

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7031709号

(P7031709)

(45)発行日 令和4年3月8日(2022.3.8)

(24)登録日 令和4年2月28日(2022.2.28)

(51)国際特許分類

F I

C 3 0 B 29/36 (2006.01)

C 3 0 B 29/36

A

C 2 3 C 16/42 (2006.01)

C 2 3 C 16/42

H 0 1 L 21/66 (2006.01)

H 0 1 L 21/66

N

H 0 1 L 21/205 (2006.01)

H 0 1 L 21/205

G 0 1 B 11/16 (2006.01)

G 0 1 B 11/16

Z

請求項の数 4 (全18頁)

(21)出願番号 特願2020-156424(P2020-156424)

(22)出願日 令和2年9月17日(2020.9.17)

(62)分割の表示 特願2017-68433(P2017-68433)の  
分割

原出願日 平成29年3月30日(2017.3.30)

(65)公開番号 特開2021-4173(P2021-4173A)

(43)公開日 令和3年1月14日(2021.1.14)

審査請求日 令和2年10月15日(2020.10.15)

(73)特許権者 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

(74)代理人 110001195

特許業務法人深見特許事務所

(72)発明者

福澤 理行

京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地  
国立大学法人京都工芸繊維大学内

(72)発明者

西口 太郎

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

川瀬 智博

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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 六方晶化合物半導体の製造方法

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

六方晶の結晶構造を備え、複屈折を有し、第1主面と前記第1主面と反対側の第2主面と側面とを含む六方晶化合物半導体の基板を準備する工程と、

前記第1主面に前記基板を透過する光を照射し、前記基板中の<0001>方向に沿って前記基板に前記光を透過させ、前記複屈折により生じる第1の位相差および第1の主振動方位角を算出する工程と、

予め決定されている成長条件に基づき、前記第1主面上に化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程と、

前記化合物半導体層の表面に前記光を照射し、前記化合物半導体層中および前記基板中の<0001>方向に沿って前記化合物半導体層および前記基板に前記光を透過させ、前記複屈折により生じる第2の位相差および第2の主振動方位角を算出する工程と、を備え、前記六方晶化合物半導体は炭化珪素単結晶である、六方晶化合物半導体の製造方法。

## 【請求項2】

前記第1の位相差および前記第1の主振動方位角から第1の残留歪と、前記第2の位相差および前記第2の主振動方位角から第2の残留歪とを算出する工程と、

前記第1の残留歪と前記第2の残留歪から前記基板の面内における歪の分布状況を評価する工程を含む、請求項1に記載の六方晶化合物半導体の製造方法。

## 【請求項3】

前記第1の残留歪と前記第2の残留歪は、前記基板の厚みで規格化された値である、請求

項 2 に記載の六方晶化合物半導体の製造方法。

【請求項 4】

六方晶の結晶構造を備え、複屈折を有し、第 1 主面と前記第 1 主面と反対側の第 2 主面と側面とを含む六方晶化合物半導体の基板を準備する工程と、

前記第 1 主面の複数箇所に前記基板を透過する光を照射し、前記基板中の  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿って前記基板に前記光を透過させ、前記複屈折により生じる第 1 の位相差を算出する工程と、

前記第 1 主面上に化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程と、

前記化合物半導体層の表面の複数箇所に前記光を照射し、前記化合物半導体層中および前記基板中の  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿って前記化合物半導体層および前記基板に前記光を透過させ、前記複屈折により生じる第 2 の位相差を算出する工程と、

前記第 1 の位相差と前記第 2 の位相差に基づき前記基板の面内における歪の分布状況を判断し、前記ホモエピタキシャル成長の条件の変更を判断する工程とを備える、六方晶化合物半導体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、六方晶化合物半導体の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特開 2013 - 203653 号公報には、光弾性法を用いて化合物半導体基板の残留歪を評価することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2013 - 203653 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特開 2013 - 203653 号公報では、窒化ガリウム (GaN) などの III 族窒化物半導体について開示しているが、当該六方晶化合物半導体よりなる基板の表面に化合物半導体膜をエピタキシャル成長させた後の残留歪については特に考慮されていない。上述した GaN や炭化珪素 (SiC)、窒化アルミニウム (AlN) といった六方晶化合物半導体では、化合物半導体膜のエピタキシャル成長工程を含む製造工程において、残留歪の影響により基板の割れといった問題が発生しており、歪が正確に評価された化合物半導体が求められている。

【0005】

本開示の目的は、歪が正確に評価された六方晶化合物半導体の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様に係る六方晶化合物半導体の製造方法は、基板を準備する工程と、第 1 の位相差を算出する工程と、化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程と、第 2 の位相差を算出する工程とを備える。基板を準備する工程では六方晶の結晶構造を備え、複屈折を有し、第 1 主面と当該第 1 主面と反対側の第 2 主面と側面とを含む六方晶化合物半導体の基板を準備する。第 1 の位相差を算出する工程では、第 1 主面に基板を透過する光を照射し、基板中の  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿って基板に光を透過させ、複屈折により生じる第 1 の位相差を算出する。化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程では、予め決定されている成長条件に基づき、第 1 主面上に化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる。第 2 の位相差を算出する工程では、化合物半導体層の表面に光を照射し、

10

20

30

40

50

基板中の $\langle 0001 \rangle$ 方向に沿って化合物半導体層および基板に光を透過させ、複屈折により生じる第2の位相差を算出する。

【発明の効果】

【0007】

本開示によれば、六方晶の結晶構造を備える六方晶化合物半導体について、当該六方晶化合物半導体中を $\langle 0001 \rangle$ 方向に沿って光が透過することにより、六方晶化合物半導体の結晶構造に起因する自然複屈折の影響を低減し、歪に起因した光弾性効果による複屈折の位相差を測定することができる。このため、歪が正確に評価された六方晶化合物半導体を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0008】

【図1】図1は、化合物半導体の歪評価方法を示すフローチャートである。

【図2】図2は、評価装置の基本構成を説明するための模式図である。

【図3】図3は、評価装置の構成例を説明するための模式図である。

【図4】図4は、化合物半導体中を透過する光の方向を説明するための模式図である。

【図5】図5は、化合物半導体の製造方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0009】

[本発明の実施形態の説明]

最初に本発明の実施態様を列記して説明する。

20

【0010】

(1) 本発明の一態様に係る六方晶化合物半導体の製造方法は、基板を準備する工程と、第1の位相差を算出する工程と、化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程と、第2の位相差を算出する工程とを備える。基板を準備する工程では、六方晶の結晶構造を備え、複屈折を有し、第1主面と当該第1主面と反対側の第2主面と側面とを含む六方晶化合物半導体の基板を準備する。第1の位相差を算出する工程では、第1主面に基板を透過する光を照射し、基板中の $\langle 0001 \rangle$ 方向に沿って基板に光を透過させ、複屈折により生じる第1の位相差を算出する。化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程では、予め決定されている成長条件に基づき、第1主面上に化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる。第2の位相差を算出する工程では、化合物半導体層の表面に光を照射し、化合物半導体層中および基板中の $\langle 0001 \rangle$ 方向に沿って化合物半導体層および基板に光を透過させ、複屈折により生じる第2の位相差を算出する。上記化合物半導体は、たとえば炭化珪素(SiC)、窒化ガリウム(GaN)、窒化アルミニウム(AlN)などである。

