

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年10月9日(09.10.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/163056 A1

- (51) 国際特許分類:
C30B 29/16 (2006.01) C30B 15/34 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/059572
- (22) 国際出願日: 2014年3月31日(31.03.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-078575 2013年4月4日(04.04.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社タムラ製作所 (TAMURA CORPORATION) [JP/JP]; 〒1788511 東京都練馬区東大泉1丁目19番43号 Tokyo (JP). 株式会社光波 (KOHA CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1760022 東京都練馬区向山2丁目6番8号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 渡辺 信也 (WATANABE, Shinya); 〒1788511 東京都練馬区東大泉1丁目19番43号 株式会社タムラ製作所内 Tokyo (JP). 飯塚和幸 (IIZUKA, Kazuyuki); 〒1788511 東京都練馬区東大泉1丁目19番43号 株式会社タムラ製

作所内 Tokyo (JP). 土井岡 慶 (DOIOKA, Kei); 〒1788511 東京都練馬区東大泉1丁目19番43号 株式会社タムラ製作所内 Tokyo (JP). 松原春香 (MATSUBARA, Haruka); 〒1788511 東京都練馬区東大泉1丁目19番43号 株式会社タムラ製作所内 Tokyo (JP). 増井 建和 (MASUI, Takekazu); 〒1760022 東京都練馬区向山2丁目6番8号 株式会社光波内 Tokyo (JP).

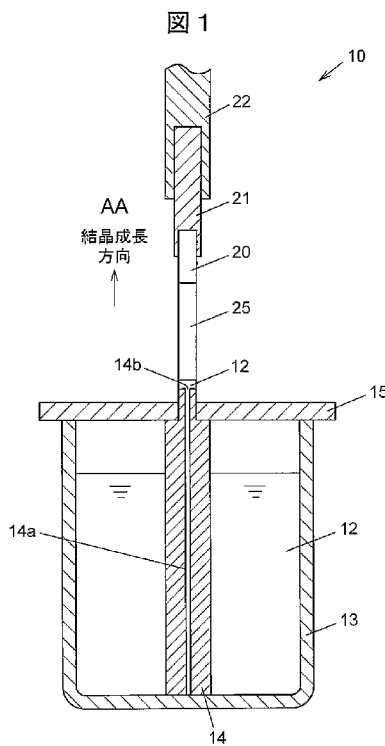
(74) 代理人: 平田 忠雄 (HIRATA, Tadao); 〒1690074 東京都新宿区北新宿二丁目21番地1号 新宿フロントタワー29階 平田国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR GROWING β -Ga₂O₃-BASED SINGLE CRYSTAL

(54) 発明の名称: β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法



AA Direction of growth of crystal

(57) Abstract: Provided is a method for growing a β -Ga₂O₃-based single crystal, whereby it becomes possible to grow a β -Ga₂O₃-based single crystal having a small variation in crystal structure and also having high quality in the direction of the b axis. In one embodiment, a method for growing a β -Ga₂O₃-based single crystal is provided, which comprises a step of growing a flat-plate-shaped Sn-containing β -Ga₂O₃-based single crystal in the direction of the b axis using a seed crystal.

(57) 要約: 結晶構造のばらつきが小さい高品質の β -Ga₂O₃系単結晶をb軸方向に成長させることのできる β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法を提供する。一実施の形態において、種結晶を用いて、Snが添加された平板状の β -Ga₂O₃系単結晶をb軸方向に成長させる工程を含む、 β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法を提供する。

WO 2014/163056 A1



SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッ
パ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,

FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法

技術分野

[0001] 本発明は、 β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、EFG (Edge-defined Film-fed Growth) 法を用いた平板状のGa₂O₃単結晶の成長方法が知られている (例えば、特許文献1参照)。

[0003] 特許文献1によれば、SiO₂をドーパント原料として用いて、SiをGa₂O₃単結晶に添加する。SiO₂は、Ga₂O₃との融点の差が小さく、Ga₂O₃単結晶の成長温度 (Ga₂O₃単結晶の原料の融点) における蒸気圧が低いため、Ga₂O₃単結晶中のドーパント量の制御が容易である。

[0004] また、従来、FZ (Floating Zone) 法を用いた円柱状の β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法が知られている (例えば、特許文献2参照)。

[0005] 特許文献2によれば、Si、Sn、Zr、Hf、Ge等を熱融解性調整用添加物として β -Ga₂O₃系単結晶に添加する。熱融解性調整用添加物を添加することにより、 β -Ga₂O₃系単結晶の赤外線吸収特性が大きくなり、FZ装置の光源からの赤外線を β -Ga₂O₃系単結晶が効率的に吸収するようになる。このため、 β -Ga₂O₃系単結晶の外径が大きい場合であっても、中心部と外側の温度差が小さくなり、中心部が凝固し難くなる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2011-190127号公報

特許文献2：特開2006-273684号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明の目的の1つは、結晶構造のばらつきが小さい高品質の β -Ga₂O₃系単結晶をb軸方向に成長させることのできる β -Ga₂O₃系単結晶の成長方

法を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明の一態様は、上記目的を達成するために、[1]～[3]の β - Ga_2O_3 系単結晶の成長方法を提供する。
- [0009] [1]種結晶を用いて、Snが添加された平板状の β - Ga_2O_3 系単結晶をb軸方向に成長させる工程を含む、 β - Ga_2O_3 系単結晶の成長方法。
- [0010] [2] EFG法により前記 β - Ga_2O_3 系単結晶を成長させる、前記[1]に記載の β - Ga_2O_3 系単結晶の成長方法。
- [0011] [3] 前記 β - Ga_2O_3 系単結晶への前記Snの添加濃度が0.005mol%以上かつ1.0mol%以下である、前記[1]又は[2]に記載の β - Ga_2O_3 系単結晶の成長方法。

