(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
2016 年 10 月 13 日(13.10.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/163419 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 5/22 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2016/061300

(22) 国際出願日: 2016 年 4 月 6 日(06.04.2016)

(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 2015-079583 2015 年 4 月 8 日(08.04.2015) JP

(71) 出願人: 国立大学法人京都大学(KYOTO UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ Kyoto (JP). 株式会社シンターランド(SINTER LAND INC.) [JP/JP]; 〒9402055 新潟県長岡市雨池町１２３番地 Niigata (JP). 株式会社プラウド(PROUD INC.) [JP/JP]; 〒5270024 滋賀県東近江市札の辻２丁目６番９号 Shiga (JP).

(72) 発明者: 三浦 清貴(MIURA, Kiyotaka); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 藤原 和樹(FUJIWARA, Kazuki); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 下間 靖彦(SHIMOTSUMA, Yasuhiko); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 森下 浩平(MORISHITA, Kohei); 〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町３６番地１ 国立大学法人京都大学内 Kyoto (JP). 佐藤 智宏(SATO, Tomohiro); 〒9402055 新潟県長岡市雨池町１２３番地 株式会社シンターランド内 Niigata (JP). 八戸 啓(HACHINOHE, Satoru); 〒5270024 滋賀県東近江市札の辻２丁目６番９号 株式会社プラウド内 Shiga (JP).

(74) 代理人: 河本 尚志(KAWAMOTO, Takashi); 〒6128101 京都府京都市伏見区観音寺町２１８武三ビルディング４１１号室 河本特許事務所 Kyoto (JP).

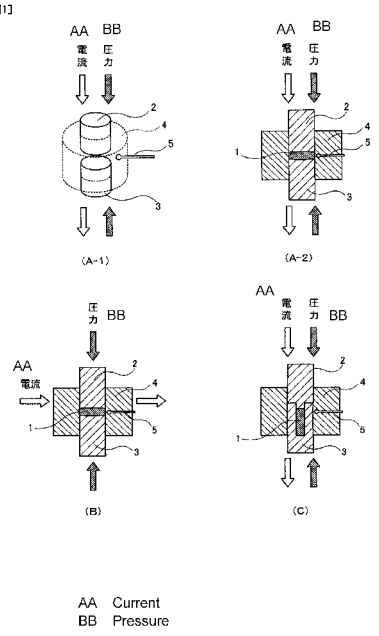
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,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

[続葉有]

(54) **Title**: METHOD FOR PROCESSING Cz-Si FOR INFRARED TRANSMITTING MEMBER, METHOD FOR MANUFACTURING INFRARED TRANSMITTING MEMBER, AND INFRARED TRANSMITTING MEMBER

(54) 発明の名称 : 赤外線透過部材用Ｃｚ－Ｓｉの加工方法、赤外線透過部材の製造方法および赤外線透過部材

[図1]



(57) **Abstract**: Provided is a method for processing Cz-Si for an infrared transmitting member, the method involving improvement in infrared transmissivity. The method is provided with: a step for preparing Cz-Si created by a Czochralski method; a step for bringing the Cz-Si into contact with a pressure jig formed from a material principally comprising a conductive material; and a step for applying a current to the press jig to thereby raise, by self-heating, the temperature of the Cz-Si to a target temperature at which a desired infrared transmissivity is obtainable in the vicinity of a wavelength of 9 μm, and applying pressure to the pressure jig to thereby mold the Cz-Si by plastic deformation.

(57) 要約: 赤外線透過率の改善を伴った赤外線透過部材用Ｃｚ-Ｓｉの加工方法を提供する。 チョクラルスキー法により作製されたＣｚ-Ｓｉを用意する工程と、Ｃｚ-Ｓｉを、導電性材料を主体とした材料からなる加圧治具に当接させる工程と、加圧治具に電流を印加することにより、Ｃｚ-Ｓｉを、自己発熱により、波長９μｍ付近において所望の赤外線透過率を得うる目標温度に昇温させるとともに、加圧治具に圧力を加え、前記Ｃｚ-Ｓｉを塑性変形により成型する工程と、を備える。

WO 2016/163419 A1

PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, 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 ：

赤外線透過部材用Ｃｚ－Ｓｉの加工方法、赤外線透過部材の製造方法および赤外線透過部材

技術分野

[0001] 本発明は、赤外線透過部材用Ｃｚ-Ｓｉの加工方法に関し、さらに詳しくは、赤外線透過率の改善を伴った赤外線透過部材用Ｃｚ-Ｓｉの加工方法に関する。

[0002] また、本発明は、上記赤外線透過部材用Ｃｚ-Ｓｉの加工方法を使用した、赤外線透過部材の製造方法に関する。

[0003] さらに、本発明は、上記赤外線透過部材の製造方法により製造された赤外線透過部材に関する。

背景技術

[0004] 赤外線センサー、赤外線カメラなどの赤外線装置に使用するレンズ（たとえば凸レンズ）、窓部材、フィルタなどの赤外線透過部材の材料には、高い赤外線透過率が求められる。

[0005] 高い赤外線透過率を備えた材料としては、たとえば、Ｓｉ系半導体結晶体、Ｇｅ系半導体結晶体、ＺｎＳｅやＺｎＳなどのワイドギャップII-VI族半導体結晶体、Ｇｅ-Ａｓ-Ｓｅなどのカルコゲナイドガラス、BaF_2などのフッ化物などが知られている。

[0006] これらのうち、Ｇｅ系半導体結晶体やII-VI族半導体結晶体には、高価であるという問題がある。また、カルコゲナイドガラスには、機械的強度が十分でないという問題がある。さらに、フッ化物には、耐水性が低いという問題がある。

[0007] そこで、赤外線装置など赤外線透過部材に適切な材料として、これらの問題がないＳｉ系半導体結晶体をあげることができる。

[0008] Ｓｉ系半導体結晶体の主な製造方法として、チョクラルスキー法（Ｃｚ法

）とフローティングゾーン法（ＦＺ法）とが知られている。なお、以下においては、Ｃｚ法により製造されたＳｉ系半導体結晶体をＣｚ−Ｓｉ、ＦＺ法により製造されたＳｉ系半導体結晶体をＦＺ−Ｓｉと称呼する。

[0009] Ｃｚ−Ｓｉは、一般に、ＦＺ−Ｓｉに比べて製造コストが安い。また、ＦＺ法は、多結晶原料棒を高周波コイルなどに通して過熱し、融解させて製造するため、ＦＺ−Ｓｉは大口径化が難しいという問題があるが、Ｃｚ−Ｓｉにはそのような問題はない。

[0010] そこで、赤外線透過部材の材料にＳｉ系半導体結晶体を使う場合であっても、ＦＺ−Ｓｉを使うよりもＣｚ−Ｓｉを使った方が、製造コストおよび設計の自由度において優れている。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：特許第５３８２３８２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] しかしながら、Ｃｚ−Ｓｉには、波長９μｍ付近に赤外線透過率の低い領域（吸収係数の大きい領域）が存在するという問題があった。

[0013] 図１３に、Ｃｚ−Ｓｉの赤外域の吸収係数と、ＦＺ−Ｓｉの赤外域の吸収係数とを示す。

[0014] 図１３から分かるように、Ｃｚ−Ｓｉには、波長９μｍ付近に赤外線透過率の低い領域が存在している。これに対し、ＦＺ−Ｓｉには、波長９μｍ付近に赤外線透過率の低い領域はみられない。

[0015] Ｃｚ−Ｓｉの波長９μｍ付近の赤外線透過率の低い領域は、Ｃｚ法によりＣｚ−Ｓｉを製造する際に、石英坩堝からの溶出酸素が結晶内に取り込まれ、この格子間酸素が原因で発生しているものと考えられる。一方、ＦＺ法は坩堝を使わないので、この問題は発生しない。

[0016] 赤外線装置の赤外線透過部材にとって、波長９μｍ付近は重要な領域であ

る。すなわち、人感センサーにおいては、約９．６μｍにピークがある人体が発生する赤外線を効率良く透過させる必要がある。また、赤外線カメラにおいては、大気中の水分による吸収が少ない８～１２μｍの赤外線を効率良く透過させる必要がある。

[0017] そのため、Ｃｚ-Ｓｉは、ＦＺ-Ｓｉに比べて製造コストおよび設計の自由度において優れているにもかかわらず、赤外線装置の赤外線透過部材の材料として使用することが困難であった。

[0018] 本発明は、上述したＣｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率を改善し、Ｃｚ-Ｓｉを材料にした赤外線透過部材の実用化を可能にするためになされたものである。

[0019] なお、従来、Ｓｉ系半導体結晶体の加工は、研削研磨法やガスエッチング法を使用するのが一般的であった。しかしながら、近年、特許文献１（特許第５３８２３８２号公報）などに開示されるような、電流を流しながら加圧するＳｉ系半導体結晶体の加工方法も知られている。

[0020] 本発明の発明者らは、鋭意研究の結果、温度、加圧する圧力の大きさ、その他の条件を満たすことにより、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率を改善し得ることを見出した。本発明は、この知見を用いることにより、Ｃｚ-Ｓｉの赤外線透過部材としての実用化を可能にしたものである。

課題を解決するための手段

[0021] 本発明は、上述した従来の問題を解決するためになされたものであり、その手段として本発明の赤外線透過部材用Ｃｚ-Ｓｉの加工方法は、チョクラルスキー法により作製されたＣｚ-Ｓｉを用意する工程と、Ｃｚ-Ｓｉを、導電性材料を主体とした材料からなる加圧冶具に当接させる工程と、加圧冶具に電流を印加することにより、Ｃｚ-Ｓｉを、自己発熱により、波長９μｍ付近において所望の赤外線透過率を得うる目標温度に昇温させるとともに、加圧冶具に圧力を加え、Ｃｚ-Ｓｉを塑性変形により成型する工程と、を備えるようにした。