30

【0011】

このようにすれば、六方晶化合物半導体中を $\langle 0001 \rangle$ 方向に沿って光が透過する状態での複屈折による位相差を算出するので、六方晶化合物半導体の結晶構造に起因する自然複屈折の影響が低減されたデータを得ることができる。このため、当該自然複屈折の影響を低減した状態で、複屈折により生じる位相差により歪が評価された六方晶化合物半導体を得ることができる。また、化合物半導体基板に化合物半導体層が形成される前後で複屈折により生じる位相差により歪を評価できるので、化合物半導体層の形成プロセスによる歪への影響を評価できるとともに、化合物半導体層が形成された化合物半導体基板(エピタキシャル層付基板)での歪の発生状況を確認できる。そして、化合物半導体層が形成された後の歪と、化合物半導体層を形成する前の歪とを比較して、エピタキシャル成長の際に発生した歪の量を把握することにより、エピタキシャル成長における成長条件の適否を判断することが可能となる。

40

【0012】

(2) 上記六方晶化合物半導体の製造方法において、基板は、第1主面が $\{0001\}$ 面に対して傾斜している。この場合、基板がいわゆるオフ基板であるため、単に第1主面に対して垂直な方向から光を照射しても基板内部での $\langle 0001 \rangle$ 方向に沿って光を透過させ

50

ることは難しい。そのため、事前に基板の第1主面が{0001}面に対してなす傾斜角度(オフ角度)および傾斜方向(オフ方向)を測定しておくことで、第1主面と周囲の空気との界面での光の屈折などを考慮して当該基板内部での光の透過方向を<0001>方向にすることが可能な本実施形態に係る六方晶化合物半導体の製造方法が有効である。

#### 【0013】

(3) 上記六方晶化合物半導体の製造方法において、第1の位相差を算出する工程では、予め測定された第1主面の{0001}面に対する傾斜角度および傾斜方向の情報に基づき、光の第1主面に対する入射角度が決定されている。さらに、第2の位相差を算出する工程では、上記情報に基づき、光の化合物半導体層の表面に対する入射角度が決定されている。

10

#### 【0014】

この場合、基板に反りが発生しているなど、基板の形状が平坦でないときでも、予め基板のオフ角度およびオフ方向といった情報を得ておくことで、結果的に六方晶化合物半導体の結晶構造に起因する自然複屈折の影響が低減された、正確な歪の評価を行うことができる。したがって、エピタキシャル成長における成長条件の適否を精度よく判断することが可能になる。

#### 【0015】

(4) 本発明の一態様に係る六方晶化合物半導体の製造方法は、基板を準備する工程と、第1の位相差を算出する工程と、第1の最大値と第1の標準偏差とを算出する工程と、化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程と、第2の位相差を算出する工程と、第2の最大値と第2の標準偏差とを算出する工程と、成長条件を変更する工程とを備える。基板を準備する工程では、六方晶の結晶構造を備え、複屈折を有し、第1主面と当該第1主面と反対側の第2主面と側面とを含む六方晶化合物半導体の基板を準備する。第1の位相差を算出する工程では、第1主面の複数箇所に基板を透過する光を照射し、基板中の<0001>方向に沿って基板に光を透過させ、複屈折により生じる第1の位相差を算出する。第1の最大値と第1の標準偏差とを算出する工程では、上記複数箇所における第1の位相差について、第1の最大値と第1の標準偏差とを算出する。化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程では、第1主面上に化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる。第2の位相差を算出する工程では、化合物半導体層の表面の複数箇所に光を照射し、化合物半導体層中および基板中の<0001>方向に沿って化合物半導体層および基板に光を透過させ、複屈折により生じる第2の位相差を算出する。第2の最大値と第2の標準偏差とを算出する工程では、複数箇所における第2の位相差について、第2の最大値と第2の標準偏差とを算出する。成長条件を変更する工程では、第1の最大値より第2の最大値が大きく、かつ、第1の標準偏差より第2の標準偏差が大きいという条件が成立したときに成長条件を変更する。

20

30

#### 【0016】

このようにすれば、六方晶化合物半導体中を<0001>方向に沿って光が透過するので、六方晶化合物半導体の結晶構造に起因する自然複屈折を低減できる。また、基板の第1主面の複数箇所について位相差を算出することにより、基板における歪の大きさおよびばらつきに位相差の大きさおよびばらつきが関連しているため、化合物半導体基板の面内での歪の分布状態を評価することができる。つまり、当該自然複屈折の影響を低減した状態で、複屈折により生じる位相差により基板の面内における歪の分布状況が評価された六方晶化合物半導体を得ることができる。

40

#### 【0017】

また、化合物半導体基板に化合物半導体層が形成される前後で複屈折により生じる位相差により歪を評価できるので、化合物半導体層の形成プロセスによる歪への影響を評価できるとともに、化合物半導体層が形成された化合物半導体基板(エピタキシャル層付基板)での歪の発生状況を確認できる。

#### 【0018】

さらに、化合物半導体層が形成される前後での位相差の最大値と標準偏差とを対比するこ

50

とで、化合物半導体層の成膜工程による歪の影響を評価し、歪の増大を抑制するように当該成膜工程での成長条件を調整することが可能になる。そのため、歪が抑制されたエピタキシャル層付基板を得ることができる。

【0019】

(5) 上記六方晶化合物半導体の製造方法において、基板は、第1主面が{0001}面に対して傾斜している。この場合、基板がいわゆるオフ基板であるため、単に第1主面に対して垂直な方向から光を照射しても基板内部での<0001>方向に沿って光を透過させることは難しい。そのため、事前に基板の第1主面が{0001}面に対してなす傾斜角度(オフ角度)および傾斜方向(オフ方向)を測定しておくことで、第1主面と周囲の空気との界面での光の屈折などを考慮して当該基板内部での光の透過方向を<0001>方向にすることが可能な本実施形態に係る六方晶化合物半導体の製造方法が有効である。

10

【0020】

(6) 上記六方晶化合物半導体の製造方法において、第1の位相差を算出する工程では、第1主面の複数個所について、予め測定された第1主面の{0001}面に対する傾斜角度および傾斜方向の情報に基づき、光の第1主面に対する入射角度が決定されている。さらに、第2の位相差を算出する工程では、化合物半導体層の表面の複数個所について、上記情報に基づき、光の化合物半導体層の表面に対する入射角度が決定されている。

【0021】

この場合、基板に反りが発生しているなど、基板の形状が平坦でないときでも、予め基板のオフ角度およびオフ方向といった情報を得ておくことで、結果的に六方晶化合物半導体の結晶構造に起因する自然複屈折の影響が低減された、正確な歪の評価を行うことができる。したがって、基板の面内における歪の分布状況およびエピタキシャル成長における成長条件の適否を精度よく判断することが可能になる。

