

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 3 部門第 1 区分
 【発行日】平成 18 年 3 月 30 日 (2006.3.30)

【公開番号】特開 2003-292400 (P2003-292400A)
 【公開日】平成 15 年 10 月 15 日 (2003.10.15)
 【出願番号】特願 2003-18507 (P2003-18507)
 【国際特許分類】

C 3 0 B 29/38 (2006.01)

C 3 0 B 9/00 (2006.01)

H 0 1 S 5/343 (2006.01)

【F I】

C 3 0 B 29/38 D

C 3 0 B 9/00

H 0 1 S 5/343 6 1 0

【手続補正書】

【提出日】平成 18 年 2 月 8 日 (2006.2.8)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反応容器内で、アルカリ金属と少なくとも I I I 族金属を含む物質とが混合融液を形成し、該混合融液と少なくとも窒素を含む物質とから、I I I 族金属と窒素とから構成される I I I 族窒化物を結晶成長させる I I I 族窒化物結晶成長方法であって、圧力と温度とで規定される領域に対応する結晶成長条件で、I I I 族窒化物の結晶を成長させることを特徴とする I I I 族窒化物結晶成長方法。

【請求項 2】

請求項 1 記載の I I I 族窒化物結晶成長方法において、結晶成長条件として、圧力と温度とで規定される領域を複数個設けると、複数の領域のそれぞれに応じて互いに異なる結晶形態の I I I 族窒化物の結晶が成長可能であることを特徴とする I I I 族窒化物結晶成長方法。

【請求項 3】

請求項 2 記載の I I I 族窒化物結晶成長方法において、複数の領域のうちの 1 つの領域は、I I I 族窒化物の結晶成長形態として、種結晶に結晶成長するものであることを特徴とする I I I 族窒化物結晶成長方法。

【請求項 4】

請求項 2 記載の I I I 族窒化物結晶成長方法において、P を反応容器内の実効的な窒素圧力 (Pa)、T を混合融液の絶対温度 (K)、a、b を係数とするとき、成長する I I I 族窒化物の結晶形態は、 $\log P = a / T + b$ で表される境界により規定される領域に応じて決定されることを特徴とする I I I 族窒化物結晶成長方法。

【請求項 5】

請求項 4 記載の I I I 族窒化物結晶成長方法において、 $\log P = a / T + b$ で表される境界は、アルカリ金属の I I I 族金属との比によって制御可能であることを特徴とする I I I 族窒化物結晶成長方法。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の I I I 族窒化物結晶成長方法において、

種結晶を用いて結晶成長可能な結晶成長条件領域で、Ⅲ族窒化物の結晶を種結晶を用いて結晶成長させることを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載のⅢ族窒化物結晶成長方法において、柱状結晶を用いて結晶成長可能な結晶成長条件領域で、Ⅲ族窒化物の結晶を柱状結晶を用いて結晶成長させることを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長方法。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載のⅢ族窒化物結晶成長方法において、板状結晶を用いて結晶成長可能な結晶成長条件領域で、Ⅲ族窒化物の結晶を板状結晶を用いて結晶成長させることを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長方法。

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか一項に記載のⅢ族窒化物結晶成長方法において、Ⅲ族窒化物結晶が成長せずに分解する条件領域、種結晶成長する成長条件領域、柱状結晶が成長する成長条件領域、板状結晶が成長する成長条件領域の内、複数の条件領域を利用して、Ⅲ族窒化物結晶を成長させることを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長方法。

【請求項 10】

請求項 9 記載のⅢ族窒化物結晶成長方法において、Ⅲ族窒化物結晶が成長せずに分解する条件領域と柱状結晶または板状結晶が成長する成長条件領域とを利用して、Ⅲ族窒化物結晶を成長させることを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長方法。

【請求項 11】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載のⅢ族窒化物結晶成長方法において、アルカリ金属としてナトリウム (Na) を用い、少なくともⅢ族金属を含む物質としてガリウム (Ga) を用い、少なくとも窒素を含む物質として窒素ガス (N₂) を用いて、Ⅲ族窒化物として窒化ガリウム (GaN) を結晶成長させるときに、窒化ガリウム (GaN) の結晶成長条件を窒素ガス圧力とガリウムとナトリウムの混合融液の温度とで規定することを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長方法。

