

(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
2011 年 9 月 1 日(01.09.2011)

(10) 国際公開番号
WO 2011/105251 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 31/108 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/053130
- (22) 国際出願日: 2011 年 2 月 15 日(15.02.2011)
- (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 2010-038512 2010 年 2 月 24 日(24.02.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本軽金属株式会社 (NIPPON LIGHT METAL COMPANY, LTD.) [JP/JP]; 〒1408628 東京都品川区東品川二丁目 2 番 20 号 Tokyo (JP). トーニック株式会社 (TOHNIC Inc.) [JP/JP]; 〒2530001 神奈川県茅ヶ崎市赤羽根 1 3 6 1 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 竹田 聡 (TAKEDA Satoshi) [JP/JP]; 〒4213203 静岡県静岡市清水区蒲原 1 丁目 3 4 番 1 号 日本軽金属株式会社 グループ技術センター内 Shizuoka (JP). 樋野 治道 (HINO Harumichi) [JP/JP]; 〒4213203 静岡県静岡市清水区蒲原 1 丁目 3 4 番 1 号 日本軽金属株式会社 グループ技術セ

ンター内 Shizuoka (JP). 新井 直樹 (ARAI Naoki) [JP/JP]; 〒4213203 静岡県静岡市清水区蒲原 1 丁目 3 4 番 1 号 日本軽金属株式会社 グループ技術センター内 Shizuoka (JP). 小日向 貢 (OBINATA Mitsugu) [JP/JP]; 〒2530001 神奈川県茅ヶ崎市赤羽根 1 3 6 1 トーニック株式会社内 Kanagawa (JP). 正木 進 (MASAKI Susumu) [JP/JP]; 〒2530001 神奈川県茅ヶ崎市赤羽根 1 3 6 1 トーニック株式会社内 Kanagawa (JP).

- (74) 代理人: 赤澤 日出夫 (AKAZAWA, Hideo); 〒1640001 東京都中野区中野 5-6-7-3 タガシンビル 6 階 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, 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, IS, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, 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,

[続葉有]

(54) Title: ULTRAVIOLET SENSOR AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: 紫外線センサ、およびその製造方法

[図1]

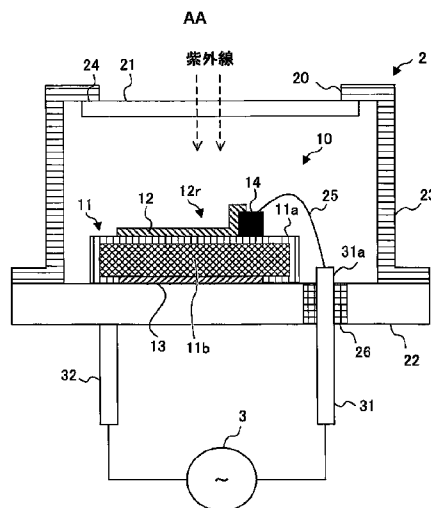


FIG. 1:
AA ULTRAVIOLET

(57) Abstract: Disclosed is an ultraviolet sensor which is provided with: a gallium oxide single crystal substrate (11) having, as a light receiving surface (12r), an orthogonally intersecting surface (41), which orthogonally intersects the growing direction of a gallium oxide single crystal, or a surface tilted at a predetermined angle from the orthogonally intersecting surface (41); an ohmic electrode (13), which is formed on the first surface of the gallium oxide single crystal substrate (11); and a Schottky electrode (12), which is formed on the second surface of the gallium oxide single crystal substrate (11), said Schottky electrode including the light receiving surface (12r).

(57) 要約: 酸化ガリウム単結晶の成長方向に対して直交する直交面 41 または該直交面 41 から所定の角度傾斜した面を受光面 12r とする酸化ガリウム単結晶基板 11 と、酸化ガリウム単結晶基板 11 の第 1 表面に形成されたオーミック電極 13 と、受光面 12r を含む酸化ガリウム単結晶基板 11 の第 2 表面に形成されたショットキー電極 12 とを備えた。



MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, 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： 紫外線センサ、およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、紫外線ランプ等が発する紫外線を検知する紫外線センサおよびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 紫外線を照射する紫外線ランプは、水や空気の殺菌、半導体や食品容器の洗浄、及び半導体の表面改質等、産業界の多岐にわたり使用されている。この紫外線ランプは消耗品であり、寿命が重要なポイントであるが、紫外線ランプの監視が連続的にできないために事前に寿命時間が規格として定められている。しかしながら、個々のランプの寿命は一定ではなく、設定した時間からずれが生じる場合がある。実際の寿命が設定時間より短い場合、紫外線発生のないまま使用するため、所望の浄化、殺菌等の効果を得ることができず、実際の寿命が設定時間より長い場合、まだ使用可能であるにも拘らず交換されるという無駄が生じることとなる。

[0003] このような問題に対し、従来、紫外線ランプが照射する紫外線を検知することにより、連続的に紫外線ランプを監視するセンサがある。このセンサとしては、シリコンを用いたものがある。しかしながら、測定波長の選択はフィルタを使用して行われるため、波長254nm付近の短波長域では受光スペクトルのバンド幅が広く、またフィルタの紫外線による劣化及びそれに伴う受光波長のシフトが発生し、感度調整のための校正が必要となる。さらに、フィルタ周辺部品等の耐熱性の問題から、通常40℃以下で使用するという制約があるため、測定場所の調整を頻繁に行なう必要がある。

[0004] また、波長280nm以下の紫外線を検出するセンサとして光電管が知られている。この光電管は火炎の点滅を検知するセンサとして既に実用化され、主に工業炉など大型燃焼装置の自動制御用の火炎センサに用いられているが、光電管を用いたセンサは、ソーラーブラインドのセンサではないので感

度が変動しやすく、耐熱性も低いという問題を有している。

- [0005] これに対し、酸化ガリウム単結晶基板を用い、耐熱性及び耐久性に優れるソーラーブラインドの紫外線センサ及び紫外線用フォトディテクタがある（例えば、特許文献 1 及び 2 参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開 2 0 0 9 - 1 3 0 0 1 2 号公報
特許文献2：特開 2 0 0 9 - 2 0 0 2 2 2 号広報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 上述した酸化ガリウム単結晶基板は、その単結晶のインゴットを、（1 0 0）面（以後、a 面と称する）に平行な面をワイヤソーでスライスし、この a 面を化学機械研磨法（CMP：Chemical Mechanical Polishing）で鏡面研磨してウェハ状に加工することで作製される。しかしながら、酸化ガリウム単結晶基板は、その単結晶における a 面をスライスする場合、前工程として単結晶を輪切りする工程が行なわれる。即ち、単結晶における a 面をスライスする工程は、この輪切りした状態の単結晶のうち a 面に平行な面をワイヤソーでスライスする工程となる。酸化ガリウム単結晶基板は、上述した輪切り及びスライスの工程により作製されているため、その製造工程に時間等のコストがかかるという問題があった。
- [0008] 本発明は、上述した問題点を解決するためになされたものであり、低コストの酸化ガリウム単結晶基板を用いた紫外線センサ及びその製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0009] 上述した問題点を解決するため、本発明に係る紫外線センサは、酸化ガリウム単結晶の成長方向に対して直交する直交面または該直交面から所定の角度傾斜した面を受光面とする酸化ガリウム単結晶基板と、前記酸化ガリウム

単結晶基板の第 1 表面に形成された第 1 電極と、前記受光面を含む前記酸化ガリウム単結晶基板の第 2 表面に形成された第 2 電極とを有する。

- [0010] また、本発明に係る紫外線センサの製造方法は、酸化ガリウム単結晶の成長方向に対して直交する直交面または該直交面から所定の角度傾斜した面が切断面となるよう、前記酸化ガリウム単結晶を所定の厚さで切断して切断面を受光面とし、前記酸化ガリウム単結晶基板の第 1 表面に第 1 電極を形成し、前記受光面を含む前記酸化ガリウム単結晶基板の第 2 表面に第 2 電極を形成する。

発明の効果

- [0011] 本発明によれば、低コストの酸化ガリウム単結晶基板を紫外線センサに用いることができる。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]実施の形態 1 に係る紫外線センサの構成を示す断面図である。
[図2]パッケージ内のセンサチップを示す上面図である。
[図3]手法 A を説明するための模式図である。
[図4]実施の形態 1 に係る紫外線センサの作製工程を説明するための模式図である。
[図5]実施例 1 に係る紫外線センサのセンサ感度と静電容量とを示すグラフである。
[図6]実施の形態 2 に係る紫外線センサの構成を示す断面図である。
[図7]ショットキー電極の表面状態を示す図である。
[図8]実施の形態 2 に係る紫外線センサの作製工程を説明するための模式図である。
[図9]実施例 2 に係る紫外線センサの不純物濃度を示すグラフである。
[図10]実施例 2 に係る紫外線センサの不純物濃度、比抵抗及びキャリア密度を示す表である。
[図11]実施例 2 に係る紫外線センサの比抵抗、キャリア密度及び S_i 濃度の相関を示すグラフである。

[図12]実施例3に係る紫外線センサのセンサ感度、センサの寿命及び研磨傷の個数の相関を示すグラフである。

[図13]実施例4に係る紫外線センサにおけるオーミック電極間の抵抗を示すグラフである。

[図14]実施例4に係る紫外線センサにおけるセンサ感度を示すグラフである。

[図15]実施例5に係る紫外線センサにおけるセンサ感度を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ説明する。

[0014] (実施の形態1)

先ず、図1及び図2を用いて実施の形態1に係る紫外線センサについて説明する。図1は、実施の形態1に係る紫外線センサの構成を示す断面図である。図2は、パッケージ内のセンサチップを示す上面図である。図1に示されるように、紫外線センサ1は、紫外線を検出するためのセンサチップ10がパッケージ2内に收容され外部雰囲気から封止されている。

[0015] パッケージ2は、平板状のステム22と、ステム22の上に設置され、中央に開口部20を有する円筒部材であるキャップ23と、開口部20をキャップ23の内部から覆う窓部材21とを有しており、その内部は、窒素やアルゴン等の不活性ガスで充填される、或いは、真空状態に維持される。

ステム22及びキャップ23は、内部に收容されるセンサチップ10の静電遮蔽の観点から、導電性であることが好ましく、例えば、ステンレス、アルミニウム、真鍮、鉄、ニッケル等の金属から形成される。

窓部材21は、検出対象となる紫外線に対して透光性を有する材料から形成され、波長254nm付近の紫外線に対してそれぞれ大きな透過率を有するサファイアまたは石英（水晶）を使用することができる。この窓部材21は、開口部20をパッケージ2内から覆うようにエポキシ接着剤24を用いてキャップ23の内側に接着されている。

- [0016] センサチップ 10 は、酸化ガリウム (Ga_2O_3) 単結晶基板 (以後、単結晶基板と称する) 11 を有しており、この単結晶基板 11 の上面 (第 1 表面) に当該単結晶基板 11 とショットキー接触をなす紫外線検出用のショットキー電極 12 が形成されている。また、ショットキー電極 12 に対応して単結晶基板 11 の下面 (第 2 表面) に当該単結晶基板 11 とオーミック接触をなすオーミック電極 13 が形成されている。
- [0017] 単結晶基板 11 は、その表面に絶縁層 11a が形成され、絶縁層 11a の下に導電層 11b が形成されている。単結晶基板 11 は、表面に絶縁層 11a が形成されることにより、紫外線励起により発生する電子正孔対の分離を行うことができる。ショットキー電極 12 はこの絶縁層 11a と接し、オーミック電極 13 は導電層 11b と接するよう形成されている。また、単結晶基板 11 上には、配線用のパッド電極 14 が形成されている。
- [0018] 単結晶基板 11 の第 1 表面およびショットキー電極 12 の上面は、紫外線等の光を受光する受光面 12r であり、この受光面 12r がパッケージ 2 の窓部材 21 に対向するようセンサチップ 10 がステム 22 に設置されている。
- [0019] 単結晶基板 11 に用いられる酸化ガリウム単結晶は、波長 280 nm 以下の波長領域に選択的感度を有し、特に、波長 254 nm 付近に大きな感度を有する。酸化ガリウム単結晶は、バンドギャップが 4.7 ~ 4.9 eV とワイドな酸化物半導体であるため、ソーラーブラインドのセンサとなる。更に、酸化ガリウム単結晶は融点が 1740 °C と高く、すでに酸化物であるため、酸化による劣化の心配がなく、耐熱性、安定性および耐久性に優れている。
- [0020] 紫外線センサ 1 の端子となるリード 31 及び 32 は、ステム 22 からパッケージ 2 の外部へ引き出されており、電流・電圧源 3 にそれぞれ電氣的に接続されている。リード 31 の一端 31a は、パッド電極 14 と直径 25 μm の Au ボンディングワイヤ 25 を介して電氣的に接続されている。また、リード 31 は、ガラス 26 を介してステム 22 に固定されている。リード 32

