

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6547360号
(P6547360)

(45) 発行日 令和1年7月24日 (2019.7.24)

(24) 登録日 令和1年7月5日 (2019.7.5)

(51) Int. Cl. F I
C 3 O B 29/28 (2006.01) C 3 O B 29/28
C 3 O B 15/00 (2006.01) C 3 O B 15/00 Z

請求項の数 6 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-60823 (P2015-60823)	(73) 特許権者	000183303
(22) 出願日	平成27年3月24日 (2015.3.24)		住友金属鉱山株式会社
(65) 公開番号	特開2016-166118 (P2016-166118A)		東京都港区新橋5丁目11番3号
(43) 公開日	平成28年9月15日 (2016.9.15)	(74) 代理人	100095223
審査請求日	平成29年12月20日 (2017.12.20)		弁理士 上田 章三
(31) 優先権主張番号	特願2015-44698 (P2015-44698)	(74) 代理人	100085040
(32) 優先日	平成27年3月6日 (2015.3.6)		弁理士 小泉 雅裕
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	松井 正好
			東京都青梅市末広町1丁目6番1号 住友 金属鉱山株式会社 青梅事業所内
		審査官	今井 淳一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 CaMgZr置換型ガドリニウム・ガリウム・ガーネット (SGGG) 単結晶の育成方法および
SGGG単結晶基板の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

チョクラルスキー (CZ: Czochralski) 法により CaMgZr置換型ガドリニウム・ガリウム・ガーネット (SGGG) 単結晶を育成する方法において、

下記組成式 (1) で示される原料融液を用いると共に、育成時における原料融液の固化率 $[(結晶重量 \div 原料重量) \times 100]$ を 37% ~ 47% の範囲に設定して育成することを特徴とする SGGG 単結晶の育成方法。

$$\frac{(Gd_{3.036-x}Ca_x)(Ga_{4.964-x-2y}Mg_yZr_{x+y})O_{12}}{[但し、組成式(1)中のx、yは、0.320 \leq x \leq 0.330、および、0.308 \leq y \leq 0.320である。]} \quad (1)$$

【請求項2】

格子定数が $12.4945 \sim 12.4975 \text{ \AA}$ で、かつ、単結晶の育成方向と直交する任意の2平面内の2次元座標で特定される同一位置における格子定数の差が $0.0002 \text{ \AA}$ 以下である SGGG 単結晶を育成することを特徴とする請求項1に記載の SGGG 単結晶の育成方法。

【請求項3】

下記組成式 (2) で示される SGGG 単結晶を育成することを特徴とする請求項1または2に記載の SGGG 単結晶の育成方法。

$$(Gd_{3-x}Ca_x)(Ga_{5-x-2y}Mg_yZr_{x+y})O_{12} \quad (2)$$

 [但し、組成式 (2) 中の x、y は、 $0.304 \leq x \leq 0.336$ 、および、 0.259

$\leq y \leq 0.320$ である。]

【請求項4】

単結晶の育成方向における結晶方位が $\langle 111 \rangle$ であるSGGG単結晶を育成することを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載のSGGG単結晶の育成方法。

【請求項5】

単結晶の育成方向と直交する任意の2平面間における育成方向の長さが100mm以下であるSGGG単結晶を育成することを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載のSGGG単結晶の育成方法。

【請求項6】

希土類鉄ガーネット単結晶膜を液相エピタキシャル成長法（LPE法）により育成する際に用いられるSGGG単結晶基板の製造方法において、

下記組成式（1）で示される原料融液を用い、上記チョクラルスキー法により、育成時における原料融液の固化率 $[(\text{結晶重量} \div \text{原料重量}) \times 100]$ を37%～47%の範囲に設定して、単結晶の育成方向と直交する任意の2平面内の2次元座標で特定される同一位置における格子定数の差が $0.0002 \text{ \AA}$ 以下で、かつ、育成方向における結晶方位が $\langle 111 \rangle$ であるSGGG単結晶を育成する工程と、

育成されたSGGG単結晶をその育成方向と直交する方向へ切断して下記組成式（2）で示されると共に、格子定数が $12.4945 \sim 12.4975 \text{ \AA}$ であるSGGG単結晶基板を製造する工程、

を具備することを特徴とするSGGG単結晶基板の製造方法。

$$\frac{(\text{Gd}_{3.036-x}\text{Ca}_x)(\text{Ga}_{4.964-x-2y}\text{Mg}_y\text{Zr}_{x+y})\text{O}_{12}}{[\text{但し、組成式（1）中の}x、y\text{は、}0.320 \leq x \leq 0.330、\text{および、}0.308 \leq y \leq 0.320\text{である。}]}$$
（1）

$$\frac{(\text{Gd}_{3-x}\text{Ca}_x)(\text{Ga}_{5-x-2y}\text{Mg}_y\text{Zr}_{x+y})\text{O}_{12}}{[\text{但し、組成式（2）中の}x、y\text{は、}0.304 \leq x \leq 0.336、\text{および、}0.259 \leq y \leq 0.320\text{である。}]}$$
（2）

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、CaMgZr置換型ガドリニウム・ガリウム・ガーネット（SGGG）単結晶の育成方法に係り、特に、チョクラルスキー（CZ：Czochralski）法により育成されたSGGG単結晶の結晶トップ部と結晶ボトム部間における格子定数の分布が均一化されているSGGG単結晶の育成方法およびSGGG単結晶を切断して製造されるSGGG単結晶基板の製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光アイソレータは、磁界を印加することにより入射光の偏光面を回転させるファラデー回転子を有しており、近年、光アイソレータは、光通信の分野だけでなくファイバーレーザー加工機にも使用されるようになってきている。