【請求項 12】

請求項 11 記載のⅢ族窒化物結晶成長方法において、P を窒素ガス圧力 (Pa)、T を混合融液の絶対温度 (K)、a₁, b₁, a₂, b₂ を、 $a_1 = -5.40 \times 10^{-3}$, $b_1 = 4.83$, $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$, $b_2 = 5.47$ の係数とするととき、 $a_1 / T + b_1 \leq \log P \leq a_2 / T + b_2$ で表される結晶成長条件領域で、種結晶を用いて窒化ガリウム (GaN) を結晶成長させることを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長方法。

【請求項 13】

請求項 11 記載のⅢ族窒化物結晶成長方法において、P を窒素ガス圧力 (Pa)、T を混合融液の絶対温度 (K)、a₂, b₂, a₃, b₃ を、 $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$, $b_2 = 5.47$, $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$, $b_3 = 5.83$ の係数とするととき、 $a_2 / T + b_2 \leq \log P \leq a_3 / T + b_3$ で表される結晶成長条件領域で、柱状の窒化ガリウム (GaN) 結晶を成長させることを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長方法。

【請求項 14】

請求項 11 記載のⅢ族窒化物結晶成長方法において、P を窒素ガス圧力 (Pa)、T を混合融液の絶対温度 (K)、a₃, b₃ を、 $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$, $b_3 = 5.83$ の係数とするととき、 $a_3 / T + b_3 \leq \log P$ で表される結晶成長条件領域で、板状の窒化ガリウム (GaN) 結晶を成長させることを特徴とするⅢ族窒化物の結晶成長方法。

【請求項 15】

種結晶成長する成長条件領域、柱状結晶が成長する成長条件領域、板状結晶が成長する成長条件領域の内の 1 つの成長条件領域を選択してⅢ族窒化物結晶を成長させるための圧力制御機構及び温度制御機構を有していることを特徴とするⅢ族窒化物結晶成長

装置。

【請求項 16】

ⅢⅢⅢ族窒化物結晶が成長せずに分解する条件領域、種結晶成長する成長条件領域、柱状結晶が成長する成長条件領域、板状結晶が成長する成長条件領域の内、複数の条件領域を利用してⅢⅢⅢ族窒化物結晶を成長させるための圧力制御機構及び温度制御機構を有していることを特徴とするⅢⅢⅢ族窒化物結晶成長装置。

【請求項 17】

請求項 1 乃至請求項 14 のいずれか一項に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶成長方法で作製されたことを特徴とするⅢⅢⅢ族窒化物結晶。

【請求項 18】

請求項 17 記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶を用いたことを特徴とする半導体デバイス。

【請求項 19】

請求項 18 記載の半導体デバイスにおいて、該半導体デバイスは、光デバイスであることを特徴とする半導体デバイス。

【請求項 20】

請求項 18 記載の半導体デバイスにおいて、該半導体デバイスは、電子デバイスであることを特徴とする半導体デバイス。

【請求項 21】

アルカリ金属とⅢⅢⅢ族金属とを含む混合融液を保持する混合融液保持容器を備える結晶成長装置において前記混合融液保持容器内に窒素を含む物質を供給してⅢⅢⅢ族窒化物結晶を製造するⅢⅢⅢ族窒化物結晶の製造方法であって、

各々が前記ⅢⅢⅢ族窒化物結晶を結晶成長または分解させる結晶成長条件の領域を示す複数の結晶成長領域のうちの少なくとも１つの結晶成長領域に含まれる結晶成長条件を設定する第１の工程と、

前記設定した結晶成長条件を一定時間保持する第２の工程とを備え、

前記結晶成長条件は、前記混合融液保持容器内の圧力と前記混合融液の温度とからなる、ⅢⅢⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項 22】

前記第１の工程は、柱状結晶からなるⅢⅢⅢ族窒化物結晶を結晶成長させる結晶成長条件を設定する、請求項 21 に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項 23】