[0022] 加圧治具は、たとえば1対のパンチで構成することができる。

[0023] また、電流は、たとえばパルス電流とすることができる。

[0024] 目標温度は、好ましくは、６５０℃以上、１０５０℃以下である。この場合には、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率を改善することができる。より好ましくは、目標温度は７００℃以上、１０００℃以下である。この場合には、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率をより確実に改善することができる。さらに好ましくは、目標温度は８００℃以上、９００℃以下である。この場合には、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率をさらに確実に改善することができる。

[0025] １対の加圧冶具間に加えられる圧力は、好ましくは３５．４ＭＰａ以上、２８３ＭＰａ以下である。この場合には、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率が改善され、加工状態も良好である。より好ましくは、１対の加圧冶具間に加えられる圧力は１４１ＭＰａ以上、２８３ＭＰａ以下である。この場合には、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率がより改善され、加工状態も良好である。

[0026] 上述した本発明の赤外線透過部材用Ｃｚ-Ｓｉの加工方法により、赤外線透過部材を製造することができる。この場合には、製造コストが安く、設計自由ン度の高いＣｚ-Ｓｉを使用して、波長９μｍ付近における赤外線透過率が改善された赤外線透過部材を製造することができる。

[0027] この赤外線透過部材の製造方法により製造された赤外線透過部材は、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が、（１１０）面とされていることが好ましい。この場合には、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率をより確実に改善することができる。

[0028] また、この赤外線透過部材の製造方法により製造された赤外線透過部材は、エッチピット法により評価した転位密度が、$10^{2}cm^{-2}$オーダー以下であることが好ましい。この場合には、内部欠陥のない優れた品質の赤外線透過部材になる。

[0029] また、この赤外線透過部材の製造方法により製造された赤外線透過部材は、圧力の加圧軸方向に対して平行な面を入射面とすることができる。この場

合には、この赤外線透過部材を偏光素子用に使用することができる。

発明の効果

[0030] 本発明の赤外線透過部材用Ｃｚ-Ｓｉの加工方法によれば、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率を改善することができる。

図面の簡単な説明

[0031] [図1]図１（Ａ-１）、（Ａ-２）は、加圧治具の一例を示し、図１（Ａ-1）は一部を透視して示した斜視図、図１（１-２）は断面図である。図１（Ｂ）は、図１（Ｃ）は、それぞれ、他の加圧治具を示す断面図である。

[図2]加工前のＣｚ-Ｓｉ、および、加工温度７００℃、８００℃、９００℃でそれぞれ加工した後のＣｚ-Ｓｉの赤外域の吸収係数をそれぞれ示したグラフである。

[図3]加工温度を変化させた場合の、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍにおける吸収係数の変化、９．７μｍにおける吸収係数の変化をそれぞれ示したグラフである。

[図4]第１実施形態における、パルス状電流の電流［Ａ］、Ｃｚ-Ｓｉ１の温度［℃］、加圧治具にかける圧力［ＭＰａ］の時間的変化を示したグラフである。

[図5]加工前のＣｚ-Ｓｉ、および３５．４ＭＰａで加工後のＣｚ-Ｓｉの赤外域における吸収係数をそれぞれ示したグラフである。

[図6]加工前のＣｚ-Ｓｉ、および７０．７ＭＰａ、１４１ＭＰａ、２１２ＭＰａ、２８３ＭＰａで加工後のＣｚ-Ｓｉの赤外域における吸収係数をそれぞれ示したグラフである。

[図7]加圧治具に圧力を加える際に、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットした場合、（１００）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットした場合、（１１１）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットした場合の、加工後の赤外域の吸収係数をそれぞれ示したグラフである。

[図8]加工前のＣｚ-Ｓｉ１の赤外域の吸収係数、加工後のＣｚＳｉ１の赤外

域の吸収係数、加工していないＦＺ-Ｓｉの赤外域の吸収係数をそれぞれ示したグラフである。

[図9]図９（Ａ）は、加工温度８５０℃、加工圧力１４１ＭＰａで加工したＣｚ-Ｓｉの顕微鏡写真である。図９（Ｂ）は、加工温度８５０℃、加工圧力２８３ＭＰａで加工したＣｚ-Ｓｉの顕微鏡写真である。図９（Ｃ）は、従来の高温プレス法で加工温度１４０５℃、加工圧力２８．３ＭＰａで加工したＣｚ-Ｓｉの顕微鏡写真である。

[図10]図１０（Ａ）は、Ｃｚ-Ｓｉの加圧軸に対して垂直な面をＥＢＳＤによって観察し、結晶方位、転位線を示した図である。図１０（Ａ）は、Ｃｚ-Ｓｉの加圧軸に対して平行な面をＥＢＳＤによって観察し、結晶方位、転位線を示した図である。

[図11]Ｃｚ-Ｓｉの加圧軸方向に対して垂直な面を入射面として、入射光の偏光の角度を、０°、４５°、９０°、１３５°、１８０°に変化させて、各角度での赤外域の吸収係数を示したグラフである。

[図12]図１２（Ａ）、図１２（Ｂ）は、Ｃｚ-Ｓｉの加圧軸方向に対して平行な面を入射面として、入射光の偏光の角度を、０°、４５°、９０°、１３５°、１８０°に変化させて、各角度での赤外域の吸収係数を示したグラフである。ただし、図１２（Ａ）は、０°、４５°、９０°に変化させた場合を示し、図１２（Ｂ）は、９０°、１３５°、１８０°に変化させた場合を示している。

[図13]Ｃｚ-Ｓｉの赤外域の吸収係数と、ＦＺ-Ｓｉの赤外域の吸収係数とを示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0032] 以下、図面とともに、本発明を実施するための形態について説明する。

[0033] ［第１実施形態］

本実施形態においては、チョクラルスキー法により作製されたＣｚ-Ｓｉを加工して、レンズ（たとえば凸レンズ）、窓部材、フィルタなどの赤外線透過部材を製造する。

[0034] まず、チョクラルスキー法により作製されたＣｚ-Ｓｉを用意する。

[0035] 次に、用意されたＣｚ-Ｓｉを、所望のカット角で、所望の形状にカットし、被加工用のＣｚ-Ｓｉ１を作製する。

[0036] なお、本実施形態においては、後述するように、Ｃｚ-Ｓｉ１を1対のパンチ２、３に当接させて圧力を加える際に、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットした。ただし、Ｃｚ-Ｓｉのカット角は任意であり、Ｃｚ-Ｓｉ１をパンチ２、３に当接させて圧力を加える際に、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１００）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットしても良い。あるいは、Ｃｚ-Ｓｉ１をパンチ２、３に当接させて圧力を加える際に、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１１）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットしても良い。ただし、後述するように、Ｃｚ-Ｓｉのカット角は、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率の改善度合に影響を与える。

[0037] 本実施形態においては、被加工用のＣｚ-Ｓｉ１を、直径６ｍｍ、厚み４ｍｍの円盤状とした。次に、被加工用のＣｚ-Ｓｉ１を、所望の形状に成型する。

[0038] 具体的には、まず、たとえば、図１（Ａ-１）、（Ａ-２）に示す、加圧冶具を用意する。

[0039] 加圧冶具は、導電性材料からなる１対のパンチ２、３で構成されている。パンチ２、３の少なくとも一方は、所望するＣｚ-Ｓｉの加工形状に対応した当接面を有している。

[0040] なお、加圧治具の構造は任意であり、たとえば、一方が固定され、他方が可動となっているものであっても良い。

[0041] １対のパンチ２、３は、筒状のダイ４に収容されている。

[0042] ダイ４には、温度検知素子５が埋設されている。温度検知素子５には、たとえば、熱電対が使用される。ただし、温度検知素子５の種類は任意であり、熱電対に代えて、たとえば、白金測温抵抗体、サーミスタ、トランジスタの温度特性を利用したＩＣ化温度センサー、水晶温度計、赤外線式のサーモ

パイルやサーミスタ、光量子式フォトダイオードやフォトトランジスタなどであっても良い。

[0043] 以上のパンチ２、３と、ダイ４と、温度検知素子５と、後述するパルス状電流発生手段とで、本実施形態において使用する半導体結晶体の加工装置が構成されている。

[0044] 次に、同じく図１（Ａ－１）、（Ａ－２）に示すように、カットされた被加工用のＣｚ－Ｓｉ１を、パンチ２、３に挟み込み、パンチ２、３に当接させる。

[0045] なお、前後するが、Ｃｚ－Ｓｉ１をパンチ２、３に当接させる前から、温度検知素子５により温度の測定を開始する。

[0046] 温度検知素子５は、Ｃｚ－Ｓｉ１から、たとえば、１ｍｍ程度しか離れていないダイ４の内部に埋設されているため、ほぼ正確にＣｚ－Ｓｉ１の温度を測定することができる。

[0047] 次に、パンチ２とパンチ３との間に電流を印加する。本実施形態においては、パルス状電流発生装置によりパルス電流を印加する。しかしながら、電流はパルス電流には限定されず、直流などであっても良い。

[0048] この結果、Ｃｚ－Ｓｉ１に自己発熱現象が起こり、Ｃｚ－Ｓｉ１の温度が急上昇する。

[0049] Ｃｚ－Ｓｉ１の加工温度は、好ましくは、６５０℃以上、１０５０℃以下に制御される。また、Ｃｚ－Ｓｉ１の加工温度は、より好ましくは、７００℃以上、１０００℃以下に制御される。また、Ｃｚ－Ｓｉ１の加工温度は、さらに好ましくは、８００℃以上、９００℃以下に制御される。

[0050] このＣｚ－Ｓｉ１の制御される加工温度は、Ｃｚ－Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率の改善度合に影響を与える。

[0051] 図２に、加工温度７００℃で加工した場合の赤外域における吸収係数、８００℃で加工した場合の赤外域における吸収係数、９００℃で加工した場合の赤外域における吸収係数をそれぞれ示す。また、図３に、加工温度を変化させた場合の、Ｃｚ－Ｓｉの波長９μｍにおける吸収係数の変化、および、９