発明の効果

- [0012] 本発明によれば、結晶構造のばらつきが小さい高品質の β - Ga_2O_3 系単結晶をb軸方向に成長させることのできる β - Ga_2O_3 系単結晶の成長方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]図1は、実施の形態に係るEFG結晶製造装置の一部の垂直断面図である。
- [図2]図2は、 β - Ga_2O_3 系単結晶の成長中の様子を表す斜視図である。
- [図3A]図3Aは、 β - Ga_2O_3 系単結晶から切り出した基板とX線回折の測定位置を表す平面図である。
- [図3B]図3Bは、各測定点において得られたX線回折プロファイルをb軸に垂直な方向に沿って並べたイメージ図である。
- [図4]図4は、測定点ごとのX線回折強度の分布を表す図である。
- [図5]図5は、基板位置とX線回折プロファイルのピーク位置の関係を表す曲線とその近似直線を表すグラフである。
- [図6A]図6Aは、結晶Aから切り出された、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板の、測定点ごとのX線回折強度の分布を表す。

[図6B]図6Bは、結晶Bから切り出された、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板の、測定点ごとのX線回折強度の分布を表す。

[図7A]図7Aは、結晶Cから切り出された、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板の、測定点ごとのX線回折強度の分布を表す。

[図7B]図7Bは、結晶Dから切り出された、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板の、測定点ごとのX線回折強度の分布を表す。

[図8]図8は、Snが添加された結晶A、B、Siが添加された結晶C、D、及び無添加の結晶EFの、b軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきを示す図である。

発明を実施するための形態

[0014] [実施の形態]

本実施の形態においては、種結晶を用いて、Snが添加された平板状の β -Ga₂O₃系単結晶をb軸方向に成長させる。これにより、b軸方向に垂直な方向の結晶品質のばらつきが小さい β -Ga₂O₃系単結晶を得ることができる。

[0015] 従来、多くの場合、Ga₂O₃結晶に添加される導電型不純物として、Siが用いられている。SiはGa₂O₃結晶に添加される導電型不純物の中でGa₂O₃単結晶の成長温度における蒸気圧が比較的低く、結晶成長中の蒸発量が少ないため、Si添加量の調整によるGa₂O₃結晶の導電性の制御が比較的容易である。

[0016] 一方、SnはSiよりもGa₂O₃単結晶の成長温度における蒸気圧が高く、結晶成長中の蒸発量が多いため、Ga₂O₃結晶に添加される導電型不純物としては少々扱いづらい。

[0017] しかしながら、本願の発明者等は、平板状の β -Ga₂O₃系単結晶をb軸方向に成長させるという特定の条件下において、Siを添加することにより、b軸方向の結晶構造は一定になるが、b軸に垂直な方向の結晶構造に大きなばらつきが生じるという問題を見出した。そして、本願の発明者等は、Siの代わりにSnを添加することにより、その問題を解消できることを見出し

た。

[0018] (β -Ga₂O₃系単結晶の成長)

以下に、平板状の β -Ga₂O₃系単結晶を成長させる方法の一例として、EFG (Edge-defined film-fed growth) 法を用いる場合の方法について説明する。なお、本実施の形態の平板状の β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法はEFG法に限られず、他の成長方法、例えば、マイクロPD (pulling-down) 法等の引き下げ法を用いてもよい。また、ブリッジマン法にEFG法のダイのようなスリットを有するダイを適用し、平板状の β -Ga₂O₃系単結晶を育成してもよい。

[0019] 図1は、本実施の形態に係るEFG結晶製造装置の一部の垂直断面図である。このEFG結晶製造装置10は、Ga₂O₃系融液12を受容するルツボ13と、このルツボ13内に設置されたスリット14aを有するダイ14と、スリット14aの開口部14bを含むダイ14の上部を露出させるようにルツボ13の上面を閉塞する蓋15と、 β -Ga₂O₃系種結晶(以下、「種結晶」という)20を保持する種結晶保持具21と、種結晶保持具21を昇降可能に支持するシャフト22とを有する。

[0020] ルツボ13は、Ga₂O₃系粉末を溶解させて得られたGa₂O₃系融液12を受容する。ルツボ13は、Ga₂O₃系融液12を受容しうる耐熱性を有するイリジウム等の材料からなる。

[0021] ダイ14は、Ga₂O₃系融液12を毛細管現象により上昇させるためのスリット14aを有する。

[0022] 蓋15は、ルツボ13から高温のGa₂O₃系融液12が蒸発することを防止し、さらにスリット14aの上面以外の部分にGa₂O₃系融液12の蒸気が付着することを防ぐ。

[0023] 種結晶20を下降させて、スリット14aの開口部14bからダイ14の上面に広がったGa₂O₃系融液12に接触させ、Ga₂O₃系融液12と接触した種結晶20を引き上げることにより、平板状の β -Ga₂O₃系単結晶25を成長させる。 β -Ga₂O₃系単結晶25の結晶方位は種結晶20の結晶方位と