前記第１の工程は、板状結晶からなるⅢⅢⅢ族窒化物結晶を結晶成長させる結晶成長条件を設定する、請求項 21 に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項 24】

前記第１の工程は、種結晶のみに前記ⅢⅢⅢ族窒化物結晶が結晶成長する結晶成長条件を設定する、請求項 21 に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項 25】

前記種結晶は、前記複数の結晶成長領域のうちの１つの結晶成長領域に含まれる結晶成長条件を用いて結晶成長されたⅢⅢⅢ族窒化物結晶からなる、請求項 24 に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項 26】

前記１つの結晶成長領域に含まれる結晶成長条件は、柱状結晶を結晶成長させる結晶成長条件である、請求項 25 に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項 27】

前記１つの結晶成長領域に含まれる結晶成長条件は、板状結晶を結晶成長させる結晶成長条件である、請求項 25 に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項 28】

前記第１の工程は、

板状結晶からなるⅢⅢⅢ族窒化物結晶を結晶成長させる第１の結晶成長条件を設定する第１のサブ工程と、

前記Ⅲ族窒化物結晶を分解する第２の結晶成長条件を設定する第２のサブ工程と、
板状結晶からなるⅢ族窒化物結晶を結晶成長させる第３の結晶成長条件を設定する
第３のサブ工程とを含み、

前記第２の工程は、

前記第１の結晶成長条件を保持する第４のサブ工程と、

前記第２の結晶成長条件を保持する第５のサブ工程と、

前記第３の結晶成長条件を保持する第６のサブ工程とを含み、

前記第４のサブ工程は、前記第１のサブ工程の後に実行され、

前記第２のサブ工程は、前記第４のサブ工程の後に実行され、

前記第５のサブ工程は、前記第２のサブ工程の後に実行され、

前記第３のサブ工程は、前記第５のサブ工程の後に実行され、

前記第６のサブ工程は、前記第３のサブ工程の後に実行される、請求項２１に記載のⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項２９】

前記第１の工程は、

柱状結晶からなるⅢ族窒化物結晶を結晶成長させる第１の結晶成長条件を設定する
第１のサブ工程と、

前記Ⅲ族窒化物結晶を分解する第２の結晶成長条件を設定する第２のサブ工程と、
柱状結晶からなるⅢ族窒化物結晶を結晶成長させる第３の結晶成長条件を設定する
第３のサブ工程とを含み、

前記第２の工程は、

前記第１の結晶成長条件を保持する第４のサブ工程と、

前記第２の結晶成長条件を保持する第５のサブ工程と、

前記第３の結晶成長条件を保持する第６のサブ工程とを含み、

前記第４のサブ工程は、前記第１のサブ工程の後に実行され、

前記第２のサブ工程は、前記第４のサブ工程の後に実行され、

前記第５のサブ工程は、前記第２のサブ工程の後に実行され、

前記第３のサブ工程は、前記第５のサブ工程の後に実行され、

前記第６のサブ工程は、前記第３のサブ工程の後に実行される、請求項２１に記載のⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項３０】

前記混合融液保持容器内の圧力を P とし、前記混合融液の絶対温度を T とし、 a および
 b を定数としたとき、前記複数の結晶成長領域のうちの隣接する２つの結晶成長領域の境
界は、 $\log P = a / T + b$ によって表される、請求項２１から請求項２９のいずれか１
項に記載のⅢ族窒化物結晶の製造方法。