【0003】

このような光アイソレータに使用されるファラデー回転子の材料として、CaMgZr置換型ガドリニウム・ガリウム・ガーネット（Substituted $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ ：SGGG）単結晶を基板（非磁性ガーネット単結晶基板）とし、該SGGG基板上に液相エピタキシャル（Liquid Phase Epitaxy；LPE）成長させて得られる酸化物ガーネット単結晶膜が知られており（特許文献1～2、非特許文献1参照）、該ガーネット単結晶膜の中でも、希土類鉄ガーネット単結晶膜（RIG：Rare-earth iron garnet）は近赤外領域で高い透過率を有しかつ大きなファラデー効果を示す優れた材料である。

【0004】

尚、非磁性ガーネット単結晶基板については、該単結晶の育成方向における結晶方位が $\langle 111 \rangle$ である〔すなわち、非磁性ガーネット単結晶基板の（111）面上にLPE法

10

20

30

40

50

により酸化物ガーネット単結晶膜が育成されている] 基板が利用されている (特許文献 3 および特許文献 4 参照)。

【0005】

ところで、希土類鉄ガーネット (RIG) 単結晶膜は、基板上に、液相エピタキシャル (LPE) 成長法を用い、 $300 \sim 500 \mu\text{m}$ 程度の厚さに育成されるため、基板の格子定数を RIG 単結晶膜に整合させる必要がある。基板と RIG 単結晶膜との格子定数差が大き過ぎる場合、基板と RIG 単結晶膜間に応力が発生し、基板ごと割れて収率の低下を引き起こすからである。

【0006】

そこで、RIG 単結晶膜と格子定数を整合させるため、基板として使用される SGGG は、格子定数 $12.383 \text{ \AA}$ のガドリニウム・ガリウム・ガーネット単結晶 ($\text{GGG} : \text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$) に、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg)、ジルコニウム (Zr) を添加して $12.494 \sim 12.500 \text{ \AA}$ の格子定数を得ている。

【0007】

但し、SGGG は添加元素 (Ca、Mg、Zr) の濃度に依存して格子定数が増加するため、RIG 単結晶膜の格子定数と整合する SGGG 基板を製造するには、SGGG 単結晶を育成する際、SGGG 単結晶内において格子定数が均一になるよう添加元素の濃度分布を制御する必要がある。

【0008】

一方、RIG 単結晶膜の液相エピタキシャル (LPE) 法においては、RIG 単結晶膜を育成する際、SGGG 基板との格子定数差が大きくなり過ぎないように溶液組成を調整する等して、割れ等による収率低下の防止策が採られている。

【0009】

尚、上記 CaMgZr 置換型ガドリニウム・ガリウム・ガーネット (SGGG) 単結晶は、 $(\text{Gd}_{3-x}\text{Ca}_x)(\text{Ga}_{5-x-2y}\text{Mg}_y\text{Zr}_{x+y})\text{O}_{12}$ 、 $(\text{GdCa})_3(\text{GaMgZr})_5\text{O}_{12}$ 、 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ 等の組成式で表わされる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献 1】特開 2003-238294 号公報

【特許文献 2】特開 2003-238295 号公報

【特許文献 3】特開平 11-199390 号公報

【特許文献 4】特開 2000-89165 号公報

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献 1】D. Mateika, R. Laurien, Ch. Rusche, J. Crystal Growth 56 (1982) 677

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

ところで、チョクラルスキー (CZ : Czochralski) 法により育成される SGGG 単結晶においては、原料融液から単結晶化する際に添加元素 (Ca、Mg、Zr) が偏析するため、育成初期の結晶トップ部と育成終盤の結晶ボトム部とで格子定数は均一にならない。

【0013】

しかし、LPE 法による RIG 単結晶膜の生産性を向上させるため、SGGG 単結晶基板には格子定数における均一性の向上が求められている。育成された SGGG 単結晶の結晶トップ部とボトム部とで格子定数の差が大きい場合 (SGGG 単結晶基板における格子定数の均一性が悪い場合)、LPE 法で RIG 単結晶膜の育成を行うに際し、結晶トップ部から得られた SGGG 基板と結晶ボトム部から得られた SGGG 基板とで育成条件を変

10

20

30

40

50

える必要が生じ、個々の格子定数に合わせて溶液組成や育成条件の調整操作が必要となる煩雑さを有するからである。この場合、S G G G単結晶基板における格子定数の均一性を向上させることで、R I G単結晶膜の育成時における上記調整操作を省略することができ、R I G単結晶膜の生産性を向上させることが可能となる。

【0014】

本発明はこのような問題点に着目してなされたもので、その課題とするところは、チョクラスキー（C Z）法により育成されたS G G G単結晶の結晶トップ部と結晶ボトム部間における格子定数の分布が均一化されているS G G G単結晶の育成方法を提供し、合わせてS G G G単結晶から製造されるS G G G単結晶基板の製造方法を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0015】

上記課題を解決するため本発明者が鋭意研究を行った結果、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ で示される原料融液中のカルシウムとマグネシウムの原子比 Ca/Mg を一定範囲に制御し、かつ、添加元素（Ca、Mg、Zr）の偏析を避けるため、原料融液の固化率 $[(\text{結晶重量} \div \text{原料重量}) \times 100]$ を50%未満の所定範囲に設定することで解決できることを見出すに至った。

【0016】

すなわち、本発明に係る第1の発明は、

チョクラスキー（C Z：Czochralski）法により CaMgZr置換型ガドリニウム・ガリウム・ガーネット（S G G G）単結晶を育成する方法において、

20

下記組成式（1）で示される原料融液を用いると共に、育成時における原料融液の固化率 $[(\text{結晶重量} \div \text{原料重量}) \times 100]$ を37%～47%の範囲に設定して育成することを特徴とする。

$$\frac{(\text{Gd}_{3.036-x}\text{Ca}_x)(\text{Ga}_{4.964-x-2y}\text{Mg}_y\text{Zr}_{x+y})\text{O}_{12}}{[\text{但し、組成式（1）中の } x、y \text{ は、} 0.320 \leq x \leq 0.330、\text{ および、} 0.308 \leq y \leq 0.320 \text{ である。}]} \quad (1)$$