20

【0022】

(7) 上記化合物半導体の製造方法において、基板の直径は100mm以上である。このような比較的大きな直径の化合物半導体基板において、歪に起因する問題の発生が懸念されるため、上記化合物半導体の製造方法を適用することが好ましい。

【0023】

(8) 上記化合物半導体の製造方法において、化合物半導体は炭化珪素単結晶である。炭化珪素(SiC)では、歪による基板の割れなどが問題となっていることから、上述した製造方法を適用することが好ましい。

30

【0024】

[本発明の実施形態の詳細]

以下、本開示の実施形態(以降、本実施形態と称する)の詳細について図に基づいて説明する。なお、以下の図面において、同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。

【0025】

<評価方法の概略>

図1に示すように、本実施形態に係る炭化珪素基板の評価方法は、六方晶化合物半導体の歪評価方法の一例であって、準備工程(S10)と、評価工程(S20)とを備える。準備工程(S10)は、六方晶化合物半導体の基板を準備する工程である。準備工程(S10)では、六方晶の結晶構造を備え、複屈折を有する六方晶化合物半導体からなる基板を準備する。基板は、第1主面と、当該第1主面と反対側の第2主面と、側面とを含む。基板として、たとえば炭化珪素(SiC)単結晶からなる炭化珪素基板を測定装置のステージ上に設置する。なお、基板としてはGaN基板やAlN基板を用いてもよい。ここで準備する基板としては、表面が(0001)面に対して傾斜しているオフ基板を用いることができる。また、基板の直径は100mm以上としてもよく、150mm以上としてもよく、200mm以上としてもよい。基板の直径は400mm以下としてもよく、300mm以下としてもよい。また、基板として、ベース基板と当該ベース基板表面上にエピタキシャル層が形成されたエピタキシャル層付基板を用いてもよい。あるいは、基板として、

40

50

エピタキシャル層が形成されていない化合物半導体からなる基板を用いてもよい。以下では、基板として炭化珪素基板を用いた場合を代表例として説明する。

【0026】

次に、評価工程(S20)を実施する。基板に光を透過させる工程および位相差を算出する工程に対応する評価工程(S20)では、光弾性効果を利用して基板の歪を評価する。具体的には、評価工程(S20)では、基板の表面に光を照射し、基板の内部を<0001>方向に沿って当該光が透過することにより、自然複屈折の影響を低減した状態で光弾性を利用して歪を評価する。異なる観点から言えば、評価工程(S20)に含まれる基板に光を透過させる工程では、第1の主面に基板を透過する光を照射し、基板中の<0001>方向に沿って基板に光を透過させる。位相差を算出する工程では、複屈折により生じる位相差を算出する。当該位相差は歪の評価に利用される。

10

【0027】

また、評価工程(S20)では、炭化珪素基板の表面の複数個所に対して光を照射することにより、炭化珪素基板の複数個所における歪を評価する。なお、光弾性を利用した歪の具体的な評価方法は任意の手法を採用できるが、具体的な評価方法の一例については後述する。

【0028】

<評価装置の構成>

上述した評価方法を実施するための測定装置の基本構成を図2に示す。図2に示すように、測定装置100は、制御用コントローラ10と、入射側光学系41と、受光側光学系42と、サンプルである炭化珪素基板1を搭載するステージ24と、光軸調整部43~45とを備える。入射側光学系41は、光源21と、レンズ22と、偏光子23とを含む。受光側光学系42は、検光子25と、レンズ26と、受光器27とを含む。光源21と受光器27との間で、光源21側からレンズ22、偏光子23、ステージ24、検光子25、レンズ26がこの順番で配置されている。

20

【0029】

光軸調整部43は、入射側光学系41から炭化珪素基板1に入射した光が炭化珪素基板1中を透過するときの光軸を調整するため、入射側光学系41から炭化珪素基板1への入射光が炭化珪素基板1の表面に対してなす角度(入射角)を変更する。たとえば、光軸調整部43は、入射側光学系41をステージ24に対して移動させるように構成されていてもよい。光軸調整部44は、ステージ24に保持された炭化珪素基板1を透過した光の光軸と、受光側光学系42が受光するように設定された光軸とが重なるように、受光側光学系42をステージ24に対して移動させる。光軸調整部45は、炭化珪素基板1中を透過するときの光軸を調整するためステージ24を移動させる。たとえば、光軸調整部45は、上記入射角を変更するためにステージ24を入射側光学系41に対して移動させてもよい。光軸調整部43~45は制御用コントローラ10に接続され、当該制御用コントローラ10からの制御信号により制御される。

30

【0030】

なお、測定装置100では、上記光軸調整部43、44の組と、光軸調整部45とのいずれか一方のみを設置してもよい。これらの光軸調整部43~45を用いてステージ24に搭載された炭化珪素基板1への光の入射角を変化させることにより、炭化珪素基板1中を透過する光の光軸の方向を変更できる。このため、結果的に炭化珪素基板1の内部を透過する光の進行方向を<0001>方向に沿った方向とすることが可能になる。

40

【0031】

光軸調整部43~45は任意の構成を採用できる。たとえば、流体圧力により駆動するシリンダや電導モータなどを光軸調整部43~45として用いることができる。たとえば光軸調整部43として、入射側光学系41が搭載された架台のステージ24に対する傾き角を変更するように、架台に接続された油圧シリンダを用いてもよい。同様に、光軸調整部44として、受光側光学系42が搭載された架台のステージ24に対する傾き角を変更するように、架台に接続された油圧シリンダを用いてもよい。光軸調整部43として、偏光

50

子 2 3 とステージ 2 4 との間に配置され光の進行方向を変更するミラーと、光の進行方向を変更するため当該ミラーの配置を調整するモータなどの駆動部とを含む光学モジュールを用いてもよい。光軸調整部 4 4 として、上記光軸調整部 4 3 と同様にステージ 2 4 と検光子 2 5 との間に配置されたミラーと駆動部とを含む光学モジュールを用いてもよい。

【 0 0 3 2 】

また、光軸調整部 4 5 として、たとえば入射側光学系 4 1 からの入射光に対するステージ 2 4 の傾き角度を変更するモータを用いてもよい。この場合、ステージ 2 4 の上記入射光に対する傾き角度を互いに交差する 2 方向について変更できるように、当該モータは 2 つ配置されてもよい。具体的には、ステージ 2 4 を第 1 軸周りに回転させる第 1 のモータと、当該第 1 のモータの回転軸に接続されたステージ 2 4 とが第 1 基体上に搭載され、当該第 1 基体を上記第 1 軸と異なる方向に延びる第 2 軸周りに回転させる第 2 のモータが第 1 基体に接続されている、といった構成を採用してもよい。

10

【 0 0 3 3 】

光源 2 1、偏光子 2 3 および検光子 2 5 は、光源 2 1 からステージ 2 4 上の炭化珪素基板を透過して受光器 2 7 に到達する評価用の光の光軸に対して交差する方向（好ましくは垂直な方向）において、回転可能に構成されている。偏光子 2 3 および検光子 2 5 の当該回転角度は、制御用コントローラ 1 0 により制御可能になっている。たとえば、偏光子 2 3 および検光子 2 5 を回転させるモータなどの駆動装置は制御用コントローラ 1 0 により制御される。