．７μｍにおける吸収係数の変化を示す。なお、パンチ２とパンチ３との間に加えられた圧力は、いずれも１４１ＭＰａである。

[0052] 図３から分かるように、格子間酸素に由来する９μｍ付近における大きい吸収係数は、加工温度上昇に伴い改善され、８６５℃で吸収係数は最小となった。逆に、Ｓｉ－Ｏの伸縮モードに由来する９．７μｍ付近の吸収係数は、加工温度上昇に伴い大きくなり、８６５℃で最大となった。

[0053] 一般に８００℃程度での熱処理により、格子間酸素が移動してクラスタを形成することが知られている。この格子間酸素が移動することにより、９μｍ付近における吸収係数が改善されたものと考えられる。なお、特に８６５℃が吸収係数改善のピークとなる理由は、酸素の拡散が律速であることに加えて、８６５℃以上において、クラスタからSiO_2が析出した、または、一旦生成したクラスタの過飽和度が下がり、再溶解したためと考えられる。

[0054] 図３から分かるように、Ｃｚ-Ｓｉ１の加工温度を６５０℃以上、１０５０℃以下に制御すれば、本実施形態の諸条件において、Ｃｚ-Ｓｉ１の波長９μｍ付近における吸収係数を３．４cm^{-1}以下に改善することができる。また、Ｃｚ-Ｓｉ１の加工温度を７００℃以上、１０００℃以下に制御すれば、Ｃｚ-Ｓｉ１の波長９μｍ付近における吸収係数を２．９cm^{-1}以下に改善することができる。さらに、Ｃｚ-Ｓｉ１の加工温度を８００℃以上、９００℃以下に制御すれば、Ｃｚ-Ｓｉ１の波長９μｍ付近における吸収係数を２．３cm^{-1}以下に改善することができる。

[0055] Ｃｚ-Ｓｉ１が加工温度に達するまで、印加するパルス状電流の電流［Ａ］を上昇させる。

[0056] Ｃｚ-Ｓｉ１が加工温度に達した後は、パルス状電流の電流［Ａ］をやや降下させたうえで、その後も加工温度を維持するようにフィードバックをかけながら、パルス状電流を印加し続ける。なお、フィードバックは、温度検知素子５の測定温度を、パルス状電流発生装置にフィードバックさせるフィードバック手段（図示せず）によりおこなう。

[0057] 次に、開始時点は任意であるが、パンチ２とパンチ３との間に圧力を加え

る。すなわち、圧力をかけ始める時点は、Ｃｚ-Ｓｉ１の温度が加工温度に達する前、達した時、達した後のいずれの時点のいずれであっても良い。ただし、Ｃｚ-Ｓｉ１の温度が十分に上昇する前に圧力をかけると、Ｃｚ-Ｓｉ１が割れる場合があるため好ましくない。

[0058] なお、本実施形態においては、図１（Ａ-１）、（Ａ-２）に示すように、圧力を加える方向を電流の流れる方向と一致させているが、図１（Ｂ）に示すように、圧力を加える方向を電流の流れる方向とを垂直にしても良い。

[0059] また、加圧方向も任意であり、図１（Ａ-１）、（Ａ-２）、（Ｂ）に示すように、Ｃｚ-Ｓｉ１の主面に対して垂直方向に加圧しても良いし、図１（Ｃ）に示すように、Ｃｚ-Ｓｉ１の主面に対して平行方向に加圧しても良い。

[0060] パンチ２とパンチ３との間にかける圧力は、一度に大きな値とすることもできる。しかしながら、Ｃｚ-Ｓｉ１が割れることがないように、徐々に大きくしていく、あるいは段階的に大きくしていくことが好ましい。

[0061] 図４に、本実施形態における、パルス状電流の電流［Ａ］、Ｃｚ-Ｓｉ１の温度［℃］、上パンチ２と下パンチ３との間にかける圧力［ＭＰａ］の時間的変化を示す。

[0062] パンチ２とパンチ３との間にかける圧力（最大圧力）は、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率の改善度合に影響を与える。

[0063] 図５に、加工前のＣｚ-Ｓｉ、および３５．４ＭＰａで加工後のＣｚ-Ｓｉの赤外域における吸収係数をそれぞれ示す。加工温度は、８５０℃である。

[0064] また、図６に、加工前のＣｚ-Ｓｉ、および７０．７ＭＰａ、１４１ＭＰａ、２１２ＭＰａ、２８３ＭＰａで加工後のＣｚ-Ｓｉの赤外域における吸収係数をそれぞれ示す。加工温度は、いずれも８５０℃である。

[0065] 図５から分かるように、３５．４ＭＰａでの加工で、すでに吸収係数の改善が認められる。

[0066] また、図６から分かるように、さらに圧力を大きくすると、２１２ＭＰａまでは吸収係数の改善が進むが、さらに圧力を大きくした２８３ＭＰａでは、逆に改善の度合いが小さくなった。ただし、２８３ＭＰａで加工したＣｚ-

Ｓｉであっても、十分に良好な吸収係数であり、加工状態にも問題はなかった。

[0067] しかしながら、２８３ＭＰａを超え、さらに圧力を大きくすると、吸収係数の改善の度合いが小さくなるとともに、Ｃｚ-Ｓｉにクラックが発生し始めた。

[0068] 以上より、パンチ２とパンチ３との間にかける圧力（最大圧力）は、３５．４ＭＰａ以上、２８３ＭＰａ以下が好ましいことが分かった。また、図６に示す吸収係数の改善の度合いと、Ｃｚ-Ｓｉの加工状態を考慮すると、１４１ＭＰａ以上、２８３ＭＰａ以下がより好ましいことが分かった。

[0069] 図４に示すように、上述した加工温度、加工圧力を、一定時間保持する。

[0070] Ｃｚ-Ｓｉ１の塑性変形量が所望の値に達したら、パルス状電流の印加を終了し、またパンチ２とパンチ３との間に圧力をかけることを終了する。なお、Ｃｚ-Ｓｉ１の塑性変形量が所望の値に達したか否かは、パンチ２の変位量から確認する。

[0071] 最後に、Ｃｚ-Ｓｉ１、パンチ２、３、ダイ４を冷却したうえで、Ｃｚ-Ｓｉ１をパンチ２、３、ダイ４から取り出し、本実施形態にかかる赤外線透過部材用Ｃｚ-Ｓｉの加工は完了する。なお、Ｃｚ-Ｓｉ１、パンチ２、３、ダイ４の冷却は、自然冷却でも良いし、冷却手段により加速的に冷却しても良い。

[0072] 上述のとおり、Ｃｚ-Ｓｉのカット角は任意であるが、本実施形態においては、Ｃｚ-Ｓｉ１をパンチ２、パンチ３との間に挟んで圧力を加える際に、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットした。

[0073] しかしながら、Ｃｚ-Ｓｉのカット角は、Ｃｚ-Ｓｉの波長９μｍ付近における赤外線透過率の改善度合に影響を与える。

[0074] 図７に、Ｃｚ-Ｓｉ１をパンチ２とパンチ３との間に当接させて圧力を加える際に、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットした場合の加工後の赤外域の吸収係数、圧力の加圧軸方

向に対して垂直な結晶面が（１００）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットした場合の加工後の赤外域の吸収係数、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１１）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットした場合の加工後の赤外域の吸収係数をそれぞれ示す。なお、いずれも、加工温度は９００℃、上パンチ２と下パンチ３との間に加えられた圧力は１４１ＭＰａである。

[0075] また、表１に、各場合の、吸収係数低減率、Ｃｚ-Ｓｉ１の圧力の加圧軸方向の変化量（ｍｍ）を示す。

[0076] [表1]

表1

成型した結晶面	吸収係数低減値 加工後-加工前 (cm^{-1})	変形量 Δd(mm)
(100)面	2.37	0.28
(110)面	2.68	0.44
(111)面	1.55	0.12

[0077] 図７から分かるように、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面である場合に、最も大きく９μｍ付近における透過率が改善している。また、表１から分かるように、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面である場合に、最も変形量が大きくなっている。

[0078] 以上より、格子間酸素の消滅のしやすさが、結晶の方位によって異なることが示唆されている。加工後のＣｚ-Ｓｉを赤外線装置の赤外線透過部材に使用する場合には、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面となるようにＣｚ-Ｓｉをカットすることが、波長９μｍ付近における赤外線透過率を改善するためには有利であることが分かった。

[0079] 図８に、加工前のＣｚ-Ｓｉ１の赤外域の吸収係数、加工後のＣｚＳｉ１の赤外域の吸収係数、および、比較のために加工していないＦＺ-Ｓｉの赤外域の吸収係数をそれぞれ示す。ただし、Ｃｚ-Ｓｉ１は、圧力の加圧軸方向に対し

て垂直な結晶面が（１１０）面となるようにカットした。また、Ｃｚ-Ｓｉの加工温度は８００℃、昇温速度は１００℃／分、加工圧力は１４１ＭＰａ、保持時間は３０分とした。

[0080] 図８から分かるように、本発明により加工されたＣｚ-Ｓｉは、ＦＺ-Ｓｉに対して遜色のない、赤外線透過率を備えている。

[0081] 最後に、内部欠陥を確認するために、加工後のＣｚ-Ｓｉの転位密度をエッチピット法により調べた。図９（Ａ）に加工温度８５０℃、加工圧力１４１ＭＰａで加工したＣｚ-Ｓｉの顕微鏡写真を示す。図９（Ｂ）に加工温度８５０℃、加工圧力２８３ＭＰａで加工したＣｚ-Ｓｉの顕微鏡写真を示す。また、比較のために、図９（Ｃ）に、従来の高温プレス法で加工温度１４０５℃、加工圧力２８．３ＭＰａで加工したＣｚ-Ｓｉの顕微鏡写真を示す。

[0082] 図９（Ａ）、（Ｂ）に示した、本実施形態にかかるＣｚ-Ｓｉにおいては、欠陥分布は認められず、転位密度は$10^{2}cm^{-2}$オーダー以下であった。これに対し、図９（Ｃ）に示した、従来の高温プレス法にかかるＣｚ-Ｓｉでは、転位が集積してサブグレイン構造をとり、透過特性を劣化させていた。