【0017】

また、第2の発明は、

第1の発明に記載のS G G G単結晶の育成方法において、
格子定数が12.4945～12.4975 Åで、かつ、単結晶の育成方向と直交する任意の2平面内の2次元座標で特定される同一位置における格子定数の差が0.0002 Å以下であるS G G G単結晶を育成することを特徴とし、

30

第3の発明は、

第1の発明または第2の発明に記載のS G G G単結晶の育成方法において、
下記組成式（2）で示されるS G G G単結晶を育成することを特徴とし、
$$(\text{Gd}_{3-x}\text{Ca}_x)(\text{Ga}_{5-x-2y}\text{Mg}_y\text{Zr}_{x+y})\text{O}_{12} \quad (2)$$

[但し、組成式（2）中の $x、y$ は、 $0.304 \leq x \leq 0.336$ 、および、 $0.259 \leq y \leq 0.320$ である。]

第4の発明は、

40

第1の発明～第3の発明のいずれかに記載のS G G G単結晶の育成方法において、
単結晶の育成方向における結晶方位が $\langle 111 \rangle$ であるS G G G単結晶を育成することを特徴とし、

第5の発明は、

第1の発明～第4の発明のいずれかに記載のS G G G単結晶の育成方法において、
単結晶の育成方向と直交する任意の2平面間における育成方向の長さが100 mm以下であるS G G G単結晶を育成することを特徴とする。

【0019】

また、本発明に係る第6の発明は、

希土類鉄ガーネット単結晶膜を液相エピタキシャル成長法（L P E法）により育成する

50

際に用いられるSGGG単結晶基板の製造方法において、

下記組成式(1)で示される原料融液を用い、上記チョクラスキー法により、育成時における原料融液の固化率 $[(結晶重量 \div 原料重量) \times 100]$ を37%~47%の範囲に設定して、単結晶の育成方向と直交する任意の2平面内の2次元座標で特定される同一位置における格子定数の差が0.0002Å以下で、かつ、育成方向における結晶方位が $\langle 111 \rangle$ であるSGGG単結晶を育成する工程と、

育成されたSGGG単結晶をその育成方向と直交する方向へ切断して下記組成式(2)で示されると共に、格子定数が12.4945~12.4975ÅであるSGGG単結晶基板を製造する工程、
を具備することを特徴とする。

$$(Ga_{3.036-x}Ca_x)(Ga_{4.964-x-2y}Mg_yZr_{x+y})O_{12} \quad (1)$$

[但し、組成式(1)中のx、yは、 $0.320 \leq x \leq 0.330$ 、および、 $0.308 \leq y \leq 0.320$ である。]

$$(Ga_{3-x}Ca_x)(Ga_{5-x-2y}Mg_yZr_{x+y})O_{12} \quad (2)$$

[但し、組成式(2)中のx、yは、 $0.304 \leq x \leq 0.336$ 、および、 $0.259 \leq y \leq 0.320$ である。]

【発明の効果】

【0020】

チョクラスキー(CZ)法により育成される本発明に係るSGGG単結晶は、単結晶の育成方向と直交する任意の2平面(例えば、直胴部から選択された結晶トップ部と結晶ボトム部)内の2次元座標で特定される同一位置における格子定数の差が0.0002Å以下であることから格子定数の分布が均一化されている。

【0021】

従って、結晶トップ部から得られたSGGG基板と結晶ボトム部から得られたSGGG基板における格子定数の均一性に優れ、LPE法によりRIG単結晶膜を育成する際、結晶トップ部から得られたSGGG基板と結晶ボトム部から得られたSGGG基板とで育成条件を変える必要がないため、従来と比較してRIG単結晶膜の生産性を向上できる効果を有している。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明に係るSGGG単結晶の育成方法に用いられる製造装置の概略構成を示す説明図。

【図2】本発明に係るSGGG単結晶の直胴部における結晶トップ部と結晶ボトム部を示す説明図。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0024】

(1)チョクラスキー法によるSGGG単結晶の育成方法

図1は、本発明に係るCaMgZr置換型ガドリニウム・ガリウム・ガーネット(SGGG)単結晶の育成方法に用いられる製造装置の概略構成を示す説明図である。

【0025】

この製造装置は、公知のチョクラスキー法によりSGGG単結晶を育成する育成炉1を備えている。育成炉1の構造を簡単に説明すると、育成炉1は、筒状のチャンバー2と、このチャンバー2の内側に設置された高周波コイル10と、この高周波コイル10の内側に配置された断熱材3およびイリジウム製坩堝8を有している。尚、上記育成炉1の寸法は、製造するSGGG単結晶の大きさに依存するが、一例として直径0.6m、高さ1m程度である。

【0026】

また、上記育成炉1には開口部(図示せず)が2箇所設けられており、これ等開口部を

10

20

30

40

50

介して不活性ガス、好適には窒素ガスが給排され、結晶育成時のチャンバー 2 内は不活性ガスで満たされる。尚、育成炉 1 内には、上記坩堝 8 底部の下側に温度を計測する図示外の温度計（熱電対）が設置されている。

【0027】

また、上記高周波コイル 10 は銅管で構成され、図示外の制御部を通じ投入電力が制御されて坩堝 8 が高周波加熱されると共に温度調節がなされる。また、上記チャンバー 2 の内側で高周波コイル 10 内には断熱材 3 が配置されており、複数の断熱材 3 により囲まれた雰囲気によりホットゾーン 5 が形成されている。

【0028】

上記ホットゾーン 5 の上下方向における温度勾配は高周波コイル 10 への投入電力量を制御することによって変化させることができ、かつ、断熱材 3 の形状と構成（材質）によっても広範囲に変化させることができる。更に、高周波コイル 10 の坩堝 8 に対する相対位置を調整することによりホットゾーン 5 の温度勾配を微調整することができる。尚、上記断熱材 3 は、高融点の耐火物により構成されている。