【 0 0 3 4 】

光源 2 1 は制御用コントローラ 1 0 からの制御信号に応じて評価用の光を出射する。光源 2 1 としては任意の光源を用いることができるが、たとえばレーザダイオードなどの光源を用いることができる。ステージ 2 4 は、上記光の光軸に対して交差する方向において移動可能に構成されている。ステージ 2 4 の移動は制御用コントローラ 1 0 により制御される。たとえば、ステージ 2 4 を移動させるためリニアガイドなどの従来周知の駆動装置を用いることができ、当該駆動装置は制御用コントローラ 1 0 により制御される。たとえば、当該駆動装置は、上述した光軸調整部 4 5 とステージ 2 4 との両方を光の光軸に対して交差する方向に移動可能に構成されていてもよい。

20

【 0 0 3 5 】

受光器 2 7 は、レンズ 2 2、偏光子 2 3、炭化珪素基板 1、検光子 2 5 およびレンズ 2 6 を透過した光を受光する。受光器 2 7 での光の検出データは、制御用コントローラ 1 0 に送信される。制御用コントローラ 1 0 では、光源 2 1 からの光の発光強度、受光器 2 7 からの光の検出データ（受光強度のデータ）、偏光子 2 3 および検光子 2 5 の回転角度などのデータから、炭化珪素基板 1 において光が照射された位置での歪を評価する。

30

【 0 0 3 6 】

図 2 に示した測定装置の構成例を図 3 に示す。図 3 に示すように、測定装置の構成例では、制御用コントローラ 1 0 は制御 I O バス 1 1 および駆動回路 3 1、3 3、3 4、3 5 を介して、光源 2 1、偏光子 2 3、ステージ 2 4、検光子 2 5 と接続されている。また、制御用コントローラ 1 0 は制御 I O バス 1 1、A D 変換器 3 8、可変ゲイン増幅器 3 7、I V（電流 - 電圧）変換器 3 6 を介して受光器 2 7 と接続されている。また、制御用コントローラ 1 0 は制御 I O バス 1 1 および駆動回路 3 9 を介して光軸調整部 4 3 ~ 4 5 と接続されている。入射側光学系 4 1 は架台に搭載される。当該架台のステージ 2 4 に対する傾き角を変更するように油圧シリンダを含む光軸調整部 4 3 が当該架台に接続されている。また、受光側光学系 4 2 も別の架台に搭載される。当該別の架台のステージに対する傾き角を変更するように油圧シリンダを含む光軸調整部 4 4 が当該別の架台に接続されている。また、上述のように 2 つのモータを含む光軸調整部 4 5 がステージ 2 4 に接続されている。光源 2 1 は任意の光源を利用できるが、たとえばレーザダイオードである。受光器 2 7 は任意の構成を採用できるが、たとえばフォトダイオードである。

40

【 0 0 3 7 】

ステージ 2 4 は図 3 の紙面に垂直な X 軸方向および紙面の上下方向に沿う Y 軸方向におい

50

て移動可能になっている。また、上述のように光軸調整部 43 ~ 45 によりステージ 24 は光の光軸に対して相対的に傾斜可能に構成されている。偏光子 23 および検光子 25 はたとえばパルスモータ（図示せず）を駆動回路 33、35 により制御することで回転可能になっている。制御用コントローラ 10 には、たとえばデータなどを表示する表示用ディスプレイや、測定データを記録するための記憶装置などが接続されていてもよい。

【0038】

<評価方法の詳細>

以下、図3に示した測定装置を用いた炭化珪素基板の評価方法の一例の詳細を説明する。

【0039】

準備工程（S10）：

まず、評価対象である炭化珪素基板 1 を図3に示した測定装置のステージ 24 上に設置する。炭化珪素基板 1 としては、図4に示すように点線 2 で示される（0001）面に対して表面 4 がオフ角だけ傾斜しているオフ基板を用いる。なお、炭化珪素基板 1 として表面 4 が（0001）面に対して傾斜していない基板を用いてもよい。

【0040】

炭化珪素基板に対する光の入射方向を調整する工程（S30）：

次に、評価用の光が炭化珪素基板 1 に入射する方向が、図4において矢印 3 で示すように、炭化珪素基板 1 の内部を透過する光の進行方向が（0001）面に対して垂直な <0001> 方向となった状態における測定データを得るべく、予め決定された条件を満足するように、入射側光学系 41、ステージ 24、受光側光学系 42 の相対的な配置を決定する。なお、この工程では、ステージ 24 を固定して入射側光学系 41 を移動させてもよいし、入射側光学系 41 を固定してステージ 24 を移動させてもよい。

【0041】

測定工程（S21）：

ステージ 24 にセットされた炭化珪素基板 1 に対して、光源 21 から光を照射する。照射する光としては、たとえば赤外線を用いることができる。このとき、偏光子 23 と検光子 25 との方位を平行状態として同期回転させ、炭化珪素基板 1 での透過光強度を偏光角の関数として測定する。さらに、偏光子 23 と検光子 25 との方位を直交させた状態で同期回転させ、炭化珪素基板 1 での透過光強度を偏光角の関数として測定する。

【0042】

複屈折の位相差と主振動方位角の評価工程（S22）：

複屈折の位相差（単位：ラジアン）と、主振動方位角  $\theta$  を、上述した測定点でのデータから算出する。算出方法は任意の方法を用いることができるが、たとえば以下のような方法を用いる。

【0043】

偏光子 23 と検光子 25 の方位が直交状態および平行状態での試料の透過光強度をそれぞれ  $I_{\parallel}$ （）、 $I_{\perp}$ （）とする。また、上述のように偏光子 23 と検光子 25 とを同期回転させるときの偏光角を  $\alpha$  とする。このとき、試料としての炭化珪素基板 1 の複屈折の位相差  $\delta$  と、主振動方位角  $\theta$  に対して次の数式（1）に示す関係が成り立つ。

【0044】

$$I_r(\alpha) = I_{\parallel}(\alpha) / \{ I_{\parallel}(\alpha) + I_{\perp}(\alpha) \} = \sin^2 \{ 2(\theta - \alpha) \} \{ \sin^2(\delta / 2) \} \quad \text{数式(1)}$$

上記の式で示される  $I_r(\alpha)$  を sine、cosine 変換することにより、複屈折の位相差  $\delta$  と、主振動方位角  $\theta$  を求める。たとえば、以下のような数式（2）～（5）に基づき測定点での位相差  $\delta$  と主振動方位角  $\theta$  を求めることができる。