は、ステム 22 に接続されることにより、センサチップ 10 のオーミック電極 13 と電氣的に接続されている。なお、ボンディングワイヤ 25 の直径は、 $25\mu\text{m}$ としたが、これに限定されない。

[0021] また、図 2 に示されるように、単結晶基板 11 は、ステム 22 の中央に設置され、その中央にショットキー電極 12 が形成される。なお、ショットキー電極 12 は、単結晶基板 11 からパッド電極 14 における半円部分にかけて形成されている。実施の形態 1 では、単結晶基板 11 及びショットキー電極 14 は、円状に形成されているが、楕円等の形状であってもよい。

[0022] 実施の形態 1 では、受光面 12r として、酸化ガリウム単結晶の成長方向に対して直交する直交面を用いる（以後、この手法を手法 A と称する）。以下、手法 A について図 3 を参照して詳細に説明する。

[0023] 図 3 は、手法 A を説明するための模式図である。図 3 に示される a、b 及び c の矢印は、酸化ガリウム単結晶の結晶方位を示す。

図 3 に示されるように、直交面 41 は、酸化ガリウム単結晶のインゴット 4 の成長方向、即ち、c 軸の方向に対して直交する面である。この直交面 41 を受光面 12r として用いることにより、インゴット 4 を輪切りする工程のみで単結晶基板 11 を切り出すことができる。a 面 42 を受光面 12r とした場合、インゴット 4 を輪切りし、スライスする二段階の工程を行うことで酸化ガリウム単結晶基板を切り出している。したがって、a 面 42 を受光面 12r とした場合と比べ、直交面 41 を受光面 12r とすることで作業時間の短縮および収率の向上が可能となる。更に、受光面 12r を鏡面研磨した場合、a 面 42 はへき開面であるため、へき開によりその表面が鱗状に剥がれる場合があるが、直交面 41 では鱗状に剥がれることはなく、作業時間を短縮できる。

[0024] ここで、実施の形態 1 では、直交面 41 を受光面 12r とするが、直交面 41 から所定の角度傾斜した面を受光面 12r としてもよい。例えば、成長方向から 14° 程度傾いたへき開性を有する面である (001) 面（以後、c 面と称する）を受光面 12r とした場合、へき開を利用することによりイ

ンゴット4から単結晶基板11を容易に切り出すことができる。へき開面からの傾きはセンサ性能に大きく影響しない。したがって、インゴット4から単結晶基板11を切り出す作業性を考慮すると、受光面12rは、直交面41から $-20^{\circ} \sim 20^{\circ}$ の範囲で傾く面が好ましく、直交面41とc面となす角度方向に、 $-15^{\circ} \sim 15^{\circ}$ の範囲で傾く面がより好ましく、特に直交面41及びc面と平行する面が好ましい。

[0025] 以下、手法Aを用いた紫外線センサの作製方法について、図4を参照して工程毎に説明する。図4は、実施の形態1に係る紫外線センサの作製工程を説明するための模式図である。

[0026] (S1：酸化ガリウム単結晶の育成および単結晶基板の切り出し)

純度4Nの酸化ガリウム粉末を原料としてラバーチューブに封入し、静水圧プレスにより圧縮成形する。圧縮成形後、電気炉を用いて $1400 \sim 1600^{\circ}\text{C}$ 、 $10 \sim 40$ 時間、大気雰囲気中で焼成し、得られる酸化ガリウム焼結体を原料棒とする。この原料棒を用いて、FZ (Floating Zone) 法により酸化ガリウム単結晶を育成する。単結晶成長条件として、成長速度は $5 \sim 30 \text{ mm/h}$ 、雰囲気はドライエア、圧力は1気圧の条件で行なう。

育成した酸化ガリウム単結晶のインゴット4をスライドガラスに貼り付け、酸化ガリウム単結晶の成長方向に垂直な直交面が切断面となるよう切断し、単結晶基板11を得る。単結晶基板11の厚さは、 $0.6 \sim 0.7 \text{ mm}$ が好ましい。

[0027] (S2：酸化ガリウム単結晶基板の研磨)

切り出した単結晶基板11を研磨治具に貼り付け、 $\#1000$ の研磨盤で $10 \sim 30$ 分研削することで面出しを行う。続いて $1 \mu\text{m}$ ダイヤ及びCMPでそれぞれ $20 \sim 60$ 分、好ましくは $20 \sim 30$ 分研磨することで鏡面を得る。

[0028] (S3：単結晶基板のアニーリング)

研磨した単結晶基板11をアセトン、エタノールで洗浄し、熱処理を行なう。この熱処理は、単結晶基板11に光励起により発生したキャリアの分離

に必要な絶縁層 11a を形成し、結晶成長後の酸化ガリウム単結晶内に残留する欠陥を回復する目的で行う。熱処理は酸素雰囲気中で 1100℃、3～24 時間で行なう。3 時間より短い時間では、結晶性の回復が不十分となり、24 時間よりも長い処理時間をかけても、ほぼ飽和して特性に変化はない。酸素を使うのは、酸化ガリウム単結晶育成時に発生した酸素欠損を補充するためである。

[0029] 単結晶基板 11 のアニーリング後、図示しない以下の S4～S6 の工程により、当該単結晶基板 11 に電極を形成する。

[0030] (S4：オーミック電極の形成)

Ti を 30～100 nm、好ましくは 50～80 nm 蒸着後、Al を 100～300 nm、好ましくは 150～300 nm 蒸着し、Al/Ti のオーミック電極 13 を形成する。電極サイズは 1～5 mmφ、好ましくは 3～4 mmφ とする。なおサイズが大きくなるほど接触抵抗が小さい。蒸着には、例えば電子ビーム蒸着法 (EB 蒸着法) が用いられる。

[0031] (S5：パッド電極の形成)

単結晶基板 11 上に配線用のパッド電極 14 を作製する。パッド電極 14 のサイズは 0.05～1.5 mmφ、Cr (13a) を 10～50 nm、好ましくは 30～50 nm、Au または Pt を 30～100 nm、好ましくは 50～100 nm、単結晶基板 11 上に蒸着する。

[0032] (S6：ショットキー電極の形成)

ショットキー電極 12 の材料として、n 型半導体なので、仕事関数が大きいとされる金属である Au、Pt などが用いられる。Ni を 2～5 nm、好ましくは 2 nm 蒸着後、Au または Pt を 6～10 nm 蒸着し、Au/Ni または Pt/Ti の半透明または透明な透光性を有する金属薄膜の電極を作製する。なお、金属には、Ni 層を挿入しない Au、Pt、さらに Au、Pt のほか、Al、Co、Ge、Sn、In、W、Mo、Cr、Cu 等も使用し得る。蒸着には、例えば EB 蒸着法が用いられる。

[0033] Ni を蒸着するのは、Au または Pt 単体では、基板との密着性が悪いの

で、薄いNi層を挿入して密着性を改善するためである。これが受光面12rになり、この場合の電極サイズは1～5mmφ、好ましくは1～2mmφ。サイズが大きくなるほど受光面拡大につながる。

[0034] (実施例1)

上述したS1～6の工程に従って、紫外線センサ1の作製を行った。

純度4Nの酸化ガリウム粉末をラバーチューブに封入し、静水圧プレスにより圧縮成形した。圧縮成形後、電気炉を用いて1500℃、40時間、大気雰囲気中で焼成し、得られた酸化ガリウム焼結体を用いて、FZ法により酸化ガリウム単結晶を育成した。単結晶成長条件として、成長速度は20mm/h、雰囲気はドライエア、圧力は1気圧の条件で行った。

得たれた酸化ガリウム単結晶のインゴット4をスライドガラスに貼り付け、酸化ガリウム単結晶の成長方向に垂直な直交面が切断面となるよう切断し、これを単結晶基板11とした。単結晶基板11の厚さは、0.65mmとした。

[0035] 切り出した単結晶基板11を研磨治具に貼り付け、#1000の研磨盤で20分研削することで面出しを行った。研磨治具は、ムサシノ電子株式会社製、MA-200Dを使用した。続いて1μmダイヤモンド及びCMPでそれぞれ30分研磨することで鏡面を得た。

[0036] 研磨した単結晶基板11をアセトン、エタノールで洗浄し、酸素雰囲気中で1100℃、4時間で熱処理を行った。

[0037] 次に、上述したS4～6の工程に従って、電極の作製を行なった。単結晶基板11における第2表面のオーミック電極13はTiを75nm蒸着後、Alを300nm蒸着した。一方、単結晶基板11における第1表面のショットキー電極12はNiを2nm蒸着後、Auを8nm蒸着した。配線用のパッド電極14は1mmφとし、Crを50nm蒸着後、Auを100nm蒸着した。このとき、実質的な受光部はショットキー電極部分からパッド電極1mmφを除いた部分になる。

[0038] ショットキー電極12を形成した単結晶基板11を保護するため、予めエ

ポキシ接着剤により窓部材 21 をキャップ 23 に接着し且つリード 31 ~ 32 を設けたパッケージ 2 を用いて、パッケージングを行った。この際、パッケージ 2 内には不活性ガスを充填した。

パッケージングされた紫外線センサ 1 のリード 31 ~ 32 に対し、図 1 に示されるように電流・電圧源 3 を接続し、電流値を測定することにより紫外線の検出を行うことができる。

[0039] このように作製した紫外線センサ 1 を複数用意し、複数の紫外線センサ 1 に対し、岩崎電気株式会社製の低圧水銀ランプ QGL200U-21 を用いて、波長 254 nm の紫外線を連続的に照射し、センサ感度の測定を行った。また、CV 測定により、複数の紫外線センサ 1 の静電容量 [F] を測定した。CV 測定には、三和電気計器株式会社製、M1-490K を使用した。測定結果を図 5 に示す。

[0040] 図 5 は、実施例 1 に係る紫外線センサのセンサ感度と静電容量とを示すグラフである。図 5 に示される斜線範囲は、受光面に a 面を用いた紫外線センサの特性範囲を示す。

受光面に a 面を用いた紫外線センサは、紫外線センサの作製条件を変化させることにより、センサ感度を $1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-4}$ [A/W]、静電容量を $1.0 \times 10^{-12} \sim 1.0 \times 10^{-9}$ [F] まで変化させることができる。図 5 に示されるように、紫外線センサ 1 は、受光面に a 面を用いた紫外線センサと同等のセンサ特性（センサ感度、静電容量等）を有することが確認できた。

また、受光面 12r に a 面を用いた紫外線センサに用いられる単結晶基板は、インゴットから 25 ~ 30 枚程度切り出すことができる。一方、単結晶基板 11 は、インゴット 4 から 50 ~ 60 枚程度切り出すことができた。

[0041] （実施の形態 2）

実施の形態 1 では、上述した手法 A を用いて紫外線センサを作製したが、手法 A に加え、以下の手法 B ~ E を適宜組み合わせることにより、コストの低減及び良好なセンサ特性を有する紫外線センサを作製できる。

