

(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

(10) 国際公開番号

W O 2013/084879 A 1

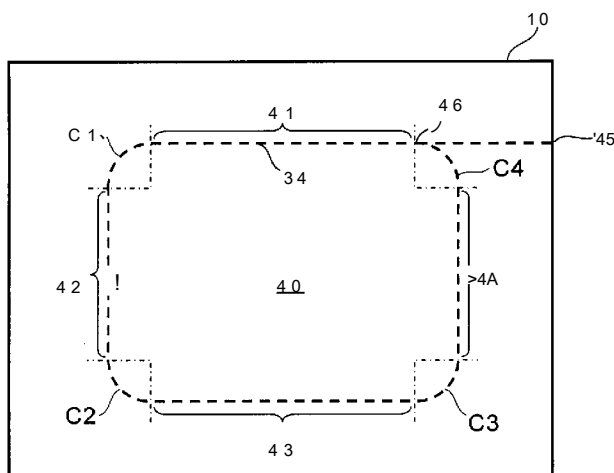
(43) 国際公開日
2013 年 6 月 13 日 (13.06.2013)

W O P O I P C T

- (51) 国際特許分類 :
C03B 33/09 (2006.01) B23K 26/38 (2006.01)
B23K 26/00 (2006.01) B23K26/40 (2006.01)
B23K 26/14 (2006.01) C03B 33/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP20 12/08 1371
- (22) 国際出願日 : 2012 年 12 月 4 日 (04.12.2012)
- (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 :
特許 201 1-267747 201 1 年 12 月 7 日 (07.12.2011) JP
特願 2012-153400 2012 年 7 月 9 日 (09.07.2012) JP
- (71) 出願人 : 旭硝子株式会社 (ASAHI GLASS COMPANY, LIMITED) [JP/JP]; 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目 5 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者 : 齋藤 勲 (SAITO Isao); 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目 5 番 1 号 旭硝子株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人 : 濱田 百合子, 外 (HAMADA Yuriko et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目 7 番 1 3 号 虎ノ門イーストビルディング 10 階 栄光特許事務所 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, IS, JP, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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))

(54) Title: METHOD FOR CUTTING TOUGHENED GLASS PLATES AND DEVICE FOR CUTTING TOUGHENED GLASS PLATES

(54) 発明の名称 : 強化ガラス板の切断方法、及び強化ガラス板切断装置



(57) Abstract: In a method for cutting toughened glass plates in one embodiment of the present invention, if a cutting line on a toughened glass plate includes a corner section and a straight section, the amount of laser-light energy (E1) to which the toughened glass plate is exposed per unit area in the straight section is set higher than the amount of laser-light energy (E2) to which the toughened glass plate is exposed per unit area in the corner section. Also, the speed at which the switch is made from the corner-section energy level (E2) to the straight-section energy level (E1) is set lower than the speed at which the switch is made from the straight-section energy level (E1) to the corner-section energy level (E2).

(57) 要約 :

[続葉有]

2013/084879 1

本発明の一態様に係る強化ガラスの切断方法においては、強化ガラス板の切断線がコーナー部と直線部とを含む場合において、直線部において強化ガラス板に照射されるレーザー光の単位照射面積あたりの照射エネルギーE1よりも、コーナー部において強化ガラス板に照射されるレーザー光の単位照射面積あたりの照射エネルギーE2を大きくする。また、コーナー部における照射エネルギーE2から直線部における照射エネルギーE1への切換速度を、直線部における照射エネルギーE1からコーナー部における前記照射エネルギーE2への切換速度よりも小さくする。

明 細 書

発明の名称：

強化ガラス板の切断方法、及び強化ガラス板切断装置

技術分野

[0001] 本発明は強化ガラス板の切断方法、及び強化ガラス板切断装置に関し、特にレーザ光による内部加熱を利用した強化ガラス板の切断方法、及び強化ガラス板切断装置に関する。

背景技術

[0002] 携帯電話や携帯情報端末（PDA：Personal Data Assistance）などの携帯機器では、ディスプレイのカバーや基板にガラス板が使用されている。携帯機器における薄型化・軽量化の要求から、ガラス板についても強度の高い強化ガラス板を用いることにより、薄型化・軽量化が図られるようになってきた。

[0003] ところで、ガラス板の切断は、通常、ダイヤモンド等の硬質のローラチップにより、主面に機械的にスクライブ線を導入し、当該スクライブ線に沿って折曲力を加えることによりなされる。このような手法では、スクライブ線の導入により、ガラス板の切断端面に多数の微細クラックが生成されることになる。従って、強化ガラス板であるにもかかわらず、切断端部に十分な強度が得られないという問題があった。

[0004] このような問題に対し、近年、レーザ光により強化ガラス板の内部を加熱し、強化ガラス板の主面でなく端面に導入した初期クラックの伸展を制御することにより、強化ガラス板を切断する方法が開発された。このようなレーザ光を用いた切断では、従来のように、強化ガラス板の主面にスクライブ線を導入する必要がない。そのため、切断端面に上述の微細クラックが生成されることもなく、高強度の強化ガラス板を得ることができる。特許文献1には、レーザ光によりガラス板を切断する方法が開示されている。

先行技術文献

特許文獻

[0005] 特許文獻1 : 国際公開第2010/126977号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 発明者は、レーザ光を用いた強化ガラス板の切断に関し、以下の課題を見出した。

レーザ光を用いて強化ガラス板を切断する場合、強化ガラス板に照射されるレーザ光の条件が適切でないと、切断線が切断予定線から外れ、切り出された強化ガラスパネルが寸法不良となるおそれがあった。

[0007] 本発明は、上記に鑑みなされたものであって、切り出された強化ガラスパネルの寸法不良を抑制した強化ガラス板の切断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

[0008] 本発明の第1の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、

残留圧縮応力を有する表面層および裏面層と、当該表面層および裏面層との間に形成され、内部残留引張応力 C_T (MPa) を有する中間層とを備える強化ガラス板を、当該強化ガラス板に照射されるレーザ光の照射領域を移動させることで切断する強化ガラス板の切断方法であって、

前記表面層および前記裏面層の厚さを DOL (μm)、前記強化ガラス板の厚さを t (μm)、前記強化ガラス板のヤング率を Y (MPa) として、 $U_{CT} = \{C_T^2 \times (t - 2 \times DOL)\} / (2 \times Y)$ で表現される前記内部残留引張応力 C_T に基づく単位面積当たりのひずみエネルギー U_{CT} (J / m^2) を $2.5 J / m^2$ 以上とし、

前記強化ガラス板の切断線がコーナ一部と直線部とを含み、前記直線部において前記強化ガラス板に照射されるレーザ光の単位照射面積あたりの照射エネルギー E_1 よりも、前記コーナ一部において前記強化ガラス板に照射されるレーザ光の単位照射面積あたりの照射エネルギー E_2 を、大きくし、

前記コーナー部における前記照射エネルギー E 2 から前記直線部における前記照射エネルギー E 1 への切換速度を、前記直線部における前記照射エネルギー E 1 から前記コーナー部における前記照射エネルギー E 2 への切換速度よりも小さくするものである。

[0009] 本発明の第 2 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 の態様において、

前記強化ガラス板に入射される前記レーザ光の実効的な出力を P_e (W)、前記レーザ光の走査速度を v (mm/s)、前記レーザ光に対する前記強化ガラス板の吸収係数を α (mm⁻¹)、前記強化ガラス板の厚さを t_2 (mm)、前記強化ガラス板の線膨張係数を α_L (K⁻¹)、前記強化ガラス板の密度を p (g/mm³)、前記強化ガラス板の比熱を c (J/g/K) として、 $K = P_e / v \times \exp(-\alpha \times t_2) \times (Y \times \alpha_L) / (t_2 \times p \times c)$ で表現される切断指数 K (N/mm) を 150 N/mm 以下とするものである。

[001 0] 本発明の第 3 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 又は 2 の態様において、

前記強化ガラス板と前記レーザ光とが、前記レーザ光に対する前記強化ガラス板の吸収係数を α (mm⁻¹)、前記強化ガラス板の厚さを t_2 (mm) として、 $0 < \alpha \times t_2 \leq 3.0$ の条件を満たすものである。

[001 1] 本発明の第 4 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 ~ 3 のいずれかの態様において、

前記中間層の残留引張応力が大きくなるにつれて、前記コーナー部における前記照射エネルギー E 2 から前記直線部における前記照射エネルギー E 1 への切換速度を大きくするものである。

[001 2] 本発明の第 5 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 ~ 4 のいずれかの態様において、

前記レーザ光の照射領域の移動速度を速くすることにより、前記コーナー部における前記照射エネルギー E 2 から前記直線部における前記照射エネルギー E 1 への切換を行うものである。

[001 3] 本発明の第 6 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 ~ 5 のいずれかの態様において、

前記レーザ光の出力を小さくすることにより、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E 2 から前記直線部における前記照射エネルギー E 1 への切換を行うものである。

[0014] 本発明の第 7 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 ~ 6 のいずれかの態様において、

前記レーザ光の照射領域の面積を大きくすることにより、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E 2 から前記直線部における前記照射エネルギー E 1 への切換を行うものである。

[001 5] 本発明の第 8 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 ~ 7 のいずれか一つの態様において、

前記強化ガラス板の吸収係数 α が大きくなるにつれて、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E 2 及び前記直線部における前記照射エネルギー E 1 を小さくするものである。

[001 6] 本発明の第 9 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 ~ 8 のいずれか一つの態様において、

前記強化ガラス板の熱膨張係数が大きくなるにつれて、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E 2 及び前記直線部における前記照射エネルギー E 1 を小さくするものである。

[001 7] 本発明の第 10 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 ~ 9 のいずれか一つの態様において、

前記強化ガラス板の厚さが厚くなるにつれて、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E 2 及び前記直線部における前記照射エネルギー E 1 を大きくするものである。

[001 8] 本発明の第 11 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 ~ 10 のいずれか一つの態様において、

前記強化ガラス板の前記レーザ光の照射領域に、前記レーザ光の入射側が

ら気体を吹き付けて冷却するものである。

[001 9] 本発明の第 1 2 の態様に係る強化ガラス板の切断方法は、前記第 1 1 の態様において、

前記強化ガラス板の前記コーナー部に、前記レーザ光の出射側から気体を吹き付けて冷却するものである。

[0020] 本発明の第 1 3 の態様に係る強化ガラス板切断装置は、

残留圧縮応力を有する表面層および裏面層と、当該表面層および裏面層との間に形成され、内部残留引張応力を有する中間層とを備える強化ガラス板を、当該強化ガラス板に照射されるレーザ光の照射領域を移動させることで切断する強化ガラス板切断装置であって、

前記強化ガラス板を保持するガラス保持部と、

前記強化ガラス板を切断するためのレーザ光を出力するレーザ出力部と、

前記レーザ出力部を制御する制御部と、を備え、

前記強化ガラス板の切断線がコーナー部と直線部とを含み、

前記制御部は、

前記直線部において前記強化ガラス板に照射されるレーザ光の単位照射面積あたりの照射エネルギー E_1 よりも、前記コーナー部において前記強化ガラス板に照射されるレーザ光の単位照射面積あたりの照射エネルギー E_2 を大きくし、

前記コーナー部における前記照射エネルギー E_2 から前記直線部における前記照射エネルギー E_1 への切換速度を、前記直線部における前記照射エネルギー E_1 から前記コーナー部における前記照射エネルギー E_2 への切換速度よりも小さくするものである。

発明の効果

[0021] 本発明により、切り出された強化ガラスパネルの寸法不良を抑制した強化ガラス板の切断方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図 1] レーザ光を照射する前の強化ガラス板の断面図である。

[図2] レーザ光を照射する前の強化ガラス板の残留応力の分布を示す模式図である。

[図3] 強化ガラス板の切断方法を説明するための斜視図である。

[図4] 図3のA-A線に沿った断面図である。

[図5] 図3のB-B線に沿った断面図である。

[図6] 実施の形態1に係る強化ガラス板の切断方法を説明するための図である。

[図7] 直線部とコーナー部における単位照射エネルギーEの切り替えを模式的に示したグラフである。

[図8] 強化ガラス板についての切断結果を示す表である。

[図9] 非強化ガラス板についての切断結果を示す表である。

[図10] 強化ガラス板および非強化ガラス板についての切断結果を示す表である。

[図11] レーザ光を用いて非強化ガラス板を切断する際に作用する応力を説明するための図である。

[図12] レーザ光を用いて強化ガラス板を切断する際に作用する応力の一例を示す図である。

[図13] レーザ光を用いて強化ガラス板を切断する際に作用する応力の他の例を示す図である。

[図14] 参考例2に係る切断予定線の形状を示す図である。

[図15] サンプル1～12について、レーザ波長 λ 、内部ひずみエネルギー U_c 、臨界照射エネルギー E_c 、及び両者を導出するための諸条件が示された表である。

[図16A] 図15の表に示した臨界照射エネルギー E_c の内部ひずみエネルギー U_c 依存性を示すグラフである。

[図16B] 図15の表に示した臨界切断指数 K_c の内部ひずみエネルギー U_{CT} 依存性を示すグラフである。

[図17] 切り出された強化ガラスパネルの形状を示している。

[図18] 強化ガラス板の切断条件を示す表である。

[図19] 実施例 1 に係る強化ガラス板の切断方法に用いた冷却ノズルの断面図である。

[図20] 強化ガラス板の切断結果を示す表である。

[図21] 寸法誤差の最大値 δ_{max} の単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ 依存性を示すグラフである。

[図22] 実施の形態 2 に係る強化ガラス板切断装置を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。ただし、本発明が以下の実施の形態に限定される訳ではない。また、説明を明確にするため、以下の記載及び図面は、適宜、簡略化されている。

[0024] (実施の形態 1)

< 強化ガラス板の構造及び切断方法の概要 >

まず、図 1 ~ 5 を参照して、強化ガラス板の構造、及び強化ガラス板の切断方法の概要について説明する。

まず、図 1、2 を参照して、強化ガラス板の構造について説明する。図 1 は、レーザ光を照射する前の強化ガラス板 10 の断面図である。図 1 において、矢印の方向は、残留応力の作用方向を示し、矢印の大きさは、応力の大きさを示す。図 1 に示すように、強化ガラス板 10 は、表面層 13 及び裏面層 15 と、表面層 13 と裏面層 15 との間に設けられた中間層 17 とを有する。表面層 13 及び裏面層 15 には、下記の風冷強化法や化学強化法により圧縮応力が残留している。また、その反作用として、中間層 17 には引張応力が残留している。

[0025] 強化ガラス板 10 は、例えば風冷強化法や化学強化法などで作製される。強化用のガラスの種類は、用途に応じて選択される。例えば、自動車用窓ガラスや建築用窓ガラス、PDP (PLasma Display Panel) 用のガラス基板、

カバーガラスの場合、強化用のガラスとしては、アルカリアルミノシリケートガラスやソーダライムガラスが用いられる。

[0026] 風冷強化法は、軟化点付近の温度のガラスを表面及び裏面から急冷し、ガラスの表面及び裏面と内部との間に温度差をつけることで、圧縮応力が残留する表面層及び裏面層を形成する。風冷強化法は、厚いガラスを強化するのに好適である。

[0027] 化学強化法は、ガラスの表面及び裏面をイオン交換し、ガラスに含まれる小さなイオン半径のイオン（例えば、 Li イオン、 Na イオン）を、大きなイオン半径のイオン（例えば、 K イオン）に置換することで、圧縮応力が残留する表面層及び裏面層を形成する。化学強化法は、アルカリアルミノシリケートガラスやソーダライムガラスを強化するのに好適である。

[0028] 図2は、レーザ光を照射する前の強化ガラス板の残留応力の分布を示す模式図である。

図2に示すように、表面層13及び裏面層15に残留する圧縮応力（ > 0 ）は、強化ガラス板10の表面12及び裏面14から内部に向けて徐々に小さくなる傾向がある。また、中間層17に残留する引張応力（ < 0 ）は、ガラスの内部から表面12及び裏面14に向けて徐々に小さくなる傾向がある。

[0029] 図2において、 C_S は表面層13や裏面層15における最大残留圧縮応力（表面圧縮応力）（ > 0 ）、 C_T は中間層17における内部残留引張応力（中間層17の残留引張応力の平均値）（ < 0 ）、 DOL は表面層13及び裏面層15の厚さ、 t は強化ガラス板10の厚さ、をそれぞれ示す。従って、中間層17の厚さは、 $t - 2 \times DOL$ となる。

[0030] また、強化ガラス板の内部残留引張応力 C_T （ MPa ）は、通常、表面圧縮応力 C_S （ MPa ）及び表面層13及び裏面層15の厚さ DOL （ μm ）を測定し、その測定値と、強化ガラス板の厚さ t （ μm ）とから以下の式1を用いて算出する。

$$C_T = (C_S \times DOL) / (t - 2 \times DOL) \quad \cdots \text{式 1}$$

そして、内部残留引張応力 C_T による単位面積当たりのひずみエネルギー（以下、単に「内部ひずみエネルギー」という） U_{CT} (J/m^2) は、強化ガラス板のヤング率 Y (MPa) を用いて以下の式 2 により求めることができる。

$$U_{CT} = \{C_T^2 \times (t_1 - 2 \times DOL)\} / (2 \times Y) \quad \dots \text{式 2}$$