[0083] 以上より、本発明によれば、内部欠陥のない優れた品質のＣｚ-Ｓｉを得ることできることが確認できた。

[0084] ［第２実施形態］

第２実施形態においては、偏光素子用の赤外線透過部材を製造した。

[0085] まず、第１実施形態の方法により、波長９μｍ付近における赤外線透過率が改善されたＣｚ-Ｓｉを作製した。ただし、Ｃｚ-Ｓｉは、圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面となるようにカットした。また、加工温度は１１００℃、昇温速度は１００℃／分、加工圧力は１４１ＭＰａ、保持時間は３０分とした。

[0086] 作製されたＣｚ-Ｓｉは、加圧軸方向に対して垂直な面と平行な面とで、異なる転位線が生じた。ただし、いずれの面であっても、無偏光の赤外光に対する透過率に差異は生じなかった。

[0087] 図１０（Ａ）、（Ｂ）に、ＥＢＳＤ（電子線後方散乱回折像）によって観

察した、結晶方位および転位線を示す。ただし、図１０（Ａ）は加圧軸に対して垂直な面、図１０（Ｂ）は加圧軸に対して平行な面を示している。

[0088] 図１０（Ａ）、（Ｂ）から分かるように、加圧軸方向に対して垂直な面では転位線が無秩序に入るのに対し、加圧軸方向に対して平行な面では、塑性変形により、特定の方向（横方向）に転位線が生じている。

[0089] 次に、転位線の形成方向による透過光の偏光依存を評価した。ここで、横偏光を０°とした。

[0090] 加圧軸方向に垂直な面に対して、入射光の偏光の角度を、０°、４５°、９０°、１３５°、１８０°に変化させた場合の測定結果を図１１に示す。

[0091] 図１１から分かるように、加圧軸方向に対して垂直な面を入射面として、入射光の偏光の角度を変化させても、透過率に変化は見られなかった。これは、ＥＢＳＤの結果からもわかるように、転位線が無秩序に生じており、格子間酸素も均一に存在しているためだと考えられる。

[0092] 次に、加圧軸方向に平行な面に対して、入射光の偏光の角度を、０°、４５°、９０°、１３５°、１８０°に変化させた場合の測定結果を図１２に示す。ただし、図１２においては、見やすくするため、図１２（Ａ）と図１２（Ｂ）に分け、図１２（Ａ）に０°、４５°、９０°に変化させた場合を示し、図１２（Ｂ）に９０°、１３５°、１８０°に変化させた場合を示している。

[0093] 図１２から分かるように、加圧軸方向に対して平行な面を入射面として、入射光の偏光の角度を変化させた場合、９μｍ付近において、偏光角が９０°で最も吸収係数が大きくなり、０°、１８０°の時、最も吸収係数が小さくなった。なお、０°が加圧軸方向に対して垂直な方向、９０°が加圧軸方向と一致する方向である。

[0094] ＥＢＳＤの測定結果と合わせて考えると、通電・加圧成型により ９μｍの赤外透過率を改善したＣｚ－Ｓｉは、加圧軸方向に対して平行な面において転位線が特定方向に生じた構造が形成しており、これを利用して、赤外領域での偏光素子への応用も期待できることが分かった。

[0095] そこで、本実施形態の偏光素子用の赤外線透過部材は、加圧軸方向に対して平行な面を入射面にした。本実施形態の偏光素子用の赤外線透過部材は、入射光の偏光の角度を変化させることにより、吸収係数を変化させることができる。

[0096] 以上、本発明の第１実施形態および第２実施形態について説明した。しかしながら、本発明の内容が、上述した内容に限定されることはなく、発明の趣旨に沿って種々の変形をなすことができる。

符号の説明

[0097] １・・・Ｃｚ-Ｓｉ

２、３・・・パンチ（パンチ２とパンチ３とで加圧治具を構成している）

４・・・ダイ

５・・・温度検知素子

請求の範囲

[請求項1] チョクラルスキー法により作製されたＣｚ−Ｓｉを用意する工程と、

前記Ｃｚ−Ｓｉを、導電性材料を主体とした材料からなる加圧冶具に当接させる工程と、

前記加圧冶具に電流を印加することにより、前記Ｃｚ−Ｓｉを、自己発熱により、波長９μｍ付近において所望の赤外線透過率を得うる目標温度に昇温させるとともに、前記加圧冶具に圧力を加え、前記Ｃｚ−Ｓｉを塑性変形により成型する工程と、を備えた赤外線透過部材用Ｃｚ−Ｓｉの加工方法。

[請求項2] 前記加圧冶具が1対のパンチである、請求項１に記載された赤外線透過部材用Ｃｚ−Ｓｉの加工方法。

[請求項3] 前記電流がパルス電流である、請求項１または２に記載された赤外線透過部材用Ｃｚ−Ｓｉの加工方法。

[請求項4] 前記目標温度が６５０℃以上、１０５０℃以下である、請求項１ないし３のいずれか1項に記載された赤外線透過部材用Ｃｚ−Ｓｉの加工方法。

[請求項5] 前記加圧冶具に加えられる圧力が３５．４ＭＰａ以上、２８３ＭＰａ以下である、請求項１ないし４のいずれか1項に記載された赤外線透過部材用Ｃｚ−Ｓｉの加工方法。

[請求項6] 前記圧力の加圧軸方向に対して垂直な前記Ｃｚ−Ｓｉの結晶面が（１１０）面である、請求項１ないし５のいずれか1項に記載された赤外線透過部材用Ｃｚ−Ｓｉの加工方法。

[請求項7] 請求項１ないし６のいずれか１項に記載された赤外線透過部材用Ｃｚ−Ｓｉの加工方法を使用した、赤外線透過部材の製造方法。

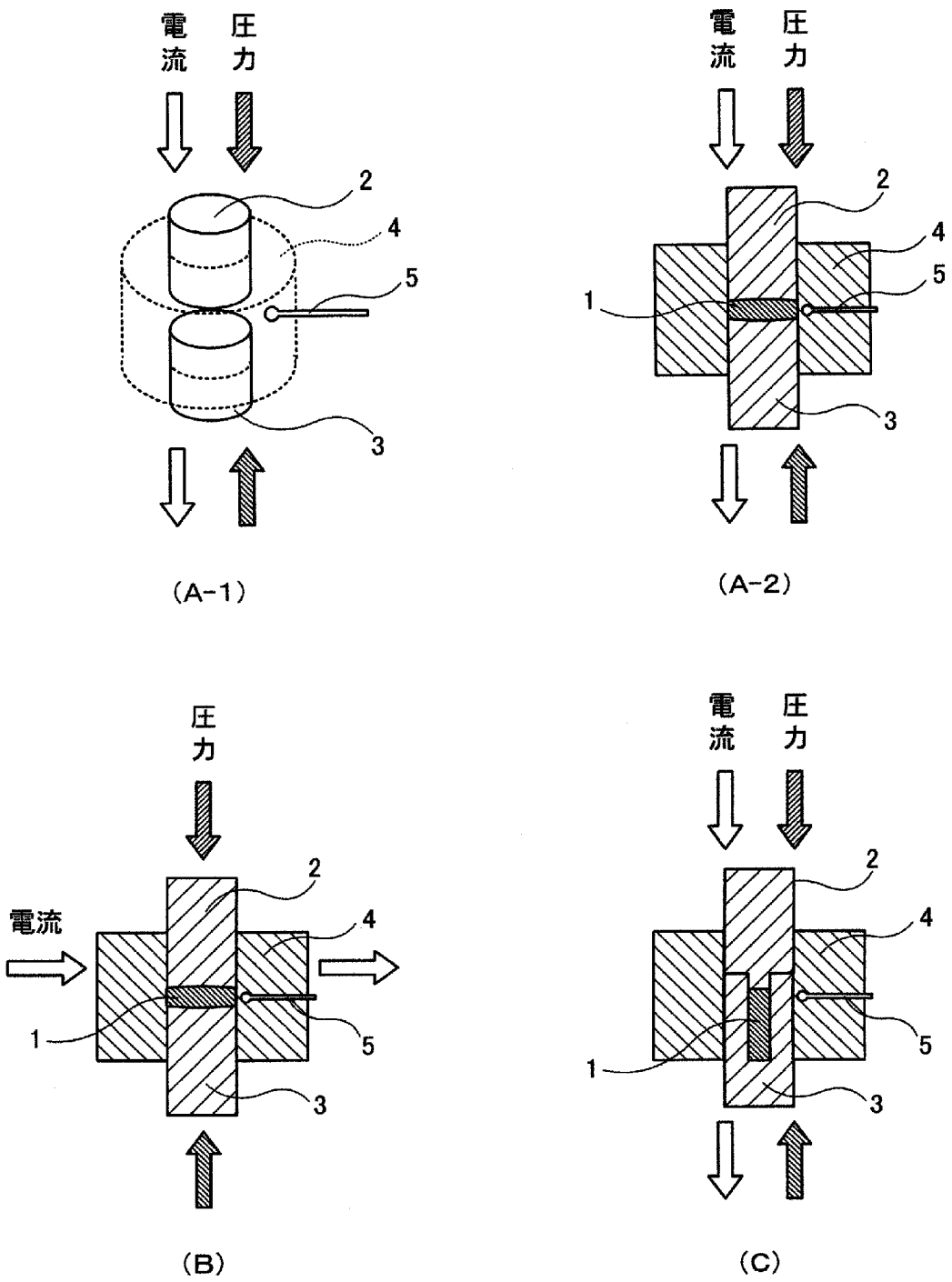
[請求項8] 請求項７に記載された赤外線透過部材の製造方法により製造された赤外線透過部材であって、前記圧力の加圧軸方向に対して垂直な結晶面が（１１０）面である赤外線透過部材。

[請求項9] 請求項７に記載された赤外線透過部材の製造方法により製造された赤外線透過部材であって、エッチピット法により評価した転位密度が１０^{2}ｃｍ$^{-2}$オーダー以下である赤外線透過部材。