【0029】

また、上記坩堝 8 はカップ状に形成され、その底部が断熱材 3 上に配置されかつ断熱材 3 により保持されている。また、坩堝 8 の上方側には、種結晶 6 と成長した S G G G 単結晶を保持しかつ引き上げるための引き上げ軸 4 が設置されており、引き上げ軸 4 は軸線を中心に回転させることができる。

【0030】

そして、坩堝 8 内に原料を充填し、育成炉 1 のチャンバー 2 内に上記坩堝 8 を配置しかつ高周波コイル 10 により加熱して原料を融解させ、その後、原料融液 9 に種結晶 6 を接触させて徐々に温度を降下させ、同時に引き上げ軸 4 を徐々に引き上げることにより種結晶 6 の下部側において原料融液 9 を順次結晶化させる。そして、育成条件に従い高周波コイル 10 への投入電力を調整し、所望とする直径の S G G G 単結晶 7 を育成することが可能となる。図 2 は育成された S G G G 単結晶 7 を示し、符号 11 は S G G G 単結晶 7 の直胴部における結晶トップ部、符号 12 は S G G G 単結晶 7 の直胴部における結晶ボトム部をそれぞれ示している。

【0031】

尚、単結晶の育成方向における結晶方位が $\langle 111 \rangle$ である非磁性ガーネット単結晶基板が広く用いられているため、育成される S G G G 単結晶 7 の育成方向における結晶方位は $\langle 111 \rangle$ であることが好ましい。

【0032】

また、S G G G 単結晶の肩部を育成するとき、ファセット成長に伴う歪の発生を抑制するため、「界面反転操作」を行って界面形状を凸から平坦にしている。また、単結晶育成に係る一連の温度モニタは上記温度計（熱電対）により行われる。

【0033】

更に、S G G G が原料融液から単結晶化する際の添加元素（C a、M g、Z r）の偏析を回避するため、原料融液の固化率 $\left[\left(\text{結晶重量} \div \text{原料重量} \right) \times 100 \right]$ を 37%～47% の範囲に設定している。

【0034】

尚、原料融液の上記固化率が 37%～47% の範囲内に設定された場合でも、単結晶の育成方向と直交する任意の 2 平面（例えば、直胴部から選択された結晶トップ部と結晶ボトム部）間の育成方向の長さ（2 平面間距離）が増大すると単結晶良品率が低下してしまうことがある（単結晶の直胴部長が 115 mm である実施例 5 参照）。このため、単結晶の育成方向と直交する任意の 2 平面間における育成方向の長さは 100 mm 以下であることが好ましい。

【0035】

そして、上記 S G G G 単結晶は、純度 99.99% の酸化ガドリニウム（ Gd_2O_3 ）、炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）、酸化ガリウム（ Ga_2O_3 ）、酸化マグネシウム（ MgO

10

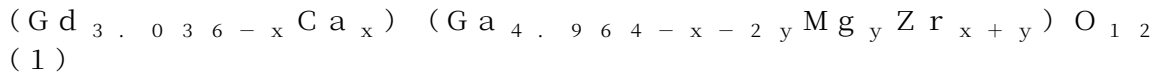
20

30

40

50

)、酸化ジルコニウム (ZrO_2) を、下記組成式 (1) で示される比率に混合した原料を用いてチョクラルスキー法により育成されている。



[但し、組成式 (1) 中の x 、 y は、 $0.320 \leq x \leq 0.330$ 、および、 $0.308 \leq y \leq 0.320$ である。]

【0036】

ところで、チョクラルスキー (CZ: Czochralski) 法による SGGG 単結晶の直胴部における育成条件は、本出願人が開発した育成法 (特願 2014-182970 号明細書参照) の条件が採用されている。すなわち、従来の育成条件 (原料融液の加熱条件、界面反転操作等従来から採用されている自動制御による条件) を維持したまま、結晶育成炉内の原料融液 9 表面から引き上げ方向 1 cm までの雰囲気における温度勾配を $7 \sim 14^\circ C/cm$ 、1 cm を越え引き上げ方向 10 cm までの雰囲気における温度勾配を $19 \sim 23^\circ C/cm$ の範囲に維持すると共に、SGGG 単結晶の直胴部上端から 0 mm ~ 30 mm までの直胴部育成中、上記種結晶 6 の回転数を $22 \sim 30$ rpm 内の一定値 (例えば 22 rpm) に設定し、直胴部上端から 30 mm を越えた以降の直胴部育成中、上記一定値 (例えば 22 rpm) から一定の比率で回転数を減少させて直胴部上端から 83 mm 直胴部が育成した時点における種結晶 6 の回転数が $18 \sim 21$ rpm (例えば 18 rpm) となるように管理しながら SGGG 単結晶の直胴部を育成している。

【0037】

(2) 液相エピタキシャル法による RIG 単結晶膜の育成方法

育成された SGGG 単結晶は育成炉 1 から取り出され、熱歪を除去するアニール処理が施された後、規格に合わせた厚さに切断され、更に両面研磨されて本発明に係る SGGG 単結晶基板に加工される。

【0038】

その後、磁気光学効果を有し、ファラデー回転子の材料となる $(YbTbBi)_3Fe_5O_{12}$ 等の RIG 単結晶膜を、液相エピタキシャル法により本発明に係る SGGG 単結晶基板上に育成させる。

【0039】

尚、上記 SGGG 単結晶を切断しかつ両面研磨されて得られた本発明に係る SGGG 単結晶基板の格子定数は、エックス線回折装置 (Philips 社製 PANalytical X'pert PRO MRD) を用いて測定されている。

【実施例】

【0040】

以下、本発明の実施例について比較例を挙げて具体的に説明する。

【0041】

実施例と比較例に係る育成装置には図 1 に示す製造装置が用いられ、実施例と比較例に係る SGGG 単結晶の直胴部における育成条件は特願 2014-182970 号明細書に記載された上記条件が採用されている。