【請求項３１】

請求項２１から請求項３０のいずれか１項に記載のⅢ族窒化物結晶の製造方法によ
って製造されたⅢ族窒化物結晶を用いて作製された半導体デバイス。

【請求項３２】

当該半導体デバイスは、光デバイスである、請求項３１に記載の半導体デバイス。

【請求項３３】

当該半導体デバイスは、電子デバイスである、請求項３１に記載の半導体デバイス。

【請求項３４】

反応容器と、

前記反応容器内に配置され、前記反応容器内の空間に連通する領域にアルカリ金属とⅢ族金属とを含む混合融液を保持する混合融液保持容器と、

前記反応容器内に窒素を含む物質を供給する供給管と、

前記反応容器内をⅢ族窒化物結晶が結晶成長可能な温度に制御する加熱装置と、

前記反応容器内の圧力を調整する圧力調整機構とを備え、

前記加熱装置は、各々が前記Ⅲ族窒化物結晶を結晶成長または分解させる結晶成長

条件の領域を示す複数の結晶成長領域のうちの少なくとも１つの結晶成長領域に含まれる結晶成長可能な温度に前記反応容器内を制御し、

前記圧力調整機構は、前記少なくとも１つの結晶成長領域に含まれる結晶成長可能な圧力に前記反応容器内の圧力を調整し、

前記結晶成長条件は、前記反応容器内の圧力と前記反応容器内の温度とからなる、ⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項３５】

前記加熱装置は、柱状結晶からなるⅠⅠⅠ族窒化物結晶を結晶成長可能な温度に前記反応容器内を制御し、

前記圧力調整機構は、前記柱状結晶からなるⅠⅠⅠ族窒化物結晶を結晶成長可能な圧力に前記反応容器内の圧力を調整する、請求項３４に記載のⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項３６】

前記加熱装置は、板状結晶からなるⅠⅠⅠ族窒化物結晶を結晶成長可能な温度に前記反応容器内を制御し、

前記圧力調整機構は、前記板状結晶からなるⅠⅠⅠ族窒化物結晶を結晶成長可能な圧力に前記反応容器内の圧力を調整する、請求項３４に記載のⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項３７】

前記加熱装置は、種結晶のみに結晶成長するⅠⅠⅠ族窒化物結晶を結晶成長可能な温度に前記反応容器内を制御し、

前記圧力調整機構は、前記種結晶のみに結晶成長するⅠⅠⅠ族窒化物結晶を結晶成長可能な圧力に前記反応容器内の圧力を調整する、請求項３４に記載のⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項３８】

前記種結晶は、前記複数の結晶成長領域のうちの１つの結晶成長領域に含まれる結晶成長条件を用いて結晶成長されたⅠⅠⅠ族窒化物結晶からなる、請求項３７に記載のⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項３９】

前記種結晶は、柱状結晶からなる、請求項３８に記載のⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項４０】

前記種結晶は、板状結晶からなる、請求項３８に記載のⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項４１】

前記反応容器内の圧力を P とし、前記反応容器内の絶対温度を T とし、 a および b を定数としたとき、前記複数の結晶成長領域のうちの隣接する２つの結晶成長領域の境界は、 $\log P = a / T + b$ によって表される、請求項３４から請求項４０のいずれか１項に記載のⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項４２】

反応容器と、

前記反応容器内に配置され、前記反応容器内の空間に連通する領域にアルカリ金属とⅠⅠⅠ族金属とを含む混合融液を保持する混合融液保持容器と、

前記反応容器内に窒素を含む物質を供給する供給管と、

前記結晶成長可能な圧力と前記結晶成長可能な温度とによって規定される圧力 - 温度相関図を記憶する記憶部と、

前記圧力 - 温度相関図を前記記憶部から読み出して前記反応容器内の圧力および温度をⅠⅠⅠ族窒化物結晶を結晶成長可能な圧力および温度に設定するコンピュータとを備えるⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項４３】

前記圧力 - 温度相関図は、各々が前記ⅠⅠⅠ族窒化物結晶を結晶成長または分解させる結晶成長条件の領域を示す複数の結晶成長領域に分割されている、請求項４２に記載のⅠⅠⅠ族窒化物結晶成長装置。

【請求項４４】

前記複数の結晶成長領域は、

柱状結晶からなるⅢⅢⅢ族窒化物結晶を結晶成長させる結晶成長条件の領域を示す第1の結晶成長領域と、

板状結晶からなるⅢⅢⅢ族窒化物結晶を結晶成長させる結晶成長条件の領域を示す第2の結晶成長領域と、

種結晶のみに前記ⅢⅢⅢ族窒化物結晶が結晶成長する結晶成長条件の領域を示す第3の結晶成長領域と、

前記ⅢⅢⅢ族窒化物結晶を分解する結晶成長条件の領域を示す第4の結晶成長領域とを含む、請求項43に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶成長装置。