[0031] 発明者は、種々の内部ひずみエネルギー U_{CT} を有する強化ガラス板について、切断に必要なレーザ光の照射エネルギー E の最小値（以下、臨界照射エネルギーという） E_c を調査した。その結果、強化ガラス板の内部ひずみエネルギー $U_{CT} < 2.5 J/m^2$ とすると、切断条件が同一でも、臨界照射エネルギー E_c が急激に（具体的には数倍程度）上昇するとともに、切断精度も悪化することを見出した。同時に、発明者は、強化ガラス板の内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 J/m^2$ とすると、強化ガラス板の材質、厚さ及びレーザ波長が同一であれば、臨界照射エネルギー E_c は、略一定値となり、切断精度も向上することを見出した。つまり、発明者は、強化ガラス板を切断する場合、内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 J/m^2$ とすることにより、内部残留引張応力によるクラック伸展が支配的となり、小さい照射エネルギーで精度良く切断することができることを見出した。

[0032] つまり、内部ひずみエネルギー $U_{CT} = 2.5 J/m^2$ 近傍において、切断モードの変換が生じているものと考えられる。具体的には、強化ガラス板を切断するためのクラック伸展エネルギーとして、内部ひずみエネルギー $U_{CT} < 2.5 J/m^2$ の場合、内部ひずみエネルギーに加え、レーザ光の照射エネルギーが必要となり、内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 J/m^2$ の場合、内部ひずみエネルギーのみとなる。そして、 $U_{CT} \geq 2.5 J/m^2$ の場合には、クラックを進展させるためでなく、逆にクラックの伸展を抑制し、制御するために、レーザ光の照射エネルギーが必要になる。

[0033] ここで、最大残留圧縮応力 C_S や内部残留引張応力 C_T 、表面層 13 及び裏面層 15 の厚さ DOL は、強化処理条件で調節可能である。例えば、最大残留圧縮応力 C_S や内部残留引張応力 C_T 、表面層 13 及び裏面層 15 の厚

さDOLは、風冷強化法の場合、ガラスの冷却速度などで調節可能である。また、最大残留圧縮応力CS、内部残留引張応力CT、表面層13及び裏面層15の厚さDOLは、化学強化法の場合、ガラスを処理液（例えば、 KNO_3 溶融塩）に浸漬してイオン交換するので、処理液の濃度や温度、浸漬時間などで調節可能である。なお、本実施の形態の表面層13及び裏面層15は、同じ厚さDOL及び最大残留圧縮応力CSを有するが、異なる厚さや最大残留圧縮応力を有してもよい。

[0034] 図3は、強化ガラス板の切断方法を説明するための図である。図3に示すように、強化ガラス板10の表面12にレーザ光20を照射し、強化ガラス板10の表面12上で、レーザ光20の照射領域22を移動（走査）させることで、強化ガラス板10に応力を印加して、強化ガラス板10を切断する。

[0035] 強化ガラス板10の端部には、切断開始位置に、初期クラックが予め形成されている。初期クラックの形成方法は、一般的な方法であって良く、例えばカッタやヤスリ、レーザで形成される。なお、レーザ光を用いた内部加熱切断では、強化ガラス板10の表面12に、切断予定線に沿ったスクライブ線（溝線）を形成する必要がない。

[0036] 強化ガラス板10の表面12上において、レーザ光20の照射領域22は、強化ガラス板10の端部から内側に向けて、切断予定線に沿って、直線状や曲線状に移動される。これによつて、強化ガラス板10の端部から内側に向けてクラック30を伸展させ、強化ガラス板10を切断する。

[0037] 強化ガラス板10の表面12上において、レーザ光20の照射領域22を移動させるため、強化ガラス板10を支持する保持具を、移動又は回転してもよいし、レーザ光20の光源を移動してもよい。また、レーザ光20の経路の途中に設けられるミラーを回転してもよい。

[0038] 強化ガラス板10の表面12上において、レーザ光20の照射領域22は、強化ガラス板10の厚さや、最大残留圧縮応力CS、内部残留引張応力CT、表面層13や裏面層15の厚さDOL、レーザ光20の光源の出力など

に応じた速度で移動される。

[0039] レーザ光 20 の光源としては、特に限定されないが、例えば、UV レーザ（波長：355 nm）、グリーンレーザ（波長：532 nm）、半導体レーザ（波長：808 nm、940 nm、975 nm）、ファイバーレーザ（波長：1060～1100 nm）、YAG レーザ（波長：1064 nm、2080 nm、2940 nm）、中赤外光パラメトリック発振器を使用したレーザ（波長：2600～3450 nm）などが挙げられる。レーザ光 20 の発振方式に制限はなく、レーザ光を連続発振する CW レーザ、レーザ光を断続発振するパルスレーザのいずれも使用可能である。また、レーザ光 20 の強度分布に制限はなく、ガウシアン型であっても、トップハット型であってもよい。

[0040] 光源から出射されたレーザ光 20 は、集光レンズなどで集光され、強化ガラス板 10 の表面 12 に結像される。レーザ光 20 の集光位置は、強化ガラス板 10 の表面 12 を基準として、レーザ光源側であってもよいし、裏面 14 側であってもよい。また、加熱温度が高くなりすぎない、すなわち徐冷点以下を保てる集光面積であれば、レーザ光 20 の集光位置は強化ガラス板 10 中であってもよい。

[0041] レーザ光 20 の光軸は、強化ガラス板 10 の表面 12 において、例えば図 3 に示すように表面 12 と直交していてもよいし、表面 12 と斜めに交わっていてもよい。

[0042] レーザ光 20 に対する強化ガラス板 10 の吸収係数を α (mm⁻¹)、強化ガラス板 10 の厚さを t_2 (mm) として、強化ガラス板 10 とレーザ光 20 とが、 $0 < \alpha \times t_2 \leq 3.0$ の式を満たす場合、レーザ光 20 のみの作用ではなく、中間層 17 の残留引張応力によるクラックの伸展を利用して強化ガラス板 10 を切断することができる。すなわち、上記条件で、レーザ光 20 の照射領域 22 における中間層 17 を徐冷点以下の温度で加熱することによって、中間層 17 の残留引張応力によって強化ガラス板 10 に生じるクラック 30 の伸展を制御して、残留引張応力によるクラック 30 によって強化ガラ

ス板 10 を切断することが可能となる。なお、中間層 17 を徐冷点以下の温度で加熱するのは、徐冷点を超えて加熱すると、レーザ光が通過する短時間でもガラスが高温となり粘性流動が発生しやすい状態となるため、この粘性流動によりレーザ光によって発生させた圧縮応力が緩和されるからである。

なお、強化ガラス板 10 の厚さ (板厚) t の値 t_2 (mm) は式 1、2 における値 t , (μm) と単位のみが異なる。

[0043] 強化ガラス板 10 に入射する前のレーザ光 20 の強度を I_0 とし、強化ガラス板 10 中を距離 L (mm) だけ移動したときのレーザ光 20 の強度を I とすると、ランベルト・ベールの法則により次式が成立する。

$$I = I_0 \times \exp(-\alpha \times L)$$

[0044] $\alpha \times t_2$ を 0 より大きく 3.0 以下とすることで、レーザ光 20 が、強化ガラス板 10 の表面で吸収されずに内部にまで到達するようになるため、強化ガラス板 10 の内部を十分に加熱できる。その結果、強化ガラス板 10 に生じる応力は、図 1 に示す状態から、図 4 や図 5 に示す状態に変化する。

[0045] 図 4 は、図 3 の A—A 線に沿った断面図であって、レーザ光の照射領域を含む断面図である。図 5 は、図 3 の B—B 線に沿った断面図であって、図 4 に示す断面よりも後方の断面である。ここで、「後方」とは、レーザ光 20 の走査方向後方を意味する。図 4 及び図 5 において、矢印の方向は、応力の作用方向を示し、矢印の長さは、応力の大きさを示す。

[0046] レーザ光 20 の照射領域 22 における中間層 17 では、レーザ光 20 の強度が十分に高いので、温度が周辺に比べて高くなり、図 1 及び図 2 に示す残留引張応力よりも小さい引張応力、又は、圧縮応力が生じる。残留引張応力よりも小さい引張応力、又は、圧縮応力が生じている部分では、クラック 30 の伸展が抑制される。クラック 30 の伸展を確実に防止するため、図 4 に示すように、圧縮応力が生じていることが好ましい。

[0047] なお、図 4 に示すように、レーザ光 20 の照射領域 22 における表面層 13 や裏面層 15 では、図 1 及び図 2 に示す残留圧縮応力よりも大きい圧縮応力が生じているので、クラック 30 の伸展が抑制されている。

[0048] 図4に示す圧縮応力との釣り合いのため、図4に示す断面よりも後方の断面では、図5に示すように、中間層17に引張応力が生じる。この引張応力は、残留引張応力よりも大きく、引張応力が所定値に達している部分に、クラック30が形成される。クラック30は強化ガラス板10の表面12から裏面14まで貫通しており、図3に示す切断は所謂フルカット切断である。

[0049] この状態で、レーザ光20の照射領域22を移動させると、照射領域22の位置に追従するようにクラック30の先端位置が移動する。すなわち、図3に示す切断方法では、強化ガラス板10を切断する際に、レーザ光の走査方向後方に発生する引張応力(図5参照)によりクラック30の伸展方向を制御し、レーザ光が照射されている領域に発生する圧縮応力(図4参照)を用いて、クラック30の伸展を抑制しながら切断している。つまり、レーザ光20の照射により発生する圧縮応力を用いてクラック30の伸展を制御している。この結果、クラック30が切断予定線から外れて自走することを抑制することができる。

[0050] ガラスは、用途によっては、高い透明度が要求されるので、使用レーザ波長が可視光の波長領域に近い場合、 $\alpha \times t_2$ は0に近い程よい。しかし、 $\alpha \times t_2$ は、小さすぎると吸収効率が悪くなるので、好ましくは0.0005以上(レーザ光吸収率0.05%以上)、より好ましくは0.002以上(レーザ光吸収率0.2%以上)、さらに好ましくは0.004以上(レーザ光吸収率に4%以上)である。

[0051] ガラスは、用途によっては、逆に低い透明度が要求されるので、使用レーザ波長が可視光の波長領域に近い場合、 $\alpha \times t_2$ は大きい程よい。しかし、 $\alpha \times t_2$ が大きすぎるとレーザ光の表面吸収が大きくなるのでクラック伸展を制御できなくなる。このため、 $\alpha \times t_2$ は、好ましくは3.0以下(レーザ光吸収率95%以下)、より好ましくは0.1以下(レーザ光吸収率10%以下)、さらに好ましくは0.02以下(レーザ光吸収率2%以下)である。

[0052] 強化ガラス板10の厚さ t_2 (mm)は、用途に応じて設定されるが、0.1~2.0mmであることが好ましい。化学強化ガラスの場合、厚さ t_2 (m

m) を2.0 mm以下とすることで、内部残留引張応力 C_T を十分に高めることができる。一方、厚さ t_2 (mm) が0.1 mm未満になると、ガラスに化学強化処理を施すことが難しい。厚さ t_2 (mm) は、より好ましくは0.3 ~ 1.5 mm、さらに好ましくは0.5 ~ 1.5 mmである。

[0053] 吸収係数 α は、レーザ光20の波長、強化ガラス板10のガラス組成などで定まる。

例えば1000 nm付近の近赤外線波長領域での吸収係数 α は、強化ガラス板10中の酸化鉄 (FeO 、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 を含む)の含有量、酸化コバルト (CoO 、 Co_2O_3 、 Co_3O_4 を含む)の含有量、酸化銅 (CuO 、 Cu_2O を含む)の含有量が多くなるほど大きくなる。つまり、酸化鉄などの含有量を調節することにより、 $\alpha \times t_2$ の値を所望の範囲に調節可能である。強化ガラス板10中の酸化鉄の含有量は、強化ガラス板10を構成するガラスの種類によるが、ソーダライムガラスの場合、例えば0.02 ~ 1.0 質量%である。但し、酸化鉄などの含有量が多くなるほど、強化ガラス板10の可視光領域の透明度は低下する。

[0054] 1000 nm付近の近赤外線波長領域での吸収係数 (α) は、用途に応じて設定される。例えば、自動車用窓ガラスの場合、吸収係数 (α) は 0.3 mm^{-1} 以下であることが好ましい。また、建築用窓ガラスの場合、吸収係数 (α) は 0.06 mm^{-1} 以下であることが好ましい。また、ディスプレイ用ガラスの場合、吸収係数 (α) は 0.02 mm^{-1} 以下であることが好ましい。

[0055] また、希土類原子の吸収波長付近での吸収係数 α は、強化ガラス板10中の希土類元素 (例えばYb) の酸化物の含有量が多くなるほど大きくなる。

さらに、3000 nm付近の中赤外線波長領域での吸収係数 α は、強化ガラス板10中の OH 基の含有量が多くなるほど大きくなる。ここで、 OH 基の含有量は、可視光領域の透明度に影響を及ぼさない。

[0056] レーザ光20の波長は、250 ~ 5000 nmであればよいが、2500 ~ 3500 nmとすることが好ましい。レーザ光20の波長が2500 ~ 3

500 nm (3000 nm近傍) の場合、上述の通り、可視光領域の透明度を低下させずに吸収係数 α を高めることができる。その結果、レーザー光20による加熱効率を高めることができる。レーザー光20の波長は、2700~3200 nmとすることがさらに好ましい。

[0057] 例えばレーザー光の波長が1000 nm近傍の場合、酸化鉄含有量0.04質量%の強化ガラス板の吸収率は、板厚 t_2 (mm) が1 mmの場合、約2% (透過率 : 約98%) である。そのため、レーザー光の照射による加熱効率が悪い。また、Fe濃度により吸収率が変化するため、強化ガラス板の組成によりレーザー光の照射条件を大幅に変更する必要がある。

これに対し、例えばレーザー光の波長が3000 nm近傍の場合、酸化鉄含有量によらず強化ガラス板の吸収率は、板厚が1 mmの場合、約50% (透過率 : 約50%) である。そのため、波長が1000 nm近傍の場合に比べ、加熱効率が向上する上、強化ガラス板の組成によりレーザー光の照射条件を大幅に変更する必要がない。

[0058] また、波長が1000 nm近傍で吸収率が約2%の場合、例えば切断に2 Wの吸収パワーが必要であれば、100 Wが投入され、98 Wが透過する。そのため、レーザー光の通過する切断予定線の下にテーブルが位置していると、レーザー光によりテーブルまで損傷を受けてしまう。そのため、強化ガラス板から切り出す強化ガラスパネルよりもテーブルを一回り小さくするなどの工夫が必要であった。また、透過したレーザー光の処理も必要であった。さらに、透過率が高いため、強化ガラス板の端面における反射光が悪影響を及ぼす場合があった。また、表面あるいは裏面に付着した異物によりレーザー光の吸収率が高まると、吸収量の変化が大きく、悪影響を及ぼす場合があった。さらに、Fe濃度により吸収率が2%から1%へ1%しか変化しなかった場合でも、投入するパワーを100 Wから200 Wへ100 Wも変更する必要がある。

[0059] これに対し、波長が3000 nm近傍で吸収率が約50%の場合、切断に2 Wの吸収パワーが必要であれば、4 Wが投入され、2 Wが透過する。この

ように、波長が1000nm近傍の場合に比べ、投入パワーを劇的に減少させ、加熱効率を向上させることができる。その上、透過光も劇的に減少するので、レーザ光の通過する切断予定線の下にテーブルが位置していても、テーブルが損傷を受けることがない。そのため、切断する強化ガラス板より大きなテーブルに強化ガラスを載せることにより、より安定した状態で切断することができる。また、透過したレーザ光の処理も不要となる。さらに、強化ガラス板の端面における反射光のパワーも小さく、悪影響を及ぼし難い。また、表面あるいは裏面に付着した異物によりレーザ光の吸収率が高まっても、吸収量の変化が小さく、悪影響を及ぼし難い。さらに、Fe濃度による吸収率の変動もない上、仮に吸収率が50%から40%へ10%も減少した場合でも、投入するパワーを4Wから5Wへ1Wだけ変更すればよい。

[0060] 以上で説明した方法を用いることで、強化ガラス板を切断することができる。

[0061] < 強化ガラス板の切断方法の詳細な説明 >

次に、本実施の形態にかかる強化ガラス板の切断方法について詳細に説明する。

なお、上記ではレーザ光の波長として3000nm近傍の波長が好ましいと説明したが、以下で説明する強化ガラス板の切断方法ではこの波長に限定されることはなく、例えば波長が250～5000nmのレーザ光について広く適用することができる。

[0062] 図6は、本実施の形態に係る強化ガラス板の切断方法を説明するための図である。図6は、強化ガラス板10を上面から見た図である。また、強化ガラス板10に示す破線は、上記で説明した切断方法を用いて、強化ガラス板10から強化ガラスパネル40を切り出すための切断予定線34を示している。強化ガラスパネル40は、所定の曲率半径Rを有する4つのコーナー部C1、C2、C3、C4、及び直線部41、42、43、44を有する四角形状である。なお、図6に示す強化ガラスパネル40の形状は一例であり、他の任意の形状の強化ガラスパネル40を強化ガラス板10から切り出す場