【0042】

また、SGGG 単結晶の育成方向と直交する任意の 2 平面については、育成した SGGG 単結晶の直胴部における結晶トップ部と結晶ボトム部を選択し、かつ、結晶トップ部と結晶ボトム部内の 2 次元座標で特定される同一位置における格子定数をエックス線回折装置により測定し、結晶トップ部と結晶ボトム部における格子定数差の大小に基づき SGGG 単結晶の良否を評価している。

【0043】

尚、下記組成式 $(GdCaGaMgZr)_8O_{12}$ は、Gd、Ca、Ga、Mg、Zr の各原子のモル数の合計と O 原子のモル数との比が「8:12」となることを意味するものとする (以下同様)。

【0044】

[実施例 1]

S G G G 単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ で示される原料を、原子比 $\text{Gd}:\text{Ca}:\text{Ga}:\text{Mg}:\text{Zr}=2.706:0.330:4.018:0.308:0.638$ 、および、 $\text{Ca}/\text{Mg}=0.330/0.308=1.07$ となるように秤量した。

【0045】

尚、 $\text{Ca}_x=0.330$ ($0.320 \leq x \leq 0.330$)、および、 $\text{Mg}_y=0.308$ ($0.308 \leq y \leq 0.320$) に設定され、実施例 1 においては上記組成式 (1) の要件を満たす組成になっている。

【0046】

また、上記原料については冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 12.6 kg を直径 150 mm、高さ 150 mm のイリジウム坩堝に充填し、チャンバーを閉めた後、高周波コイルに電力を投入して原料を融解させた。続いて、結晶方位が $\langle 111 \rangle$ である棒状種結晶の先端を原料融液に浸け、原料融液表面から引き上げ方向 1 cm までの雰囲気における温度勾配が $7^\circ\text{C}/\text{cm}$ 、1 cm を越え引き上げ方向 10 cm までの雰囲気における温度勾配が $19^\circ\text{C}/\text{cm}$ の条件で S G G G 単結晶を育成した。

【0047】

尚、直胴部上端から 0 mm ~ 30 mm までの直胴部を育成する際には、種結晶の回転数を 22 rpm に設定し、直胴部上端から 30 mm を越えた以降の直胴部を育成する際には、22 rpm から一定の比率で回転数を減少させて直胴部上端から 83 mm 直胴部が育成した時点での種結晶の回転数が 18 rpm となるように管理しながら S G G G 単結晶直胴部の育成を行い、組成式 $(\text{Gd}_{2.670}\text{Ca}_{0.330})(\text{Ga}_{4.054}\text{Mg}_{0.308}\text{Zr}_{0.638})\text{O}_{12}$ で示される直径 83 mm で直胴部長 80 mm の S G G G 単結晶 (4.7 kg) を育成した。

【0048】

尚、実施例 1 に係る S G G G 単結晶の育成において、育成時における原料融液の固化率 $[(\text{結晶重量} \div \text{原料重量}) \times 100]$
 $= [(4.7 \text{ kg} \div 12.6 \text{ kg}) \times 100] = 37.3\%$
 に設定して育成されている。

【0049】

次に、育成された S G G G 単結晶の直胴部における結晶トップ部 (直胴部の上端) と結晶ボトム部 (直胴部の下端) を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られた S G G G 単結晶基板 (すなわち、結晶トップ部) と結晶ボトム部から得られた S G G G 単結晶基板 (すなわち、結晶ボトム部) の格子定数を測定した。

【0050】

測定の結果、結晶トップ部から得られた S G G G 単結晶基板 (すなわち、結晶トップ部) の格子定数は $12.4970 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られた S G G G 単結晶基板 (すなわち、結晶ボトム部) の格子定数は $12.4972 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0002 \text{ \AA}$ ($12.4972 \text{ \AA} - 12.4970 \text{ \AA}$) であった。

【0051】

[実施例 2]

S G G G 単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ で示される原料を、原子比 $\text{Gd}:\text{Ca}:\text{Ga}:\text{Mg}:\text{Zr}=2.712:0.324:4.012:0.314:0.638$ 、および、 $\text{Ca}/\text{Mg}=0.324/0.314=1.03$ となるように秤量した。

【0052】

尚、 $\text{Ca}_x=0.324$ ($0.320 \leq x \leq 0.330$)、および、 $\text{Mg}_y=0.31$

10

20

30

40

50

4 ($0.308 \leq y \leq 0.320$) に設定され、実施例 2 においても上記組成式 (1) の要件を満たす組成になっている。

【0053】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 12.6 kg を直径 150 mm、高さ 150 mm のイリジウム坩堝に充填し、以下、実施例 1 と略同一条件により SGGG 単結晶の育成を行い、組成式 ($Gd_{2.676}Ca_{0.324}$) ($Ga_{4.048}Mg_{0.314}Zr_{0.638}$) O_{12} で示される直径 83 mm で直胴部長 80 mm の SGGG 単結晶を育成した。

【0054】

尚、実施例 2 に係る SGGG 単結晶の育成においても、育成時における原料融液の固化率 [(結晶重量 ÷ 原料重量) × 100] を 37.3 % に設定して育成されている。

10

【0055】

次に、育成された SGGG 単結晶の直胴部における結晶トップ部（直胴部の上端）と結晶ボトム部（直胴部の下端）を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）と結晶ボトム部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数を測定した。

【0056】

測定の結果、結晶トップ部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）の格子定数は $12.4965 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数は $12.4966 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0001 \text{ \AA}$ ($12.4966 \text{ \AA} - 12.4965 \text{ \AA}$) であった。

20

【0057】

[実施例 3]

SGGG 単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 ($GdCaGaMgZr$) $_8O_{12}$ で示される原料を、原子比 $Gd : Ca : Ga : Mg : Zr = 2.716 : 0.320 : 4.004 : 0.320 : 0.640$ 、および、 $Ca/Mg = 0.320 / 0.320 = 1.00$ となるように秤量した。