等しく、 β - Ga_2O_3 系単結晶25の結晶方位を制御するためには、例えば、種結晶20の底面の面方位及び水平面内の角度を調整する。

[0024] 図2は、 β - Ga_2O_3 系単結晶の成長中の様子を表す斜視図である。図2中の面26は、スリット14aのスリット方向と平行な β - Ga_2O_3 系単結晶25の主面である。成長させた β - Ga_2O_3 系単結晶25を切り出して β - Ga_2O_3 系基板を形成する場合は、 β - Ga_2O_3 系基板の所望の主面の面方位に β - Ga_2O_3 系単結晶25の面26の面方位を一致させる。例えば、 (-201) 面を主面とする β - Ga_2O_3 系基板を形成する場合は、面26の面方位を (-201) とする。また、成長させた β - Ga_2O_3 系単結晶25は、新たな β - Ga_2O_3 系単結晶を成長させるための種結晶として用いることができる。図1、2に示される結晶成長方向は、 β - Ga_2O_3 系単結晶25のb軸に平行な方向(b軸方向)である。

[0025] β - Ga_2O_3 系単結晶25及び種結晶20は、 β - Ga_2O_3 単結晶、又は、Al、In等の元素が添加された Ga_2O_3 単結晶である。例えば、Al及びInが添加された β - Ga_2O_3 単結晶である $(Ga_xAl_yIn_{(1-x-y)})_2O_3$ ($0 < x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < x + y \leq 1$)単結晶であってもよい。Alを添加した場合にはバンドギャップが広がり、Inを添加した場合にはバンドギャップが狭くなる。

[0026] β - Ga_2O_3 系原料に、所望の濃度のSnが添加されるような量のSn原料を加える。例えば、LED用基板を切り出すための β - Ga_2O_3 系単結晶25を成長させる場合は、濃度0.005mol%以上かつ1.0mol%以下のSnが添加されるような量の SnO_2 を β - Ga_2O_3 系原料に加える。濃度0.005mol%未満の場合、導電性基板として十分な特性が得られない。また、1.0mol%を超える場合、ドーピング効率の低下、吸収係数増加、歩留低下等の問題が生じやすい。

[0027] 以下に、本実施の形態の β - Ga_2O_3 系単結晶25の育成条件の一例について述べる。

[0028] 例えば、 β - Ga_2O_3 系単結晶25の育成は、窒素雰囲気下で行われる。

[0029] 図1、2に示される例では、水平断面の大きさが $G a_2 O_3$ 系単結晶25とほぼ同じ大きさの種結晶20を用いている。この場合、 $G a_2 O_3$ 系単結晶25の幅を広げる肩広げ工程を行わないため、肩広げ工程において発生しやすい双晶化を抑えることができる。

[0030] なお、この場合、種結晶20は通常の結晶育成に用いられる種結晶よりも大きく、熱衝撃に弱いため、 $G a_2 O_3$ 系融液12に接触させる前の種結晶20のダイ14からの高さは、ある程度低いことが好ましく、例えば、10mmである。また、 $G a_2 O_3$ 系融液12に接触させるまでの種結晶20の降下速度は、ある程度低いことが好ましく、例えば、1mm/minである。

[0031] 種結晶20を $G a_2 O_3$ 系融液12に接触させた後の引き上げるまでの待機時間は、温度をより安定させて熱衝撃を防ぐために、ある程度長いことが好ましく、例えば、10minである。

[0032] ルツボ13中の原料を溶かすときの昇温速度は、ルツボ13周辺の温度が急上昇して種結晶20に熱衝撃が加わることを防ぐために、ある程度低いことが好ましく、例えば、11時間掛けて原料を溶かす。

[0033] ($\beta - G a_2 O_3$ 系単結晶の品質評価方法)

上記の方法等を用いて成長させた $\beta - G a_2 O_3$ 系単結晶の種結晶から基板を切り出し、鏡面研磨した後、X線回折測定により結晶品質の評価を行う。この結晶品質の評価は、基板のb軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきの評価により行う。

[0034] 図3Aは、 $\beta - G a_2 O_3$ 系単結晶から切り出した基板とX線回折の測定位置を表す平面図である。図3Aに「X」で示される $\beta - G a_2 O_3$ 系単結晶のb軸に垂直な方向に沿って並ぶ測定点において、 $\beta - G a_2 O_3$ 系単結晶のb軸方向を軸として基板を回転させながらX線回折強度を測定し、X線回折プロファイルを得る。ここで、基板のb軸方向を軸とする回転角度を ω [deg]とする。

[0035] 図3Bは、各測定点において得られたX線回折プロファイルをb軸に垂直な方向に沿って並べたイメージ図である。

[0036] 図4は、図3Bを上方から見た図であり、測定点ごとのX線回折強度の分布を表す。図4の横軸はb軸に垂直な方向の基板上的位置 [mm]、縦軸は基板の回転角度 ω [deg] を表す。ドットの密度の高い領域がX線回折強度の高い領域であることを表し、曲線は各測定点におけるX線回折プロファイルのピーク位置を繋いだものである。なお、横軸の基板上的位置は、基板の中心を原点としている。

[0037] 図5は、基板位置とX線回折プロファイルのピーク位置の関係を表す曲線とその最小二乗法による線形近似から求められた近似直線を表すグラフである。図5の横軸はb軸に垂直な方向の基板上的位置 [mm]、縦軸は基板の回転角度 ω [deg] を表す。

[0038] 図5から、各々の基板位置におけるX線回折プロファイルのピーク位置と近似直線の回転角度 ω の差を求め、それらの平均値 α を求める。b軸に垂直な方向のX線回折プロファイルのピーク位置のばらつきが小さいほど、この α が小さくなり、基板のb軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきが小さいことを意味する。