合にも、本実施の形態に係る強化ガラスの切断方法を用いることができる。

[0063] 強化ガラス板 10 から強化ガラスパネル 40 を切り出す際は、切断予定線 34 を通過するようにレーザ光を走査する。具体的には、直線部 41 の延長上の端面に位置する切断開始位置 45 からレーザ光の走査を開始する。そして、直線部 41、コーナー部 C1、直線部 42、コーナー部 C2、直線部 43、コーナー部 C3、直線部 44、コーナー部 C4、を経由して、コーナー部 C4 と直線部 41 との接続点である切断終了位置 46 までレーザ光を走査する。このとき、切断開始位置 45、つまり強化ガラス板 10 の端部には初期クラックが予め形成されている。初期クラックは、例えばカッタ、ヤスリ、レーザで形成することができる。

[0064] このように、レーザ光を用いて強化ガラス板 10 から強化ガラスパネル 40 を切り出す場合、強化ガラス板 10 に照射されるレーザ光の条件を最適化する必要がある。すなわち、強化ガラス板 10 に照射されるレーザ光の条件が不適切な場合、切断線が切断予定線から外れ、切り出された強化ガラスパネル 40 が寸法不良となるおそれがあった。

[0065] 特に、図 6 に示す強化ガラスパネル 40 では、所定の曲率半径 R を有する 4 つのコーナー部 C1、C2、C3、C4 を有する。そのため、効率（生産性）よく切断するためには、直線部 41、42、43、44 とコーナー部 C1、C2、C3、C4 とでは、照射されるレーザ光の条件を変更する必要がある。

[0066] 上述のように、強化ガラス板 10 を切断する際に、レーザ光が照射されている領域に発生する圧縮応力（図 4 参照）を用いて、レーザ光の走査方向後方に発生する引張応力（図 5 参照）によるクラックの伸展をおさえながら切断している。このとき、走査方向後方に発生する引張応力によるクラックの伸展は、レーザ光の走査軌跡の接線方向に向かう性質がある。このため、コーナー部の曲率半径 R が小さい程（つまり、カーブが急になる程）、クラックの伸展方向を制御するのが難くなる。

[0067] そのため、本実施の形態では、コーナー部 C1、C2、C3、C4 におい

て直線部 4 1、4 2、4 3、4 4 よりも強化ガラス板 10 に照射される単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギーを大きくする。なお、曲率半径 R が小さい程、単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギーを大きくする。

[0068] 単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギー E (J / mm^2) は、レーザ光の出力を P (W)、レーザ光の走査速度を v (mm / s)、強化ガラス板 10 に照射されるレーザ光のビーム径を ϕ (mm) とすると、次の式 1 で表すことができる。

$$E (J / mm^2) = P (W) / (v (mm / s) \times \phi (mm)) \quad \dots$$

式 3

[0069] すなわち、単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギー E (J / mm^2) は、レーザ光が単位時間 (1 秒間) に強化ガラス板 10 を走査する面積あたりのエネルギーである。以下では、単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギーを、単位照射エネルギーとも記載する。

[0070] 例えば、上記の式 3 より、レーザ光の照射領域の移動速度 (走査速度) v (mm / s) を遅くすることで、単位照射エネルギー E (J / mm^2) を大きくすることができる。また、レーザ光の出力 P (W) を大きくすることで、単位照射エネルギー E (J / mm^2) を大きくすることができる。また、レーザ光の照射領域の面積 (つまり、ビーム径 ϕ) を小さくすることで、単位照射エネルギー E (J / mm^2) を大きくすることができる。また、これら方法を適宜組み合わせることにより、単位照射エネルギー E (J / mm^2) を大きくすることも可能である。

[0071] また、強化ガラス板 10 の吸収係数 α が大きくなるにつれて、単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギー E (J / mm^2) を小さくしてもよい。吸収係数 α が大きい場合は、強化ガラス板 10 に吸収されるエネルギーが多くなるため、その分だけ単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギー E (J / mm^2) を小さくすることができる。

[0072] また、強化ガラス板の厚さ t が厚くなるにつれて、単位照射面積あたりの

レーザ光の照射エネルギー E (J / mm^2) を大きくしてもよい。強化ガラス板の厚さ t が厚い場合は、強化ガラス板 10 に供給するエネルギーを多くする必要があるため、単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギー E (J / mm^2) を大きくすることが好ましい。また、強化ガラス板 10 の熱膨張係数が大きくなるにつれて、単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギー E (J / mm^2) を小さくしてもよい。強化ガラス板 10 の熱膨張係数が大きいとレーザ光の走査方向後方に発生する引張応力が大きくなるため、その分だけ単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギー E (J / mm^2) を小さくすることができる。

[0073] ここで、直線部 4 1、4 2、4 3、4 4 において照射するレーザ光の単位照射エネルギーを E_1 とし、コーナー部 C 1、C 2、C 3、C 4 において照射するレーザ光の単位照射エネルギーは E_1 より大きい E_2 とする。本実施の形態では、直線部 4 1 からコーナー部 C 1 へ移行する際に、単位照射エネルギーを E_1 から E_2 に切り換える。一方、コーナー部 C 1 から直線部 4 2 へ移行する際に、単位照射エネルギーを E_2 から E_1 に切り換える。

[0074] 同様に、直線部 4 2 からコーナー部 C 2 へ移行する際に、単位照射エネルギーを E_1 から E_2 に切り換え、コーナー部 C 2 から直線部 4 3 へ移行する際に、単位照射エネルギーを E_2 から E_1 に切り換える。同様に、直線部 4 3 からコーナー部 C 3 へ移行する際に、単位照射エネルギーを E_1 から E_2 に切り換え、コーナー部 C 3 から直線部 4 4 へ移行する際に、単位照射エネルギーを E_2 から E_1 に切り換える。そして、直線部 4 4 からコーナー部 C 4 へ移行する際に、単位照射エネルギーを E_1 から E_2 に切り換える。

[0075] ここで、単位照射エネルギー E_1 、 E_2 の切り換えは、生産性を考えた場合、できる限り短時間で行うことが好ましい。

しかしながら、発明者は、コーナー部から直線部への移行点（つまり、コーナー部出口）において、高い単位照射エネルギー E_2 から低い単位照射エネルギー E_1 へ急激に切り換えると、切断線が切断予定線 3 4 から外側へはみ出し、切り出された強化ガラスパネル 4 0 が寸法不良となるおそれがある

ことを見出した。

[0076] 鋭意研究の結果、発明者は、コーナー部から直線部への移行点における単位照射エネルギーの切換速度を制限する（低く抑える）ことにより、切断予定線 3 4 からのずれ量（つまり寸法誤差）を抑制できることを見出した。ここで、単位照射エネルギーの切換速度とは、単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量である。つまり、単位照射エネルギーの変化量を ΔE ($= E_2 - E_1$)、その切り換えに要する時間を T とすると、単位照射エネルギーの切換速度は $\Delta E / T$ と表すことができる。

[0077] そこで、本実施の形態に係る強化ガラス板 10 の切断方法では、コーナー部から直線部への移行点（コーナー部の出口）における単位照射エネルギー E の切換速度を低く抑えている。これにより、切断予定線 3 4 からのずれ量を抑制することができる。図 7 は、直線部とコーナー部とにおける単位照射エネルギー E の切り替えを模式的に示したグラフである。横軸は時間、縦軸は単位照射エネルギー E (J / mm^2) である。

[0078] ここで、直線部からコーナー部への移行点（つまり、コーナー部入口）では上記はみ出しの問題は生じないから、図 7 に示すように、このポイントにおける単位照射エネルギーの切換速度は、速い程好ましい。従って、本実施の形態に係る強化ガラスの切断方法では、コーナー部出口における単位照射エネルギーの切換速度は、コーナー部入口における単位照射エネルギーの切換速度よりも小さくする。また、図 7 のグラフにおいて実線で示すように、コーナー部の出口における単位照射エネルギーの切換速度 $\Delta E / T$ は、一定とするよりもできる限り滑らかに変化させる（徐々に上昇させる）ことが好ましい。これにより、切断予定線 3 4 からのずれ量をさらに抑制することができる。

[0079] さらに、発明者は、強化ガラス板 10 の残留引張応力 $C T$ が小さい程、単位照射エネルギーの切換速度を低く抑える必要があることを見出した。そこで、本実施の形態に係る強化ガラスの切断方法では、強化ガラス板 10 の残留引張応力 $C T$ が小さい程、単位照射エネルギーの切換速度を低く抑えてい

る。

[0080] 以上で説明した本実施の形態に係る強化ガラスの切断方法により、高い生産性を維持しつつ、切り出された強化ガラスパネルの寸法不良を抑制することができる。

[0081] < 参考例 1 >

ここで、図 8 ~ 10 を参照して、強化ガラス板の切断方法と非強化ガラス板の切断方法とでは、クラックの伸展の仕方が異なることについて説明する。図 8 は、強化ガラス板についての切断結果を示す表である。図 9 は、非強化ガラス板についての切断結果を示す表である。図 10 は、強化ガラス板（参考例）及び非強化ガラス板（比較例）についての切断結果を示す表である。図 10 に示す切断結果は、図 8、図 9 に示した切断結果よりもレーザー光のスポット径を小さくした場合の切断結果である。

[0082] 参考例 101 ~ 103、106 ~ 108 では強化ガラス板を用意し、比較例 104 ~ 105、109 ~ 110 では非強化ガラス板を用意した。参考例 101 ~ 103、106 ~ 108 の強化ガラス板は、比較例 104 ~ 105、109 ~ 110 の非強化ガラス板と同じ寸法形状（矩形、長辺 100 mm、短辺 60 mm、板厚 0.7 mm）、同じ化学組成のガラス板を化学強化法で強化して作製した。強化ガラス板は、内部残留引張応力（CT）30.4 MPa、最大残留圧縮応力（CS）763 MPa、圧縮応力層（表面層や裏面層）の厚さ（DOL）25.8 μ m を有していた。ここで、内部ひずみエネルギー U_{CT} は 4.04 J / m² であった。

[0083] 参考例 101 ~ 103、106 ~ 108、比較例 104 ~ 105、109 ~ 110 では、ガラス板の種類（強化、非強化の別）、光源の出力、及びレーザースポット径以外、同じ条件下で切断実験を行った。

< 共通の条件 >

レーザー光光源：ファイバーレーザー（波長 1070 nm）

レーザー光のガラス板への入射角：0°

レーザー光の集光角：2.5°

レーザ光の集光位置 : ガラス板の表面から光源側に 23 mm 離れた位置

ガラス板の表面におけるレーザスポット径 : ϕ 1 mm

レーザ光に対するガラス板の吸収係数 α : 0.09 cm^{-1} (0.009 m^{-1})

ガラス板の板厚 t : 0.07 cm (0.7 mm)

ガラス板のヤング率 Y : 74000 MPa

$\alpha \times t$: 0.0063

ノズルの出口径 : ϕ 1 mm

ノズルからの冷却ガス (室温の圧縮空気) の流量 : 30 L/min

目標切断位置 : ガラス板の短辺と平行な直線 (一方の短辺からの距離 10 mm、他方の短辺からの距離 90 mm)

切断速度 : 2.5 mm/s

[0084] 図 8、図 9 に示す参考例 101 ~ 103 及び比較例 104 ~ 105 では、ガラス板の表面におけるレーザスポット径 ϕ を 1 mm とした。また、図 10 に示す参考例 106 ~ 108 及び比較例 109 ~ 110 では、ガラス板の表面におけるレーザスポット径 ϕ を 0.1 mm とした。

[0085] 切断後、ガラス板の切断面を顕微鏡で観察した。ガラス板の切断面で観察される縞模様は、断続的に伸展するクラックの先端位置の経時変化を表す。縞模様の各線の形状から、クラックの伸展の様子がわかる。図 8 ~ 10 に示す顕微鏡写真において、縞模様の代表的な線を太い白線で強調表示する。

また、ガラス板の切断の途中で、レーザ照射及びガス冷却を中断したときのクラックの様子を目視で観察した。

[0086] 各実験結果を図 8 ~ 10 に示す。図 8 ~ 10 において、ガラス板にクラックが形成された場合 (切断できた場合) を「○」、ガラス板にクラックが形成されなかった場合 (切断できなかった場合) を「×」として示した。

図 8 ~ 10 の切断面の顕微鏡写真における縞模様の線は、ある時点でのクラックの先端位置を表す。

図 8 ~ 10 における「自走」とは、レーザ照射等の中断後に、ガラス板の

２つの短辺のうち、切断位置から近い方の短辺に向けてクラックが伸展することを意味する。

[0087] 凸量、及び直線誤差量は、ガラス板を切断した際の誤差量を示している。つまり、ガラス板を上面側から見た際に、ガラス板の切断線が切断予定線（グラフのX軸で示す）からずれている量（グラフのY軸で示す）を示している。凸量、及び直線誤差量（つまり、Y軸の絶対値）が小さいほど、ガラス板が切断予定線に沿って切断されている。

[0088] 図9に示すように、比較例104～105に係る非強化ガラス板の切断では、切断面の顕微鏡写真から明らかなように、ガラス板の板厚方向両端部が、ガラス板の板厚方向中央部よりも先に割れる傾向にあった。また、切断の途中でレーザ照射及びガス冷却を中断すると、クラックの伸展が停止した。また、非強化ガラスの切断では、大きな光源出力が必要であった。更に、非強化ガラス板の切断では、凸量、及び直線誤差量が大きくなった。

[0089] これに対し、図8に示す参考例101～103に係る強化ガラス板の切断では、切断面の顕微鏡写真から明らかなように、ガラス板の板厚方向中央部が、ガラス板の板厚方向両端部よりも先に割れる傾向にあった。これは、元々強化ガラス板の内部に残留引張応力が存在しており、この残留引張応力によってクラックが伸展するためである。また、切断の途中でレーザ照射及びガス冷却を中断すると、クラックが意図しない方向に自ら伸展した。この結果から、レーザ光の照射により、残留引張応力によるクラックの伸展が抑制されていることが分かる。また、強化ガラス板の切断では、凸量、及び直線誤差量が非強化ガラス板の切断の場合よりも小さかった。図10に示す参考例106～108に係る強化ガラス板の切断においても同様の結果となった。

[0090] また、図10に示すように、レーザスポット径を小さくした場合（参考例106～108）は、参考例101～103よりも小さい光源出力で強化ガラス板を切断することができた。また、参考例106～108では、図8に示す参考例101～103と比べて凸量、及び直線誤差量が小さくなった。

つまり、参考例 106 ~ 108 では、参考例 101 ~ 103 よりも精度よく強化ガラス板を切断することができた。また、参考例 106 ~ 108 に示すように、光源出力を低くするほど、凸量、及び直線誤差量が小さくなった。特に参考例 108 では、凸量が $15\ \mu\text{m}$ と非常に小さい値となった。

[0091] 一方、レーザスポット径を小さくした場合は、非強化ガラス板を切断することができなかった。つまり、比較例 109 に示すように、光源の出力を 200 W とした場合は非強化ガラス板が熔融し、切断することができなかった。すなわち、非強化ガラスの温度が徐冷点以上になり切断できなかった。また、比較例 110 に示すように、光源の出力を 100 W とした場合は非強化ガラス板に変化がなかった。よって、レーザスポット径を小さく (例えば、板厚未満) した場合は、光源の出力によらずに非強化ガラス板を切断できなかった。

[0092] このように、強化ガラス板の切断方法と非強化ガラス板の切断方法とでは、切断のメカニズムが根本的に異なり、クラックの伸展の仕方が全く異なる。そのため、本発明では、非強化ガラス板の切断方法からは予測できない効果が得られる。その理由を以下に説明する。

[0093] 例えば、非強化ガラス板の切断方法では、レーザ光と冷却液の両方を用いてガラス板に熱応力場を形成し、切断に必要な引張応力を発生させる。より具体的には、レーザ光をガラス板に照射してガラス板内部に熱応力を発生させ、その熱応力により生じた圧縮応力を冷却液で急冷して、引張応力を発生させてクラックを伸展させる。従って、クラックの伸展は、レーザ光の照射エネルギーのみで行われ、ガラス板に照射するレーザのパワー (W) を大きく設定する必要がある。

[0094] このような方法では、ガラス板に形成される割断亀裂の先端位置は、ガラス板を冷却する冷却液の位置で決まる。冷却液の位置に引張応力が生じるためである。従って、切断の途中で、レーザ光による加熱や冷却液による冷却を中断すると、クラックの伸展が止まる。

[0095] 図 11 は、レーザ光を用いて非強化ガラス板を切断する際に作用する応力

を説明するための図である。図 11 では非強化ガラス板 110 の上面図と、非強化ガラス板 110 の板厚中心部に発生する応力の分布を示している。図 11 に示すように、非強化ガラス板 110 にレーザ光を照射すると、レーザ光の照射領域 122 に圧縮応力 133 が働く。この圧縮応力 133 は、レーザ光の照射により発生する熱応力である。そして、この圧縮応力 133 と釣り合うように、照射領域 122 の走査方向後方に引張応力 135 が発生する。この引張応力 135 がクラック 130 に作用することで非強化ガラス板 110 が切断される。

[0096] 図 11 のグラフに示すように、非強化ガラス板 110 では内部残留引張応力 C_T は略ゼロである。このため、非強化ガラス板 110 を切断する際にクラック 130 に作用する引張応力 135 は、レーザ光の照射によってのみ発生する。よって、引張応力 135 を大きくするために、レーザ光の照射エネルギーを高くしたり、レーザスポット径を大きくしたりする必要がある。このため、非強化ガラス板 110 では、レーザ光の吸収率が小さいガラスでは切断が困難となる。