【0058】

30

尚、 $Ca_x = 0.320$ ($0.320 \leq x \leq 0.330$)、および、 $Mg_y = 0.320$ ($0.308 \leq y \leq 0.320$) に設定され、実施例 3 においても上記組成式 (1) の要件を満たす組成になっている。

【0059】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 12.6 kg を直径 150 mm、高さ 150 mm のイリジウム坩堝に充填し、以下、実施例 1 と略同一条件により SGGG 単結晶の育成を行い、組成式 ($Gd_{2.680}Ca_{0.320}$) ($Ga_{4.040}Mg_{0.320}Zr_{0.640}$) O_{12} で示される直径 83 mm で直胴部長 80 mm の SGGG 単結晶を育成した。

【0060】

40

尚、実施例 3 に係る SGGG 単結晶の育成においても、育成時における原料融液の固化率 [(結晶重量 ÷ 原料重量) × 100] を 37.3 % に設定して育成されている。

【0061】

次に、育成された SGGG 単結晶の直胴部における結晶トップ部（直胴部の上端）と結晶ボトム部（直胴部の下端）を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）と結晶ボトム部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数を測定した。

【0062】

測定の結果、結晶トップ部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部

50

）の格子定数は $12.4966 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数は $12.4967 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0001 \text{ \AA}$ （ $12.4967 \text{ \AA} - 12.4966 \text{ \AA}$ ）であった。

【0063】

[実施例4]

SGGG単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ で示される原料を、原子比 $\text{Gd}:\text{Ca}:\text{Ga}:\text{Mg}:\text{Zr}=2.716:0.320:4.004:0.320:0.640$ 、および、 $\text{Ca}/\text{Mg}=0.320/0.320=1.00$ となるように秤量した。

10

【0064】

尚、 $\text{Ca}_x=0.320$ （ $0.320 \leq x \leq 0.330$ ）、および、 $\text{Mg}_y=0.320$ （ $0.308 \leq y \leq 0.320$ ）に設定され、実施例4においても上記組成式（1）の要件を満たす組成になっている。

【0065】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 12.6 kg を直径 150 mm 、高さ 150 mm のイリジウム坩堝に充填し、以下、実施例1と略同一条件によりSGGG単結晶の育成を行い、組成式 $(\text{Gd}_{2.680}\text{Ca}_{0.320})(\text{Ga}_{4.040}\text{Mg}_{0.320}\text{Zr}_{0.640})\text{O}_{12}$ で示される直径 83 mm で直胴部長 100 mm のSGGG単結晶（ $4.7 \text{ kg} \times 100 \text{ mm} / 80 \text{ mm} = 5.9 \text{ kg}$ ）を育成した。

20

【0066】

尚、実施例4に係るSGGG単結晶の育成においては、原料融液の固化率〔（結晶重量÷原料重量）×100〕について、 $37.3\% \times 100 \text{ mm} / 80 \text{ mm} = 46.6\%$ に設定して育成されている。

【0067】

次に、育成されたSGGG単結晶の直胴部における結晶トップ部（直胴部の上端）と結晶ボトム部（直胴部の下端）を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）と結晶ボトム部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数を測定した。

30

【0068】

測定の結果、結晶トップ部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）の格子定数は $12.4966 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数は $12.4968 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0002 \text{ \AA}$ （ $12.4968 \text{ \AA} - 12.4966 \text{ \AA}$ ）であった。

【0069】

[実施例5]

SGGG単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ で示される原料を、原子比 $\text{Gd}:\text{Ca}:\text{Ga}:\text{Mg}:\text{Zr}=2.716:0.320:4.004:0.320:0.640$ 、および、 $\text{Ca}/\text{Mg}=0.320/0.320=1.00$ となるように秤量した。

40

【0070】

尚、 $\text{Ca}_x=0.320$ （ $0.320 \leq x \leq 0.330$ ）、および、 $\text{Mg}_y=0.320$ （ $0.308 \leq y \leq 0.320$ ）に設定され、実施例5においても上記組成式（1）の要件を満たす組成になっている。

【0071】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 15.0 kg を直径 150 mm 、高さ 180 mm のイリジウム坩堝

50

に充填し、以下、実施例 1 と略同一条件により S G G G 単結晶の育成を行い、組成式 ($Gd_{2.680}Ca_{0.320}$) ($Ga_{4.040}Mg_{0.320}Zr_{0.640}$) O_{12} で示される直径 83 mm で直胴部長 115 mm の S G G G 単結晶 (6.8 kg) を育成した。

【0072】

尚、実施例 5 に係る S G G G 単結晶の育成においては、原料融液の固化率 [(結晶重量 ÷ 原料重量) × 100] について、 $6.8 \text{ kg} / 15.0 \text{ kg} \times 100 = 45.3\%$ に設定して育成されている。

【0073】

次に、育成された S G G G 単結晶の直胴部における結晶トップ部（直胴部の上端）と結晶ボトム部（直胴部の下端）を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られた S G G G 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）と結晶ボトム部から得られた S G G G 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数を測定した。

【0074】

測定の結果、結晶トップ部から得られた S G G G 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）の格子定数は $12.4969 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られた S G G G 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数は $12.4971 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0002 \text{ \AA}$ ($12.4971 \text{ \AA} - 12.4969 \text{ \AA}$) であった。

【0075】

尚、本実施例においては、結晶底部にクラックが発生したため、育成された単結晶良品（育成方向でクラックの無い部分）率は 82.6% であった。

【0076】

[比較例 1]

S G G G 単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 ($GdCaGaMgZr$) $_8O_{12}$ で示される原料を、原子比 $Gd : Ca : Ga : Mg : Zr = 2.703 : 0.333 : 4.031 : 0.300 : 0.633$ 、および、 $Ca/Mg = 0.333 / 0.300 = 1.11$ となるように秤量した。