[請求項10] 請求項７に記載された赤外線透過部材の製造方法により製造された赤外線透過部材であって、前記圧力の加圧軸方向に対して平行な面を入射面とした、偏光素子用の赤外線透過部材。

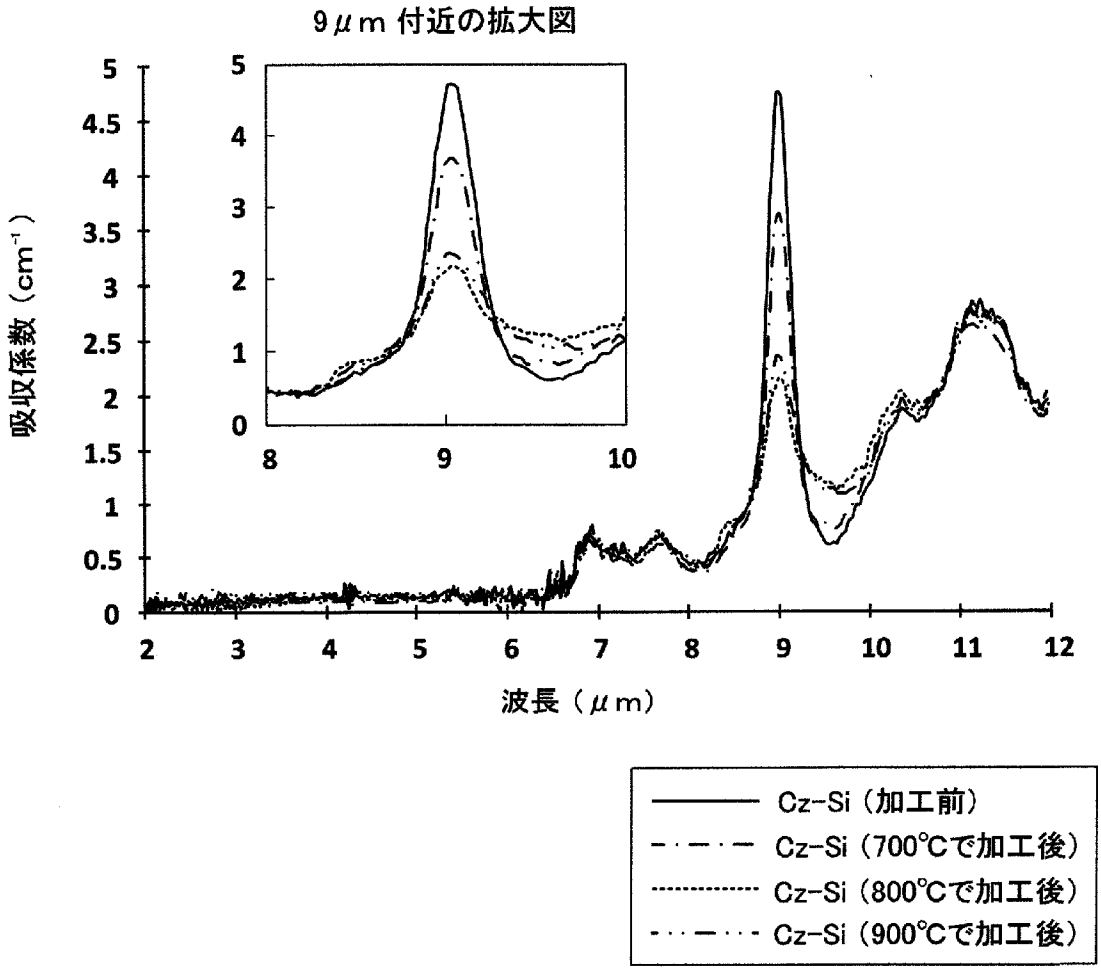
[図1]

図1



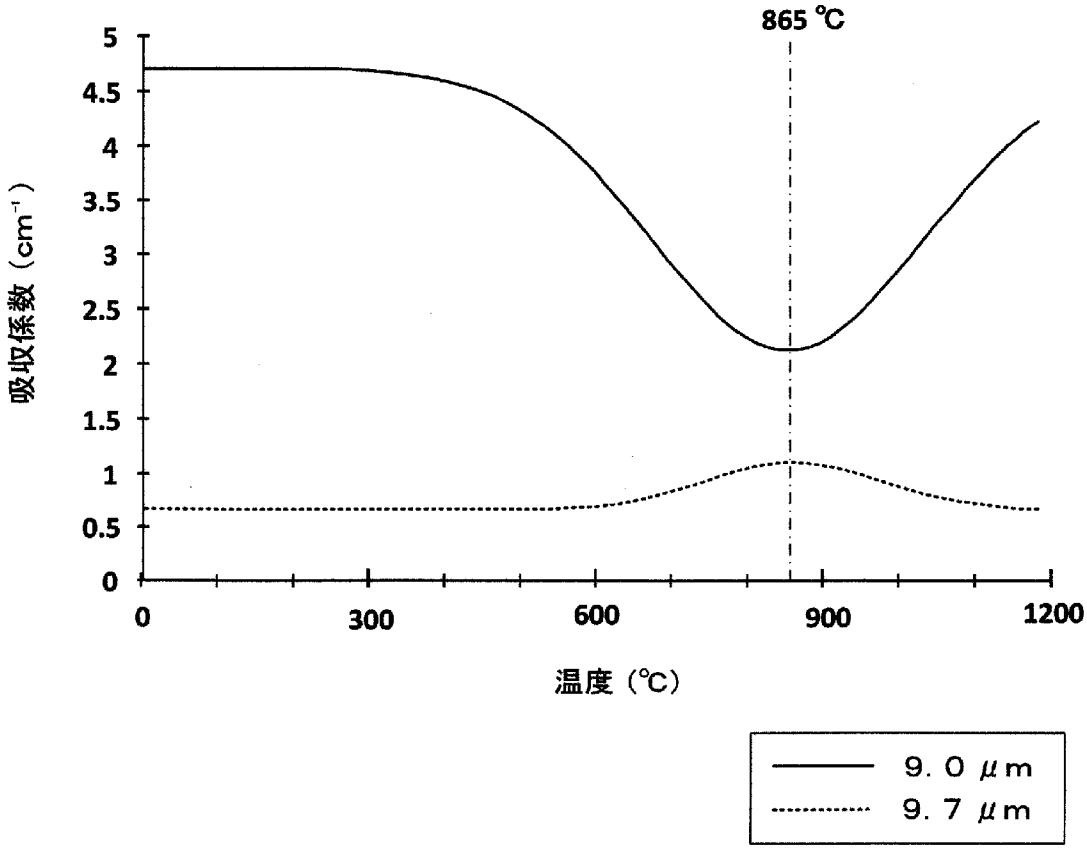
[図2]

図2


9μm 付近の拡大図
吸収係数（cm⁻¹）
波長（μm）
Cz-Si（加工前）
Cz-Si（700℃で加工後）
Cz-Si（800℃で加工後）
Cz-Si（900℃で加工後）

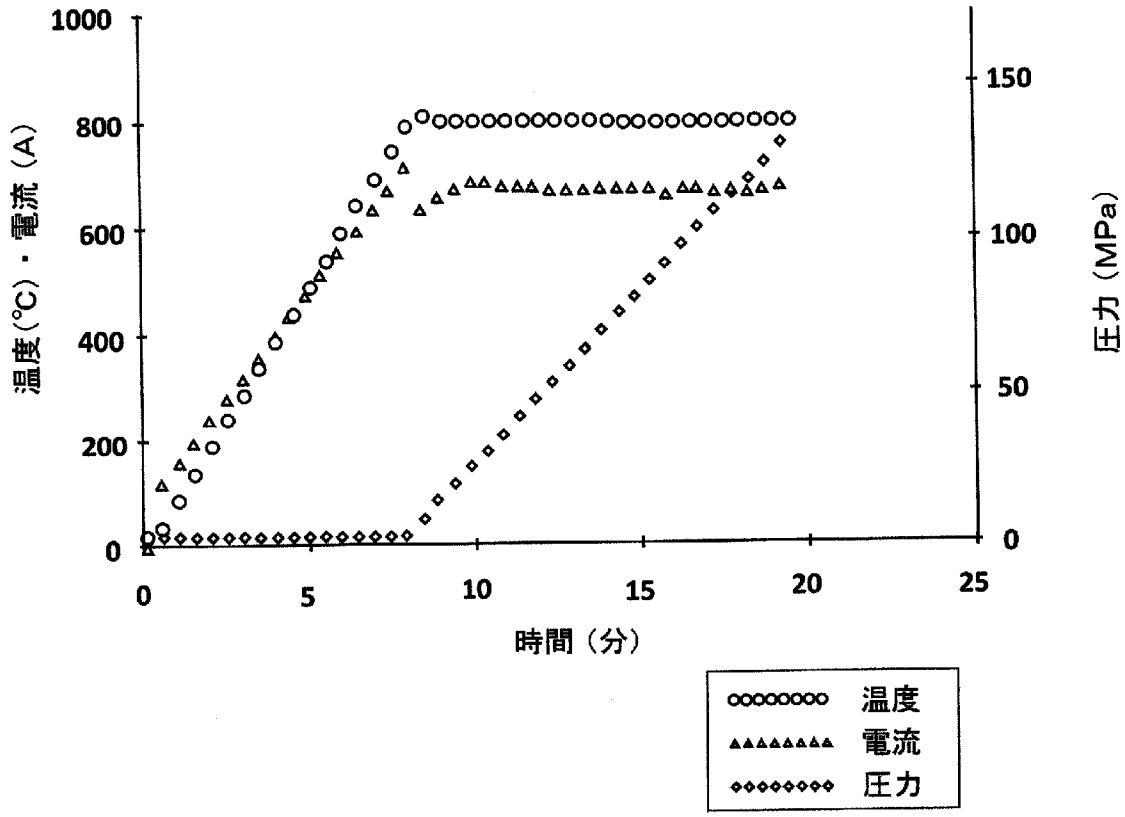
[図3]