[0039] (β -Ga₂O₃系単結晶の品質評価結果)

本実施の形態の一例として、濃度0.05mol%のSnを添加して主面が(-201)面の平板状の β -Ga₂O₃系単結晶を2つ成長させ(結晶A、Bとする)、これら結晶A、Bから、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板と、種結晶からの位置が90mmの点を中心とする基板をそれぞれ1枚ずつ切り出した。各基板の直径は50mmとした。

[0040] 同様に、比較例として、濃度0.05mol%のSiを添加して主面が(-201)面の平板状の β -Ga₂O₃系単結晶を2つ成長させ(結晶C、Dとする)、これら結晶C、Dから、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板をそれぞれ切り出した。各基板の直径は50mmとした。

[0041] また、他の比較例として、ドーパントを添加せずに主面が(-201)面の平板状の β -Ga₂O₃系単結晶を2つ成長させ(結晶E、Fとする)、これら結晶E、Fから、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板と、

種結晶からの位置が90mmの点を中心とする基板をそれぞれ1枚ずつ切り出した。各基板の直径は50mmとした。

[0042] なお、平板状の結晶A～Fの幅（結晶成長方向に垂直な幅）は、直径50mmの基板を切り出すため、52mmとした。

[0043] 上記の4枚のSn添加 β -Ga₂O₃系単結晶基板、2枚のSi添加 β -Ga₂O₃系単結晶基板、及び4枚の無添加 β -Ga₂O₃系単結晶基板に対し、上記の評価方法により、基板のb軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきを評価した。

[0044] 図6A、図6Bは、結晶A、Bからそれぞれ切り出された、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板の、測定点ごとのX線回折強度の分布を表す。また、図7A、図7Bは、結晶C、Dからそれぞれ切り出された、種結晶からの位置が40mmの点を中心とする基板の、測定点ごとのX線回折強度の分布を表す。図6A、図6B、図7A、図7Bは、図4に対応する。

[0045] 図6A、図6B、図7A、図7Bは、Snが添加された結晶A、Bから切り出された基板は、Siが添加された結晶C、Dから切り出された基板よりも、b軸に垂直な方向のX線回折プロファイルのピーク位置のばらつきが小さく、b軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきが小さいことを示している。

[0046] 図8は、Snが添加された結晶A、B、Siが添加された結晶C、D、及び無添加の結晶EFの、b軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきを示す図である。図8の縦軸は、各々の結晶における α の種結晶の α に対する比を表す。この α 比が小さいほど、b軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきが種結晶のものに近く、高品質の結晶が得られていることを示す。

[0047] 図8の下部の横軸に沿って並んだ文字欄の上段は基板を切り出した結晶の種類（結晶A～F）を表し、中段は添加されたドーパントの種類（Si、Sn、なし）を表し、下段は結晶から切り出される前の基板の中心の種結晶からの距離（40mm、90mm）を表す。

[0048] 図8は、Snが添加された結晶A、Bの α 比が、Siが添加された結晶C

、Dの α 比よりも小さく、結晶A、Bのb軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきが小さいことを示している。また、Snが添加された結晶A、Bの α 比は、無添加の結晶E、Fの α 比と近く、Snを添加した β -Ga₂O₃系単結晶のb軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきが無添加の β -Ga₂O₃系単結晶のものに近いことを示している。

[0049] また、一般的に、成長させた結晶においては、種結晶からの距離が離れた領域ほど結晶品質が低いが、Snが添加された結晶A、Bの種結晶からの距離が90mmの領域のb軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきは、Siが添加された結晶C、Dの種結晶からの距離が40mmの領域のものよりも小さい。これは、Siの代わりにSnを添加することにより、 β -Ga₂O₃系単結晶のb軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきを大きく低減できることを表している。

[0050] なお、同様の評価方法により、b軸方向の結晶構造のばらつきを評価したところ、Snを添加した β -Ga₂O₃系単結晶、Siを添加した β -Ga₂O₃系単結晶ともに、b軸方向の結晶構造のばらつきはほとんど見られなかった。

[0051] (実施の形態の効果)

本実施の形態によれば、 β -Ga₂O₃系単結晶に導電性を与えるドーパントとしてSnを用いることにより、結晶構造のばらつきが小さい高品質の β -Ga₂O₃系単結晶をb軸方向に成長させることができる。

[0052] 一例として、Snを添加して、長さ65mm、幅52mm以上の平板状の β -Ga₂O₃系単結晶を成長させることにより、種結晶からの距離が40mmの点を中心とする領域から、直径50mmの結晶品質に優れた導電性基板を得ることができる。

[0053] なお、本実施の形態の効果はSnの添加濃度には依らず、少なくとも1.0mol%までは β -Ga₂O₃系単結晶のb軸に垂直な方向の結晶構造のばらつきがほぼ変化しないことが確認されている。

[0054] 以上、本発明の実施の形態を説明したが、本発明は、上記実施の形態に限

定されず、発明の主旨を逸脱しない範囲内において種々変形実施が可能である。

[0055] また、上記に記載した実施の形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、実施の形態の中で説明した特徴の組合せの全てが発明の課題を解決するための手段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。

産業上の利用可能性

[0056] 結晶構造のばらつきが小さい高品質の β -Ga₂O₃系単結晶をb軸方向に成長させることのできる β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法を提供する。