[0097] また、非強化ガラス板 110 を切断する際は、レーザ光の照射エネルギーと走査速度でクラックの伸展を制御している。このとき、レーザ光の照射エネルギーが、切断に必要な照射エネルギーよりも小さいとクラックの伸展が停止する。つまり、図 11 のグラフに示すように、クラック 130 を伸展させるためには、クラック 130 の伸展に必要な引張応力 s_{th} よりも大きな引張応力をクラック 130 に作用させる必要がある。非強化ガラス板 110 では内部残留引張応力 C_T が略ゼロであるため、レーザ光の照射エネルギーのみでこの引張応力 s_{th} の値よりも大きな引張応力を発生させる必要がある。

[0098] これに対し、強化ガラス板の切断方法では、元々ガラス板内部に内部残留引張応力が存在するため、非強化ガラス板の切断の場合のように、レーザ光の照射エネルギーのみで大きな引張応力を発生させる必要がない。また、内部残留引張応力がクラックの伸展に必要な引張応力 s_{th} よりも大きな引張

応力の場合、強化ガラス板に何らかの力を作用させてクラックを発生させると、内部残留引張応力のためにクラックは自ら伸展する。他方、内部残留引張応力はガラス板内部に全体的に存在しているので、クラックの伸展を制御しない限り、クラックが意図しない方向に伸展してしまう。

[0099] そのため、本発明では、照射領域の中心における中間層に内部残留引張応力の値よりも小さい引張応力、または、圧縮応力を発生させ、内部残留引張応力によるクラックの伸展を抑制している。即ち、レーザ光を照射することにより強化ガラス板の中間層における残留引張応力をクラックの伸展に必要な引張応力 s_{th} よりも小さくして、クラックの伸展を制御している。

[0100] 図12は、レーザ光を用いて強化ガラス板を切断する際に作用する応力の一例を示す図である。図12では強化ガラス板10の上面図と、強化ガラス板10の板厚中心部に発生する応力の分布を示している。図12に示すように、強化ガラス板10にレーザ光を照射すると、レーザ光の照射領域22に圧縮応力33が働く。また、照射領域22の走査方向後方に引張応力35が発生する。そして、この引張応力35に内部残留引張応力が加算される事でクラックの伸展に必要な引張応力 s_{th} よりも大きな引張応力が発生し、クラック30に作用することで強化ガラス板10が切断される。このとき、圧縮応力33によってクラック30の伸展が制御される。

[0101] 図12のグラフに示すように、強化ガラス板10には内部残留引張応力 C が存在する。このため、クラック30の伸展に必要な引張応力35は小さくてすむ。換言すると、引張応力 s_{th} (クラック30の伸展に必要な引張応力) よりも大きな引張応力をクラック30に作用させるために必要なレーザ光により発生させる圧縮応力33を小さくすることができる。

[0102] ここで、強化ガラス板10を切断する際に必要な圧縮応力33や引張応力35は、非強化ガラス110を切断する際に必要な応力よりも小さくすることができるため、レーザ光の照射エネルギーを小さくしたり、レーザスポット径を小さくしたりすることができる。このため、切断精度を向上させることができる。また、レーザ光の吸収率が小さいガラスであっても容易に切断

することができる。

[01 03] 図 1 3 は、レーザ光を用いて強化ガラス板を切断する際に作用する応力の他の例を示す図である。図 1 3 では強化ガラス板 1 0 の上面図と、強化ガラス板 1 0 の板厚中心部に発生する応力の分布を示している。図 1 3 に示す強化ガラス板 1 0 では、内部残留引張応力 C_T が、クラック 3 0 の伸展に必要な引張応力 S_{th} よりも大きい。つまり、図 1 3 に示すように、強化ガラス板 1 0 にレーザ光を照射すると、レーザ光の照射領域 2 2 には内部残留引張応力 C_T の値よりも小さい引張応力 3 7 が発生する。ここで、引張応力 3 7 は、レーザ光の照射により発生した圧縮応力 3 3 と内部残留引張応力 C_T との合力である。また、照射領域 2 2 の走査方向後方には引張応力 3 5 が発生する。この場合は、内部残留引張応力 C_T の値よりも小さい引張応力 3 7 を、クラック 3 0 の伸展に必要な引張応力 S_{th} よりも小さくすることで、クラック 3 0 の伸展を抑えることができる。

[01 04] 図 1 3 に示す場合も、強化ガラス板 1 0 を切断する際に必要な、内部残留引張応力 C_T の値よりも小さい引張応力 3 7 や引張応力 3 5 は、非強化ガラス 1 1 0 を切断する際に必要な応力よりも小さくすることができるため、レーザ光の照射エネルギーを小さくしたり、レーザスポット径を小さくしたりすることができる。このため、切断精度を向上させることができる。また、レーザ光の吸収率が小さいガラスであっても容易に切断することができる。

[01 05] 上記で説明したように、強化ガラス板 1 0 を切断する際は、内部残留引張応力 C_T とレーザ光の照射エネルギーと走査速度のバランスを保つことで、クラック 3 0 を自走させることなくクラック 3 0 の伸展を制御している。よって、レーザ光の照射エネルギーが小さすぎると、内部残留引張応力 C_T の値よりも小さい引張応力 3 7 がクラック 3 0 の伸展に必要な引張応力 S_{th} よりも大きくなり、クラック 3 0 の伸展は止まらずに自走する (図 1 3 の場合)。

[01 06] このように、強化ガラス板の切断方法と非強化ガラス板の切断方法とでは、切断のメカニズムが根本的に異なり、クラックの伸展の仕方が全く異なる

。そのため、本発明では、非強化ガラス板の切断方法からは予測できない効果が得られる。

[01 07] < 参考例 2 >

次に、参考例 2 について説明する。参考例 2 では、内部ひずみエネルギー U_{CT} と切断可能な照射エネルギー E_L の最小値である臨界照射エネルギー E_c との関係について説明する。

[01 08] 参考例 2 では、内部ひずみエネルギー U_{CT} が異なる 21 個のサンプル 1 ~ 21 について、臨界照射エネルギー E_c との関係を調査した。なお、サンプル 18 ~ 21 は、非強化ガラス板である。

図 14 は、参考例 2 に係る切断予定線の形状を示す図である。図 14 に示すように、参考例 2 に係る切断予定線は、2 つの直線部と、クランク形状を構成する 2 つのコーナー部（曲率半径 $R = 5 \text{ mm}$ ）を備えている。

[01 09] 化学強化用のガラス板として、複数種類の原料を混ぜて調整したガラス原料を溶解し、溶解した熔融ガラスを板状に成形した。これを室温付近まで徐冷した後、切断、切削、両面鏡面研磨することにより、所定の厚さを有する $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ のガラス板を作製した。ガラス原料は、ガラス板のレーザ光に対する吸収係数 α が所望の値となるように、同じ配合比のベース材に対する酸化鉄 (Fe_2O_3) の粉末の添加量を変えて調製した。

[01 10] 各化学強化用ガラス板は、酸化物基準の質量%表示で、 $\text{SiO}_2 : 60.9\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 : 12.8\%$ 、 $\text{Na}_2\text{O} : 12.2\%$ 、 $\text{K}_2\text{O} : 5.9\%$ 、 $\text{MgO} : 6.7\%$ 、 $\text{CaO} : 0.1\%$ 、 $\text{SrO} : 0.2\%$ 、 $\text{BaO} : 0.2\%$ 、 $\text{ZrO}_2 : 1.0\%$ を含有しており、酸化鉄 (Fe_2O_3) を外割りで所定量含有していた。

[01 11] 各強化ガラス板は、上記の化学強化用ガラス板を KNO_3 熔融塩に浸漬し、イオン交換処理した後、室温付近まで冷却することにより作製した。 KNO_3 熔融塩の温度や浸漬時間などの処理条件は、内部残留引張応力 C_T が所望の値となるように設定した。

[01 12] 強化ガラス板の内部残留引張応力 C_T (MPa) は、表面応力計 F S M _

6000 (折原製作所製) にて表面圧縮応力 CS (MPa) 及び圧縮応力層 (表面層及び裏面層) の厚さ DOL (μm) を測定し、その測定値と、強化ガラス板の厚さ t , (μm) とから以下の式 1 を用いて計算した。

$$CT = (CS \times DOL) / (t_1 - 2 \times DOL) \quad \cdots \text{式 1}$$

内部ひずみエネルギー U_{CT} (J/m^2) は、強化ガラス板のヤング率 Y (MPa) を用いて以下の式 2 により求めた。

$$U_{CT} = \{CT^2 \times (t_1 - 2 \times DOL)\} / (2 \times Y) \quad \cdots \text{式 2}$$

[0113] 単位照射面積あたりのレーザ光の照射エネルギーは、強化ガラス板に反射されずに入射される実効的なレーザ出力を Pe (W)、レーザ光の走査速度を v (mm/s)、強化ガラス板 10 に照射されるレーザ光のビーム径を ϕ (mm) とすると、 PeZ ($v \times 0$) (単位: JZ/mm^2) で表すことができる。しかしながら、切断性を判断するためには、これにビーム径 ϕ (mm) を掛けた単位長さあたりのレーザ光の照射エネルギー E_L (J/mm) を用いることが好ましい。詳細な理由については後述する。この照射エネルギー E_L (J/mm) を以下の式 4 に示す。なお、実効的なレーザ出力 Pe (W) は、レーザ出力 P (W) と強化ガラス板での反射率 r (%) とを用いて、 $Pe = P \times (1 - r/100)$ と表すことができる。

$$E_L = Pe / v \quad \cdots \text{式 4}$$

サンプル 1 ~ 11 についての照射エネルギー E_L の臨界値である臨界照射エネルギー E_c は、照射エネルギー E_L を約 1 (J/mm) ずつ変化させて切断を繰り返すことにより求めた。その際、レーザ光の走査速度 v (mm/s) は固定したまま、レーザ出力 P (W) のみを 2.5 W ずつ変化させた。

また、非強化ガラス板のサンプル 18 ~ 21 についての臨界照射エネルギー E_c は、照射エネルギー E_L を約 4 (J/mm) ずつ変化させて切断を繰り返すことにより求めた。その際、レーザ光の走査速度 v (mm/s) は固定したまま、レーザ出力 P (W) のみを 10 W ずつ変化させた。

他方、サンプル 12 ~ 17 についての臨界照射エネルギー E_c は、照射エネルギー E_L を徐々に変化させて切断を繰り返すことにより求めた。その際、

レーザ出力 P (W) は固定したまま、レーザ光の走査速度 v (mm/s) のみを 0.25 mm/s ずつ変化させた。

[01 14] 図 15 は、サンプル 1 ~ 21 について、レーザ波長 λ 、内部ひずみエネルギー U_{CT} 、臨界照射エネルギー E_c 、及び両者を導出するための諸条件が示された表である。表の左列から順に、レーザ波長 λ (nm)、サンプル番号、強化ガラス板のヤング率 Y (MPa)、線膨張係数 α_L (K⁻¹)、密度 ρ (g/mm³)、比熱 c (J/g/K)、厚さ t (mm)、吸収係数 α (mm⁻¹)、強化ガラス板での反射率 r (%)、表面圧縮応力 C_S (MPa)、表面層及び裏面層の厚さ DOL (μ m)、内部残留引張応力 C_T (MPa)、内部ひずみエネルギー U_{CT} (J/m²)、レーザ光の走査速度 v (mm/s)、レーザ光のビーム径 ϕ (mm)、レーザ出力 P (W)、実効的なレーザ出力 P_e (W)、臨界照射エネルギー E_c (J/mm)、臨界吸収エネルギー E_a (J/mm)、臨界切断指数 K_c (N/mm) が示されている。

[01 15] 図 15 に示すように、サンプル 1 ~ 11、18 ~ 21 については、レーザ光の光源にファイバーレーザ (中心波長帯 : 1070 nm) を用い、サンプル 12 ~ 17 については、レーザ光の光源に中赤外光パラメトリック発振器を使用した Cr:ZnSe レーザ (中心波長帯 : 2950 nm) を用いた。

[01 16] また、いずれのサンプルも材質は同じであるため、図 15 に示す通り、ヤング率 $Y = 74000$ MPa、線膨張係数 $\alpha_L = 9.8 \times 10^{-6}$ K⁻¹、密度 $\rho = 2.48 \times 10^{-3}$ g/mm³、比熱 $c = 0.918$ J/g/K で共通である。

なお、図 15 に示す通り、サンプル 1 ~ 11 については、ビーム径 $\phi = 0.1$ mm、サンプル 12 ~ 17 については、ビーム径 $\phi = 0.2$ mm とした。また、非強化ガラス板のサンプル 18 についてはビーム径 $\phi = 0.5$ mm、サンプル 19 についてはビーム径 $\phi = 0.8$ mm、サンプル 20 についてはビーム径 $\phi = 1.0$ mm、サンプル 21 についてはビーム径 $\phi = 2.0$ mm とした。

また、全てのサンプルについて、レーザ光照射側から直径 1 mm ϕ のノズ

ルを用いて、流量 15 L / min の空気を吹き付けた。ここで、強化ガラス板とノズル先端との距離（ギャップ）は 3 mm とした。

[01 17] 図 16 A は、図 15 の表に示した臨界照射エネルギー E_c の内部ひずみエネルギー U_{CT} 依存性を示すグラフである。図 16 A の横軸は内部ひずみエネルギー $U_{CT} (\text{J / m}^2)$ 、縦軸は臨界照射エネルギー $E_c (\text{J / mm})$ である。図 16 A において、●印はサンプル 1 ~ 11、18 ~ 21（レーザ波長 $\lambda = 1070 \text{ nm}$ ）、○印はサンプル 12 ~ 17（レーザ波長 $\lambda = 2950 \text{ nm}$ ）を示してゐる。

[01 18] 図 15、図 16 A に示すように、レーザ波長 $\lambda = 1070 \text{ nm}$ の場合、強化ガラス板の内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 \text{ J / m}^2$ では、臨界照射エネルギー $E_c = 9 \sim 15 \text{ J / mm}$ で安定している（サンプル 1 ~ 10）。これに対し、内部ひずみエネルギー $U_{CT} < 2.5 \text{ J / m}^2$ では、臨界照射エネルギー $E_c = 56 \text{ J / mm}$ まで急激に（具体的には数倍程度）上昇する（サンプル 11）。この臨界照射エネルギー E_c の上昇に伴い、サンプル 11 では、切断精度も悪化した。この結果から、強化ガラス板を切断する場合、内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 \text{ J / m}^2$ とすることにより、小さい照射エネルギーで精度良く切断することができることが分かった。

[01 19] さらに、非強化ガラス板のサンプル 18 については切断することができなかった。すなわち、板厚 $t (= 0.7 \text{ mm})$ 以下のビーム径 $\phi = 0.5 \text{ mm}$ では、非強化ガラス板のサンプルは切断することができなかった。そして、ビーム径 $\phi = 0.8 \text{ mm}$ のサンプル 19 については臨界照射エネルギー $E_c = 83 \text{ J / mm}$ 、ビーム径 $\phi = 1.0 \text{ mm}$ のサンプル 20 については臨界照射エネルギー $E_c = 76 \text{ J / mm}$ 、ビーム径 $\phi = 2.0 \text{ mm}$ のサンプル 21 については臨界照射エネルギー $E_c = 65 \text{ J / mm}$ であった。すなわち、ビーム径の増大とともに、臨界照射エネルギー E_c は漸減した。ここで、ビーム径が大きくなる程、レーザ光の中心とクラックの先端位置とが離れるため、切断精度が低下する。そのため、強化ガラス板の切断において、ビーム径 ϕ は板厚 t 以下とすることが好ましく、板厚 t の $1/2$ 以下とすることがさ

らに好ましい。

[01 20] 図 1 6 A のグラフから、内部ひずみエネルギー $U_{CT} = 2.5 \text{ J/m}^2$ 近傍において、切断モードの変換が生じているものと考えられる。具体的には、強化ガラス板を切断するためのクラック伸展エネルギーとして、内部ひずみエネルギー $U_{CT} < 2.5 \text{ J/m}^2$ の場合、内部ひずみエネルギーに加え、レーザー光の照射エネルギーが必要となり (図 1 2 参照)、内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 \text{ J/m}^2$ の場合、内部ひずみエネルギーのみになるものと考えられる (図 1 3 参照)。

[01 21] また、レーザー波長 λ を 1070 nm から 2950 nm へ変更することにより、強化ガラス板の吸収係数 α が 0.011 mm^{-1} から 0.59 mm^{-1} へ向上する。そのため、図 1 5、1 2 に示すように、内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 \text{ J/m}^2$ において、臨界照射エネルギー $E_c = 9 \sim 15 \text{ J/mm}$ 程度 (サンプル 1 ~ 1 0) から臨界照射エネルギー $E_c = 0.3 \sim 0.5 \text{ J/mm}$ (サンプル 1 2 ~ 1 5) まで 2 桁も低減することができる。

[01 22] このように、レーザー波長を 3000 nm 近傍とすることにより、透明度を低下させずに吸収係数 α を高めることができ、照射エネルギーを低減することができる。そのため、加熱効率が向上する。その上、強化ガラス板の組成によりレーザー光の照射条件を大幅に変更する必要がない。