【請求項45】

柱状形状からなるⅢⅢⅢ族窒化物結晶。

【請求項46】

前記柱状形状は、 $\langle 0001 \rangle$ 方向に伸びた形状からなる、請求項45に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶。

【請求項47】

前記柱状形状の端面は、 (0001) 面からなる、請求項45に記載のⅢⅢⅢ族窒化物結晶。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0033】

また、請求項12記載の発明は、請求項11記載のⅢⅢ族窒化物結晶成長方法において、 P を窒素ガス圧力 (Pa)、 T を混合融液の絶対温度 (K)、 a_1 , b_1 , a_2 , b_2 を、 $a_1 = -5.40 \times 10^{-3}$, $b_1 = 4.83$, $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$, $b_2 = 5.47$ の係数とすると、 $a_1 / T + b_1$, $\log P$, $a_2 / T + b_2$ で表される結晶成長条件領域で、種結晶を用いて窒化ガリウム (GaN) を結晶成長させることを特徴としている。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0034】

また、請求項13記載の発明は、請求項11記載のⅢⅢ族窒化物結晶成長方法において、 P を窒素ガス圧力 (Pa)、 T を混合融液の絶対温度 (K)、 a_2 , b_2 , a_3 , b_3 を、 $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$, $b_2 = 5.47$, $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$, $b_3 = 5.83$ の係数とすると、 $a_2 / T + b_2$, $\log P$, $a_3 / T + b_3$ で表される結晶成長条件領域で、柱状の窒化ガリウム (GaN) 結晶を成長させることを特徴としている。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0035】

また、請求項14記載の発明は、請求項11記載のⅢⅢ族窒化物結晶成長方法において、 P を窒素ガス圧力 (Pa)、 T を混合融液の絶対温度 (K)、 a_3 , b_3 を、 $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$, $b_3 = 5.83$ の係数とすると、 $a_3 / T + b_3$, $\log P$ で表

される結晶成長条件領域で、板状の窒化ガリウム（GaN）結晶を成長させることを特徴としている。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0075

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0075】

ここで、Pは窒素ガス圧力（Pa）、Tは混合融液の絶対温度（K）、 a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 は係数で、 $a_1 = -5.40 \times 10^{-3}$ 、 $b_1 = 4.83$ 、 $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$ 、 $b_2 = 5.47$ である。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0076

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0076】

このように、第12の実施形態は、Pを窒素ガス圧力（Pa）、Tを混合融液の絶対温度（K）、 a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 を、 $a_1 = -5.40 \times 10^{-3}$ 、 $b_1 = 4.83$ 、 $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$ 、 $b_2 = 5.47$ の係数とすると、 $a_1 / T + b_1 \log P - a_2 / T + b_2$ で表される結晶成長条件領域で、種結晶を用いて窒化ガリウム（GaN）を結晶成長させるようにしており、種結晶を元にしてGaN結晶を成長させることが、圧力と温度を制御することで可能となる。すなわち、上記の結晶成長条件領域では、種結晶を元にした結晶成長が支配的であり、他の領域への核発生及び結晶成長が殆ど発生しないことから、無駄な原料の消費を抑え、大型のIII族窒化物単結晶を作製することが可能となる。また、種結晶のある所定位置に大型の単結晶を成長させることができる。更に、種結晶の結晶方位を制御することで、成長する結晶の結晶方位も制御することが可能となり、基板として用いる際に意図した結晶方位を使用することが容易となる。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0079

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0079】

ここで、Pは窒素ガス圧力（Pa）、Tは混合融液の絶対温度（K）、 a_2 、 b_2 、 a_3 、 b_3 は係数で、 $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$ 、 $b_2 = 5.47$ 、 $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$ 、 $b_3 = 5.83$ である。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0080