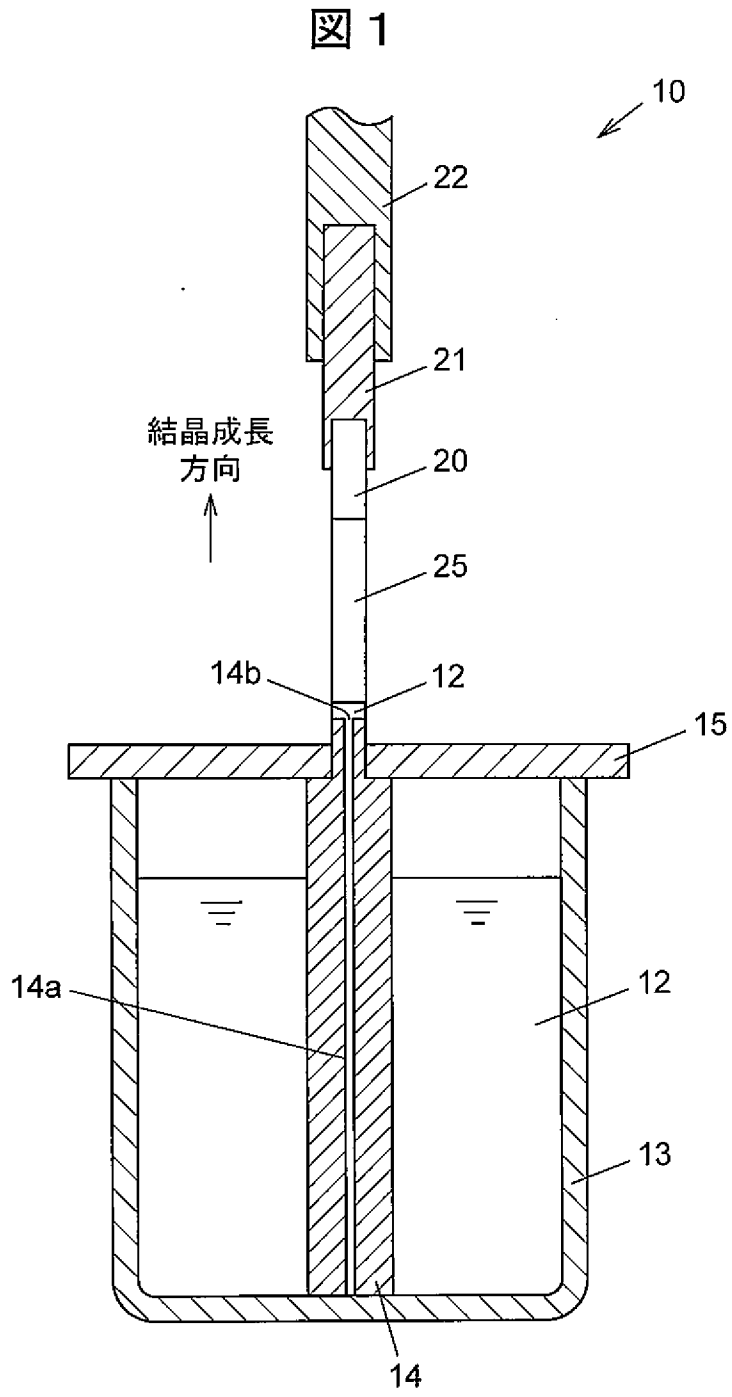
符号の説明

[0057] 10…EFG結晶製造装置、 20…種結晶、 25… β -Ga₂O₃系単結晶

請求の範囲

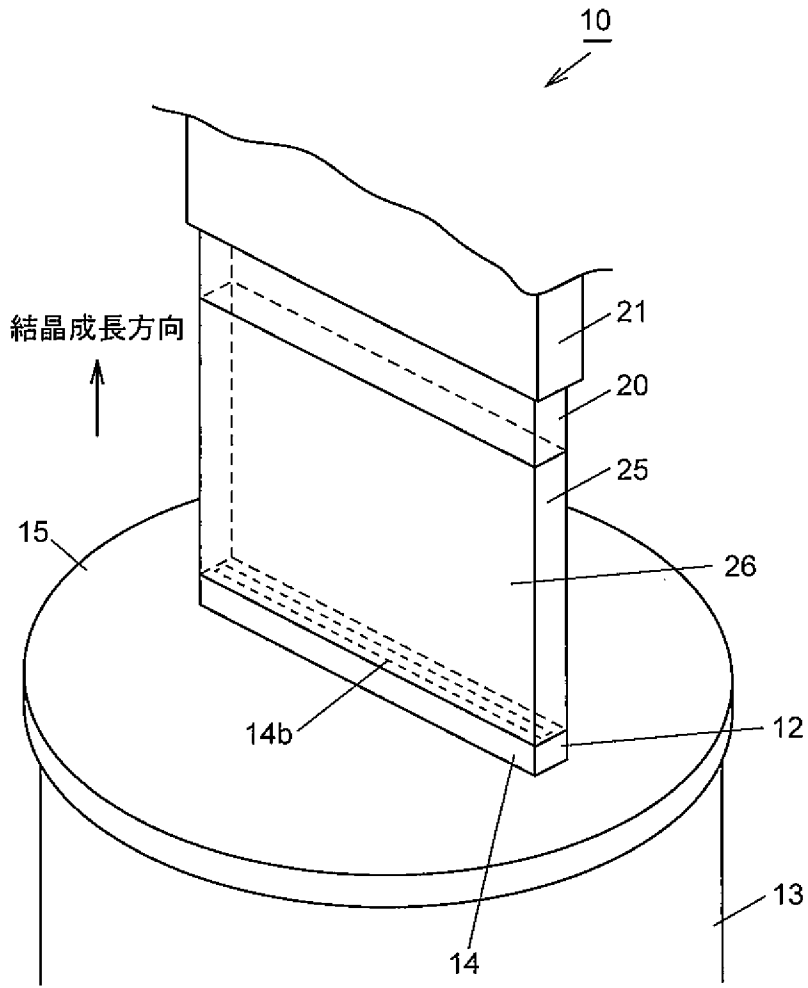
- [請求項1] 種結晶を用いて、Snが添加された平板状の β -Ga₂O₃系単結晶をb軸方向に成長させる工程を含む、
 β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法。
- [請求項2] EFG法により前記 β -Ga₂O₃系単結晶を成長させる、
請求項1に記載の β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法。
- [請求項3] 前記 β -Ga₂O₃系単結晶への前記Snの添加濃度が0.005mol以上かつ1.0mol以下である、
請求項1又は2に記載の β -Ga₂O₃系単結晶の成長方法。