さらに、上述の通り、切断する強化ガラス板より大きなテーブルに強化ガラスを載せ、より安定した状態で切断することができる。また、透過光が劇的に減少するため、その処理も不要となる。さらに、強化ガラス板の端面における反射光も劇的に減少するため、悪影響を及ぼし難い。

[01 23] また、レーザー波長 λ が 2950 nm の場合も、 1070 nm の場合と同様に、内部ひずみエネルギー $U_{CT} < 2.5 \text{ J/m}^2$ では、臨界照射エネルギー $E_c = 0.9 \sim 1.2 \text{ J/mm}$ 程度あるいはそれ以上まで急激に上昇する (サンプル 1 6、1 7)。この臨界照射エネルギー E_c の上昇に伴い、サンプル 1 6、1 7 では、切断精度も悪化した。この結果から、レーザー波長 $\lambda = 2950 \text{ nm}$ で強化ガラス板を切断する場合も、内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2$

、 $5 \text{ J} / \text{ m}^2$ とすることにより、小さい照射エネルギーで精度良く切断することができることが分かった。

- [01 24] ここで、臨界照射エネルギー E_c のうち、切断に使用されるエネルギーは強化ガラス板に吸収されるエネルギー（以下、臨界吸収エネルギーという） E_a である。臨界吸収エネルギー E_a ($\text{J} / \text{ mm}$) は、臨界照射エネルギー E_c ($\text{J} / \text{ mm}$)、吸収係数 α (mm^{-1} 、厚さ t_2 (mm)) を用いて、ランベルト・ベールの法則から次式で表すことができる。

$$E_a = E_c \times \exp(-\alpha \times t_2) \quad \cdots \text{式 5}$$

図 15 に示すように、臨界吸収エネルギー E_a ($\text{J} / \text{ mm}$) の値は、レーザ波長が 2950 nm の場合と 1070 nm の場合とを比較しても、ほとんど差が無い。

- [01 25] 強化ガラス板の厚さや材質による影響を排除し、より一般化するため、臨界吸収エネルギー E_a での内部加熱（温度変化 ΔT ）によって発生する熱応力（臨界圧縮応力） σ_c について考察する。この臨界圧縮応力 σ_c は、切断に必要な最小の圧縮応力である。ここで、臨界圧縮応力 σ_c は、内部残留引張応力 C_T を基準とした場合に圧縮応力となるので「臨界圧縮応力」と表現している。しかし、図 12、13 に示すように、強化ガラス板の板厚中心部に発生する応力で考えた場合は、内部残留引張応力 C_T と臨界圧縮応力 σ_c との合力で表されるので、引張応力となる場合もある。

- [01 26] 臨界圧縮応力 σ_c は、図 12、13 に示すように、ガウス分布様のプロファイルを有している。この臨界圧縮応力 σ_c の積分値（図 12、13 における斜線部の面積）が、切断可否を決定する。内部ひずみエネルギー U_{CT} が同じであれば、臨界圧縮応力 σ_c の積分値は、強化ガラス板の厚さ t 、材質によらず一定であると考えられる。臨界圧縮応力 σ_c のプロファイルの幅は、ビーム径 ϕ に比例するから、臨界圧縮応力 σ_c の積分値も、 $\sigma_c \times \phi$ に比例すると考えてよい。

- [01 27] ここで、単純化のために、内部加熱によっても強化ガラス板の板厚 t は変化せず、表面層 13 と裏面層 15 との間で拘束されることによりこの臨界圧

縮応力 σ_c が生じるものとする。すなわち、両端拘束モデルを考える。

臨界圧縮応力 σ_c (MPa) は、ヤング率 Y (MPa)、線膨張係数 α_L (K^{-1})、温度変化 ΔT (K) を用いて、次式 6 で表すことができる。

$$\sigma_c = Y \times \alpha_L \times \Delta T \quad \cdots \text{式 6}$$

[01 28] また、臨界吸収エネルギー E_a が供給されることによる強化ガラス板の温度変化 ΔT は、 $\Delta T = (\text{臨界吸収エネルギー}) / (\text{レーザ照射部の強化ガラス板の熱容量})$ により求めることができる。

ここで、レーザ照射面積 S_1 (mm^2) とすれば、(臨界吸収エネルギー) は、臨界吸収エネルギー E_a (J/mm) を ϕ (mm) で割った単位面積当たりの臨界吸収エネルギー E_a / ϕ (J/mm²) を用いて、 $E_a \times S_1 / \phi$ (J) で表すことができる。

また、強化ガラス板における加熱領域の面積 S_2 (mm^2) とすると、(レーザ照射部の強化ガラス板の熱容量) は、強化ガラス板の厚さ t_2 (mm)、密度 P (g/mm³)、比熱 c (J/g/K) を用いて、 $S_2 \times t_2 \times P \times c$ (J/K) で表すことができる。

[01 29] 従って、温度変化 ΔT (K) は次式 7 で表すことができる。

$$\begin{aligned} \Delta T &= E_a \times S_1 / (S_2 \times t_2 \times P \times c) / \phi \\ &= (S_1 / S_2) \times E_a / (t_2 \times P \times c) / \phi \quad \cdots \text{式 7} \end{aligned}$$

式 6 に式 7 を代入することにより、臨界圧縮応力 σ_c (MPa) は次式 8 で表すことができる。

$$\sigma_c = (S_1 / S_2) \times Y \times \alpha_L \times E_a / (t_2 \times P \times c) / \phi \quad \cdots \text{式 8}$$

ここで、単純化のために、 $S_1 / S_2 = \text{一定}$ と考えれば、求めるべき臨界圧縮応力 σ_c の積分値に比例する $\sigma_c \times \phi$ は次式 9 で表すことができる。

$$\sigma_c \times \phi \propto E_a \times (Y \times \alpha_L) / (t_2 \times P \times c) = K_c \quad \cdots \text{式 9}$$

式 9 の K_c を臨界切断指数と名付ける。切断可能な臨界値を示すこの臨界切断指数 K_c の値が小さくなる程、切断が容易になり、臨界切断指数 K_c の値が大きくなる程、切断が困難になる。このように、切断性は、式 4 で示さ

れた単位長さあたりのレーザ光の照射エネルギー E_L (J/m) により判断できる。

[0130] 臨界切断指数 K_c を構成するヤング率 γ 、線膨張係数 α_L 、密度 p 、比熱 c は、いずれも温度依存性を有するが、あくまで指標として室温の値を用いている。

図15の最右列に臨界切断指数 K_c (N/mm) を示した。

[0131] 図16Bは、図15の表に示した臨界切断指数 K_c の内部ひずみエネルギー U_{CT} 依存性を示すグラフである。図16Bの横軸は内部ひずみエネルギー U_{CT} (J/m^2)、縦軸は臨界切断指数 K_c (N/mm) である。図16Bにおいて、き印はサンプル1~11、18~21 (レーザ波長 $\lambda = 1070\text{ nm}$)、○印はサンプル12~17 (レーザ波長 $\lambda = 2950\text{ nm}$) を示している。

[0132] 図15、図16Bに示すように、レーザ波長 λ によらず、強化ガラス板の内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5\text{ J/m}^2$ では、臨界切断指数 $K_c = 50\text{ N/mm}$ 近傍で安定している (サンプル1~10、12~15)。これに対し、内部ひずみエネルギー $U_{CT} < 2.5\text{ J/m}^2$ では、臨界切断指数 $K_c = 150\text{ N/mm}$ (サンプル16) あるいは 200 N/mm を超えるようになる (サンプル11、17)。さらに、非強化ガラス板では 250 N/mm を超えるようになる (サンプル18~21)。ここで、ビーム径が小さくなる程臨界切断指数 K_c が大きくなり、ビーム径が 0.5 mm 以下では切断できなくなる (サンプル18)。

[0133] この臨界切断指数 K_c の上昇に伴い、切断精度も悪化した。この結果から、強化ガラス板を切断する場合、内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5\text{ J/m}^2$ とすることにより、小さい照射エネルギーで精度良く切断することができることが分かった。また、ビーム径が大きくなる程、レーザ光の中心とクラックの先端位置とが離れるため、切断精度が低下する。そのため、ビーム径 ϕ は板厚 t_2 (mm) 以下とすることが好ましく、板厚 t_2 (mm) の $1/2$ 以下とすることがさらに好ましい。

[01 34] 単位長さあたりの照射エネルギー E_L (J / mm) での切断指数 K は、式 5 における E_c を E_L に置き換えた上で、式 9 における E_a に代入することにより、次式 10 で表すことができる。ここで、切断指数 K が臨界切断指数 K_c 以上であれば切断可能となる。

$$K = E_L \times \exp(-\alpha \times t_2) \times (Y \times \alpha_L) / (t_2 \times p \times c) \quad \cdot \cdot \cdot \text{式 10}$$

さらに、式 10 に式 4 を代入することにより、以下の式 11 が得られる。

$$K = P e / v \times \exp(-\alpha \times t_2) \times (Y \times \alpha_L) / (t_2 \times p \times c) \quad \cdot \cdot \cdot \text{式 11}$$

[01 35] 図 16 B から、内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 \text{ J / m}^2$ であれば、臨界切断指数 K_c が 50 N / mm 程度であるため、切断指数 $K \leq 150 \text{ N / mm}$ を満たす照射エネルギー E_L で十分に切断できる。一方、図 16 B から、内部ひずみエネルギー $U_{CT} < 2.5 \text{ J / m}^2$ であれば、臨界切断指数 K_c が 150 N / mm 以上となるため、切断指数 $K \leq 150 \text{ N / mm}$ を満たす照射エネルギー E_L では、切断が不可能あるいは困難になる。内部ひずみエネルギー $U_{CT} \geq 2.5 \text{ J / m}^2$ とした上で、切断指数 $K \leq 150 \text{ N / mm}$ を満たす照射エネルギー E_L とすることにより、小さい照射エネルギーで精度良く切断することができる。切断指数 $K \leq 100 \text{ N / mm}$ を満たす照射エネルギー E_L とすることにより、さらに小さい照射エネルギーでさらに精度良く切断することができる。

実施例

[01 36] 以下、本発明の具体的な実施例について説明する。実施例 1 では、単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量と設計寸法からのずれ量 (寸法誤差) との関係の説明する。

[01 37] < 実施例 1 >

実施例 1 では、板厚が 1.1 mm 、表面圧縮応力 C_S が 756 MPa 、表面層及び裏面層それぞれの厚さ DOL が $30.5 \mu\text{m}$ 、残留引張応力 C_D が 22 MPa の強化ガラス板 (サンプル A) と、板厚が 1.1 mm 、表面圧縮

応力 C_S が 71.6 MPa 、表面層及び裏面層それぞれの厚さ DOL が $68.8 \mu\text{m}$ 、残留引張応力 C_T が 5.1 MPa の強化ガラス板（サンプル B）と、を用いた。

[0138] 図 17 は、切り出された強化ガラスパネルの形状を示している。図 17 に示すように、長さ $L = 50 \text{ mm}$ 、幅 $W = 35 \text{ mm}$ 、コーナー部の曲率半径 $R = 5 \text{ mm}$ である。

また、図 17 に示す通り、コーナー部と直線部との境界付近の幅 W_1 、 W_3 、長手方向中央部の幅 W_2 、コーナー部と直線部との境界付近の長さ L_1 、 L_3 、幅方向中央部の長さ L_2 の合計 6 つの寸法を、ノギスを用いて測定した。そして、各寸法について寸法誤差 δ を計算した。

[0139] 強化ガラス板の残留引張応力 C_T は、表面応力計 F S M — 6 0 0 0（折原製作所製）にて表面圧縮応力 C_S 及び圧縮応力層（表面層及び裏面層）の厚さ DOL を測定し、その測定値と、強化ガラス板の厚さ t とから式 1 を用いて計算した。

[0140] 強化ガラス板は、図 6 を参照して説明した切断方法により切断した。強化ガラス板の端部の切断開始位置には、初期クラックを予め形成し、強化ガラス板の表面には、スクライブ線を形成しなかった。レーザ光の光源は、ファイバーレーザ（中心波長帯： 1070 nm ）とした。

[0141] 図 18 は、強化ガラス板の切断条件を示す表である。図 18 の表には、各サンプル No. A 1 ~ A 4（サンプル A）、B 1 ~ B 4（サンプル B）を切断する際の条件が示されている。具体的には、表の左列から順に、サンプル番号、レーザ出力 P (W)、ビーム径 ϕ (mm)、直線部及びコーナー部でのレーザ光の走査速度 v (mm/s)、直線部とコーナー部とでの走査速度変化量 Δv (mm/s)、コーナー部出口での走査速度の加速度 a (mm/s²)、コーナー部出口での走査速度の切換時間 T (s)、直線部及びコーナー部における単位照射エネルギー E (J/mm²)、直線部とコーナー部とでの単位照射エネルギー変化量 ΔE (J/mm²)、単位時間当たりの単位照射エネルギー変化量 $\Delta E/T$ (J/mm²/s) が示されている。

[0142] 図 18 の表に示された数値について左列から順に説明する。

レーザ出力 P は、サンプル A 1 ~ A 4 については、いずれも 100 W とし、サンプル B 1 ~ B 4 については、いずれも 80 W とした。

ビーム径 ϕ は全てのサンプルについて、0.1 mm とした。

直線部及びコーナー部でのレーザ光の走査速度 v (mm/s) は、全てのサンプルについて、それぞれ 5 mm/s 及び 1 mm/s とした。

従って、直線部とコーナー部とでの走査速度変化量 Δv (mm/s) は、全てのサンプルについて、4 mm/s となる。

[0143] 実施例 1 では、単位時間当たりの単位照射エネルギー変化量 $\Delta E/T$ ($J/mm^2/s$) を変化させるために、コーナー部出口での走査速度の加速度 a (mm/s^2) を変化させた。図 18 に示すように、サンプル A 1 ~ A 4 については、加速度 a (mm/s^2) をそれぞれ 1、3、5、20 mm/s^2 とし、サンプル B 1 ~ B 4 については、加速度 a (mm/s^2) をそれぞれ 1、3、5、10 mm/s^2 とした。

コーナー部出口での走査速度の切換時間 T (s) は、走査速度変化量 Δv (mm/s) を加速度 a (mm/s^2) により割ることで求めた。

[0144] 単位照射エネルギー E (J/mm^2) は、上記の式 3 にレーザ出力 P (W)、レーザ光の走査速度 v (mm/s)、及びビーム径 ϕ (mm) を代入することで求めた。その結果、直線部における単位照射エネルギー E (J/mm^2) は、サンプル A 1 ~ A 4 については、いずれも 200 J/mm^2 、サンプル B 1 ~ B 4 については、いずれも 160 J/mm^2 となった。一方、コーナー部における単位照射エネルギー E (J/mm^2) は、サンプル A 1 ~ A 4 については、いずれも 1000 J/mm^2 、サンプル B 1 ~ B 4 については、いずれも 800 J/mm^2 となった。

従って、直線部とコーナー部とでの単位照射エネルギー変化量 ΔE (J/mm^2) は、サンプル A 1 ~ A 4 については、いずれも 800 J/mm^2 、サンプル B 1 ~ B 4 については、いずれも 640 J/mm^2 となった。

[0145] 単位時間当たりの単位照射エネルギー変化量 $\Delta E/T$ ($J/mm^2/s$) は

、単位照射エネルギー変化量 ΔE (J/mm^2) を切換時間 T (s) により割ることで求めた。図 18 に示すように、サンプル A 1 ~ A 4 については、それぞれ 200、600、1000、4000 $J/mm^2/s$ となり、サンプル B 1 ~ B 4 については、それぞれ 160、480、800、1600 $J/mm^2/s$ となった。

[0146] なお、図 18 には記載されていないが、全てのサンプルについて、コーナ一部入口での走査速度の加速度は $100 mm/s^2$ (つまり、減速度 $100 mm/s^2$) とした。

また、全てのサンプルについて、レーザ光照射側から直径 $1 mm \phi$ のノズルを用いて、流量 $15 L/min$ の空気を吹き付けた。ここで、強化ガラス板とノズル先端との距離 (ギャップ) は $2 mm$ とした。

[0147] 図 19 は、実施例 1 に係る強化ガラス板の切断方法に用いた冷却ノズルの断面図である。図 19 に示す冷却ノズル 28 により、強化ガラス板 10 の表面 12 に気体を吹き付ける。図 19 に示すように、冷却ノズル 28 は、内部を気体 (空気や窒素など) が矢印方向へ流れるように、テーパ状の空洞が形成されている。ここで、冷却ノズル 28 の軸はレーザ光の光軸と一致しており、レンズ 25 で集光されたレーザ光 20 は、冷却ノズル 28 の内部を通過し、冷却ノズル 28 の先端に設けられた直径 ϕn の開口部から出射する。また、レーザ光の照射領域の移動と同期して (つまり、レーザ光と同じ走査速度で) 移動することができる。このような構成により、レーザ照射部 (レーザ光 20 の照射領域 22) が気体により冷却される。この冷却により、図 3 に示したクラック 30 の先端位置と、レーザ光 20 の照射領域 22 との間の距離が短くなり、切断精度が向上する。

[0148] 冷却ノズル 28 の開口部の直径 ϕn 、及び冷却ノズル 28 の先端と強化ガラス板 10 の表面 12 との距離 $G1$ は任意に決定することができる。ここで、冷却ノズル 28 の開口部の直径 ϕn が小さい程、強化ガラス板 10 に吹き付けられる気体の流速が速くなり、強化ガラス板 10 の表面 12 における冷却能力が向上する。また、冷却ノズル 28 の先端と強化ガラス板 10 の表面