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0080】

このように、第13の実施形態は、Pを窒素ガス圧力（Pa）、Tを混合融液の絶対温度（K）、 a_2 、 b_2 、 a_3 、 b_3 を、 $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$ 、 $b_2 = 5.47$ 、 $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$ 、 $b_3 = 5.83$ の係数とすると、 $a_2 / T + b_2 \log P - a_3 / T + b_3$ で表される結晶成長条件領域で、柱状の窒化ガリウム（GaN）結晶を成長させるようにしており、これにより、良質な柱状結晶を成長させることが可能となる。すなわち、上記の結晶成長条件領域では、柱状結晶が支配的に結晶成長することから、面方位が明確となっている。従って、この柱状結晶を元にIII族窒化物基板を作製す

る場合に、面方位の決定，スライスが容易となる利点がある。また、この結晶成長条件領域では、種結晶がなくとも、自発核発生により柱状結晶が成長することから、前述の第12の実施形態で用いる種結晶として、この第13の実施形態の結晶成長条件領域で結晶成長した柱状結晶を使用することができる。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0083

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0083】

ここで、 P は窒素ガス圧力（Pa）、 T は混合融液の絶対温度（K）、 a_3 、 b_3 は係数で、 $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$ 、 $b_3 = 5.83$ である。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0084

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0084】

このように、第14の実施形態は、 P を窒素ガス圧力（Pa）、 T を混合融液の絶対温度（K）、 a_3 、 b_3 を、 $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$ 、 $b_3 = 5.83$ の係数とするととき、 $a_3 / T + b_3 \log P$ で表される結晶成長条件領域で、板状の窒化ガリウム（GaN）結晶を成長させるようにしており、これにより、良質な板状結晶を成長することが可能となる。すなわち、上記の結晶成長条件領域では、板状結晶が支配的に結晶成長することから、III族窒化物基板として用い易い。この板状結晶をそのままIII族窒化物基板として用いることも可能である。あるいは、表面の凹凸がある場合でも、表面研磨するのみでIII族窒化物基板として使用することができる。また、面方位が明確となっていることから、基板としての使用を容易にすることができる。更に、この結晶成長条件領域での結晶成長では、板状結晶の面方向結晶成長速度が早いことから、効率的にIII族窒化物結晶を成長することができ、低コストにつながる。また、この結晶成長条件領域では、種結晶がなくとも、自発核発生により板状結晶が成長することから、前述の第12の実施形態で用いる種結晶として、この第14の実施形態の結晶成長条件領域で結晶成長した板状結晶を使用することができる。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0113

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0113】

ここで、 P は窒素ガス圧力（Pa）、 T は混合融液の絶対温度（K）、 a_1 、 b_1 は係数で、 $a_1 = -5.40 \times 10^{-3}$ 、 $b_1 = 4.83$ である。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0116

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0116】

ここで、 P は窒素ガス圧力（Pa）、 T は混合融液の絶対温度（K）、 a_2 、 b_2 は係数で、 $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$ 、 $b_2 = 5.47$ である。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0119

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0119】

ここで、 P は窒素ガス圧力（Pa）、 T は混合融液の絶対温度（K）、 a_3 、 b_3 は係数で、 $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$ 、 $b_3 = 5.83$ である。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0122

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0122】

具体的に、図1の結晶成長装置を用い、結晶成長条件として、窒素ガス圧力を2MPa、融液温度を850（ $1/T = 8.9 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ）にしてGaN結晶成長させた場合、図3に示すような結晶成長となる。すなわち、図1の混合融液103中に種結晶となるGaN結晶301を設置しておき、上記の結晶成長条件（窒素ガス圧力；2MPa、融液温度；850）に保持する。その後、種結晶301を元に、GaN結晶が大きく成長し、成長後のGaN結晶302となる。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0129

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0129】

具体的に、図1の結晶成長装置を用い、結晶成長条件として、窒素ガス圧力を3MPa、融液温度を800（ $1/T = 9.32 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ）にしてGaN結晶を成長させた場合、図4（a）または図4（b）に示すような柱状結晶401が成長する。すなわち、図1の結晶成長装置において、上記の結晶成長条件（窒素ガス圧力；3MPa、融液温度；800）に保持することで、混合融液103中に図4（a）または図4（b）の形態のGaN結晶401が成長する。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0134