【0045】

$$= 2 \sin^{-1} \{ 1/4 (I_{\sin} \sin^2 + I_{\cos} \cos^2) \}^{1/4} \quad \text{数式(2)}$$

$$= (1/4) \tan^{-1} (I_{\sin} / I_{\cos}) \quad \text{数式(3)}$$

$$I_{\sin} = (1/4) \sin^4 \{ \sin^2(\delta / 2) \} \quad \text{数式(4)}$$

$$I_{\cos} = (1/4) \cos^4 \{ \sin^2(\delta / 2) \} \quad \text{数式(5)}$$

10

20

30

40

50

炭化珪素基板 1 中での光の進行方向が、図 4 に示すように炭化珪素基板 1 の  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿う方向にセットされた状態では、炭化珪素の結晶構造に起因する自然複屈折を低減できるので、上述の位相差の値が相対的に小さくなる。そして、上記のように自然複屈折が抑制された条件で測定を行っているため、光弾性を利用して、複屈折により生じる位相差により歪を高精度で評価することができる。一方、炭化珪素基板 1 中での光の進行方向が上記  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿っていない場合には、上記自然複屈折の影響が相対的に大きくなり、上述した位相差の値が相対的に大きくなって歪の正確な測定も難しくなる。

#### 【0046】

このように炭化珪素基板 1 中での光の進行方向を  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿った方向とするためには、炭化珪素基板 1 の周囲の大気と炭化珪素基板 1 との屈折率差を考慮する必要がある。すなわち、大気側から炭化珪素基板 1 中へ光が侵入するとき光が屈折する。当該大気と炭化珪素基板 1 との界面での光の屈折は、たとえばスネルの法則に基づき検討することができる。

10

#### 【0047】

ここで、炭化珪素基板 1 のような化合物半導体基板では、基板に反りなどの形状不良が発生している場合がある。そのような場合、ステージ 24 に搭載された炭化珪素基板 1 の主面内の位置により、ステージ 24 の基準面に対する当該主面の傾きが異なる。したがって、上記スネルの法則を用いて炭化珪素基板 1 中での光の進行方向が  $\langle 0001 \rangle$  方向になるように、入射側光学系 41 からの光の炭化珪素基板 1 に対する入射方向を予め決定しても、実際の炭化珪素基板 1 中での光の進行方向が  $\langle 0001 \rangle$  方向からずれる場合がある。

20

#### 【0048】

そこで、本実施形態では、炭化珪素基板 1 の主面における 1 つの測定点に対して、予め炭化珪素基板 1 の主面の各位置での  $(0001)$  面からのオフ方向およびオフ角度を調べる。炭化珪素基板 1 中での光の進行方向が  $\langle 0001 \rangle$  方向になるように入射光の入射角を決定し、上記工程 (S30)、工程 (S21)、工程 (S22) を実施する。炭化珪素基板 1 の主面の各位置での  $(0001)$  面からのオフ方向およびオフ角度の測定は、たとえば X 線回折法などにより行うことができる。このようにすれば、炭化珪素基板 1 の形状が平坦ではない場合であっても、炭化珪素基板 1 の表面における測定点で自然複屈折の影響が低減された位相差 と主振動方位角 とのデータを得ることができる。

#### 【0049】

たとえば、オフ角が  $4^\circ$  である炭化珪素基板に対して、波長が  $950\text{ nm}$  の光を照射する場合を考える。この場合、たとえば入射側の空気の屈折率  $n_1$  を 1 とし、出射側の炭化珪素の屈折率  $n_2$  を 2.2 と考える。これらの条件をスネルの法則に適用すると、上記炭化珪素基板 1 の主面の法線に対して  $9^\circ$  傾いた方向から光を炭化珪素基板 1 の主面に照射した場合に、炭化珪素中の光の進行方向がほぼ  $\langle 0001 \rangle$  方向と平行になると考えられる。なお、炭化珪素基板 1 の主面における複数の測定点のそれぞれについて、ステージ 24 上に搭載された炭化珪素基板 1 の反り等の形状を考慮して光の照射方向を予め決定しておく。

30

#### 【0050】

上述した 2 種類の透過光強度のデータを、炭化珪素基板 1 の表面における複数測定点において測定する。測定点は、たとえば炭化珪素基板 1 の表面において格子状に配置されていてもよい。測定点の間隔はたとえば  $0.1\text{ mm}$  以上  $50\text{ mm}$  以下としてもよく、 $0.3\text{ mm}$  以上  $2\text{ mm}$  以下としてもよく、 $0.4\text{ mm}$  以上  $0.6\text{ mm}$  以下としてもよい。

40

#### 【0051】

上記のようにして各測定点につき複屈折の位相差 を求めることで、基板全体の複数の測定点に関して当該位相差 の最大値と標準偏差とを求めることができる。

#### 【0052】

残留歪の評価工程 (S23) :

次に、炭化珪素基板 1 の残留歪を評価する。評価方法としては、任意の方法を採用できるが、たとえば日本国特許第 3156382 号 (特開平 5 - 339100 号公報) に開示さ

50

れた方法を用いることができる。具体的には、炭化珪素基板の残留歪は、半径方向の歪  $S_r$  と接線方向の歪  $S_t$  との差の絶対値  $|S_r - S_t|$  によって算定できる。この算定において、 $|S_r - S_t|$  は以下の数式(6)、(7)に示すように算定できる。

【0053】

$$|S_r - S_t| = k \left[ \left\{ \cos^2 \theta / (P_{11} - P_{12}) \right\}^2 + \left\{ (\sin^2 \theta) / P_{44} \right\}^{1/2} \right] \quad \text{数式(6)}$$

ただし、上記数式(6)において、

$$k = \lambda^3 / (d n_0^3) \quad \text{数式(7)}$$

である。ここで、測定に用いる光の波長を  $\lambda$  とし、測定に用いる炭化珪素基板1の厚さを  $d$  とし、炭化珪素基板1の屈折率を  $n_0$  とし、炭化珪素基板1の光弾性定数を  $P_{11}$ 、 $P_{12}$ 、 $P_{44}$  とした。ここで、屈折率  $n_0$  は、光を  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿って透過させた場合の屈折率である。

【0054】

このように、光弾性法を用いて、炭化珪素基板1の複屈折によって生じる位相差  $\Delta$  と主振動方位角  $\theta$  を求めることにより、炭化珪素基板1の歪を求めることができる。なお、上述した測定工程(S21)から残留歪の評価工程(S23)までが図1に示した評価工程(S20)に対応する。

【0055】

<評価方法の作用効果>

上記のような評価方法によれば、炭化珪素基板1中を  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿って評価用の光が透過したときのデータを測定結果として得ることができるので、炭化珪素基板1の結晶構造に起因する自然複屈折の影響を低減した状態で、歪(残留歪)を評価できる。

【0056】

ここで、立方晶の化合物半導体結晶は、光学的に等方である。よって、屈折率の異方性は存在しない。そのため、どのような方向から光を透過させても自然複屈折は生じず、結晶の歪みを正確に測定することが容易である。

【0057】

一方、六方晶の化合物半導体では、上述した炭化珪素のように、光が  $\langle 0001 \rangle$  方向と平行に透過した場合と、 $\langle 0001 \rangle$  方向と交差する方向に沿って透過した場合との屈折率は異なる。その結果、六方晶の化合物半導体中を透過する光の光軸が  $\langle 0001 \rangle$  方向から一定の角度以上外れている場合には、自然複屈折の影響が無視できなくなり、結晶の歪みを正確に評価することが容易ではない。六方晶の化合物半導体中において光を透過させる方向は、 $\langle 0001 \rangle$  方向から  $\pm 3^\circ$  以内が好ましく、 $\pm 2^\circ$  以内がより好ましく、 $\pm 1^\circ$  以内がさらに好ましい。