手法B：酸化ガリウム単結晶を育成する際に用いる原料粉末中の不純物量を調整し、酸化ガリウム単結晶を育成する手法。

手法C：単結晶基板の表面状態を調整する手法。

手法D：超音波半田器（超音波半田器ごと）を用いて単結晶基板上にオーミック電極を形成し且つ当該単結晶基板とステムとのダイボンディングを行う手法。

手法E：IBS法を用いてショットキー電極を形成する手法。

[0042] 上述した手法A～Eを全て組み合わせた紫外線センサの構成について図6を参照して説明する。

図6は、実施の形態2に係る紫外線センサの構成を示す断面図である。図6において、図1と同一符号のものは、図1に示されたものと同一のものを示しており、重複する説明は省略する。

[0043] 紫外線センサ100は、図1に示されるセンサチップ10に代わりセンサチップ110を有し、パッケージ2に代わりパッケージ102を有する。センサチップ110は、図1に示される単結晶基板11に代わり単結晶基板111を有する。また、センサチップ110は、ショットキー電極12に代わりショットキー電極112を有し、オーミック電極13に代わりオーミック電極113を有する。

[0044] パッケージ102は窓部材21が低融点ガラス124によりキャップ23に接着されている点でパッケージ2とは異なり、単結晶基板111は原料粉末中のSi濃度及びFe濃度と研磨傷とが調整されている点で単結晶基板11と異なる。ショットキー電極112はIBS法を用いて単結晶基板111上に形成されている点でショットキー電極12と異なり、オーミック電極113は超音波半田器を用いて低融点金属により単結晶基板111上に形成されている点でオーミック電極13と異なる。

[0045] 次に、上述した紫外線センサ100の構成を用いて、手法B～Eの詳細を説明する。まず、手法Bについて説明する。

手法Bは、原料粉末中の不純物量を調整することにより、キャリア密度の

低い酸化ガリウム単結晶を育成する手法である。調整する不純物は、S i と F e とが挙げられる。

[0046] 結晶中のキャリア密度とセンサ感度は密接な関係があり、キャリア密度の範囲としては $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{18}$ が好ましく、 $1.47 \times 10^{17} \sim 2.51 \times 10^{18}$ がより好ましく、特に $2 \sim 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ が好ましい。キャリア密度が高過ぎる場合、酸化ガリウム単結晶は導電性が高いが結晶性が低下してしまい、センサチップ 110 へ応用した際、高いセンサ感度が得られないばかりか、暗電流も増加してしまう。一方、キャリア密度が低過ぎる場合、酸化ガリウム単結晶は結晶中の抵抗が高くなり、光電流が流れ難いものとなる。

[0047] S i は、育成した酸化ガリウム単結晶のキャリア密度と密接な関係があるものであり、原料粉末中の S i 濃度は、 $1 \sim 50 \text{ ppm}$ が好ましく、 $5 \sim 30 \text{ ppm}$ がより好ましく、中でも $6 \sim 29 \text{ ppm}$ が特に好ましい。キャリア密度は S i 濃度に比例して増加する傾向にあり、S i 濃度が高すぎると酸化ガリウム単結晶の結晶性が低下してしまいセンサチップ 110 への応用には適さない。一方、S i 濃度が低すぎる場合、酸化ガリウム単結晶中の抵抗が高くなり、センサチップ 110 へ応用した際に流れる光電流が小さくなる。

[0048] F e は、酸化ガリウム単結晶の導電性に影響を与えるものであり、原料粉末中の F e 濃度は、 3 ppm 以下が好ましく、中でも 1 ppm 以下が特に好ましい。これは、F e を多く含んだ原料粉末を用いた酸化ガリウム単結晶からセンサチップ 110 を作製した場合、酸化ガリウム単結晶中に F e が取り込まれることにより、導電性が著しく低下してしまい、紫外線に反応し難くなるためである。

[0049] 次に、手法 C について図 7 を参照して説明する。

図 7 は、ショットキー電極の表面状態を示す図である。図 7 において、図 6 と同一符号のものは、図 6 に示されたものと同一のものを示しており、重複する説明は省略する。

手法 C は、単結晶基板 111 を鏡面研磨する際、単結晶基板 111 の第 1

表面に図 7 に示されるような所定の研磨傷を設けることにより、ショットキー電極 1 1 2 形成時に、凹凸を生じさせショットキー電極 1 1 2 を網目状に形成する手法である。この手法 C は、ショットキー電極 1 1 2 と単結晶基板 1 1 1 との熱膨張率の違いにより生じる応力を緩和させ、ショットキー電極 1 1 2 の断線等に起因したセンサ感度低下を抑制し、センサチップ 1 1 0 の耐久性を向上させる効果を奏する。

[0050] 研磨傷は、長さ 0. 1 ～ 0. 5 mm、幅 0. 0 2 ～ 0. 1 mm のサイズが好ましい。また、研磨傷は、1 mm² の範囲内に、1 0 ～ 1 0 0 個が好ましく、特に 3 0 ～ 6 0 個が好ましい。研磨傷がこのサイズを超える場合、または研磨傷数がこの範囲を超える場合、ショットキー電極 1 1 3 に断線が生じる可能性がある。一方、研磨傷がこのサイズ未満である場合、または研磨傷数がこの範囲未満である場合、上述した応力の緩和が著しく低下する。

[0051] 単結晶基板 1 1 1 の第 1 表面に形成されているショットキー電極 1 1 2 の役割は、紫外線励起により発生したキャリアを集め、光電流として取り出すことである。ショットキー電極 1 1 2 の直下でキャリアが発生した箇所と、パッド電極 1 4 及びボンディングワイヤ 2 5 がショットキー電極 1 1 2 により電氣的に接続されていれば、キャリアは光電流として外へ取り出すことができる。したがって、単結晶基板 1 1 1 の第 1 表面に研磨傷による凹凸があり、この凹凸に伴いショットキー電極 1 1 2 が網目状に形成された場合においても、断線されていない限りショットキー電極 1 1 2 としての機能は大きく損なわれない。なお、研磨傷は、単結晶基板 1 1 1 の第 1 表面のみに限定するものではなく単結晶基板 1 1 1 の第 2 表面等、単結晶基板 1 1 1 の表面に一様に設けてもよい。

[0052] 次に、手法 D について説明する。

手法 D は、超音波半田器を用いて低融点金属により単結晶基板 1 1 1 上にオーミック電極 1 1 3 を形成する手法である。

[0053] 紫外線センサは、紫外線等の光を受け、発生した光電流を信号として取り出すことにより動作する。この光電流を効率よく外部へ取り出すためには、

オーミック電極の低抵抗化が必要になる。蒸着により形成したオーミック電極は、オーミック電極間の抵抗が1～10[kΩ]程度である。この電極を蒸着した酸化ガリウム単結晶基板にシンター処理を施すことにより、オーミック電極間の抵抗を改善することができる。

[0054] しかしながら、手法Dによれば、オーミック電極113の形成時に超音波半田器と低融点金属とを用いることにより、上述したシンター処理を行ったものと同等の抵抗を有するオーミック電極113を形成することができる。更に、蒸着のような真空プロセス要する方法を行うことなく、短時間で単結晶基板111にオーミック電極113を形成することができるため、コストの低減の効果を奏する。例えば、低融点金属には、超音波半田、In、Sn等が用いられる。

[0055] また、オーミック電極113の形成と共に低融点金属を用いて単結晶基板111とステム22とのダイボンディングを行う。ダイボンディング材料に有機物を含まないため、紫外線照射により有機物の分解や分解物による紫外線吸収を抑止することができ、より短波長の紫外線の検出が可能となる効果を奏する。

更に、窓部材21とキャップ23とを低融点ガラス124により接着させることにより、低融点金属を用いたダイボンディングと同様、有機物による紫外線吸収を抑止する効果を奏する。

[0056] 次に、手法Eについて説明する。

手法Eは、IBS法を用いてAuまたはPtを単結晶基板111上に蒸着することにより、ショットキー電極112を形成する手法である。

[0057] 酸化ガリウム単結晶基板上に蒸着する金属薄膜の密度が高いほど紫外線に対する耐久性が高まるが、AuまたはPt単体では、酸化ガリウム単結晶基板との密着性が悪い。この手法では、AuまたはPtをより強い力で基板に供給するため、通常のスパッタリング法に比べ2桁以上の高真空で成膜を行うIBS法を用いる。IBS法による高真空下でのスパッタを行うことにより、その時粒子に与えられた運動エネルギーがほとんど損なわれることなく

所定の基板に堆積させることができるため、密着性及び密度の高い薄膜が得られる。したがって、IBS法を用いて単結晶基板111上に緻密なショットキー電極112を金属薄膜として成膜することにより、例えばEB蒸着法を用いて成膜した電極よりも密度及び密着性の高い電極が得られ、耐久性の改善も可能となる。

[0058] 実施の形態2では、上述した手法AにB～Eを適宜組み合わせて紫外線センサを作製するが、手法BとC、手法BとD、手法CとE等、2つの手法を手法Aに加えた紫外線センサであってもコスト低減、センサ感度の向上等の効果を奏する。なお、手法B～D、手法C～E、手法B、C及びE等3つの手法を手法Aに加えた紫外線センサは、2つの手法を手法Aに加えた紫外線センサよりコスト低減、センサ感度の向上の点でより好ましく、手法Aに手法B～Eを全て加えた紫外線センサが特に好ましい。

[0059] 次に、紫外線センサ100の作製方法について、図8を参照して作製工程毎に説明する。

図8は、実施の形態2に係る紫外線センサの作製工程を説明するための模式図である。

[0060] (S11：酸化ガリウム単結晶の育成および結晶基板の切り出し)

Si濃度30ppm以下、Fe濃度1ppm以下の純度4Nの酸化ガリウム粉末を原料としてラバーチューブに封入し、静水圧プレスにより圧縮成形する。圧縮成形後、電気炉を用いて1400～1600℃、10～40時間、大気雰囲気中で焼成し、得られる酸化ガリウム焼結体を原料棒とする。この原料棒を用いて、FZ (Floating Zone) 法により酸化ガリウム単結晶を育成する。単結晶成長条件として、成長速度は5～30mm/h、雰囲気はドライエア、圧力は1気圧の条件で行なう。

育成した酸化ガリウム単結晶のインゴット104をスライドガラスに貼り付け、酸化ガリウム単結晶の成長方向に垂直な直交面が切断面となるよう切断し、これを単結晶基板111とする。単結晶基板111の厚さは、0.6～0.7mmが好ましい。

[0061] (S 1 2 : 酸化ガリウム単結晶基板の研磨)

切り出した単結晶基板 1 1 1 を研磨治具に貼り付け、# 1 0 0 0 の研磨盤で 1 0 ~ 3 0 分研削することで面出しを行う。続いて 1 μ m ダイヤ及び CMP でそれぞれ 2 0 ~ 6 0 分、好ましくは 2 0 ~ 3 0 分研磨することで鏡面を得る。この際、研磨傷を、長さ 0. 1 ~ 0. 5 mm、幅 0. 0 2 ~ 0. 1 mm のサイズで設け、1 mm² の範囲内に、3 0 ~ 6 0 個設ける。

[0062] (S 1 3 : 単結晶のアニーリング)

研磨した単結晶基板 1 1 1 をアセトン、エタノールで洗浄し、熱処理を行なう。この熱処理は、実施の形態 1 と同様に、単結晶基板 1 1 1 に光励起により発生したキャリアの分離に必要な絶縁層 1 1 1 a を形成し、結晶成長後の酸化ガリウム単結晶内に残留する欠陥を回復する目的で行う。熱処理は、酸素雰囲気中で 1 1 0 0 °C、3 ~ 2 4 時間で行なう。また、Si 濃度が低い原料粉末を用いるなどして用意した、キャリア密度の低い単結晶基板の場合は、キャリアの分離のための絶縁層を必要としないため、この工程は省略することが可能である。

[0063] (S 1 4 : オーミック電極の形成)