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0134】

具体的に、図1の結晶成長装置を用い、結晶成長条件として、窒素ガス圧力を5MPa、融液温度を750（ $1/T = 9.77 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ ）にしてGaN結晶を成長させた場合、図5に示すような板状結晶501が成長する。すなわち、図1の結晶成長装置において、上記の結晶成長条件（窒素ガス圧力；5MPa、融液温度；750）に保持することで、混合融液103中、及び、融液表面に、図5の形態のGaN結晶501が成長する。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0174

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0174】

また、請求項12記載の発明によれば、請求項11記載のIII族窒化物結晶成長方法において、 P を窒素ガス圧力（Pa）、 T を混合融液の絶対温度（K）、 a_1 、 b_1 、 a_2

, b_2 を、 $a_1 = -5.40 \times 10^{-3}$, $b_1 = 4.83$, $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$, $b_2 = 5.47$ の係数とすると、 $a_1/T + b_1 \log P - a_2/T + b_2$ で表される結晶成長条件領域で、種結晶を用いて窒化ガリウム (GaN) を結晶成長させることにより、種結晶を元にして GaN 結晶を成長させることが、圧力と温度を制御することで可能となる。すなわち、上記の結晶成長条件領域では、種結晶を元にした結晶成長が支配的であり、他の領域への核発生及び結晶成長が殆ど発生しないことから、無駄な原料の消費を抑え、大型の III 族窒化物単結晶を作製することが可能となる。また、種結晶のある所定位置に大型の単結晶を成長させることができる。更に、種結晶の結晶方位を制御することで、成長する結晶の結晶方位も制御することが可能となり、基板として用いる際に意図した結晶方位を使用することが容易となる。

【手続補正 18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0175

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0175】

また、請求項 13 記載の発明によれば、請求項 11 記載の III 族窒化物結晶成長方法において、 P を窒素ガス圧力 (P_a)、 T を混合融液の絶対温度 (K)、 a_2 , b_2 , a_3 , b_3 を、 $a_2 = -5.59 \times 10^{-3}$, $b_2 = 5.47$, $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$, $b_3 = 5.83$ の係数とすると、 $a_2/T + b_2 \log P - a_3/T + b_3$ で表される結晶成長条件領域で、柱状の窒化ガリウム (GaN) 結晶を成長させることにより、良質な柱状結晶を成長させることが可能となる。すなわち、上記の結晶成長条件領域では、柱状結晶が支配的に結晶成長することから、面方位が明確となっている。従って、この柱状結晶を元に III 族窒化物基板を作製する場合に、面方位の決定、スライスが容易となる利点がある。また、この結晶成長条件領域では、種結晶がなくとも、自発核発生により柱状結晶が成長することから、前述の請求項 12 で用いる種結晶として、本結晶成長条件領域で結晶成長した柱状結晶を使用することができる。

【手続補正 19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0176

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0176】

また、請求項 14 記載の発明によれば、請求項 11 記載の III 族窒化物結晶成長方法において、 P を窒素ガス圧力 (P_a)、 T を混合融液の絶対温度 (K)、 a_3 , b_3 を、 $a_3 = -5.67 \times 10^{-3}$, $b_3 = 5.83$ の係数とすると、 $a_3/T + b_3 \log P$ で表される結晶成長条件領域で、板状の窒化ガリウム (GaN) 結晶を成長させることにより、良質な板状結晶を成長することが可能となる。すなわち、上記の結晶成長条件領域では、板状結晶が支配的に結晶成長することから、III 族窒化物基板として用い易い。この板状結晶をそのまま III 族窒化物基板として用いることも可能である。あるいは、表面の凹凸がある場合でも、表面研磨するのみで III 族窒化物基板として使用することができる。また、面方位が明確となっていることから、基板としての使用を容易にすることができる。更に、この結晶成長条件領域での結晶成長では、板状結晶の面方向結晶成長速度が早いことから、効率的に III 族窒化物結晶を成長することができ、低コストにつながる。また、この結晶成長条件領域では、種結晶がなくとも、自発核発生により板状結晶が成長することから、前述の請求項 12 で用いる種結晶として、本結晶成長条件領域で結晶成長した板状結晶を使用することができる。