【0058】

また、上記評価方法では、評価工程(S20)において、炭化珪素基板1の表面の複数個所の測定点に対して光を照射することにより、炭化珪素基板1の複数個所における歪を評価する。具体的には、評価工程(S20)は、上記複数個所において複屈折によって生じる位相差  $\Delta$  を求める工程と、複数個所における位相差  $\Delta$  について最大値と標準偏差とを算出する工程とを含む。また異なる観点から言えば、基板に光を透過させる工程(S21)では、第1主面の複数個所に対して光を照射する。複屈折により生じる位相差を算出する工程(S22)では、複数個所における位相差を算出する。なお、評価工程(S20)は上記複数個所において主振動方位角  $\theta$  を求める工程を含んでいてもよい。この場合、炭化珪素基板1の表面における歪の分布状態を評価することができる。

【0059】

上記評価方法において、炭化珪素基板1は、第1主面としての表面4が  $\{0001\}$  面に対して傾斜しているオフ基板であってもよい。この場合、評価工程(S20)では、図4に示すように表面4が  $\{0001\}$  面に対して傾斜する角度であるオフ角に対応し、炭化珪素基板1中を光が表面4に対して傾いた方向(矢印3に示される方向)である  $\langle 0001 \rangle$  方向に沿って透過する。上記評価方法は、図4の矢印3に示すように炭化珪素基板1中を

10

20

30

40

50

光が<0001>方向に沿って透過するように、炭化珪素基板1の表面4に対して、光の照射方向を傾いた方向にセットする工程(S30)を含んでいてもよい。この場合、オフ基板である炭化珪素基板1に対して、自然複屈折の影響を低減した条件で歪の評価を行うことができる。

#### 【0060】

異なる観点から言えば、上記歪評価方法では、評価工程(S20)において、主面の各測定点について、予め測定された主面の{0001}面に対する傾斜角度(オフ角度)および傾斜方向(オフ方向)の情報に基づき、光の主面に対する入射角度が決定されている。この場合、炭化珪素基板1に反りが発生しているなど、当該炭化珪素基板1の形状が平坦でないときでも、各測定点について当該形状も考慮したオフ角度およびオフ方向(見かけのオフ角度およびオフ方向)を予め得ておくことで、結果的に炭化珪素の結晶構造に起因する自然複屈折の影響が低減された、正確な歪の評価を行うことができる。

10

#### 【0061】

上記評価方法において、評価対象である基板は、化合物半導体基板としての炭化珪素基板1と、炭化珪素基板1上にホモエピタキシャル成長された化合物半導体層としての炭化珪素エピタキシャル層とを含んでいてもよい。この場合、エピタキシャル層が形成された炭化珪素基板(エピタキシャル層付炭化珪素基板)での歪の発生状況を確認できる。

#### 【0062】

##### <化合物半導体の製造方法>

以下、上述した評価方法を応用した六方晶化合物半導体の製造方法を説明する。図5に示すように、六方晶化合物半導体の製造方法では、まず基板準備工程(S100)を実施する。この工程(S100)は、化合物半導体装置を製造するために用いる化合物半導体基板を準備する。以下、六方晶化合物半導体の一例として炭化珪素を例に説明する。工程(S100)では、六方晶の結晶構造を備え、複屈折を有し、第1主面としての表面4と当該第1主面と反対側の第2主面と側面とを含む六方晶化合物半導体の基板を準備する。ここでは化合物半導体基板の例として炭化珪素基板を準備する。炭化珪素基板としては、(0001)面(C面)に対する表面のオフ角度が0°を超え8°以下のオフ基板を用いる。炭化珪素基板の直径はたとえば100mm以上とする。炭化珪素基板の直径は150mm以上でもよく、200mm以上でもよい。炭化珪素基板の厚さはたとえば200μm以上1mm以下としてもよい。炭化珪素基板の直径は300mm以下でもよい。

20

30

#### 【0063】

次に、第1の位相差を算出する工程としての検査工程(S200)を実施する。この工程(S200)では、図1~図4に示した評価方法を用いて炭化珪素基板の歪を評価する。具体的には、炭化珪素基板の表面における複数個所について、予め炭化珪素基板の主面の各位置での(0001)面からのオフ方向およびオフ角度を調べる。当該オフ角度およびオフ方向に基づき、炭化珪素基板中での光の進行方向が<0001>方向になるように入射光の入射角を予め決定しておき、上記工程(S30)、工程(S21)、工程(S22)を実施する。この結果、測定点での自然複屈折が抑制された位相差の値が得られる。また、このとき主振動方位角を同時に求めてもよい。その後、上述した残留歪の評価工程(S23)で説明したように歪を求める。

40

#### 【0064】

異なる観点から言えば、この工程(S200)では、第1主面としての表面4に基板を透過する光を照射し、図4に示すように基板中の<0001>方向に沿って基板に光を透過させ、複屈折により生じる第1の位相差を算出する。上記工程(S200)は第1主面としての表面4の複数個所としての複数の測定点において実施されてもよい。なお、複数の測定点のそれぞれに関して、複屈折の位相差の最大値と標準偏差とを求め、歪の分布のばらつきや歪の大きさを評価してもよい。このように上記最大値と標準偏差とを求める工程(S210)は、第1の最大値と第1の標準偏差とを算出する工程に対応する。

#### 【0065】

次に、化合物半導体層をホモエピタキシャル成長させる工程としての成膜工程(S300)

50

）を実施する。この工程（S300）では、予め決定されている成長条件に基づき、炭化珪素基板の表面4上に化合物半導体層としての炭化珪素エピタキシャル層を形成する。炭化珪素エピタキシャル層の成膜条件は従来周知の任意の条件を採用できる。

【0066】

次に、成膜後の検査工程（S400）を実施する。第2の位相差を算出する工程としての工程（S400）では、上記検査工程（S200）と同様の評価方法を用いて、上記基板準備工程において準備されたベース基板としての炭化珪素基板の表面に炭化珪素エピタキシャル層が形成された炭化珪素エピ基板について歪の評価を行う。異なる観点から言えば、この工程（S400）では、化合物半導体層としての炭化珪素エピタキシャル層の表面に光を照射し、炭化珪素エピタキシャル層中および基板中の<0001>方向に沿って炭化珪素エピタキシャル層および基板に光を透過させ、複屈折により生じる第2の位相差を算出する。上記工程（S400）は、炭化珪素エピタキシャル層の表面の複数個所である複数の測定点において実施されてもよい。

10

【0067】

この検査工程（S400）での歪の評価においては、上記検査工程（S200）と同様に複屈折の位相差を評価してもよいし、歪の値を直接評価してもよい。あるいは、複数の測定点に関して複屈折の位相差の最大値と標準偏差とを評価してもよい。このように上記最大値と標準偏差とを求める工程（S410）は、第2の最大値と第2の標準偏差とを算出する工程に対応する。