との距離 G_1 が小さい程、強化ガラス板 10 の表面 12 における冷却能力が向上する。

[0149] さらに、図示しないが、コーナー部 $C_1 \sim C_4$ の4箇所については、それぞれ強化ガラス板 10 の裏面 14 側からも固定された直径 $1\text{ mm } \phi$ のノズルを用いて、流量 15 L/min の空気を吹き付けた。

[0150] 図20は、強化ガラス板の切断結果を示す表である。

図20の表には、各サンプルの単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E/T$ ($\text{J/mm}^2/\text{s}$) と、各サンプルから切り出された強化ガラスパネルの寸法誤差が示されている。具体的には、表の左列から順に、サンプル番号、単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E/T$ ($\text{J/mm}^2/\text{s}$)、幅 ($W_1 \sim W_3$) の寸法誤差の最小値 $\delta W_{\min}$ (mm)、幅 ($W_1 \sim W_3$) の寸法誤差の最大値 $\delta W_{\max}$ (mm)、長さ ($L_1 \sim L_3$) の寸法誤差の最小値 $\delta L_{\min}$ (mm)、長さ ($L_1 \sim L_3$) の寸法誤差の最大値 $\delta L_{\max}$ (mm)、寸法誤差幅 $\Delta \delta$ (mm)、最大寸法誤差 $\delta_{\max}$ (mm)、幅 ($W_1 \sim W_3$) の寸法誤差及び長さ ($L_1 \sim L_3$) の寸法誤差の平均値 δ_{avg} (mm) が示されている。

[0151] ここで、寸法誤差幅 $\Delta \delta$ は、幅の寸法誤差 δW と長さの寸法誤差 δL のうち最大のものと最小のものとの差で定義される。具体的には、図20の幅の寸法誤差の最大値 $\delta W_{\max}$ (mm) と長さの寸法誤差の最大値 $\delta L_{\max}$ (mm) の大きい方と、幅の寸法誤差の最小値 $\delta W_{\min}$ (mm) と長さの寸法誤差の最小値 $\delta L_{\min}$ (mm) の小さい方との差である。例えば、サンプルA2の場合、寸法誤差幅 $\Delta \delta$ は、長さの寸法誤差の最大値 $\delta L_{\max} = 0.15\text{ mm}$ と幅の寸法誤差の最小値 $\delta W_{\min} = 0.01\text{ mm}$ との差 0.14 mm となる。

[0152] また、最大寸法誤差 $\delta_{\max}$ は、幅の寸法誤差の絶対値と長さの寸法誤差の絶対値のうち最大のものである。具体的には、図20の幅の寸法誤差の最大値 $\delta W_{\max}$ (mm) の絶対値と長さの寸法誤差の最大値 $\delta L_{\max}$ (mm) の絶対値の大きい方である。例えば、サンプルA2の場合、最大寸法誤差

δ_{max} は、長さの寸法誤差の最大値 $\delta_{Lmax} = 0.15 \text{ mm}$ となる。

[01 53] 単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ ($\text{J} / \text{mm}^2 / \text{s}$) が大きい、サンプル A 3 及び A 4 では、切断線が切断予定線から大きく外れ蛇行したため、寸法誤差を測定できなかった。

[01 54] 図 20 に示すように、サンプル A (残留引張応力 $C T = 22 \text{ MPa}$)、サンプル B (残留引張応力 $C T = 51 \text{ MPa}$) のいずれにおいても、単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ ($\text{J} / \text{mm}^2 / \text{s}$) を小さくする程、寸法誤差幅 $\Delta \delta$ (mm)、寸法誤差の最大値 δ_{max} (mm)、寸法誤差の平均値 δ_{avg} (mm) のいずれもが小さくなる。つまり、単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ ($\text{J} / \text{mm}^2 / \text{s}$) を小さくする程、寸法精度が向上する。

[01 55] 図 21 は、寸法誤差の最大値 δ_{max} の単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ 依存性を示すグラフである。図 21 の横軸は単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ ($\text{J} / \text{mm}^2 / \text{s}$)、縦軸は寸法誤差の最大値 δ_{max} (mm) を示している。図 21 において、三角印はサンプル A (残留引張応力 $C T = 22 \text{ MPa}$)、菱形印はサンプル B (残留引張応力 $C T = 51 \text{ MPa}$) を示している。

[01 56] 図 20 の表において説明したように、サンプル A、サンプル B のそれぞれについて、単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ ($\text{J} / \text{mm}^2 / \text{s}$) を小さくする程、寸法誤差の最大値 δ_{max} (mm) が小さくなる。また、いずれもほぼ線形に近い関係を有していると考えられる。

[01 57] 図 21 の結果から、サンプル A において寸法誤差の最大値 δ_{max} (mm) を 0.1 mm 以下とするには、単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ を $200 \text{ J} / \text{mm}^2 / \text{s}$ 以下とすればよい。サンプル B において寸法誤差の最大値 δ_{max} (mm) を 0.1 mm 以下とするには、単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量 $\Delta E / T$ を $800 \text{ J} / \text{mm}^2 / \text{s}$ 以下とすればよい。

[01 58] また、サンプル A とサンプル B とを比較すると、強化ガラス板の残留引張

応力 C_T が小さい程、単位照射エネルギーの切換速度を低く抑える必要があることが分かる。

[01 59] なお、単位時間当たりの単位照射エネルギーの変化量によって変化するのは、主に図 17 に示した長手方向両端における幅 W_1 、 W_3 、幅方向両端における長さ L_1 、 L_3 である。つまり、長手方向中央部の幅 W_2 及び幅方向中央部の長さ L_2 は影響を受けにくい。従って、寸法誤差との関係性を評価する場合、寸法誤差の平均値 δ_{avg} (mm) を用いるよりも、寸法誤差の最大値 δ_{max} (mm) もしくは寸法誤差幅 $\Delta \delta$ (mm) を用いた方が適切であると推察される。

[01 60] (実施の形態 2)

次に、実施の形態 2 に係る強化ガラス板切断装置について説明する。この装置は実施の形態 1 に係る強化ガラスの切断方法を実施するためのものである。図 22 は、本実施の形態に係る強化ガラス板切断装置を説明するための図である。本実施の形態に係る強化ガラス板切断装置 60 は、レーザ出力部 61、ガラス保持部 62、制御部 63、及び制御プログラム生成部 64 を有する。

[01 61] レーザ出力部 61 は、強化ガラス板 10 を切断するためのレーザ光 20 を出力する。レーザ光 20 の光源としては、例えば、UV レーザ (波長 : 355 nm)、グリーンレーザ (波長 : 532 nm)、半導体レーザ (波長 : 808 nm、940 nm、975 nm)、ファイバーレーザ (波長 : 1060 ~ 1100 nm)、YAG レーザ (波長 : 1064 nm、2080 nm、2940 nm) などを用いることができる。レーザ出力部 61 は、レーザ光の焦点を調整するための光学系を備えている。また、レーザ光の照射部にノズルを配置してもよい。レーザ光のパワー (レーザ出力)、レーザ光のビーム径 (焦点)、レーザ照射のタイミングなどは、制御部 63 を用いて制御される。

[01 62] ここで、近赤外のレーザ光を用いる場合、近赤外における吸収を増加させるために強化ガラス板に Fe 等の不純物を添加する必要がある。近赤外にお

いて吸収特性を持つ不純物を添加した場合、可視光領域の吸収特性にも影響を与えるため、強化ガラス板の色味や透過率に影響を及ぼす場合がある。このようなことを防止するために、レーザ光 20 の光源として、波長が 2500 ~ 5000 nm の中赤外のレーザを用いてもよい。波長が 2500 ~ 5000 nm の帯域ではガラス自体の分子振動に起因する吸収が発生するため、Fe 等の不純物の添加が不要となる。

[01 63] ガラス保持部 62 は、加工対象である強化ガラス板 10 を保持すると共に、強化ガラス板 10 を所定の方向に移動する。すなわち、ガラス保持部 62 は、レーザ光が強化ガラス板 10 の切断予定線を走査するように、強化ガラス板 10 を移動する。ガラス保持部 62 は、制御部 63 を用いて制御される。ガラス保持部 62 は、加工対象である強化ガラス板 10 を、多孔質板等を用いて吸着することで固定してもよい。また、ガラス保持部 62 は、強化ガラス板 10 の位置を決定するための画像検出器を備えていてもよい。位置決め用の画像検出器を備えることで、強化ガラス板 10 の加工精度を向上させることができる。

[01 64] なお、図 22 に示した強化ガラス板切断装置 60 では、レーザ光 20 の照射領域が強化ガラス板 10 上を移動するように、ガラス保持部 62 を用いて強化ガラス板 10 を移動している。このとき、レーザ出力部 61 は固定されている。しかし、ガラス保持部 62 に保持されている強化ガラス板 10 を固定し、レーザ出力部 61 を移動させることで、レーザ光 20 の照射領域を強化ガラス板 10 上において移動させてもよい。また、ガラス保持部 62 に保持されている強化ガラス板 10 とレーザ出力部 61 の両方が移動するように構成してもよい。

[01 65] 制御部 63 は、レーザ出力部 61 及びガラス保持部 62 を、制御プログラム生成部 64 で生成された制御プログラムに基づき制御する。

[01 66] 制御プログラム生成部 64 は、予め設定された強化ガラス板 10 の物性（熱膨張係数、厚さ、レーザ光に対する強化ガラス板の吸収係数、強化ガラス板の中間層 17 の残留引張応力など）に応じて、直線部及びコーナ一部を切

断する際に強化ガラス板に照射される単位照射エネルギー E_1 、 E_2 をそれぞれ決定する。そして、この決定された単位照射エネルギー E_1 、 E_2 となるように、レーザ光のビーム径、レーザ光の出力、及びレーザ光の走査速度を制御する制御プログラムを生成する。

[01 67] また、制御プログラム生成部 6 4 は、コーナー部入口での単位照射エネルギー E_1 から E_2 への切換速度及び、コーナー部出口での単位照射エネルギー E_2 から E_1 への切換速度を制御するための制御プログラムを生成する。つまり、コーナー部出口での単位照射エネルギー E_2 から E_1 への切換速度が、コーナー部入口での単位照射エネルギー E_1 から E_2 への切換速度よりも小さくなるように、レーザ出力部 6 1 及びガラス保持部 6 2 を制御するための制御プログラムを生成する。具体的には、単位照射エネルギーの切換速度を制御するために、レーザ光のビーム径、レーザ光の出力、及びレーザ光の走査速度などの切換速度を制御する制御プログラムを生成する。

[01 68] 以上に説明したように、本発明の実施の形態により、切り出された強化ガラスパネルの寸法不良を抑制した強化ガラス板の切断方法、及び強化ガラス板切断装置を提供することができる。

[01 69] 以上、本発明を上記実施形態に即して説明したが、上記実施形態の構成にのみ限定されるものではなく、本願特許請求の範囲の請求項の発明の範囲内で当業者であればなし得る各種変形、修正、組み合わせを含むことは勿論である。

[01 70] この出願は、2011年12月7日に出願された日本出願特願2011-267747及び2012年7月9日に出願された日本出願特願2012-153400を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

符号の説明

[01 71] 10 強化ガラス板
12 表面
13 表面層

- 1 4 裏 面
- 1 5 裏 面 層
- 1 7 中 間 層
- 2 0 レーザ光
- 2 2 照 射 領 域
- 3 0 クラック
- 3 4 切 断 予 定 線
- 4 0 強 化 ガ ラ ス パ ネ ル
- 4 1、4 2、4 3、4 4 直 線 部
- 4 5 切 断 開 始 位 置
- 4 6 切 断 終 了 位 置
- 6 0 強 化 ガ ラ ス 板 切 断 装 置
- 6 1 レーザ出力部
- 6 2 ガラス保持部
- 6 3 制 御 部
- 6 4 制 御 プ ロ グ ラ ム 生 成 部
- C 1、C 2、C 3、C 4 コーナー部

請求の範囲

[請求項 1]

残留圧縮応力を有する表面層および裏面層と、当該表面層および裏面層との間に形成され、内部残留引張応力 C_T (MPa) を有する中間層とを備える強化ガラス板を、当該強化ガラス板に照射されるレーザー光の照射領域を移動させることで切断する強化ガラス板の切断方法であって、

前記表面層および前記裏面層の厚さを DOL (μm)、前記強化ガラス板の厚さを t (μm)、前記強化ガラス板のヤング率を Y (MPa) として、下式で表現される前記内部残留引張応力 C_T に基づく単位面積当たりのひずみエネルギー U_{CT} (J/m^2) を $2.5 J/m^2$ 以上とし、

前記強化ガラス板の切断線がコーナー部と直線部とを含み、前記直線部において前記強化ガラス板に照射されるレーザー光の単位照射面積あたりの照射エネルギー E_1 よりも、前記コーナー部において前記強化ガラス板に照射されるレーザー光の単位照射面積あたりの照射エネルギー E_2 を大きくし、

前記コーナー部における前記照射エネルギー E_2 から前記直線部における前記照射エネルギー E_1 への切換速度を、前記直線部における前記照射エネルギー E_1 から前記コーナー部における前記照射エネルギー E_2 への切換速度よりも小さくする、強化ガラス板の切断方法。

$$U_{CT} = \{C_T^2 \times (t^3 - 2 \times DOL)\} / (2 \times Y)$$

[請求項 2]

前記強化ガラス板に入射される前記レーザー光の実効的な出力を P_e (W)、前記レーザー光の走査速度を v (mm/s)、前記レーザー光に対する前記強化ガラス板の吸収係数を α (mm^{-1})、前記強化ガラス板の厚さを t_2 (mm)、前記強化ガラス板の線膨張係数を α_L (K^{-1})、前記強化ガラス板の密度を p (g/mm^3)、前記強化ガラス板の比熱を c ($J/g/K$) として、下式で表現される切断指数 K (N/mm) を $150 N/mm$ 以下とする、請求項 1 に記載の強化ガ

ラス板の切断方法。

$$K = P e / v \times \exp(-\alpha \times t_2) \times (Y \times \alpha_L) / (t_2 \times p \times c)$$

[請求項3] 前記強化ガラス板と前記レーザ光とが、前記レーザ光に対する前記強化ガラス板の吸収係数を α (mm⁻¹)、前記強化ガラス板の厚さを t_2 (mm) として、 $0 < \alpha \times t_2 \leq 3.0$ の条件を満たす、請求項1または2に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項4] 前記中間層の残留引張応力が大きくなるにつれて、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E_2 から前記直線部における前記照射エネルギー E_1 への切換速度を大きくする、
請求項1～3のいずれか一項に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項5] 前記レーザ光の照射領域の移動速度を速くすることにより、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E_2 から前記直線部における前記照射エネルギー E_1 への切換を行う、
請求項1～4のいずれか一項に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項6] 前記レーザ光の出力を小さくすることにより、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E_2 から前記直線部における前記照射エネルギー E_1 への切換を行う、
請求項1～5のいずれか一項に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項7] 前記レーザ光の照射領域の面積を大きくすることにより、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E_2 から前記直線部における前記照射エネルギー E_1 への切換を行う、
請求項1～6のいずれか一項に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項8] 前記強化ガラス板の吸収係数 α が大きくなるにつれて、前記コーナ一部における前記照射エネルギー E_2 及び前記直線部における前記照射エネルギー E_1 を小さくする、
請求項1～7のいずれか一項に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項9] 前記強化ガラス板の熱膨張係数が大きくなるにつれて、前記コーナ

一部における前記照射エネルギー E_2 及び前記直線部における前記照射エネルギー E_1 を小さくする、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項 10] 前記強化ガラス板の厚さが厚くなるにつれて、前記コーナー部における前記照射エネルギー E_2 及び前記直線部における前記照射エネルギー E_1 を大きくする、

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項 11] 前記強化ガラス板の前記レーザ光の照射領域に、前記レーザ光の入射側から気体を吹き付けて冷却する、

請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項 12] 前記強化ガラス板の前記コーナー部に、前記レーザ光の出射側から気体を吹き付けて冷却する、

請求項 11 に記載の強化ガラス板の切断方法。

[請求項 13] 残留圧縮応力を有する表面層および裏面層と、当該表面層および裏面層との間に形成され、内部残留引張応力を有する中間層とを備える強化ガラス板を、当該強化ガラス板に照射されるレーザ光の照射領域を移動させることで切断する強化ガラス板切断装置であって、