2 0 0 ~ 2 5 0 °C に熱した超音波半田器で低融点金属 5 を単結晶基板 1 1 1 の第 2 表面に付ける。その後、好ましくは 1 ~ 5 秒程度超音波で振動を与えることにより、低融点金属 5 の表面酸化膜を破り、低融点金属 5 が単結晶基板 1 1 1 内に拡散することでオーミック電極 1 1 3 を単結晶基板 1 1 1 の第 2 表面全体または一部に形成する。なおサイズが大きくなるほど接触抵抗が小さい。

[0064] (S 1 5 : ステムへのマウント)

3 0 0 ~ 3 5 0 度に熱したホットプレートの上に金属製のブロック 6 a を置き、ブロック 6 a 上にリード 3 1 ~ 3 2 を設けたステム 2 2 を置きこれを熱する。オーミック電極 1 1 3 を形成した単結晶基板 1 1 1 を、オーミック電極 1 1 3 とステム 2 2 とが接するようステム 2 2 上に設置する。単結晶基板 1 1 1 の上からピンセット、スライドガラス等で均一に加圧し、単結晶基

板 1 1 1 における第 2 表面の低融点金属 5 を一様に広げ、単結晶基板 1 1 1 とステム 2 2 とのダイボンディングを行う。ステム 2 2 をブロック 6 a からはずし、冷却することにより単結晶基板 1 1 1 のステム 2 2 へのマウントが完了する。

[0065] (S 1 6 : パッド電極の形成)

ワイヤボンディング用のパッド電極 1 4 を作製する。パッド電極用マスク 6 b で単結晶基板 1 1 1 上方を覆い、EB 蒸着法によりパッド電極 1 4 を形成する。パッド電極 1 4 のサイズは $0.05 \sim 1.5 \text{ mm}\phi$ 、Cr 1 4 a を $10 \sim 100 \text{ nm}$ 、好ましくは $30 \sim 50 \text{ nm}$ 、Au または Pt 1 4 b を $80 \sim 150 \text{ nm}$ 、好ましくは $90 \sim 100 \text{ nm}$ 、単結晶基板 1 1 1 の第 1 表面に蒸着する。

[0066] (S 1 7 : ショットキー電極の形成)

ショットキー電極 1 1 2 の材料として、実施の形態 1 と同様、仕事関数が高いとされる金属である Au、Pt などが用いられる。密着性および耐久性が高いショットキー電極 1 1 2 を単結晶基板 1 1 1 上に蒸着するため、ショットキー電極用マスク 6 c で単結晶基板 1 1 1 の上方を覆い、IBS 法により Au または Pt を $6 \sim 10 \text{ nm}$ 蒸着し、半透明または透明な透光性を有する金属薄膜であるショットキー電極 1 1 2 を作製する。なお、金属には Au、Pt のほか、Al、Co、Ge、Sn、In、W、Mo、Cr、Cu 等も使用し得る。

IBS 法によるショットキー電極の形成では、イオンエネルギー、イオン電流密度、イオン種、スパッタリング時の動作真空度、堆積速度等が形成条件として挙げられる。ショットキー電極 1 1 2 の形成に用いる条件は、イオンエネルギーが $500 \sim 1200 \text{ eV}$ 、イオン電流密度が $1 \sim 10 \text{ mA/cm}^2$ 、イオン種が Ar イオン、動作真空度が $4 \sim 5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ 、堆積速度が $0.1 \sim 0.2 \text{ nm/sec}$ が好ましい。例えば、これらの条件で形成された厚さ 10 nm の Au 薄膜は波長 200 nm での紫外線透過率が 60% 程度である。これが受光面 1 2 r となり、この場合の電極サイズは $1 \sim 5 \text{ mm}\phi$

、好ましくは1～2mmφである。なお、電極サイズが大きいほど受光面は大きくなるが、それに伴い一定照度の紫外線を受けた場合のダメージも大きくなる。

[0067] (実施例2)

図8に示されるS11～S17の工程に従って、Si濃度及びFe濃度の異なる紫外線センサを複数作製した。

Si濃度6ppm、Fe濃度1ppmの純度4Nの酸化ガリウム粉末をラバーチューブに封入し、静水圧プレスにより圧縮成形した。圧縮成形後、電気炉を用いて1500℃、40時間、大気雰囲気中で焼成し、得られた酸化ガリウム焼結体を用いて、FZ法により酸化ガリウム単結晶を育成した。単結晶成長条件として、成長速度は20mm/h、雰囲気はドライエア、圧力は1気圧の条件で行った。

得られた酸化ガリウム単結晶のインゴット104をスライドガラスに貼り付け、直交面41が切断面となるよう切断し、これを単結晶基板111とした。単結晶基板111の厚さは、0.65mmとした。

[0068] 切り出した単結晶基板111を研磨治具に貼り付け、#1000の研磨盤で20分研削することで面出しを行った。研磨治具には、ムサシノ電子株式会社製、MA-200Dを使用した。続いて1μmダイヤモンド及びCMPでそれぞれ30分研磨することで鏡面を得た。

[0069] 研磨した単結晶基板111をアセトン、エタノールで洗浄し、酸素雰囲気中で1100℃、4時間で熱処理を行なった。

[0070] 225度に熱した超音波半田器で低融点金属5を単結晶基板111の第2表面に付け、3秒程度超音波で振動を与えることにより、オーミック電極113を単結晶基板111の第2表面の一部に形成した。

[0071] 325度に熱したホットプレートの上に金属製のブロック6aを置き、ブロック6a上にステム22を置いてこれを熱し、オーミック電極113を形成した単結晶基板111をステム22上に設置した。単結晶基板111の上

からスライドガラスで均一に加圧し、単結晶基板 1 1 1 とステム 2 2 とのダイボンディングを行った。ダイボンディング後、ステム 2 2 をブロック 6 a からはずし、冷却した。

[0072] 冷却後、パッド電極用マスク 6 b で単結晶基板 1 1 1 上方を覆い、EB 蒸着法によりパッド電極 1 4 を形成した。パッド電極 1 4 のサイズは 0. 7 7 5 mmφ、Cr 1 4 a を 5 0 nm、Au 1 4 b を 1 0 0 nm、単結晶基板 1 1 1 の第 1 表面に蒸着した。

[0073] IBS 法により受光面 1 2 r を含む単結晶基板 1 1 1 の第 1 表面に Au を 1 0 nm 蒸着し、ショットキー電極 1 1 2 を形成した。IBS 法の条件としては、イオンエネルギーを 8 5 0 eV、イオン電流密度を 5. 5 mA/cm²、イオン種を Ar イオン、動作真空度を $4. 5 \times 10^{-3}$ Pa、堆積速度を 0. 1 5 nm/sec とした。また、電極サイズは 2 mmφ とした。このとき、実質的な受光部はショットキー電極 1 1 2 の 2 mmφ からパッド電極 1 4 の 0. 7 7 5 mmφ を除いた部分になる。

[0074] ショットキー電極 1 1 2 を形成した単結晶基板 1 1 1 を保護するため、予め低融点ガラス 1 2 4 により窓部材 2 1 をキャップ 2 3 に接着し且つリード 3 1 ~ 3 2 を設けたパッケージ 1 0 2 を用いて、パッケージングを行った。この際、パッケージ 1 0 2 内には不活性ガスを充填し、紫外線センサ 1 0 0 A を作製した。

次に、Si 濃度及び Fe 濃度がそれぞれ異なる複数の原料粉末を用いて、紫外線センサ 1 0 0 A と同様の方法で紫外線センサ B ~ G をそれぞれ作製した。

[0075] 紫外線センサ 1 0 0 A ~ G に対し、岩崎電気株式会社製の低圧水銀ランプ QGL 2 0 0 U - 2 1 を用いて、波長 2 5 4 nm の紫外線を連続的に照射し、紫外線センサとして動作するか否かを確認した。その結果、紫外線センサ 1 0 0 F 及び G は紫外線センサとして動作しなかった。

[0076] 図 9 は、実施例 2 に係る紫外線センサの不純物濃度を示すグラフである。図 9 に示される A ~ G のそれぞれは、紫外線センサ 1 0 0 A ~ G のそれぞれ

を示す。また、斜線範囲は紫外線センサとして動作するFe濃度の範囲を示す。図9に示されるように、紫外線センサとして動作しない紫外線センサ100F及びGは、Fe濃度が14及び18ppmである。このことから、斜線範囲外のFe濃度14以上のものは、紫外線センサとして動作しないことが確認できた。また、Fe濃度3以下のものは、紫外線センサとして動作することが確認できた。

[0077] 次に、紫外線センサ100A～Cが有するセンサチップの比抵抗 $[\Omega \text{ cm}]$ とキャリア密度 $[\text{cm}^{-3}]$ をバイオ・ラッド ラボラトリーズ株式会社製、ホール効果測定装置を用いて測定した。測定結果を図10及び11に示す。

[0078] 図10は、実施例2に係る紫外線センサの不純物濃度、比抵抗及びキャリア密度を示す表である。図11は、実施例2に係る紫外線センサの比抵抗、キャリア密度及びSi濃度の相関を示すグラフである。

図10及び11に示されるように、Si濃度が増加するに伴いキャリア密度及び比抵抗が減少し、Si濃度が減少するに伴い、キャリア濃度及び比抵抗が増加することから、原料粉末中に含まれるSi濃度は育成した酸化ガリウム単結晶のキャリア密度と密接な関係があることが確認できた。

[0079] (実施例3)

図8に示されるS11～S17の工程に従って、単結晶基板表面の状態が異なる紫外線センサを複数作製した。

Si濃度4ppm、Fe濃度1ppmの原料粉末を用い、その他は実施例2と同様の条件で複数の紫外線センサを作製した。なお、複数の紫外線センサの作製に際し、図8のS12で示した酸化ガリウム単結晶基板の研磨の工程において、複数の紫外線センサそれぞれが、単結晶基板111上の単位面積当たりの研磨傷数が異なるよう研磨傷を調整した。

作製した研磨傷数が異なる複数の紫外線センサに対し、岩崎電気株式会社製の低圧水銀ランプQGL200U-21を用いて、波長254nmの紫外線を連続的に照射し、そのセンサ感度と当該センサ感度が10%低下するま

での時間を測定した。測定結果を図 12 に示す。

[0080] 図 12 は、実施例 3 に係る紫外線センサのセンサ感度、センサの寿命及び研磨傷の個数の相関を示すグラフである。

図 12 に示されるように、研磨傷数の増加に伴いセンサ感度が軽微に減少するが、大きな低下は見られない。このことから、研磨傷数がセンサ感度を与える影響は大きくないことが確認できた。一方、センサ感度が 10% 低下するまでの時間は、研磨傷数の増加に伴い長くなることが確認できた。これは、研磨傷による単結晶基板 111 における第 1 表面の凹凸に応じてショットキー電極 112 が網目状に形成された場合、紫外線照射に伴う熱の影響を緩和できるためである。なお、研磨傷を設けない平坦な単結晶基板 111 に均一にショットキー電極 112 を形成した場合、センサ感度が高いが、熱により Au 等の金属薄膜が凝集し、感度低下に繋がる可能性がある。

[0081] (実施例 4)

図 8 に示される S11 ~ S17 の工程に従って、オーミック電極の形成方法が異なる紫外線センサを複数作製した。

Si 濃度 4 ppm、Fe 濃度 1 ppm の原料粉末を用い、その他は実施例 2 と同様の条件で紫外線センサ 100H を作製した。なお、紫外線センサ 100H の作製に際し、図 8 の S14 で示したオーミック電極の形成の工程において、低融点金属として黒田テクノ株式会社製のセラソルザー（登録商標）を用いて単結晶基板 111 上にオーミック電極 113 を形成した。

[0082] また、図 8 の S14 で示したオーミック電極の形成の工程に代わり、実施の形態 1 の S4 で示したオーミック電極の形成の工程を用いた紫外線センサ 100I と紫外線センサ 100J とを作製した。