【0077】

尚、 $Ca_x = 0.333$ ($0.320 \leq x \leq 0.330$)、および、 $Mg_y = 0.300$ ($0.308 \leq y \leq 0.320$) に設定され、比較例 1 においては上記組成式 (1) における x と y の要件を満たさない組成になっている。

【0078】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 12.6 kg を直径 150 mm、高さ 150 mm のイリジウム坩堝に充填し、以下、実施例 1 と略同一条件により S G G G 単結晶の育成を行い、組成式 ($Gd_{2.667}Ca_{0.333}$) ($Ga_{4.067}Mg_{0.300}Zr_{0.633}$) O_{12} で示される直径 83 mm で直胴部長 80 mm の S G G G 単結晶を育成した。

【0079】

尚、比較例 1 に係る S G G G 単結晶の育成においても、育成時における原料融液の固化率 [(結晶重量 ÷ 原料重量) × 100] を 37.3% に設定して育成されている。

【0080】

次に、育成された S G G G 単結晶の直胴部における結晶トップ部（直胴部の上端）と結晶ボトム部（直胴部の下端）を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られた S G G G 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）と結晶ボトム部から得られた S G G G 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数を測定した。

【0081】

測定の結果、結晶トップ部から得られた S G G G 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部

10

20

30

40

50

）の格子定数は $12.4950 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数は $12.4960 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0010 \text{ \AA}$ （ $12.4960 \text{ \AA} - 12.4950 \text{ \AA}$ ）であり、格子定数の差（ $0.0002 \text{ \AA}$ 以下）に係る条件を満たさないものであった。

【0082】

[比較例2]

SGGG単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ で示される原料を、原子比 $\text{Gd}:\text{Ca}:\text{Ga}:\text{Mg}:\text{Zr}=2.706:0.330:4.028:0.303:0.633$ 、および、 $\text{Ca}/\text{Mg}=0.330/0.303=1.09$ となるように秤量した。

10

【0083】

尚、 $\text{Ca}_x=0.330$ （ $0.320 \leq x \leq 0.330$ ）、および、 $\text{Mg}_y=0.303$ （ $0.308 \leq y \leq 0.320$ ）に設定され、比較例2においては上記組成式（1）における y の要件を満たさない組成になっている。

【0084】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 12.6 kg を直径 150 mm 、高さ 150 mm のイリジウム坩堝に充填し、以下、実施例1と略同一条件によりSGGG単結晶の育成を行い、組成式 $(\text{Gd}_{2.670}\text{Ca}_{0.330})(\text{Ga}_{4.064}\text{Mg}_{0.303}\text{Zr}_{0.633})\text{O}_{12}$ で示される直径 83 mm で直胴部長 80 mm のSGGG単結晶を育成した。

20

【0085】

尚、比較例2に係るSGGG単結晶の育成においても、育成時における原料融液の固化率〔（結晶重量÷原料重量）×100〕を37.3%に設定して育成されている。

【0086】

次に、育成されたSGGG単結晶の直胴部における結晶トップ部（直胴部の上端）と結晶ボトム部（直胴部の下端）を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）と結晶ボトム部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数を測定した。

【0087】

30

測定の結果、結晶トップ部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）の格子定数は $12.4954 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られたSGGG単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数は $12.4960 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0006 \text{ \AA}$ （ $12.4960 \text{ \AA} - 12.4954 \text{ \AA}$ ）であり、格子定数の差（ $0.0002 \text{ \AA}$ 以下）に係る条件を満たさないものであった。

【0088】

[比較例3]

SGGG単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ で示される原料を、原子比 $\text{Gd}:\text{Ca}:\text{Ga}:\text{Mg}:\text{Zr}=2.717:0.319:4.001:0.322:0.641$ 、および、 $\text{Ca}/\text{Mg}=0.319/0.322=0.99$ となるように秤量した。

40

【0089】

尚、 $\text{Ca}_x=0.319$ （ $0.320 \leq x \leq 0.330$ ）、および、 $\text{Mg}_y=0.322$ （ $0.308 \leq y \leq 0.320$ ）に設定され、比較例3においても上記組成式（1）における x と y の要件を満たさない組成になっている。

【0090】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 12.6 kg を直径 150 mm 、高さ 150 mm のイリジウム坩堝に充填し、以下、実施例1と略同一条件によりSGGG単結晶の育成を行い、組成式 $(\text{Gd}_{2.681}\text{Ca}_{0.319})(\text{Ga}_{4.037}\text{Mg}_{0.322}\text{Zr}_{0.641})\text{O}_{12}$ で

50

示される直径 8.3 mm で直胴部長 80 mm の SGGG 単結晶を育成した。

【0091】

尚、比較例 3 に係る SGGG 単結晶の育成においても、育成時における原料融液の固化率 $[(\text{結晶重量} \div \text{原料重量}) \times 100]$ を 37.3% に設定して育成されている。

【0092】

次に、育成された SGGG 単結晶の直胴部における結晶トップ部（直胴部の上端）と結晶ボトム部（直胴部の下端）を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）と結晶ボトム部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数を測定した。

10

【0093】

測定の結果、結晶トップ部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）の格子定数は $12.4966 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数は $12.4969 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0003 \text{ \AA}$ ($12.4969 \text{ \AA} - 12.4966 \text{ \AA}$) であり、格子定数の差 ($0.0002 \text{ \AA}$ 以下) に係る条件を満たさないものであった。

【0094】

[比較例 4]

SGGG 単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$ で示される原料を、原子比 $\text{Gd}:\text{Ca}:\text{Ga}:\text{Mg}:\text{Zr}=2.726:0.310:4.008:0.323:0.633$ 、および、 $\text{Ca}/\text{Mg}=0.310/0.323=0.96$ となるように秤量した。