【0068】

次に、成膜条件を変更する条件が成立したかどうかを判別する工程（S500）を実施する。この工程（S500）では、工程（S200）と工程（S400）とでそれぞれ求めたデータを比較して、成膜工程（S300）での成膜により歪が増加している場合には成膜条件を変更する条件が成立したと判別する。この工程（S500）では、たとえば工程（S210）で求めた複屈折の位相差の最大値である第1の最大値より工程（S410）で求めた複屈折の位相差の最大値である第2の最大値の方が大きいという条件が成立したか否かを判別してもよい。また、工程（S500）での判別条件として、工程（S210）で求めた第1の標準偏差より工程（S410）で求めた第2の標準偏差が大きいという条件を上記最大値に関する条件に加えて採用してもよい。この工程（S500）においてYESと判断された場合、成膜条件を変更する工程（S600）に進み、次回に実施される工程（S300）における成膜条件を変更する。成長条件を変更する工程としての工程（S600）の後、後述する後処理工程（S700）に進む。また、工程（S500）においてNOと判断された場合、そのまま後処理工程（S700）に進む。

20

【0069】

次に、後処理工程（S700）を実施する。この後処理工程（S700）では、形成された炭化珪素エピタキシャル層に対するイオン注入や電極、配線などの導電体層の形成などを行う。炭化珪素基板の表面には複数の炭化珪素半導体素子が同時に形成される。その後、炭化珪素基板を個々の素子に分割し、化合物半導体の一例としての炭化珪素半導体装置を得ることができる。なお、分割された素子（炭化珪素半導体装置）を、所定の機能を実現するためのモジュール（たとえば電力制御用のモジュール）などに組込んで半導体モジュールを構成してもよい。

30

【0070】

<化合物半導体の製造方法の作用効果>

上述した六方晶化合物半導体の製造方法によれば、化合物半導体中を<0001>方向に沿って光が透過する状態での位相差を算出するので、化合物半導体の結晶構造に起因する自然複屈折の影響が低減された位相差を得ることができる。このため、当該自然複屈折の影響を低減した状態で、複屈折により生じる位相差により歪が評価された化合物半導体の一例としての炭化珪素基板を得ることができる。また、化合物半導体基板に化合物半導体層としての炭化珪素エピタキシャル層が形成される前後で複屈折により生じる位相差により歪を評価できるので、炭化珪素エピタキシャル層の成膜工程（S300）によ

40

50

る歪への影響を評価できる。さらに、炭化珪素エピタキシャル層が形成されたエピタキシャル層付炭化珪素基板での歪の発生状況を確認できる。そして、炭化珪素エピタキシャル層が形成された後の歪と、炭化珪素エピタキシャル層を形成する前の歪とを比較して、エピタキシャル成長の際に発生した歪の量を把握することにより、エピタキシャル成長における成長条件の適否を判断することが可能となる。

【0071】

また、基板の表面4の複数個所について位相差を算出するとともに、基板における歪の大きさおよびばらつきに位相差の大きさおよびばらつきが関連しているため、基板の面内での歪の分布状態を評価することができる。つまり、当該自然複屈折の影響を低減した状態で、複屈折により生じる位相差により基板の面内における歪の分布状況が評価された化合物半導体を得ることができる。

10

【0072】

上記六方晶化合物半導体の製造方法において、基板は、第1主面である表面4が{0001}面に対して傾斜している。また、工程(S200)では、表面4の複数個所について、予め測定された表面4の{0001}面に対する傾斜角度(オフ角度)および傾斜方向(オフ方向)の情報に基づき、光の表面4に対する入射角度がそれぞれ決定されている。さらに、工程(S400)では、化合物半導体層としてのエピタキシャル層の表面の複数個所について、上記情報に基づき、エピタキシャル層の表面に対する光の入射角度が決定されている。

【0073】

この場合、基板に反りが発生しているなど、基板の形状が平坦でないときでも、予め基板のオフ角度およびオフ方向といった情報を得ておくことで、結果的に化合物半導体中を<0001>方向に沿って光が透過したときの光弾性を利用して正確に歪を評価することができる。つまり、結果的に六方晶化合物半導体の結晶構造に起因する自然複屈折の影響が低減された、正確な歪の評価を行うことができる。したがって、基板の面内における歪の分布状況およびエピタキシャル成長における成長条件の適否を精度よく判断することが可能になる。

20

【0074】

上記六方晶化合物半導体の製造方法では、工程(S500)、工程(S600)を備えているため、炭化珪素エピタキシャル層が形成される前後での位相差の最大値と標準偏差とを対比することで、炭化珪素エピタキシャル層の成膜工程による歪の影響を評価し、歪の増大を抑制するように工程(S300)での成膜条件を調整することが可能になる。そのため、歪が抑制されたエピタキシャル層付基板を得ることができる。

30

【0075】

上記六方晶化合物半導体の製造方法では、上記工程(S200)および工程(S400)を基板表面または炭化珪素エピタキシャル層の面内の複数の測定点において実施するので、基板の面内において化合物半導体の結晶構造に起因する自然複屈折の影響が低減された、正確な歪の評価を行うことができる。

【0076】

上記六方晶化合物半導体の製造方法において、基板の直径は100mm以上である。このような比較的大きな直径の化合物半導体基板において、歪に起因する問題の発生が懸念されるため、上記化合物半導体の製造方法を適用することが好ましい。

40

【0077】

上記六方晶化合物半導体の製造方法において、六方晶化合物半導体は炭化珪素単結晶である。炭化珪素では、歪による基板の割れなどが特に問題となっていることから、上述した製造方法を適用することが好ましい。

【0078】

(実施例)

上述した評価方法の効果を検証するため、以下のような実験を行った。

【0079】

50

<炭化珪素基板>

評価対象として、直径150mm、(0001)面に対する表面のオフ角が4°であるポリタイプ4Hの炭化珪素基板を準備した。炭化珪素基板の厚さは350μmとした。

【0080】

また、後述するように歪の評価工程を行ってから、当該炭化珪素基板に対して以下の条件で炭化珪素エピタキシャル層を形成した。

【0081】

シラン(SiH<sub>4</sub>)およびプロパン(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)を原料ガスとし、窒素(N<sub>2</sub>)あるいはアンモニア(NH<sub>3</sub>)をドーパントガスとし、水素(H<sub>2</sub>)をキャリアガスとして用いたCVD法によってエピタキシャル膜を成長する。上記のように主面は(0001)面に対してオフしているため、エピタキシャル膜はステップフロー成長により形成されている。そのため、エピタキシャル膜は炭化珪素基板と同様に4H型の炭化珪素からなり、異種ポリタイプの混在が抑制されたものとなっている。エピタキシャル膜の厚さは、たとえば10μm以上50μm以下程度である。

10

【0082】

上述したエピタキシャル膜の成長工程では、C/Si比が1未満の原料ガスを用いて、炭化珪素基板の主面上にエピタキシャル成長させる。まず、成膜装置において炭化珪素基板が内部に配置されたチャンネル内をガス置換する。その後、キャリアガスを流しながら、チャンネル内を所定の圧力、たとえば60mbar~100mbar(6kPa~10kPa)に調整する。キャリアガスは、たとえば水素(H<sub>2</sub>)ガス、アルゴン(Ar)ガス、ヘリウム(He)ガス等でよい。キャリアガス流量は、たとえば50slm~200slm程度でよい。ここで流量の単位「slm(Standard Liter per Minute)」は、標準状態(0、101.3kPa)における「L/min」を示している。