紫外線センサ 100I は、当該オーミック電極の形成の工程において、Ti / Al の蒸着によりオーミック電極を形成した酸化ガリウム単結晶基板を有する。また、紫外線センサ 100I は、In 接合を用いて当該酸化ガリウム単結晶基板をステム 22 にマウントされている。

紫外線センサ 100J は、当該オーミック電極形成の工程において、Ti

／A I の蒸着によりオーミック電極を形成し且つシンター処理（800℃・2分）を施した酸化ガリウム単結晶基板を有する。また、紫外線センサ100Jは、銀ペーストを用いて当該酸化ガリウム単結晶基板をステム22にマウントされている。

[0083] これら紫外線センサ100H～Jのオーミック電極間の抵抗を、菊水電子工業株式会社製、ダイオードカーブトレサを用いて測定した。また、紫外線センサ100H～Jに対し、上述したSLUV-6を用いて波長254nmの紫外線を連続的に照射し、センサ感度を測定した。測定結果を図13及び14に示す。

[0084] 図13は、実施例4に係る紫外線センサにおけるオーミック電極間の抵抗を示すグラフである。図14は、実施例4に係る紫外線センサにおけるセンサ感度を示すグラフである。図13及び14に示されるH～Jのそれぞれは、紫外線センサ100H～Jをそれぞれ示す。

[0085] 図13に示されるように、蒸着により形成した紫外線センサ100Iのオーミック電極は、抵抗が1～10kΩであり、シンター処理を施した紫外線センサ100Jのオーミック電極は、10～1000Ωである。よって、シンター処理により抵抗の改善が確認できるが、工程が増加していることからコストアップに繋がる。一方、紫外線センサ100Hのオーミック電極113は、紫外線センサ100Jと同等の抵抗を有していることが確認できた。

[0086] また、図14に示されるように、紫外線センサ100Jは紫外線センサ100Iよりセンサ感度がよく、紫外線センサ100Hは紫外線センサ100Jよりセンサ感度がよいことが確認できた。このことから、超音波半田を用いることにより、オーミック特性が改善され、その結果、紫外線センサとして取り出せる光電流が増加することがわかる。

[0087] （実施例5）

図8に示されるS11～S17の工程に従って、ショットキー電極の形成方法が異なる紫外線センサを複数作製した。

Si濃度24ppm、Fe濃度1ppmの原料粉末を用い、その他は実施

例２と同様の条件で紫外線センサ１００Ｋを作製した。

また、図８のＳ１７で示したショットキー電極の形成の工程に代わり、実施の形態１のＳ６で示したショットキー電極の形成の工程を用いた紫外線センサ１００Ｌを作製した。

[0088] 紫外線センサ１００Ｋ及びＬに対し、上述したＱＧＬ２００Ｕ－２１を用いて波長２５４ｎｍの紫外線を連続的に照射し、センサ感度を測定した。測定結果を図１５に示す。

[0089] 図１５は、実施例５に係る紫外線センサにおけるセンサ感度を示すグラフである。図１５に示されるＫ及びＬは、紫外線センサ１００Ｋ及びＬを示す。

図１５に示されるように、紫外線センサ１００Ｌはセンサ感度が $3 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-4}$ [A/W] であるが、紫外線センサ１００Ｋは $1 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$ [A/W] である。したがって、ＩＢＳ法を用いてショットキー電極１１２を形成するとセンサ感度が向上することが確認できた。

[0090] 本発明は、その要旨または主要な特徴から逸脱することなく、他の様々な形で実施することができる。そのため、前述の実施の形態１～２は、あらゆる点で単なる例示に過ぎず、限定的に解釈してはならない。本発明の範囲は、特許請求の範囲によって示すものであって、明細書本文には、何ら拘束されない。更に、特許請求の範囲の均等範囲に属する全ての変形、様々な改良、代替および改質は、全て本発明の範囲内のものである。

[0091] なお、特許請求の範囲に記載の直交面は、例えば、前述の実施の形態１及び２における直交面４１であり、受光面は、例えば、受光面１２ｒである。酸化ガリウム単結晶基板は、例えば、酸化ガリウム単結晶基板１１及び１１１であり、パッケージは、例えば、パッケージ２及びパッケージ１０２である。第１表面は、例えば、酸化ガリウム単結晶基板１１及び１１１の第１表面であり、第２表面は、例えば、酸化ガリウム単結晶基板１１及び１１１の第２表面である。低融点金属は、例えば、低融点金属５であり、低融点ガラスは、例えば、低融点ガラス１２４である。窓部材は、例えば、窓部材２１

であり、第 1 及び第 2 端子は、例えば、リード 3 1 及び 3 2 である。

符号の説明

- [0092] 1, 1 0 0 紫外線センサ、
2, 1 0 2 パッケージ、
3 電流・電圧源、
4, 1 0 4 インゴット、
5 低融点金属、
1 0, 1 1 0 センサチップ、
1 1, 1 1 1 酸化ガリウム単結晶基板、
1 2, 1 1 2 ショットキー電極、
1 3, 1 1 3 オーミック電極、
1 4 パッド電極、
2 0 開口部、
2 1 窓部材、
2 2 ステム、
2 3 キャップ、
2 4 接着剤、
2 5 ボンディングワイヤ、
2 6 ガラス、
3 1, 3 2 リード、
3 1 a リード 3 1 の一端、
4 1 直交面、
1 2 4 低融点ガラス。

請求の範囲

- [請求項1] 酸化ガリウム単結晶の成長方向に対して直交する直交面または該直交面から所定の角度傾斜した面を受光面とする酸化ガリウム単結晶基板と、
- 前記酸化ガリウム単結晶基板の第1表面に形成された第1電極と、
- 前記受光面を含む前記酸化ガリウム単結晶基板の第2表面に形成された第2電極と、
- を備えることを特徴とする紫外線センサ。
- [請求項2] 前記所定の角度は、前記直交面と前記酸化ガリウム単結晶における(001)面とがなす角度であって、該角度の方向に前記直交面から -20° 以上、 20° 以下の角度である請求項1記載の紫外線センサ。
- [請求項3] 前記第1電極は、前記酸化ガリウム単結晶基板とオーミック接触をなすオーミック電極であり且つ低融点金属が前記酸化ガリウム単結晶基板内の一部に拡散することにより形成されている請求項1または請求項2記載の紫外線センサ。
- [請求項4] 前記第2電極は、前記受光面に形成され、前記酸化ガリウム単結晶基板とショットキー接触をなし且つ前記酸化ガリウム単結晶基板上にIBS法により蒸着された透光性を有する金属薄膜である請求項1記載の紫外線センサ。
- [請求項5] 前記酸化ガリウム単結晶基板を内部に收容すると共に外部雰囲気から封止し、少なくとも一部に紫外線に対して透光性を有する窓部材が設けられているパッケージと、
- 前記第1電極及び前記第2電極と電氣的に接続されると共に前記パッケージの外部に引き出された第1及び第2端子と
- を更に備える請求項1記載の紫外線センサ。
- [請求項6] 前記窓部材は、低融点ガラスにより前記パッケージに接着されており、

前記酸化ガリウム単結晶基板は、低融点金属により前記パッケージ内部にダイボンディングされている請求項5記載の紫外線センサ。

[請求項7] 前記受光面は、 1 mm^2 当たり、長さ 0.1 mm 以上、 0.5 mm 以下および幅 0.02 mm 以上、 0.1 mm 以下の傷を、 10 個以上、 100 個以下有することを特徴とする請求項1記載の紫外線センサ。

[請求項8] 前記酸化ガリウム単結晶は、 Si 濃度 1 ppm 以上、 50 ppm 以下、 Fe 濃度 3 ppm 以下である請求項1記載の紫外線センサ。

[請求項9] 前記酸化ガリウム単結晶は、キャリア密度が $1 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以下の電氣的導電性を有する請求項1記載の紫外線センサ。

[請求項10] 酸化ガリウム単結晶の成長方向に対して直交する直交面または該直交面から所定の角度傾斜した面が切断面となるよう、前記酸化ガリウム単結晶を所定の厚さで切断して切断面を受光面とし、

前記酸化ガリウム単結晶基板の第1表面に第1電極を形成し、
前記受光面を含む前記酸化ガリウム単結晶基板の第2表面に第2電極を形成する

ことを特徴とする紫外線センサの製造方法。

[請求項11] 前記所定の角度は、前記直交面と前記酸化ガリウム単結晶における (001) 面とがなす角度であって、該角度の方向に前記直交面から -20° 以上、 20° 以下の角度である請求項10記載の紫外線センサの製造方法。

[請求項12] 前記第1電極は、前記酸化ガリウム単結晶基板の表面とオーミック接触をなすオーミック電極であり、

前記第1電極を、超音波半田器による所定の超音波により低融点金属を前記酸化ガリウム単結晶基板内の一部に拡散させることで形成する請求項10または請求項11記載の紫外線センサの製造方法。

[請求項13] 前記第2電極は、前記酸化ガリウム単結晶基板の表面とショットキ

一接触をなすショットキー電極であり、

前記第2電極を、I B S法により前記酸化ガリウム単結晶基板上に透光性を有する金属薄膜を蒸着させることで形成する請求項10記載の紫外線センサの製造方法。

[請求項14] 少なくとも一部に紫外線に対して透光性を有する窓部材が設けられているパッケージ内に前記第1電極及び前記第2電極を形成した前記酸化ガリウム単結晶基板を收容すると共に外部雰囲気から封止し、

前記第1電極及び前記第2電極と電氣的に接続された第1及び第2端子を前記パッケージの外部に引き出す請求項10記載の紫外線センサの製造方法。

[請求項15] 前記窓部材を、低融点ガラスにより前記パッケージに接着し、
前記酸化ガリウム単結晶基板を、低融点金属により前記パッケージ内部にダイボンディングする請求項14記載の紫外線センサの製造方法。

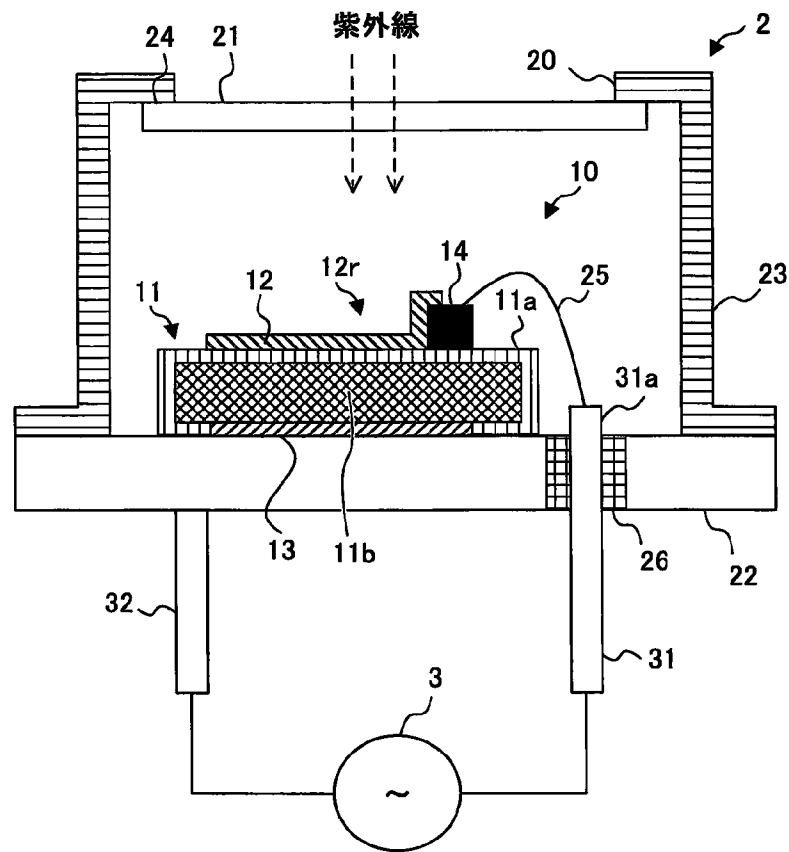
[請求項16] 前記切断面に対し、 1 mm^2 当たり、長さ 0.1 mm 以上、 0.5 mm 以下および幅 0.02 mm 以上、 0.1 mm 以下の傷を、10個以上100個以下有するよう研磨を行い、研磨した前記切断面を受光面とする請求項10記載の紫外線センサの製造方法。