[図1]



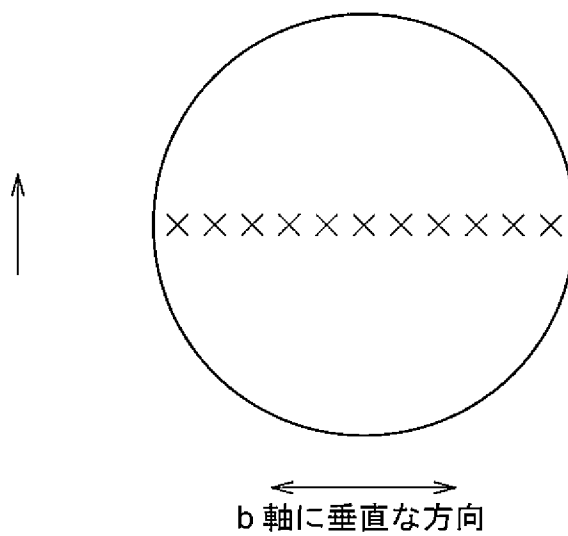
[図2]

図 2



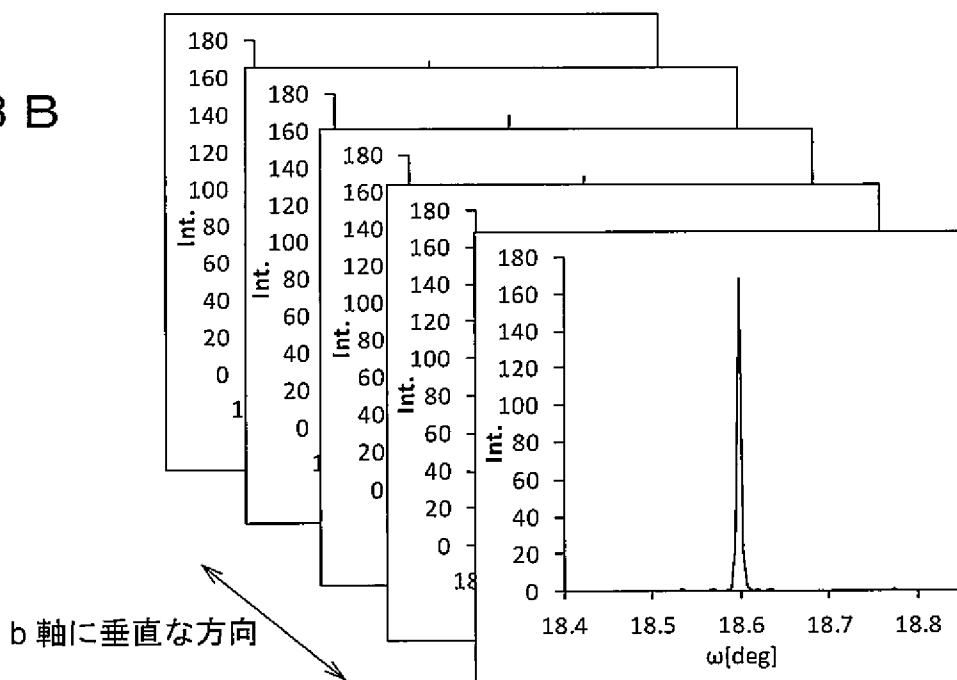
[図3A]

図 3 A



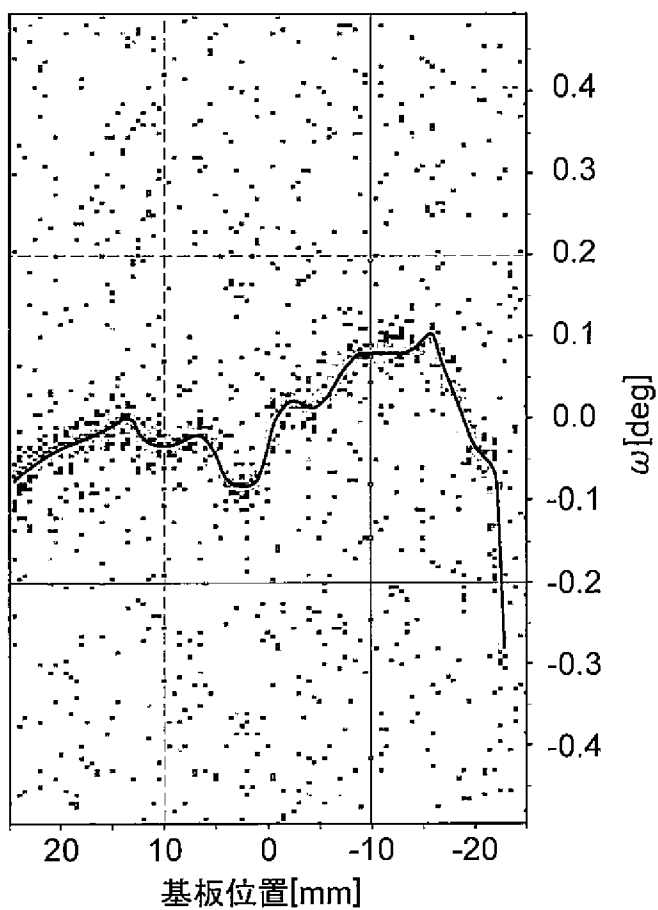
[図3B]