図3


865 ℃
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
吸収係数（cm⁻¹）
0
300
600
900
1200
温度（℃）
9.0 μm
9.7 μm

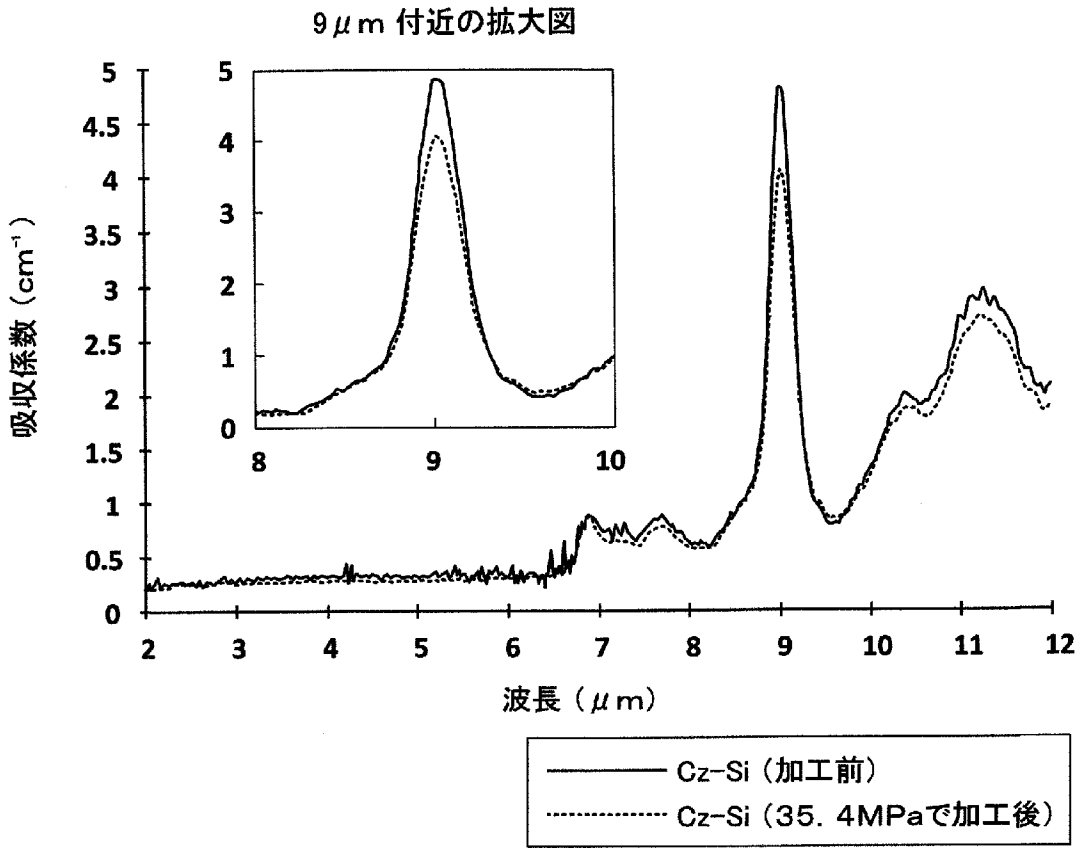
[図4]

図4


1000
800
600
400
200
0
温度(℃)・電流(A)
150
100
50
0
圧力(MPa)
0
5
10
15
20
25
時間(分)
温度
電流
圧力

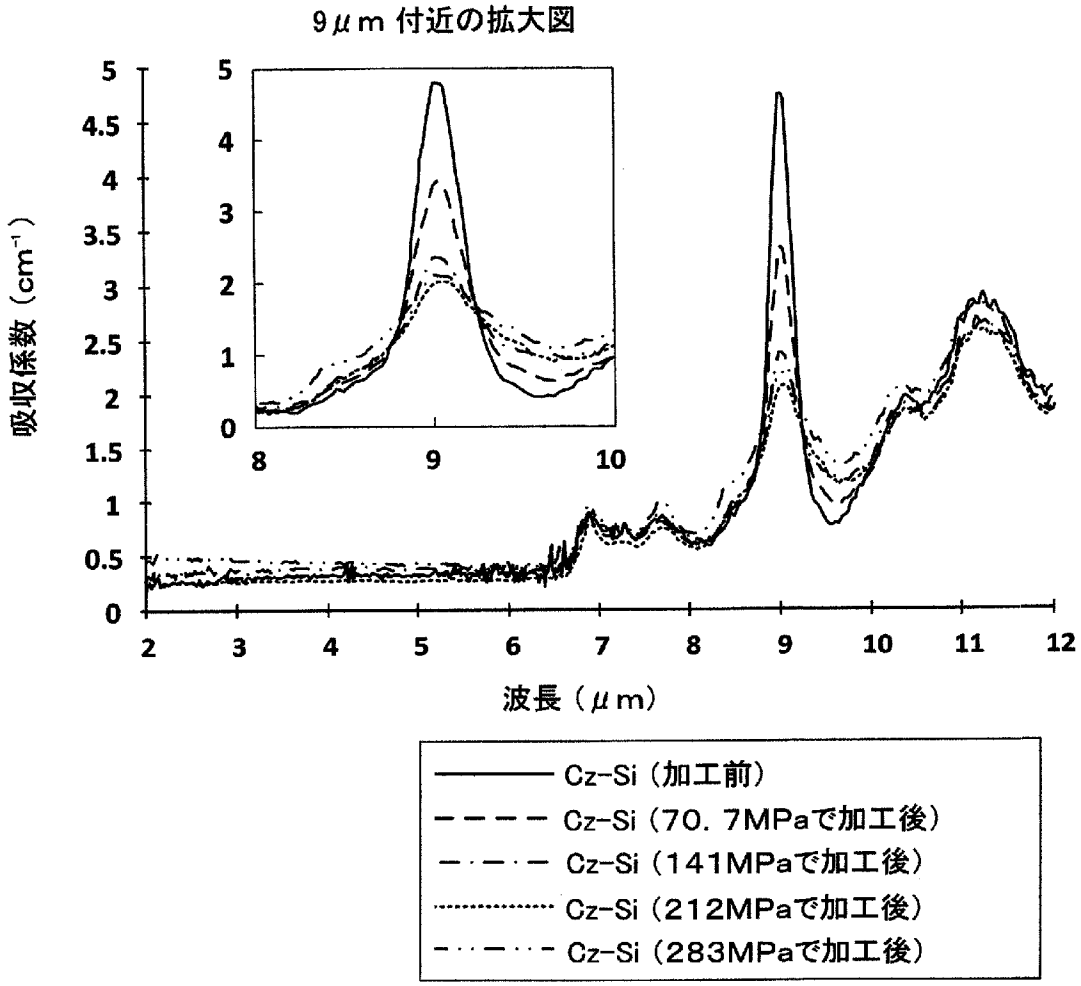
[図5]

図5



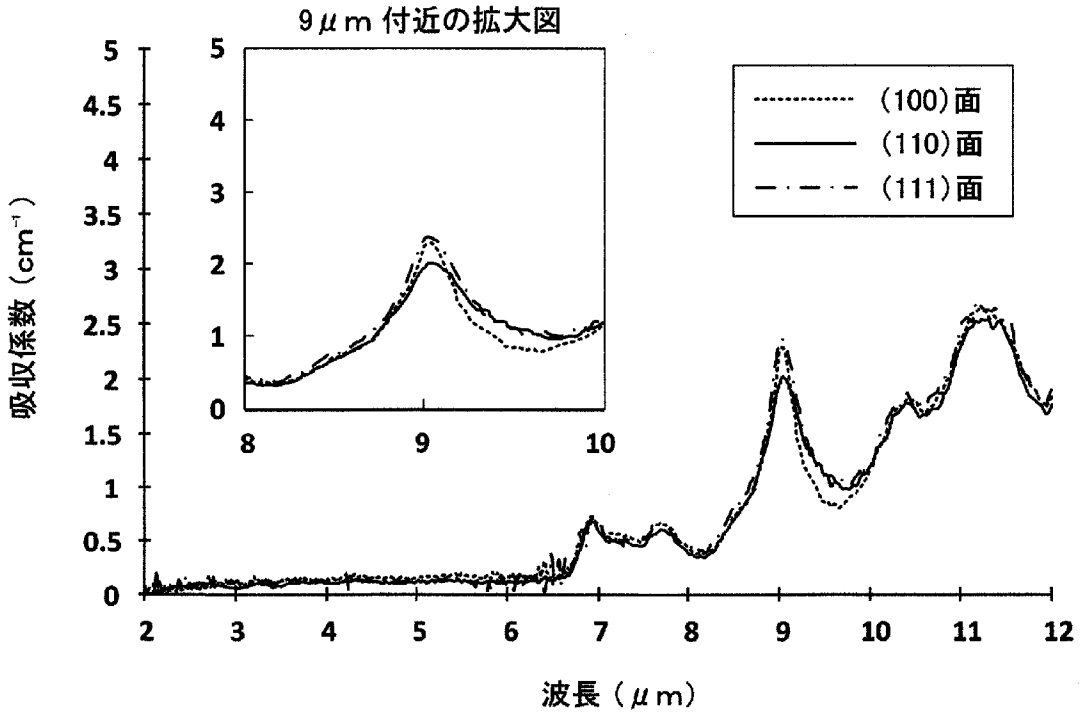
[図6]

図6


9μm 付近の拡大図
吸収係数（cm⁻¹）
波長（μm）
Cz-Si（加工前）
Cz-Si（70．7MPaで加工後）
Cz-Si（141MPaで加工後）
Cz-Si（212MPaで加工後）
Cz-Si（283MPaで加工後）