前記強化ガラス板を保持するガラス保持部と、

前記強化ガラス板を切断するためのレーザ光を出力するレーザ出力部と、

前記レーザ出力部を制御する制御部と、を備え、

前記強化ガラス板の切断線がコーナー部と直線部とを含み、

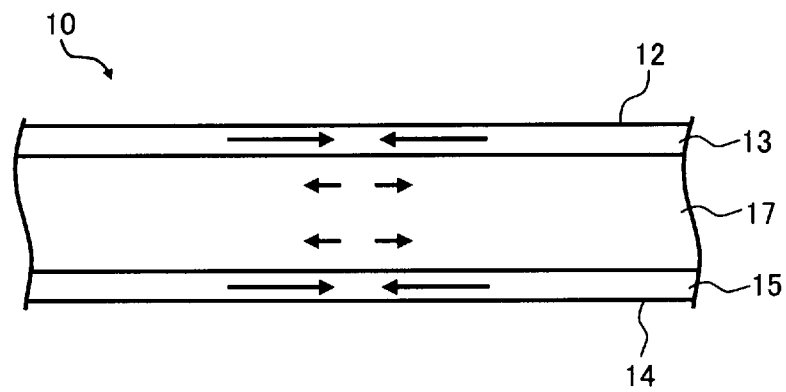
前記制御部は、

前記直線部において前記強化ガラス板に照射されるレーザ光の単位照射面積あたりの照射エネルギー E_1 よりも、前記コーナー部において前記強化ガラス板に照射されるレーザ光の単位照射面積あたりの照射エネルギー E_2 を大きくし、

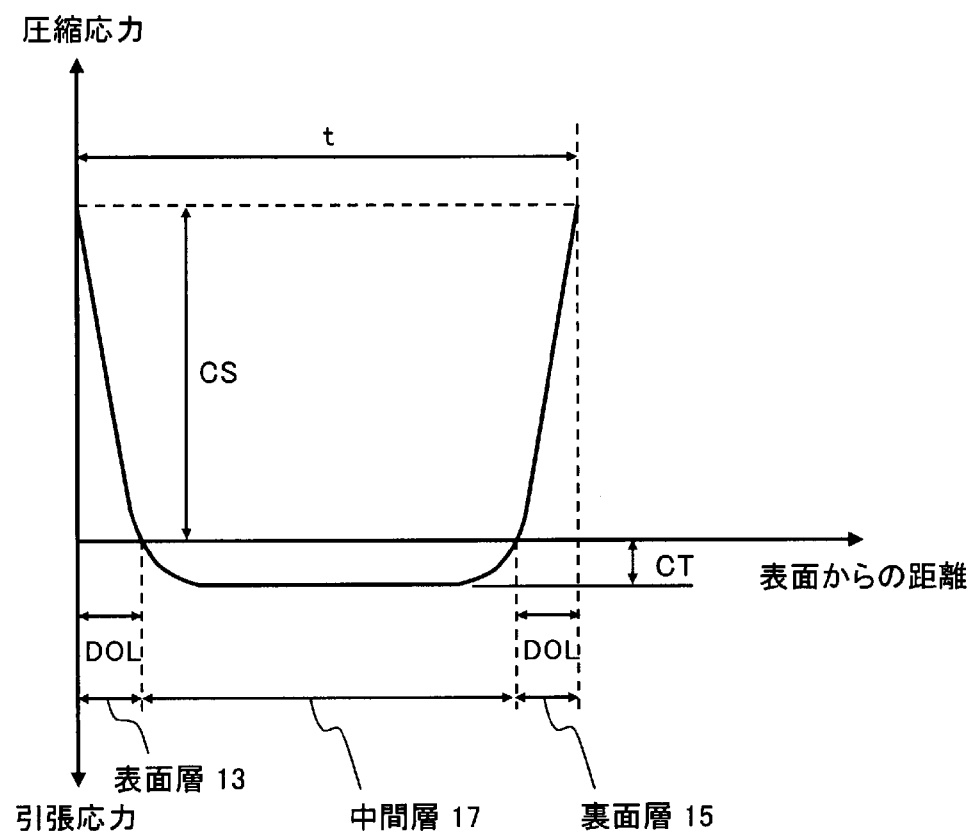
前記コーナー部における前記照射エネルギー E_2 から前記直線部に

おける前記照射エネルギー E 1 への切換速度を、前記直線部における前記照射エネルギー E 1 から前記コーナー部における前記照射エネルギー E 2 への切換速度よりも小さくする、強化ガラス板切断装置。

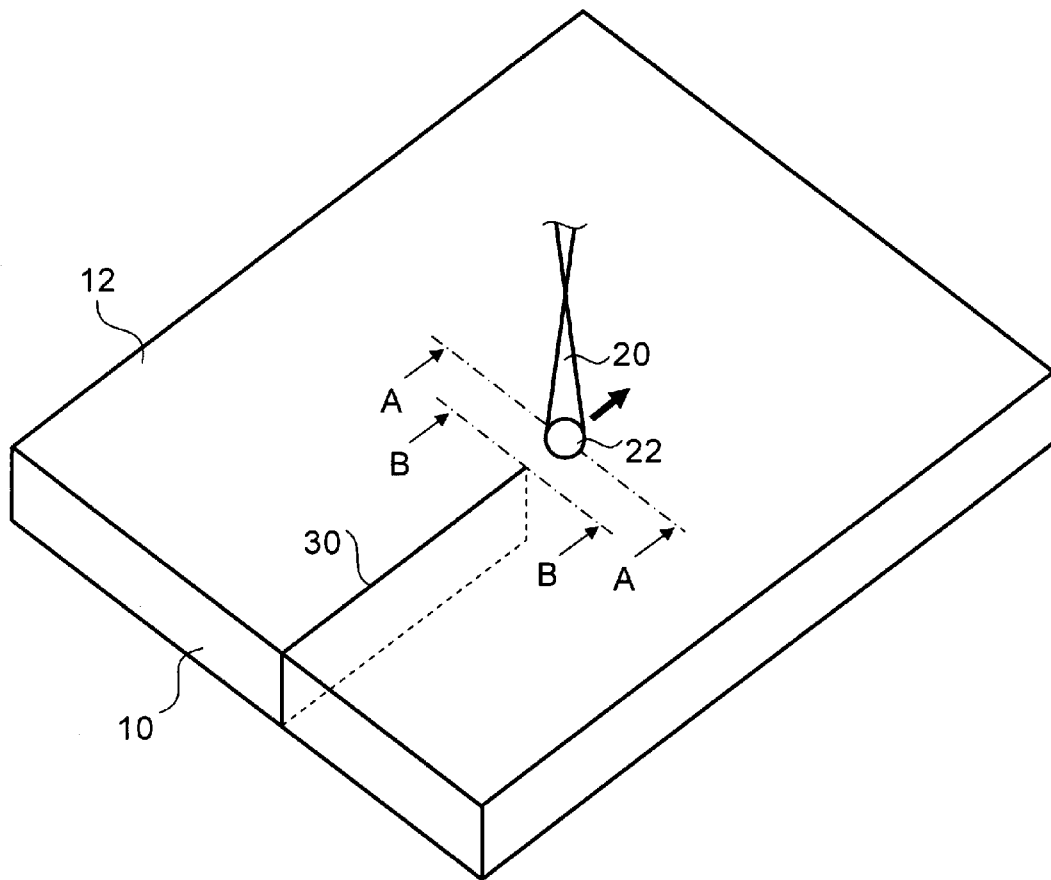
[図1]



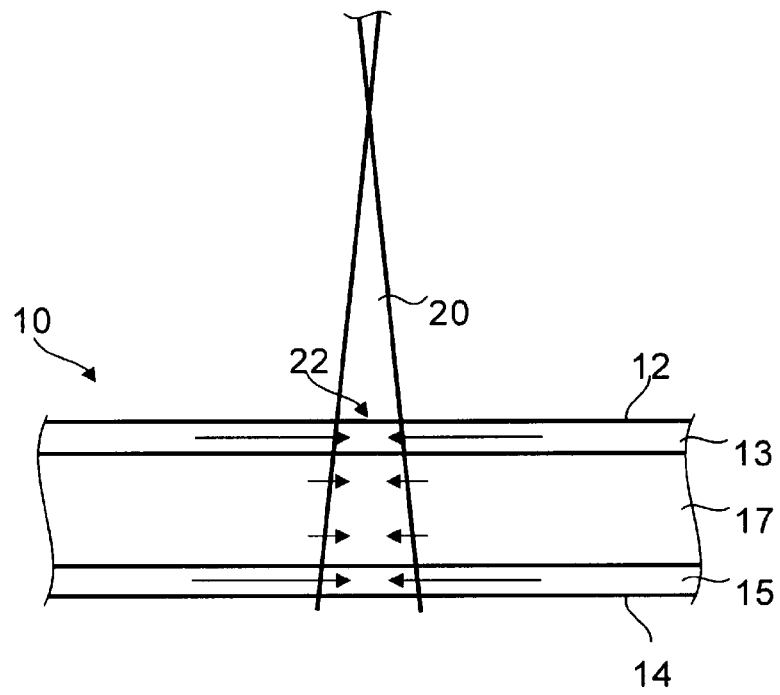
[図2]



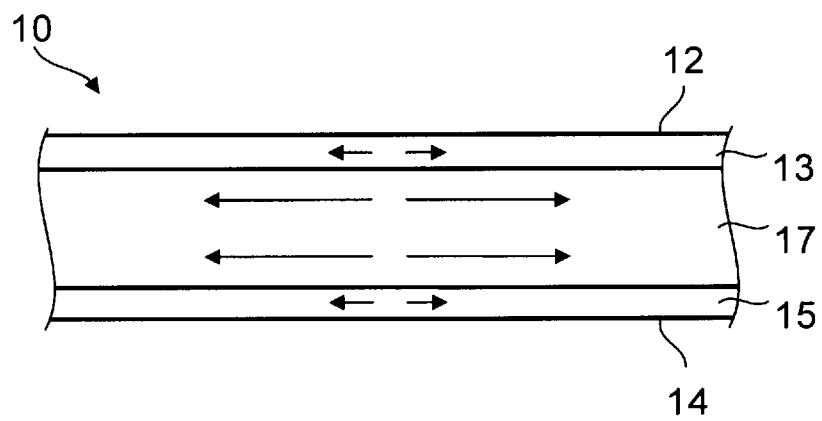
[図3]



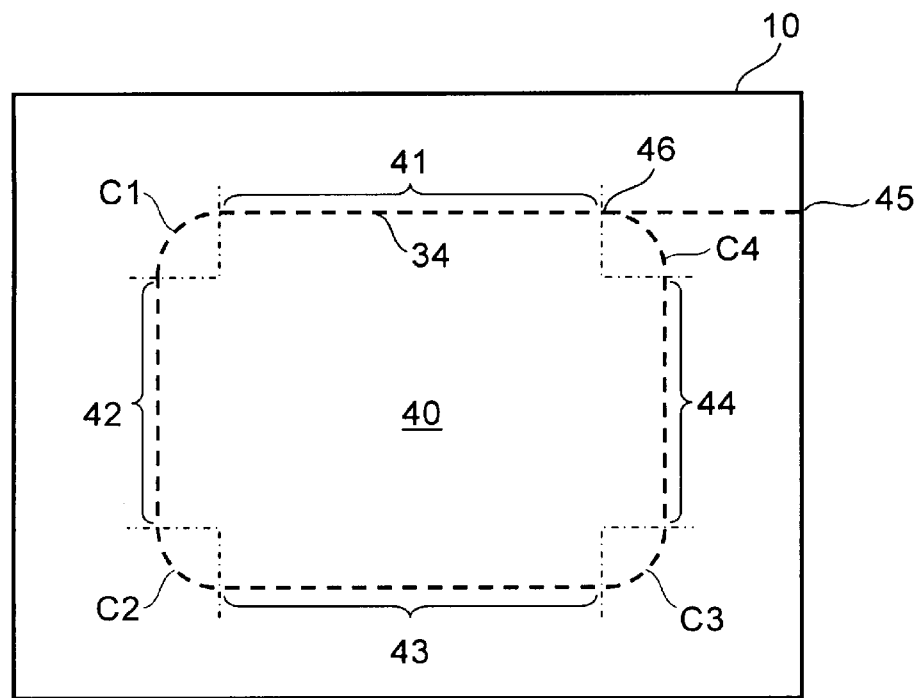
[図4]



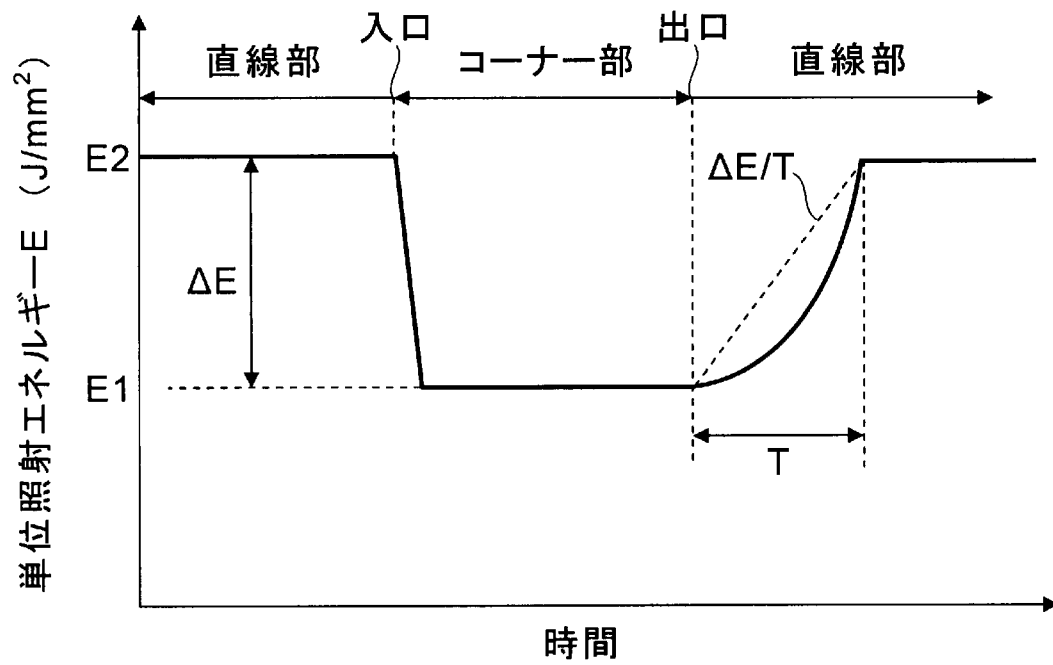
[図5]



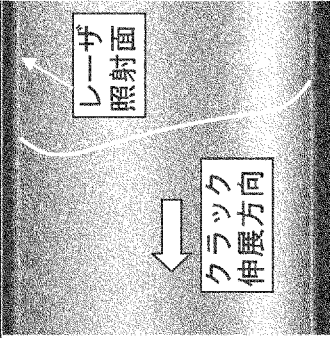
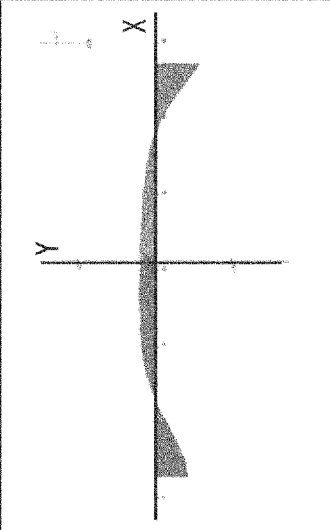
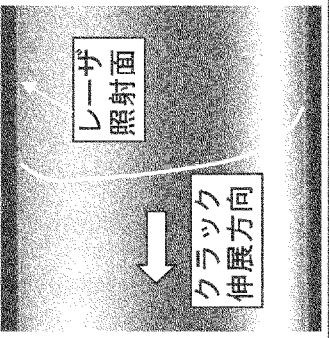
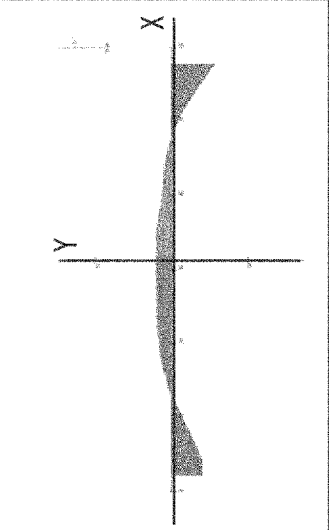
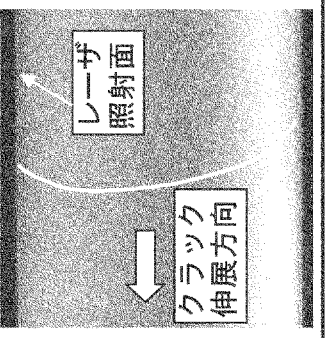
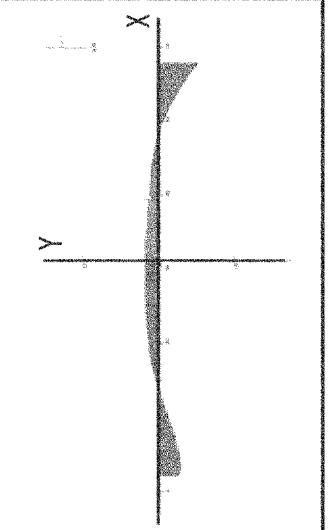
[図6]



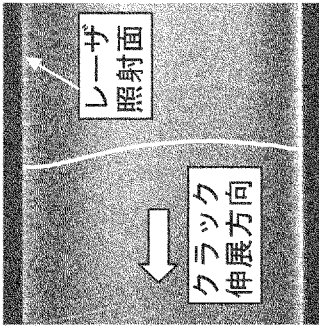
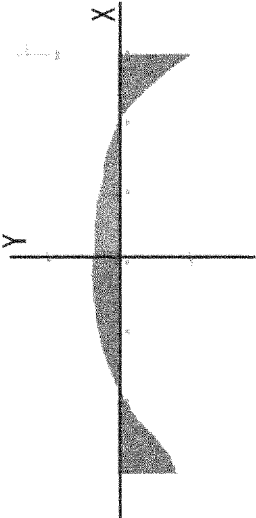
[図7]



