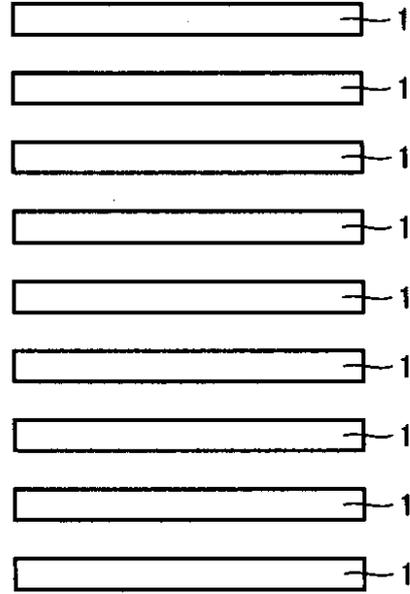
【 図 2 1 】

図21



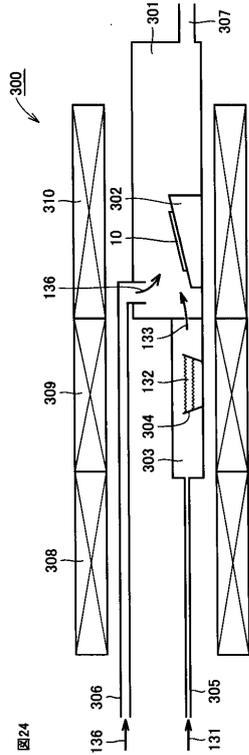
【 図 2 2 】

図22



【 図 2 4 】

図24



【 図 25 】

図25