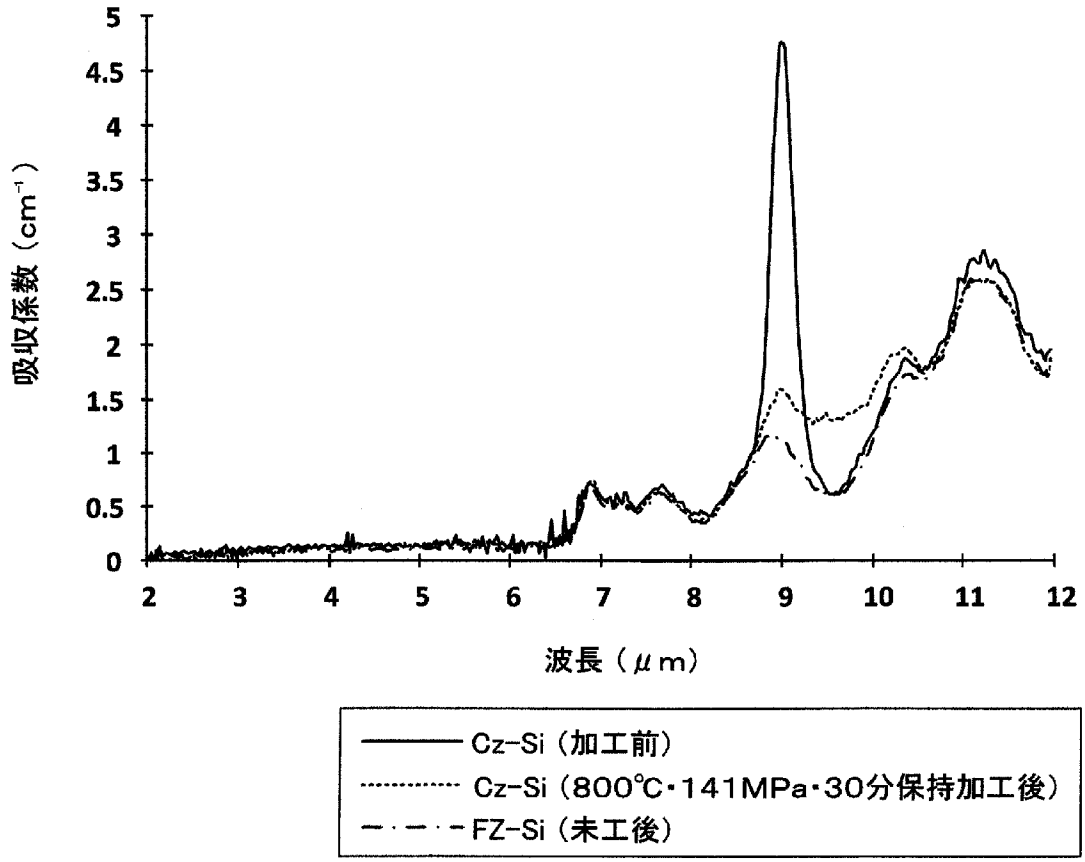
[図7]

図7



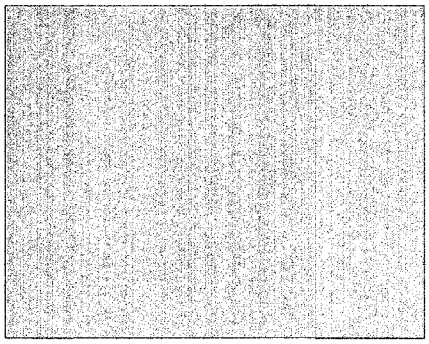
[図8]

図8

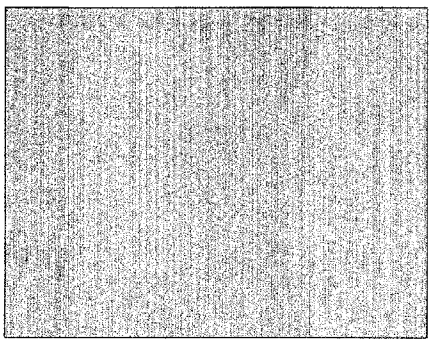

吸収係数（cm⁻¹）
5
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
波長（μm）
Cz-Si（加工前）
Cz-Si（800℃・141MPa・30分保持加工後）
FZ-Si（未工後）

[図9]

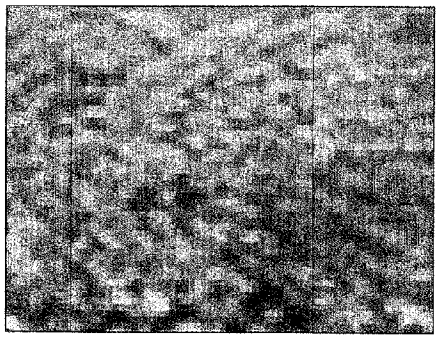
図9



(A)
第1実施形態
(850℃、141MPa)



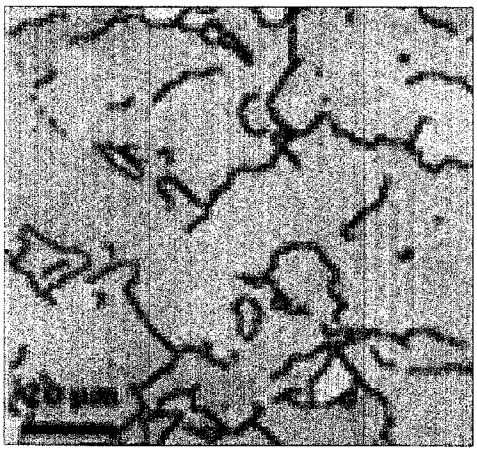
(B)
第1実施形態
(850℃、283MP)



(C)
高温プレス法(従来)
(1405℃、28. 3MP)

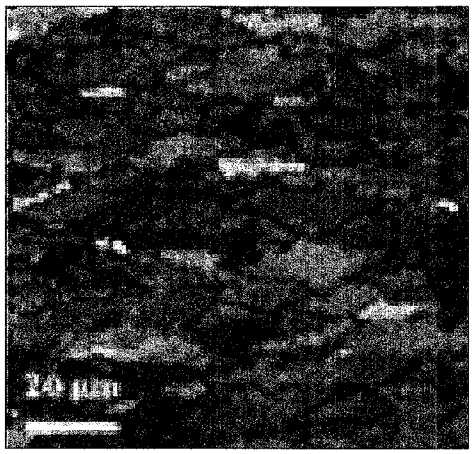
[図10]

図10



(A)

加圧軸に対して垂直な面

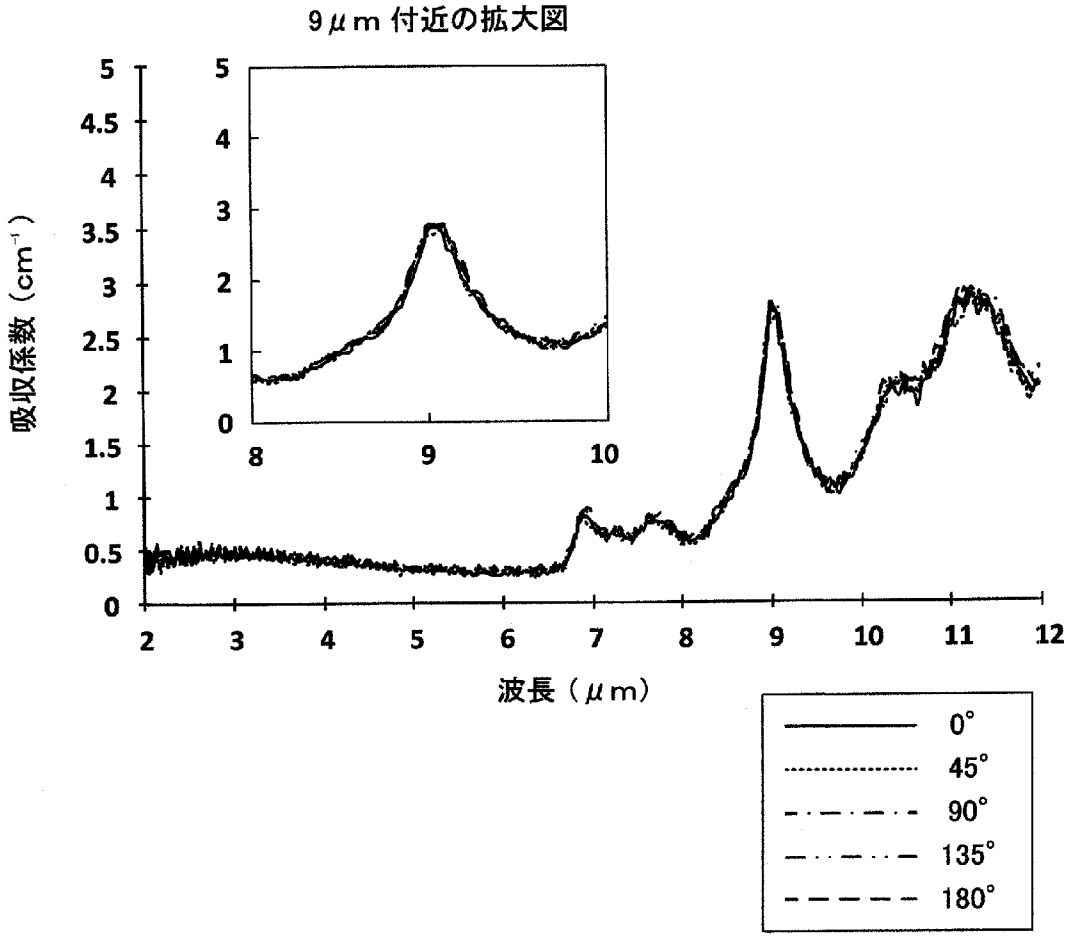


(B)