[請求項17] 前記酸化ガリウム単結晶は、Si濃度 1 ppm 以上、 50 ppm 以下、Fe濃度 3 ppm 以下である酸化ガリウム粉末を圧縮成形し、所定の条件で焼成して得られる酸化ガリウム焼結体の原料棒を用いて、FZ法により酸化ガリウム単結晶を育成して得る請求項10記載の紫外線センサの製造方法。

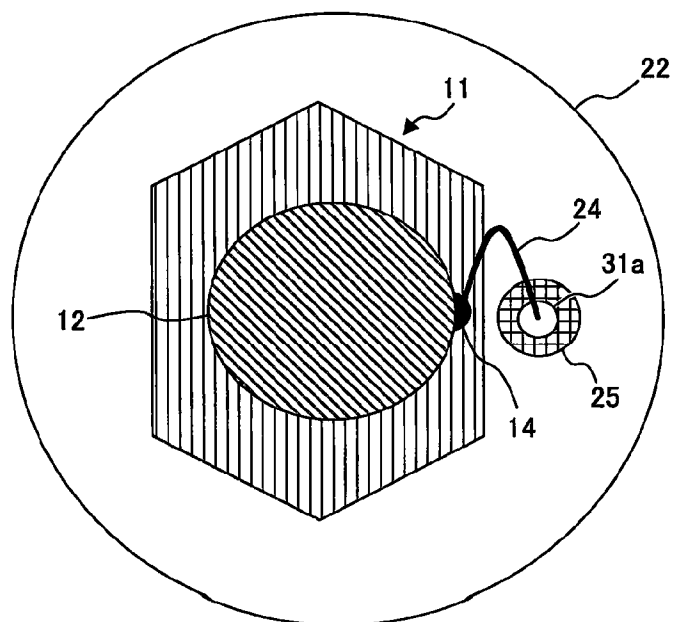
[請求項18] 前記酸化ガリウム単結晶は、キャリア密度が $1 \times 10^{17}\text{ cm}^{-3}$ 以上、 $1 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ 以下の電氣的導電性を有する請求項10記載の紫外線センサの製造方法。

[図1]

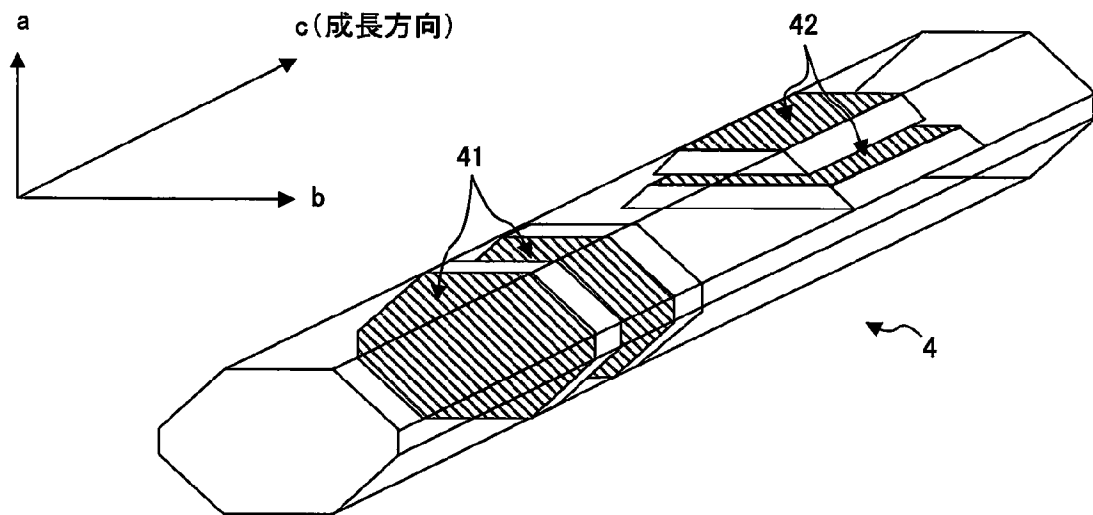
1



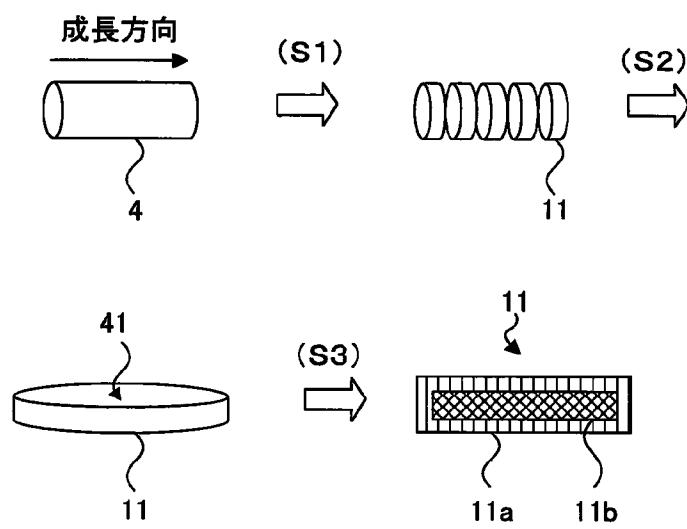
[図2]



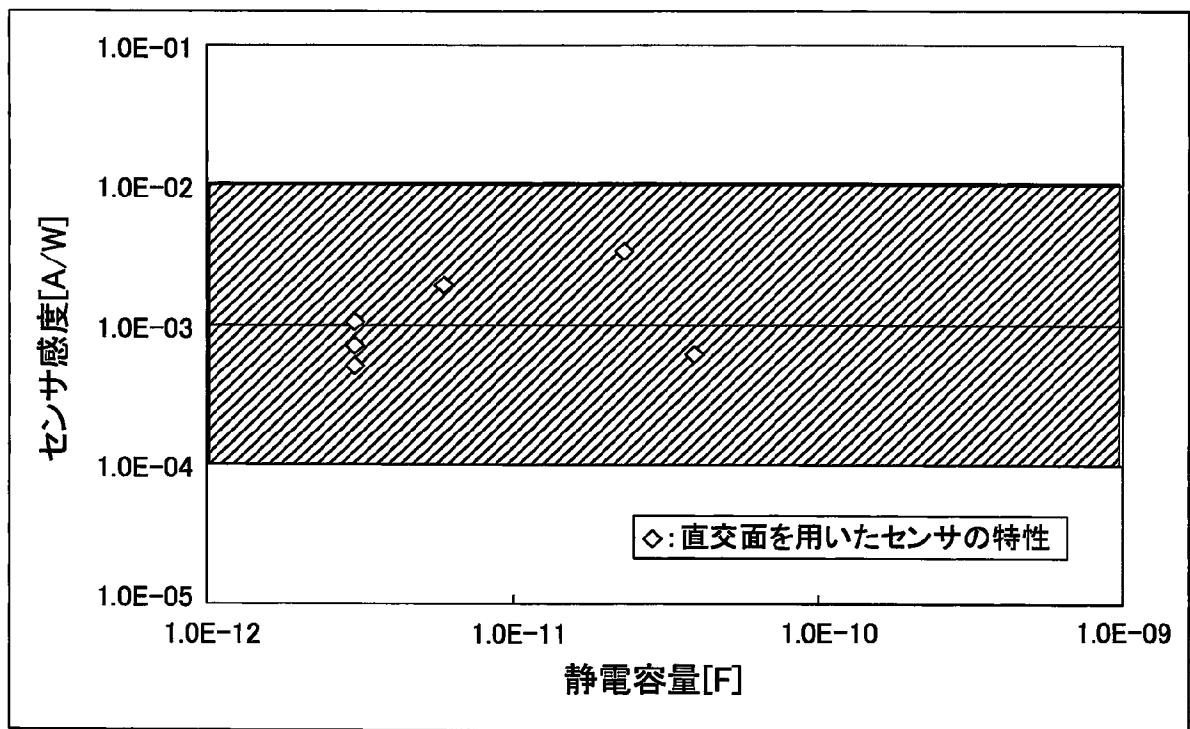
[図3]



[図4]

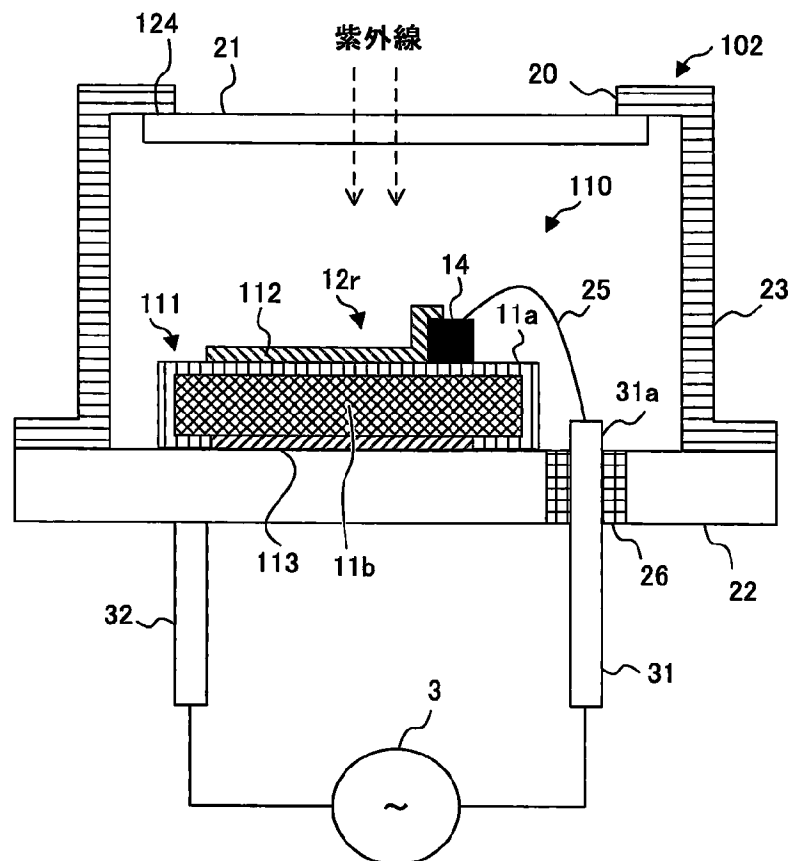


[図5]