20

【0083】

次にチャンネルを囲むように配置された誘導加熱コイルに所定の交流電流を供給することにより、当該チャンネルの周囲に配置された発熱体を誘導加熱する。チャンネル内部にはサセプタが配置されている。サセプタ上には炭化珪素基板が載置される。これにより、チャンネルおよび炭化珪素基板が載置されるサセプタが所定の反応温度にまで加熱される。このときサセプタは、たとえば1500~1750程度まで加熱される。

30

【0084】

<評価方法>

上記炭化珪素基板に対して、上述のように炭化珪素エピタキシャル層を形成する前と後とのそれぞれのタイミングで、本実施形態に係る評価方法を用いて歪の評価を行った。評価方法では、図3に示した構成の測定装置を用い、波長が950nmの光を炭化珪素基板に照射して測定を行った。このとき、各測定点について、予めオフ角度およびオフ方向をX線回折法を用いて測定しておいた。測定は、一例として、直径が150mmの炭化珪素基板の表面において、10mm間隔の格子状に配置された複数の測定点に対して実施した。なお、測定点の数は約170点である。そして、位相差について、最大値と平均値、および標準偏差を算出した。

40

【0085】

<評価結果>

エピタキシャル成長前：

複屈折の位相差(単位：ラジアン)について、最大値は0.425、平均値は0.149、標準偏差は0.065であった。

【0086】

エピタキシャル成長後：

複屈折の位相差について、最大値は0.395、平均値は0.140、標準偏差は0.060であった。

【0087】

50

上記のエピタキシャル成長を行う前後のデータより、当該エピタキシャル成長を実施したことによる上記位相差の最大値の変化量は0.030、平均値の変化量は0.009、標準偏差の変化量は0.005であった。上記データよりエピタキシャル成長前後での歪の変化は充分小さいことがわかる。このように、本実施形態に係る評価方法を用いて、炭化珪素基板についてエピタキシャル成長後前後での歪の状態を評価することができた。

【0088】

今回開示された実施の形態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実施の形態ではなく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。

【符号の説明】

【0089】

- 1 炭化珪素基板
- 2 点線
- 3 矢印
- 4 表面
- 10 制御用コントローラ
- 11 制御I/Oバス
- 21 光源
- 22, 26 レンズ
- 23 偏光子
- 24 ステージ
- 25 検光子
- 27 受光器
- 31 ~ 35, 39 駆動回路
- 36 I/V変換器
- 37 可変ゲイン増幅器
- 38 A/D変換器
- 41 入射側光学系
- 42 受光側光学系
- 43 ~ 45 光軸調整部
- 100 測定装置

10

20

30

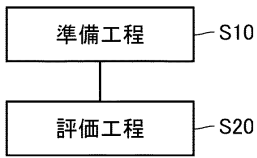
40

50

【図面】

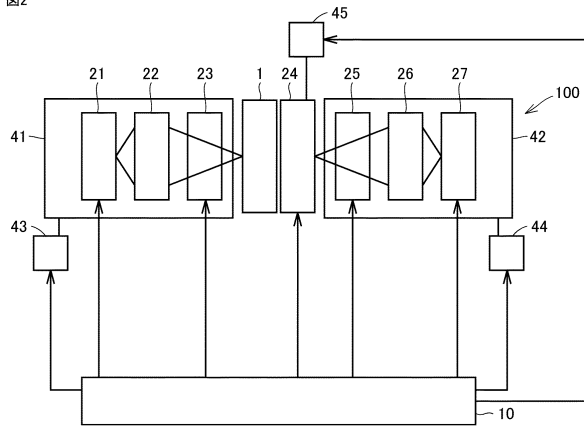
【図 1】

図1



【図 2】

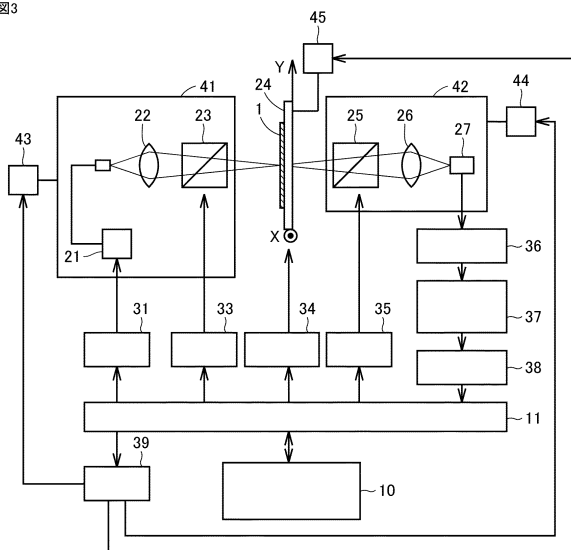
図2



10

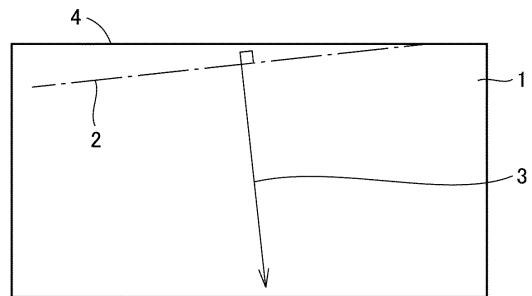
【図 3】

図3



【図 4】

図4



20

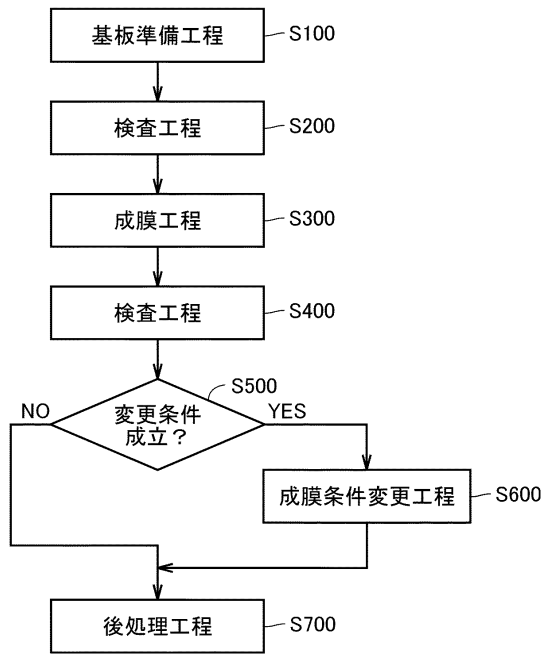
30

40

50

【 図 5 】

図5



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

審査官 神 崎 賢一

- (56)参考文献 特開2000-044398(JP,A)  
国際公開第2015/114732(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- |      |        |
|------|--------|
| C30B | 29/36  |
| C23C | 16/42  |
| H01L | 21/66  |
| H01L | 21/205 |
| G01B | 11/16  |