加圧軸に対して平行な面

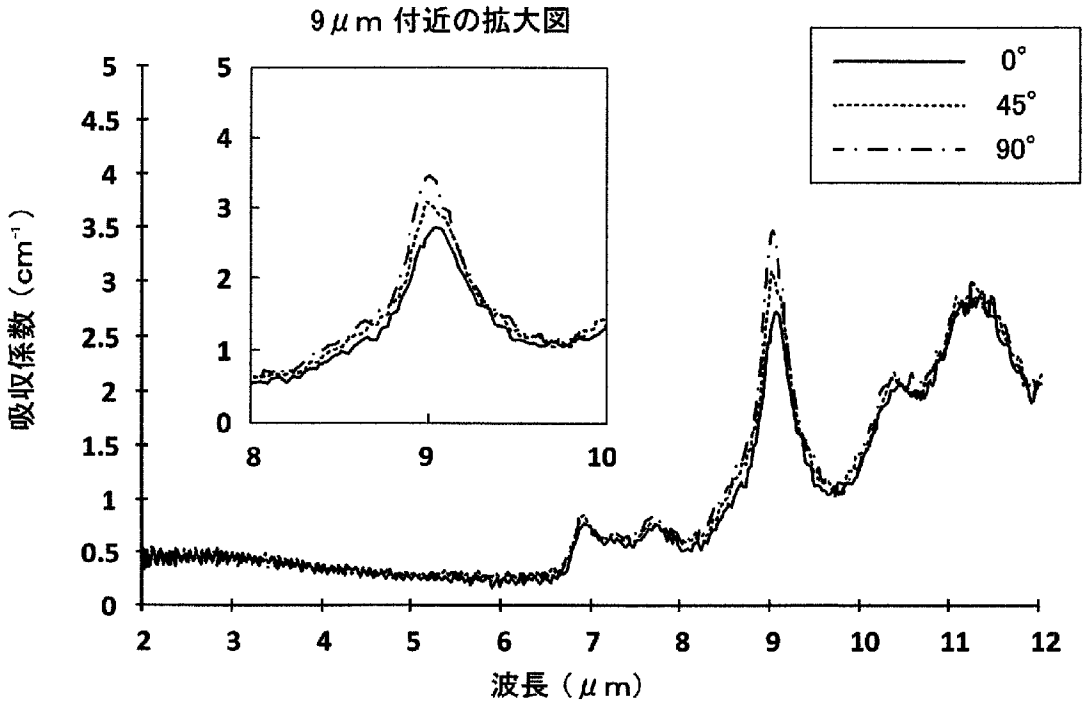
[図11]

図11

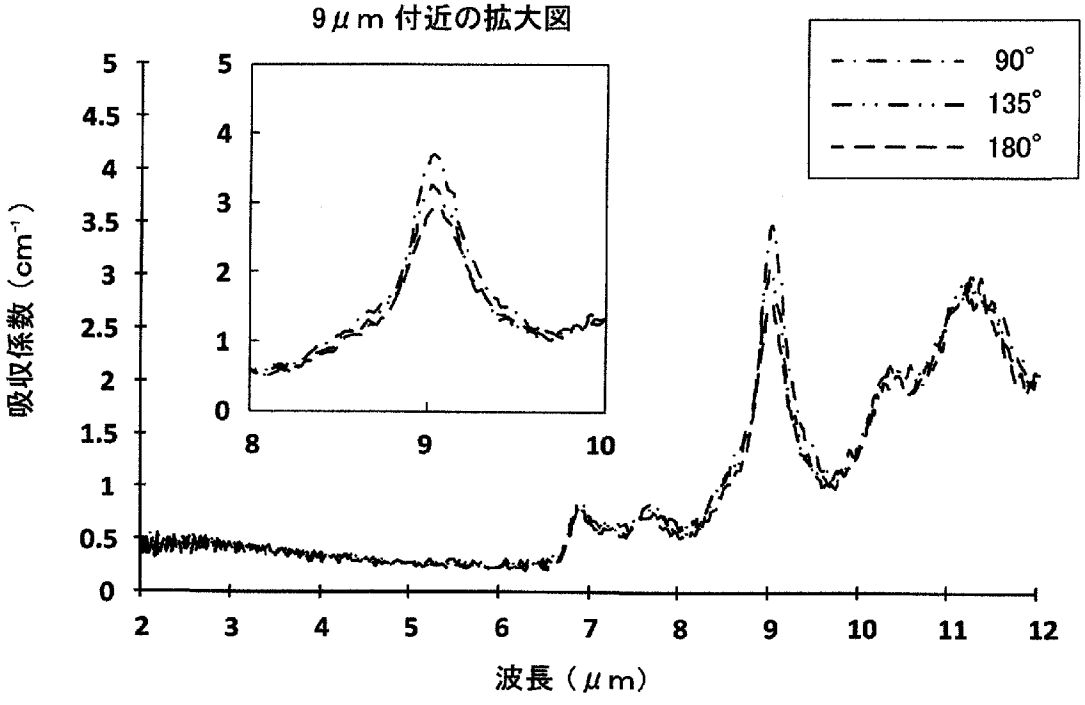


[図12]

図12


9μm 付近の拡大図
0°
45°
90°
吸収係数（cm⁻¹）
波長（μm）

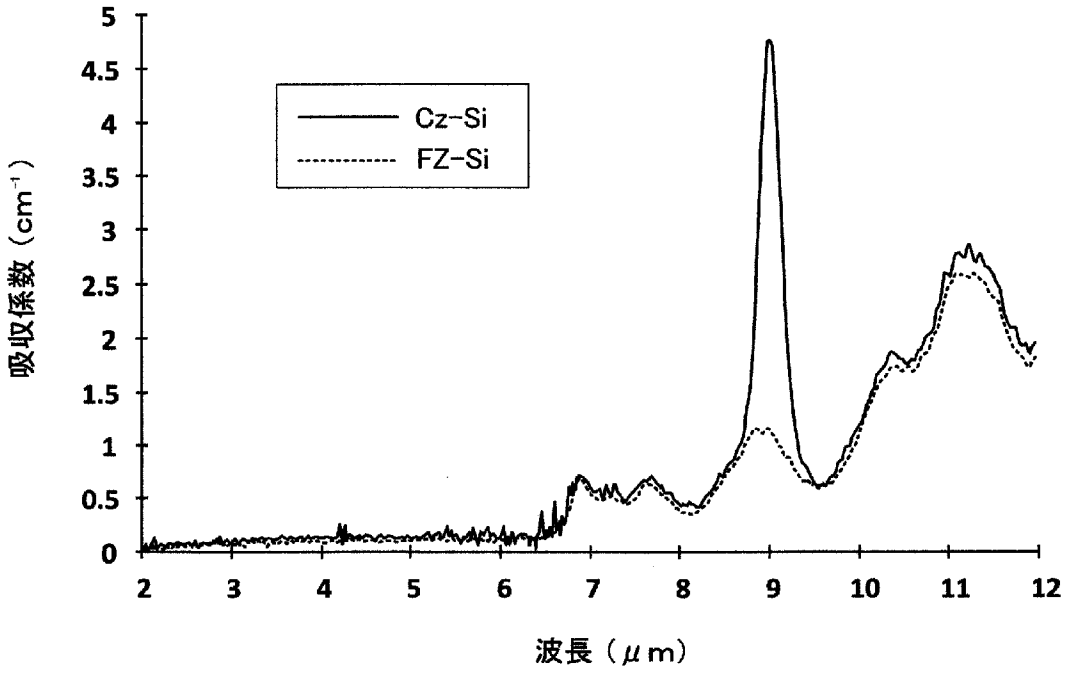
(A)


9μm 付近の拡大図
90°
135°
180°
吸収係数（cm⁻¹）
波長（μm）

(B)

[図13]

図13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/061300

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G02B5/22(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)
G02B5/22

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 A	JP 2013-26400 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 04 February 2013 (04.02.2013), claims 1 to 6; paragraphs [0002], [0019], [0048] to [0049], [0058], [0067] (Family: none)	1-5,7 6,8-10
Y A	JP 5-60901 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 12 March 1993 (12.03.1993), paragraphs [0004], [0013]; table 1 (Family: none)	1-5,7 6,8-10
A	JP 2013-25037 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 04 February 2013 (04.02.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-10

☒ 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	Date of mailing of the international search report
30 June 2016 (30.06.16)	12 July 2016 (12.07.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/061300

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 5382382 B2 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 11 October 2013 (11.10.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2010-60779 A (Tohoku University), 18 March 2010 (18.03.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2004-221464 A (Sony Corp.), 05 August 2004 (05.08.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2005-142370 A (Kazuo NAKAJIMA), 02 June 2005 (02.06.2005), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	WO 2010/074074 A1 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 01 July 2010 (01.07.2010), entire text; all drawings & US 2011/0243162 A1 & DE 112009004379 T	1-10
A	JP 2002-234774 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 23 August 2002 (23.08.2002), entire text; all drawings & US 2003/0020887 A1 & WO 2002/046120 A1 & EP 1340730 A1 & DE 60138642 D & TW 546487 B & CN 1409155 A	1-10

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１６／０６１３００

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G02B5/22(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.　G02B5/22

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	１９７１－２０１６年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１６年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１６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 A	JP 2013-26400 A（株式会社村田製作所）2013.02.04, 【請求項1】-【請求項6】，段落【0002】，【0019】，【0048】-【0049】，【0058】，【0067】（ファミリーなし）	1-5，7 6，8-10
Y A	JP 5-60901 A（松下電器産業株式会社）1993.03.12, 段落【0004】，【0013】【表1】（ファミリーなし）	1-5，7 6，8-10

☑　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	国際調査報告の発送日
３０．０６．２０１６	１２．０７．２０１６

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｏ　９１０８
濱野　隆

電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２７１

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
A	JP 2013-25037 A (株式会社村田製作所) 2013.02.04, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 5382382 B2 (株式会社村田製作所) 2013.10.11, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2010-60779 A (国立大学法人東北大学) 2010.03.18, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2004-221464 A (ソニー株式会社) 2004.08.05, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2005-142370 A (中嶋一雄) 2005.06.02, 全文全図 (ファミリーなし)	1-10
A	WO 2010/074074 A1 (株式会社村田製作所) 2010.07.01, 全文全図 & US 2011/0243162 A1 & DE 112009004379 T	1-10
A	JP 2002-234774 A (住友電気工業株式会社) 2002.08.23, 全文全図 & US 2003/0020887 A1 & WO 2002/046120 A1 & EP 1340730 A1 & DE 60138642 D & TW 546487 B & CN 1409155 A	1-10