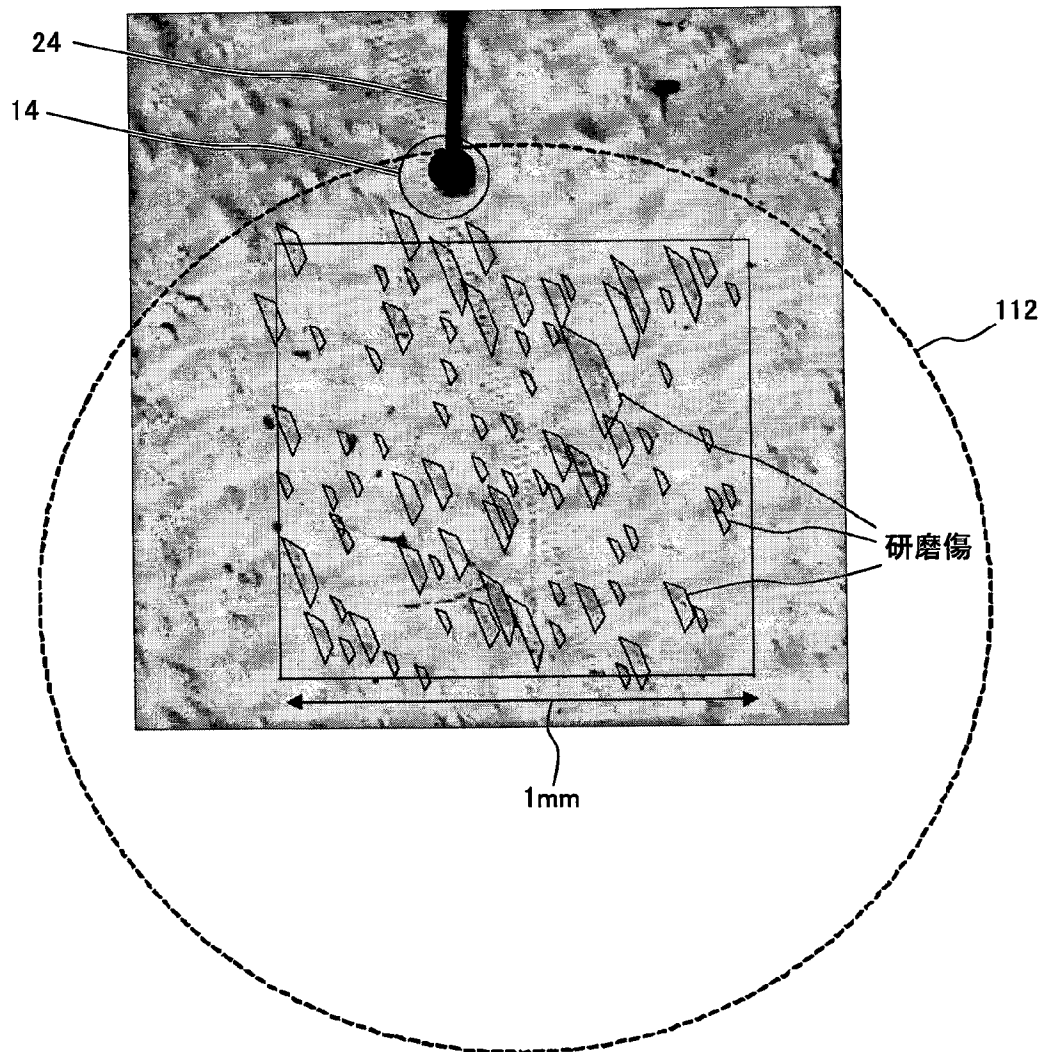


[図6]

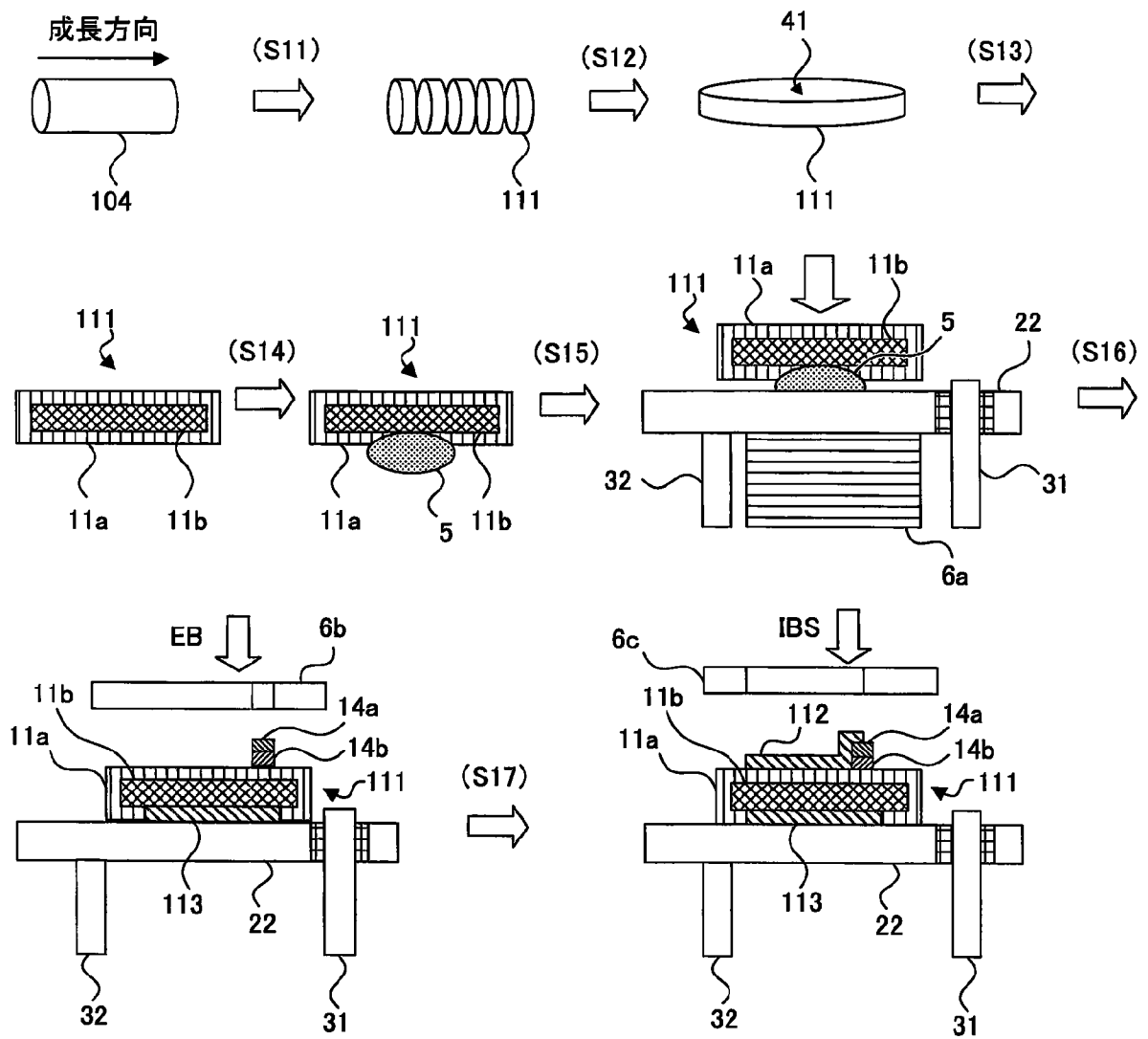
100



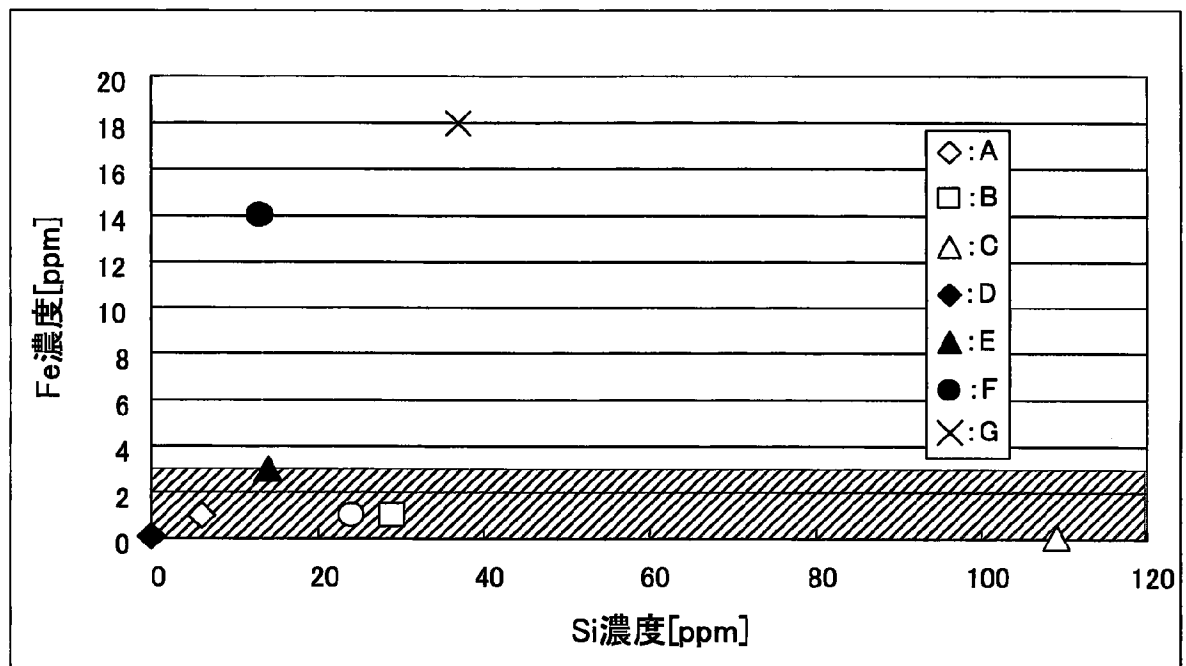
[図7]



[図8]



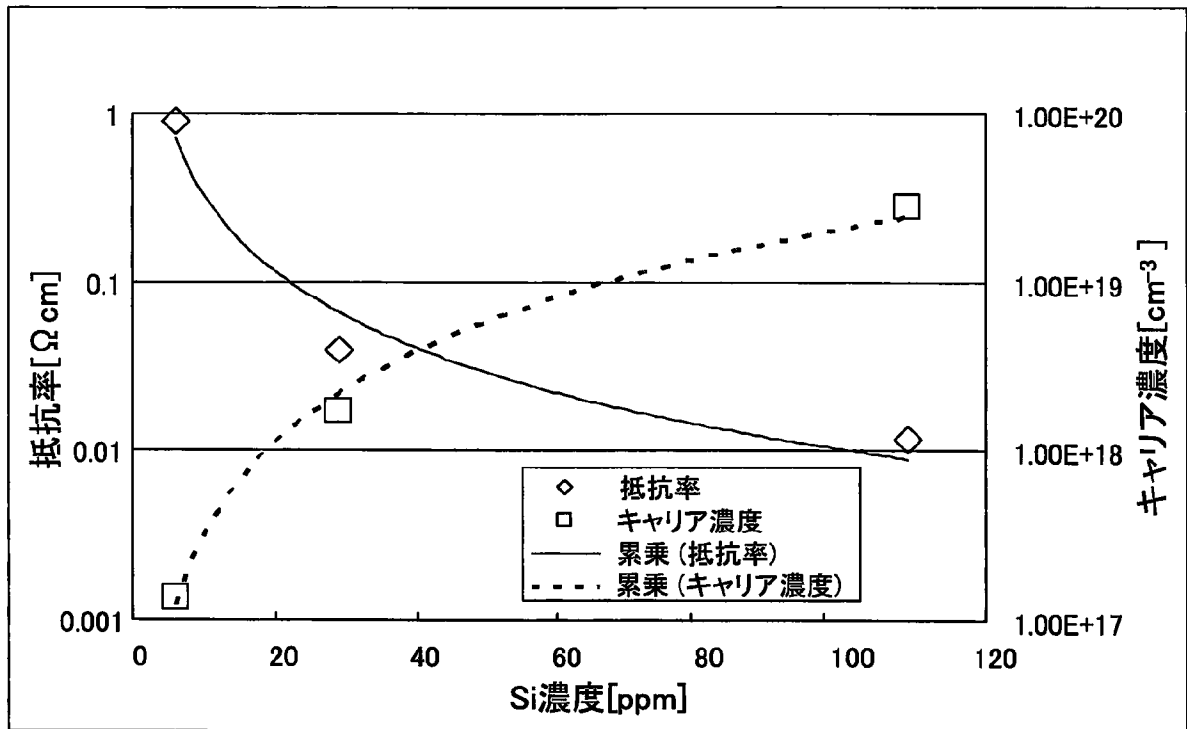
[図9]