図 3 B



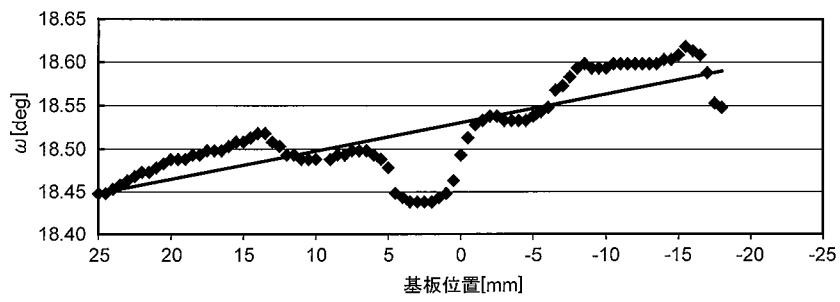
[図4]

図 4



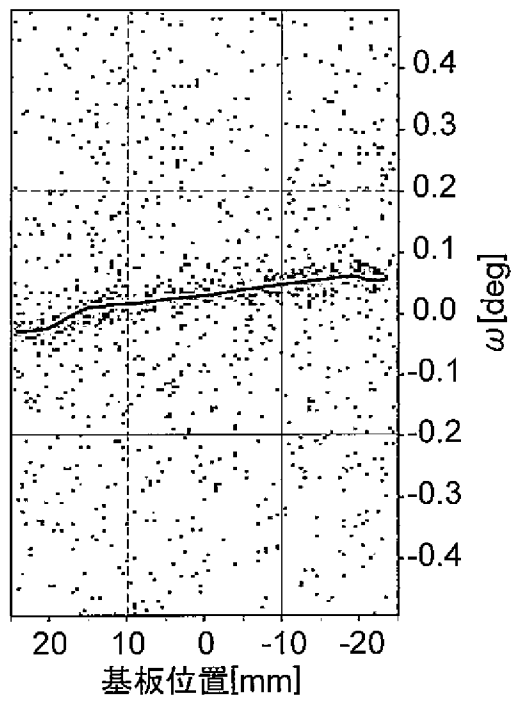
[図5]

図 5



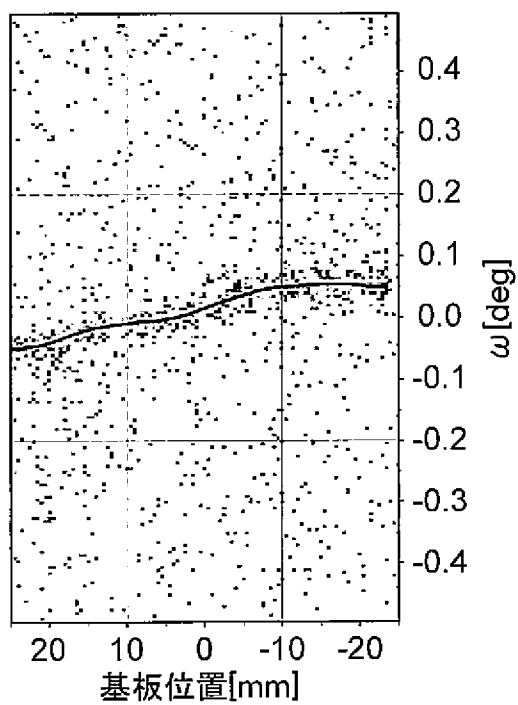
[図6A]

図 6 A



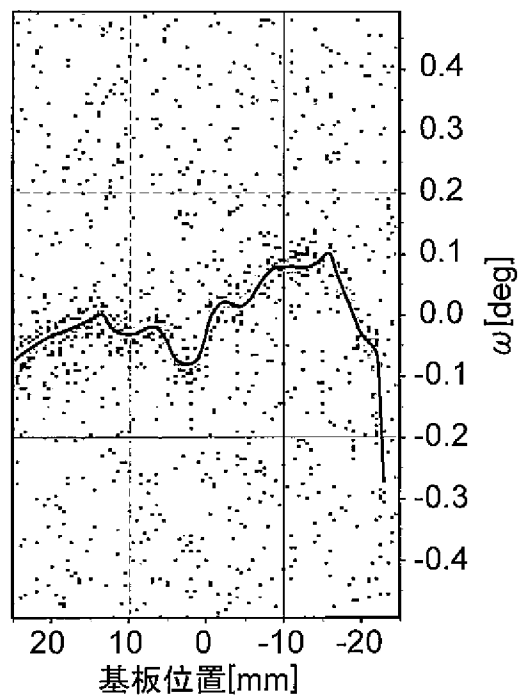
[図6B]