20

【0095】

尚、 $\text{Ca}_x=0.310$ ($0.320 \leq x \leq 0.330$)、および、 $\text{Mg}_y=0.323$ ($0.308 \leq y \leq 0.320$) に設定され、比較例 4 においても上記組成式 (1) における x と y の要件を満たさない組成になっている。

【0096】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料 12.6 kg を直径 150 mm 、高さ 150 mm のイリジウム坩堝に充填し、以下、実施例 1 と略同一条件により SGGG 単結晶の育成を行い、組成式 $(\text{Gd}_{2.690}\text{Ca}_{0.310})(\text{Ga}_{4.044}\text{Mg}_{0.323}\text{Zr}_{0.633})\text{O}_{12}$ で示される直径 8.3 mm で直胴部長 80 mm の SGGG 単結晶を育成した。

30

【0097】

尚、比較例 4 に係る SGGG 単結晶の育成においても、育成時における原料融液の固化率 $[(\text{結晶重量} \div \text{原料重量}) \times 100]$ を 37.3% に設定して育成されている。

【0098】

次に、育成された SGGG 単結晶の直胴部における結晶トップ部（直胴部の上端）と結晶ボトム部（直胴部の下端）を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）と結晶ボトム部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数を測定した。

40

【0099】

測定の結果、結晶トップ部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶トップ部）の格子定数は $12.4948 \text{ \AA}$ 、かつ、結晶ボトム部から得られた SGGG 単結晶基板（すなわち、結晶ボトム部）の格子定数は $12.4953 \text{ \AA}$ で、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は $0.0005 \text{ \AA}$ ($12.4953 \text{ \AA} - 12.4948 \text{ \AA}$) であり、格子定数の差 ($0.0002 \text{ \AA}$ 以下) に係る条件を満たさないものであった。

【0100】

[比較例 5]

SGGG 単結晶をチョクラルスキー法で育成するため、組成式 $(\text{GdCaGaMgZr})_8\text{O}_{12}$

50

)₈O₁₂で示される原料を、原子比Gd : Ca : Ga : Mg : Zr = 2.726 : 0.310 : 4.014 : 0.320 : 0.630、および、Ca/Mg = 0.310/0.320 = 0.97となるように秤量した。

【0101】

尚、Ca_x = 0.310 (0.320 ≤ x ≤ 0.330)、および、Mg_y = 0.320 (0.308 ≤ y ≤ 0.320)に設定され、比較例5においては上記組成式(1)におけるxの要件を満たさない組成になっている。

【0102】

また、上記原料は、冷間等方圧加圧法による嵩密度の増加と、加熱による炭素除去の処理を施した後、該原料12.6kgを直径150mm、高さ150mmのイリジウム坩堝に充填し、以下、実施例1と略同一条件によりSGGG単結晶の育成を行い、組成式(Gd_{2.690}Ca_{0.310})(Ga_{4.050}Mg_{0.320}Zr_{0.630})O₁₂で示される直径83mmで直胴部長80mmのSGGG単結晶を育成した。

【0103】

尚、比較例5に係るSGGG単結晶の育成においても、育成時における原料融液の固化率[(結晶重量÷原料重量)×100]を37.3%に設定して育成されている。

【0104】

次に、育成されたSGGG単結晶の直胴部における結晶トップ部(直胴部の上端)と結晶ボトム部(直胴部の下端)を切断し、かつ、両面研磨加工を施した後、上記エックス線回折装置を用いて、結晶トップ部から得られたSGGG単結晶基板(すなわち、結晶トップ部)と結晶ボトム部から得られたSGGG単結晶基板(すなわち、結晶ボトム部)の格子定数を測定した。

【0105】

測定の結果、結晶トップ部から得られたSGGG単結晶基板(すなわち、結晶トップ部)の格子定数は12.4948 Å、かつ、結晶ボトム部から得られたSGGG単結晶基板(すなわち、結晶ボトム部)の格子定数は12.4954 Åで、結晶ボトム部と結晶トップ部における格子定数の差は0.0006 Å(12.4954 Å - 12.4948 Å)であり、格子定数の差(0.0002 Å以下)に係る条件を満たさないものであった。

【産業上の利用可能性】

【0106】

本発明に係るSGGG単結晶によれば、結晶トップ部と結晶ボトム部間における格子定数の分布が均一化されていることから、結晶トップ部から得られたSGGG基板と結晶ボトム部から得られたSGGG基板における格子定数の均一性に優れている。そして、LPE法によりRIG単結晶膜を育成する際、結晶トップ部から得られたSGGG基板と結晶ボトム部から得られたSGGG基板とで育成条件を変える必要がない分、RIG単結晶膜における生産性の向上が図れるため、光アイソレータ用ファラデー回転子に用いられるRIG単結晶膜を低コストで提供できる産業上の利用可能性を有している。

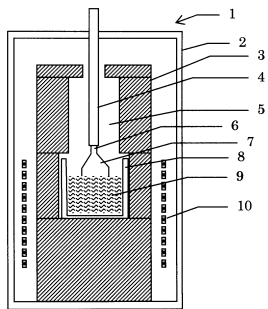
【符号の説明】

【0107】

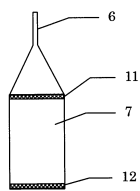
- 1 育成炉
- 2 チャンバー
- 3 断熱材
- 4 引き上げ軸
- 5 ホットゾーン
- 6 種結晶
- 7 SGGG単結晶
- 8 坩堝
- 9 原料融液
- 10 高周波コイル
- 11 結晶トップ部

1 2 結晶ボトム部

【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平02-168606 (JP, A)

Hideo Kimura et al., Minimization of lattice parameter change in Czochralski grown (Gd_{1-x}Y_x)Ga₅₀Li₅₀ garnet single crystal, Journal of crystal growth, Elsevier Science Publishers, 1992年 5月 1日, Volume 119, issue 3-4, pp.313-316

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C30B 29/28

C30B 15/00