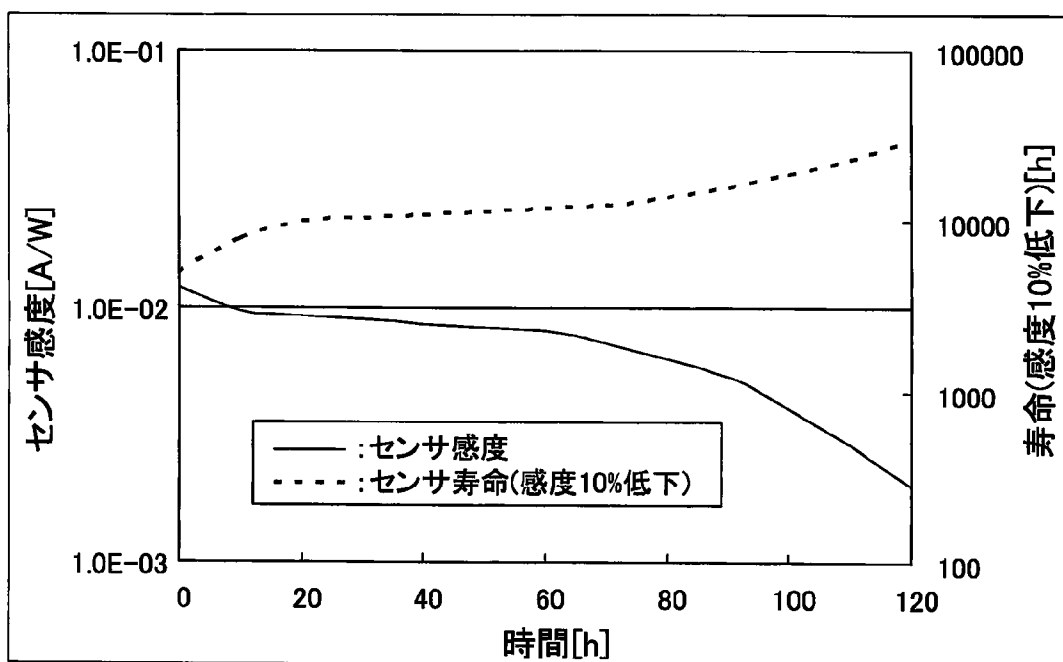
[図10]

	Fe [ppm]	Si [ppm]	比抵抗 [Ω cm]	キャリア密度 [cm^{-3}]
A	1.0	6	$0.60 \Omega \text{ cm}$	1.70×10^{17}
B	1.0	29	$0.04 \Omega \text{ cm}$	2.51×10^{18}
C	0.1	109	$0.01 \Omega \text{ cm}$	1.47×10^{19}

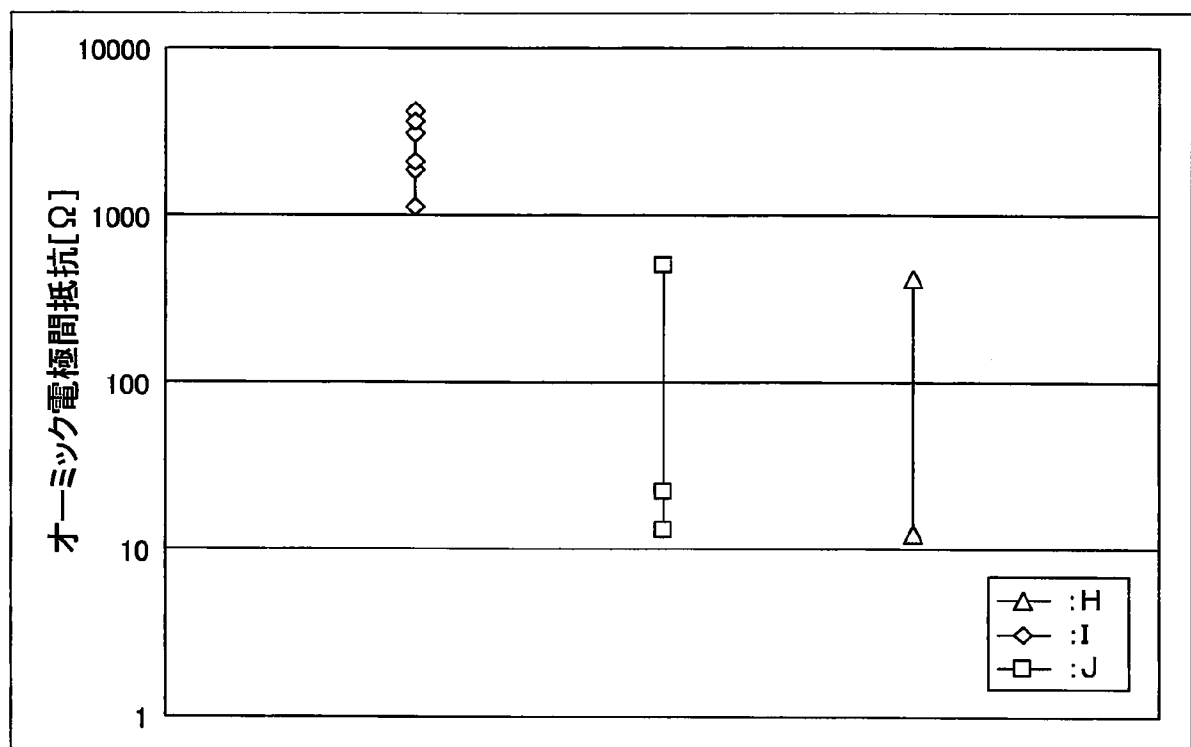
[図11]



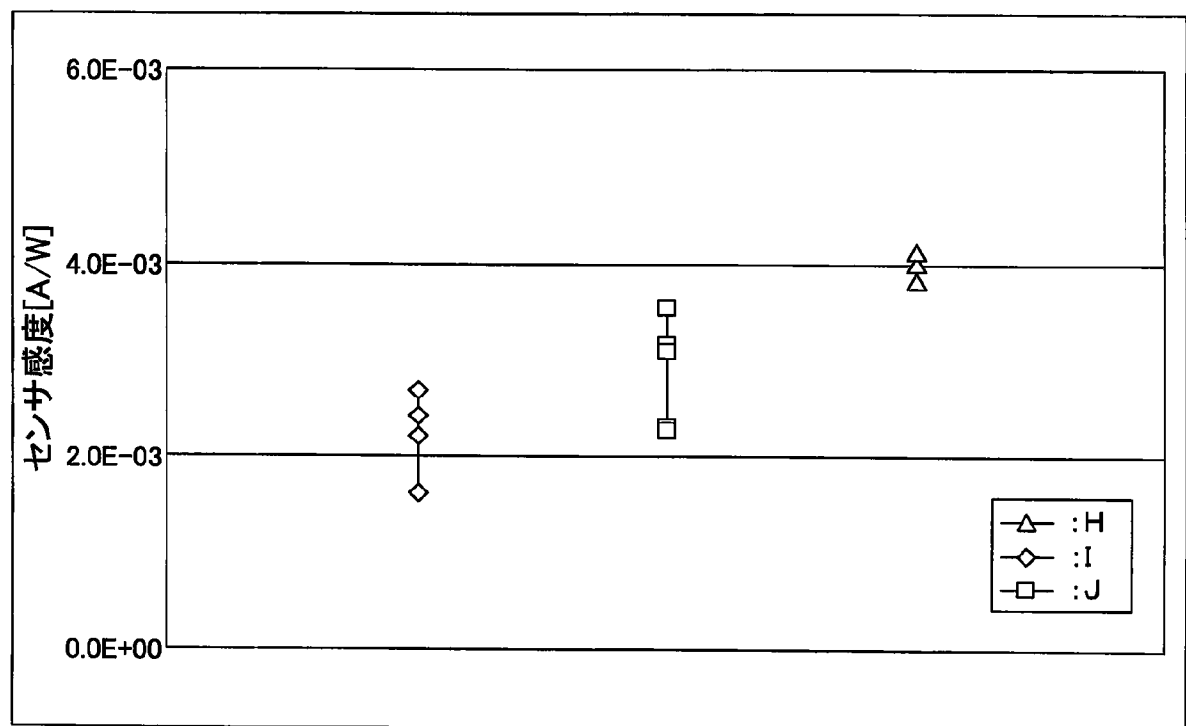
[図12]



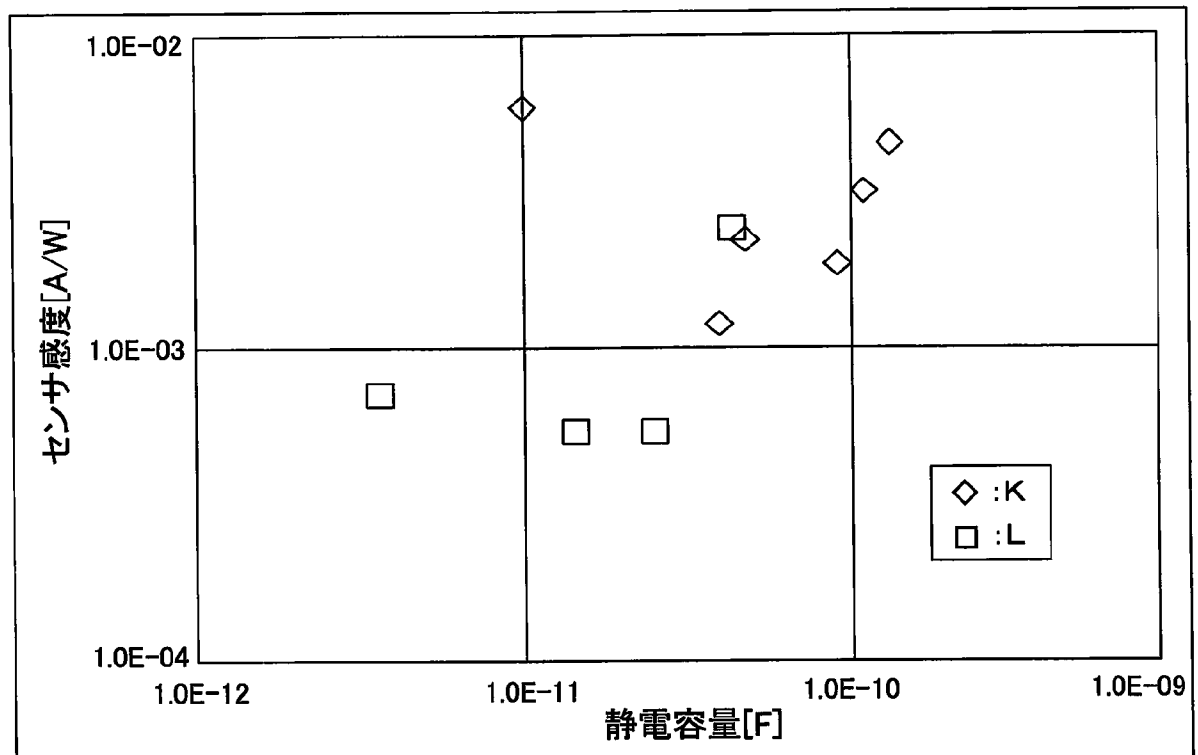
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/053130

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L31/108(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)

H01L31/108

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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	WO 2009/157512 A1 (Tokai Toyo Aluminium Hanbai Kabushiki Kaisha), 30 December 2009 (30.12.2009), entire text; all drawings & JP 2010-10357 A	1-18
Y	JP 2008-47813 A (Toyobo Co., Ltd.), 28 February 2008 (28.02.2008), paragraphs [0003], [0010] (Family: none)	1-18

☐

Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 May, 2011 (13.05.11)

Date of mailing of the international search report

24 May, 2011 (24.05.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01L31/108 (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（I P C））

Int.Cl. H01L31/108

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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	WO 2009/157512 A1（東海東洋アルミ販売株式会社）2009.12.30, 全文, 全図 & JP 2010-10357 A	1 - 1 8
Y	JP 2008-47813 A（東洋紡績株式会社）2008.02.28, 【0003】, 【0010】（ファミリーなし）	1 - 1 8

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

「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
「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
「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）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「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
「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
「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
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 3 . 0 5 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 5 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

瀬川 勝久

2 K

9 1 2 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 5