図 6 B



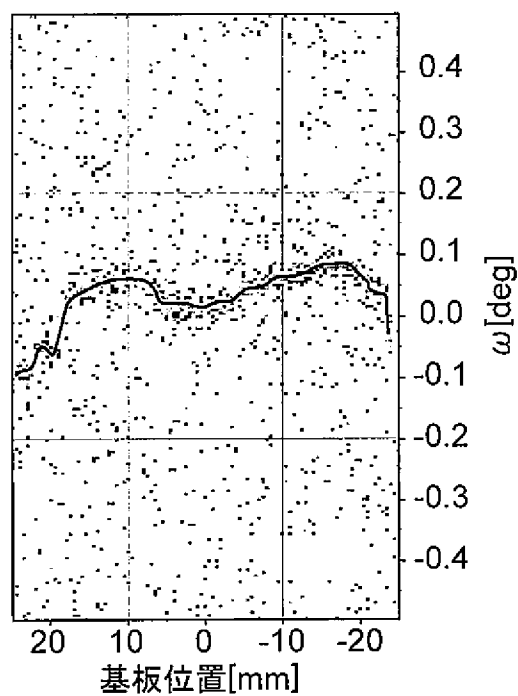
[図7A]

図 7 A



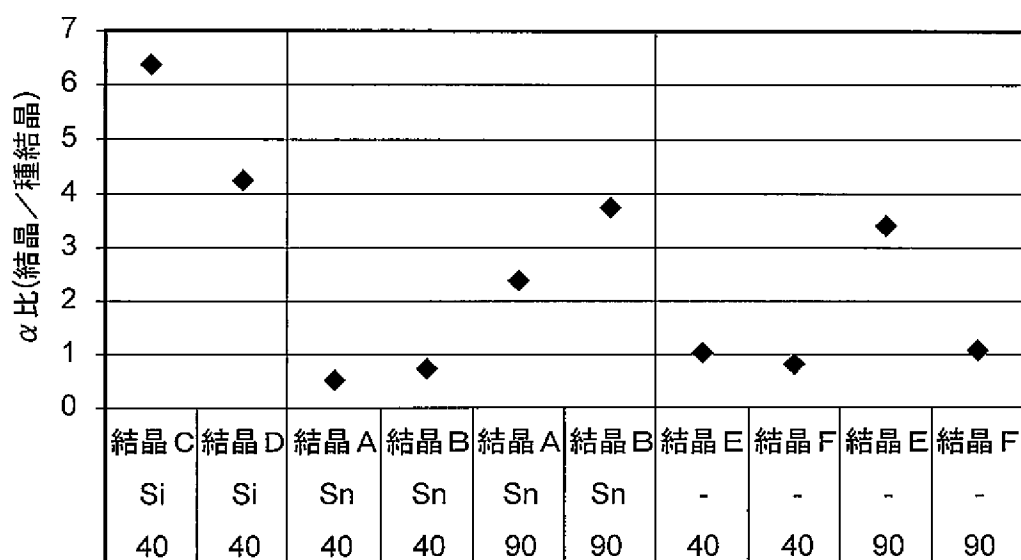
[図7B]

図7B



[図8]

図8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/059572

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C30B29/16(2006.01) i, C30B15/34(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
C30B29/16, C30B15/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-312571 A (Koha Co., Ltd.), 16 November 2006 (16.11.2006), paragraphs [0019] to [0046]; fig. 1 to 6 (Family: none)	1-3
Y	JP 2005-235961 A (Waseda University), 02 September 2005 (02.09.2005), claims; paragraphs [0030] to [0032] & US 2007/0166967 A1 & WO 2005/078812 A1	1-3

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 25 April, 2014 (25.04.14)	Date of mailing of the international search report 13 May, 2014 (13.05.14)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/059572

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-262684 A (Waseda University), 24 September 2004 (24.09.2004), entire text; all drawings & US 2006/0150891 A1 & US 2008/0265264 A1 & US 2010/0229789 A1 & US 2012/0304918 A1 & EP 1598450 A2 & EP 2267194 A2 & EP 2273569 A2 & WO 2004/074556 A2 & CA 2517024 A & KR 10-2006-0007366 A & CN 1754013 A & RU 2005126721 A & AT 525498 T & TW 201144227 A & TW 201242901 A	1-3

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. C30B29/16(2006.01)i, C30B15/34(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. C30B29/16, C30B15/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2014年
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年
 日本国登録実用新案公報 1994-2014年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-312571 A (株式会社光波) 2006. 11. 16, 段落【0019】 - 【0046】, 【図1】 - 【図6】 (ファミリーなし)	1-3
Y	JP 2005-235961 A (学校法人早稲田大学) 2005. 09. 02, 【特許請求 の範囲】、段落【0030】 - 【0032】 & US 2007/0166967 A1 & WO 2005/078812 A1	1-3
A	JP 2004-262684 A (学校法人早稲田大学) 2004. 09. 24, 全文, 全図 & US 2006/0150891 A1 & US 2008/0265264 A1 & US 2010/0229789 A1	1-3

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 25. 04. 2014	国際調査報告の発送日 13. 05. 2014
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 宮崎 園子 電話番号 03-3581-1101 内線 3416

4G 9277

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
	& US 2012/0304918 A1 & EP 1598450 A2 & EP 2267194 A2 & EP 2273569 A2 & WO 2004/074556 A2 & CA 2517024 A & KR 10-2006-0007366 A & CN 1754013 A & RU 2005126721 A & AT 525498 T & TW 201144227 A & TW 201242901 A	