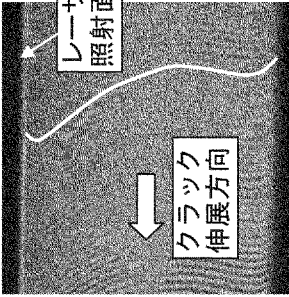
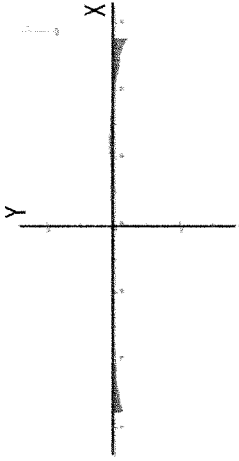
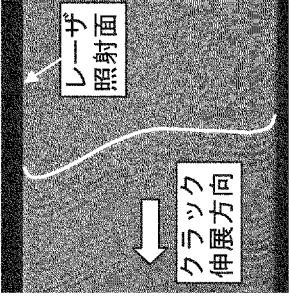
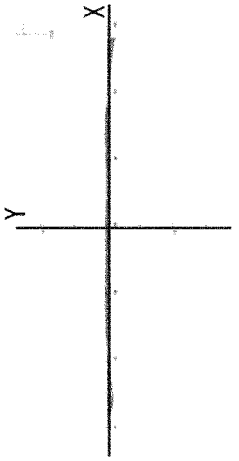
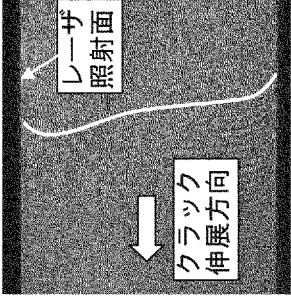
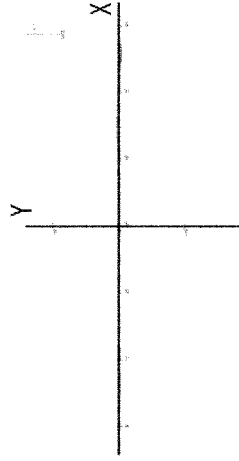
[図8]

参考例	光源出力 (W)	切断可否	切断面の顕微鏡写真	レーザ照射等の 中断後のクラック	凸量 (μm)	直線誤差量
101	200	○		自走	160	
102	150	○		自走	160	
103	100	○		自走	140	

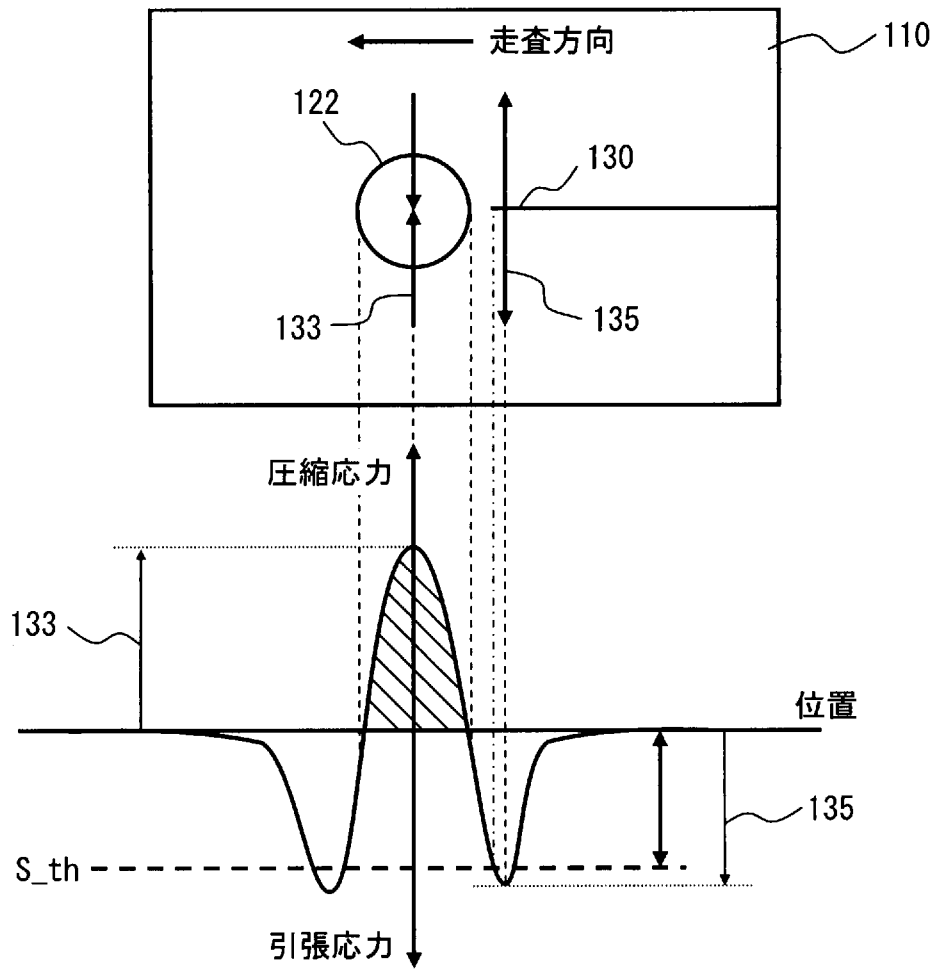
[図9]

比較例	光源出力 (W)	切断可否	切断面の顕微鏡写真	レーザ照射等の 中断後のクラック	凸量 (μm)	直線誤差量
104	200	○		停止	280	
105	150	×	—	—	—	—

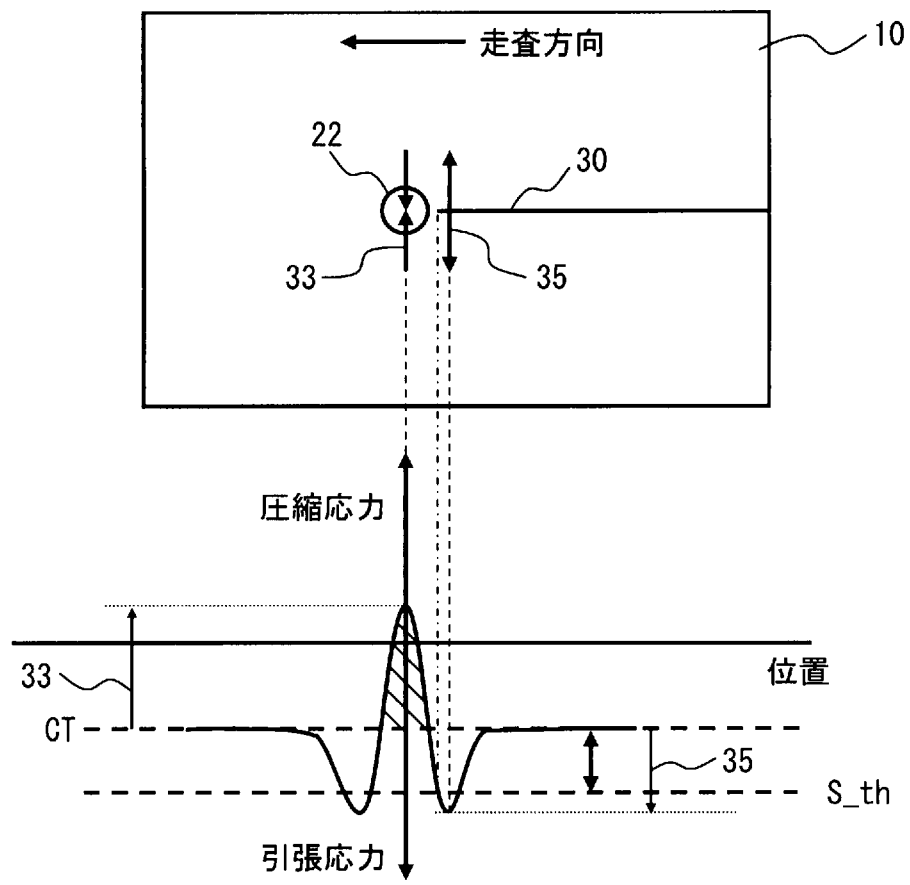
[図10]

サンプル	光源出力 (W)	切断可否	切断面の顕微鏡写真	レーザ照射等の 中断後のクラック	凸量 (μm)	直線誤差量
参考例106	100	○		自走	54	
参考例107	75	○		自走	35	
参考例108	50	○		自走	15	
比較例109	200	× (溶融)	—	—	—	—
比較例110	100	×	—	—	—	—

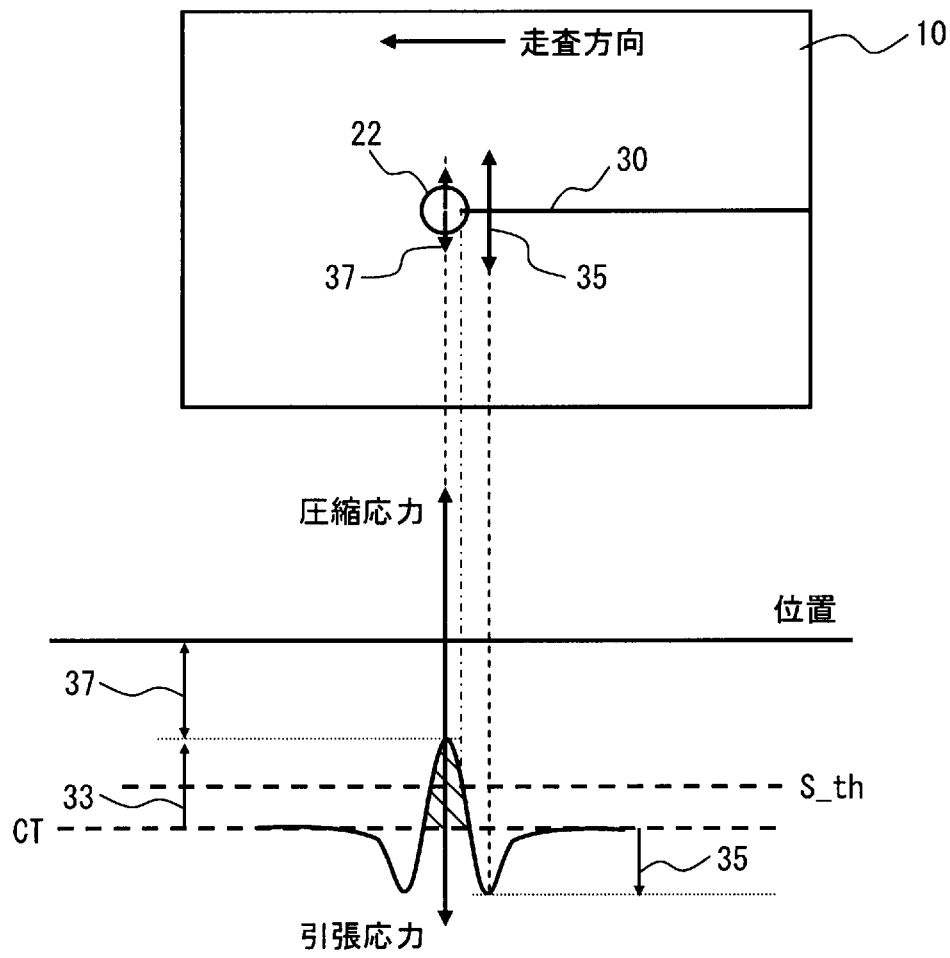
[図11]



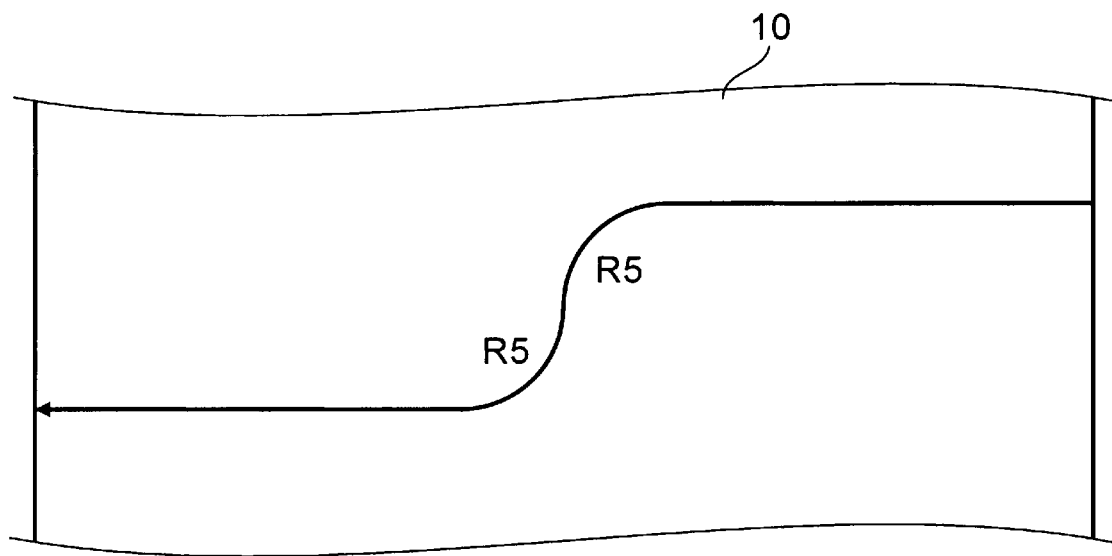
[図12]



[図13]



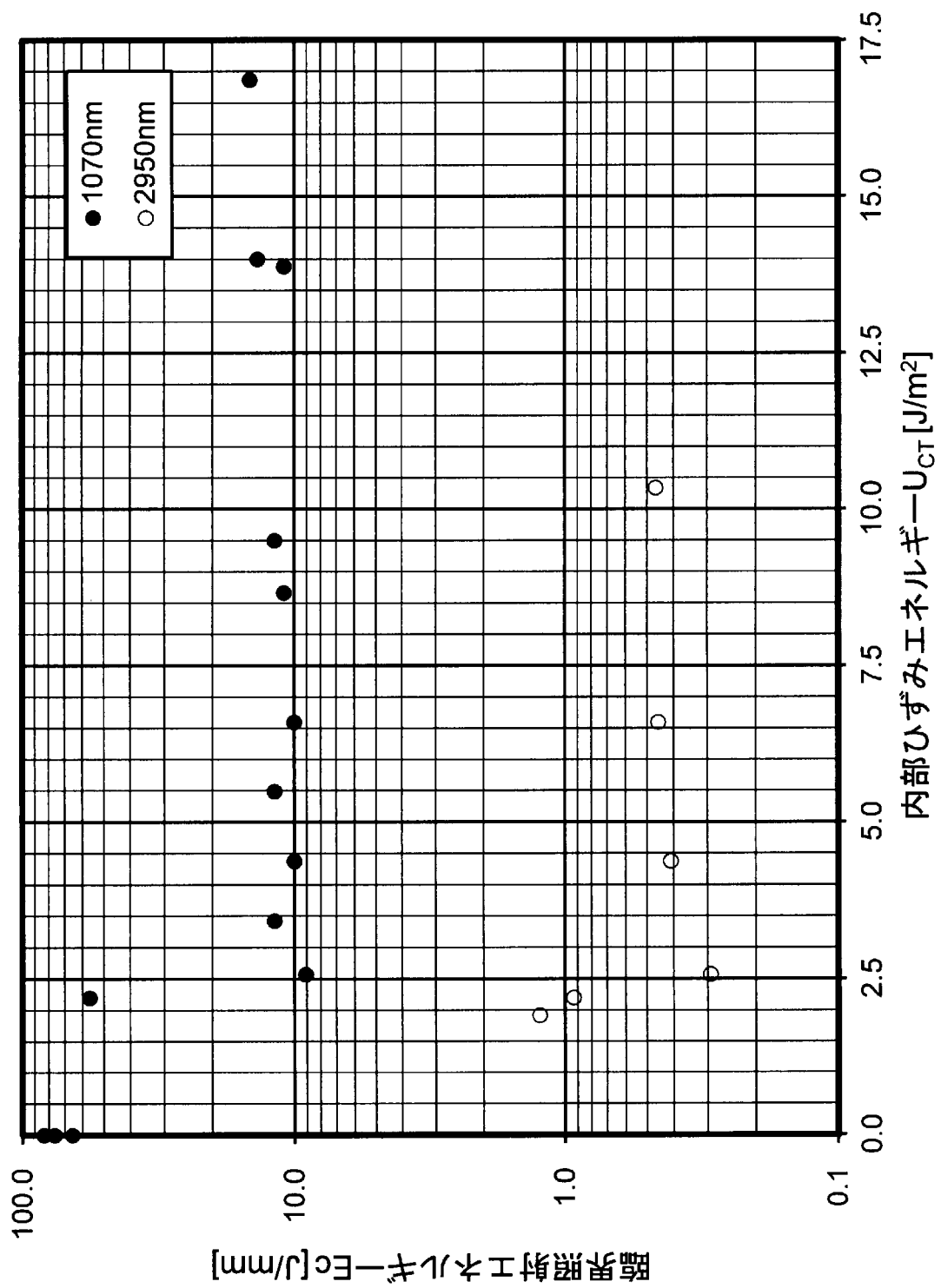
[図14]



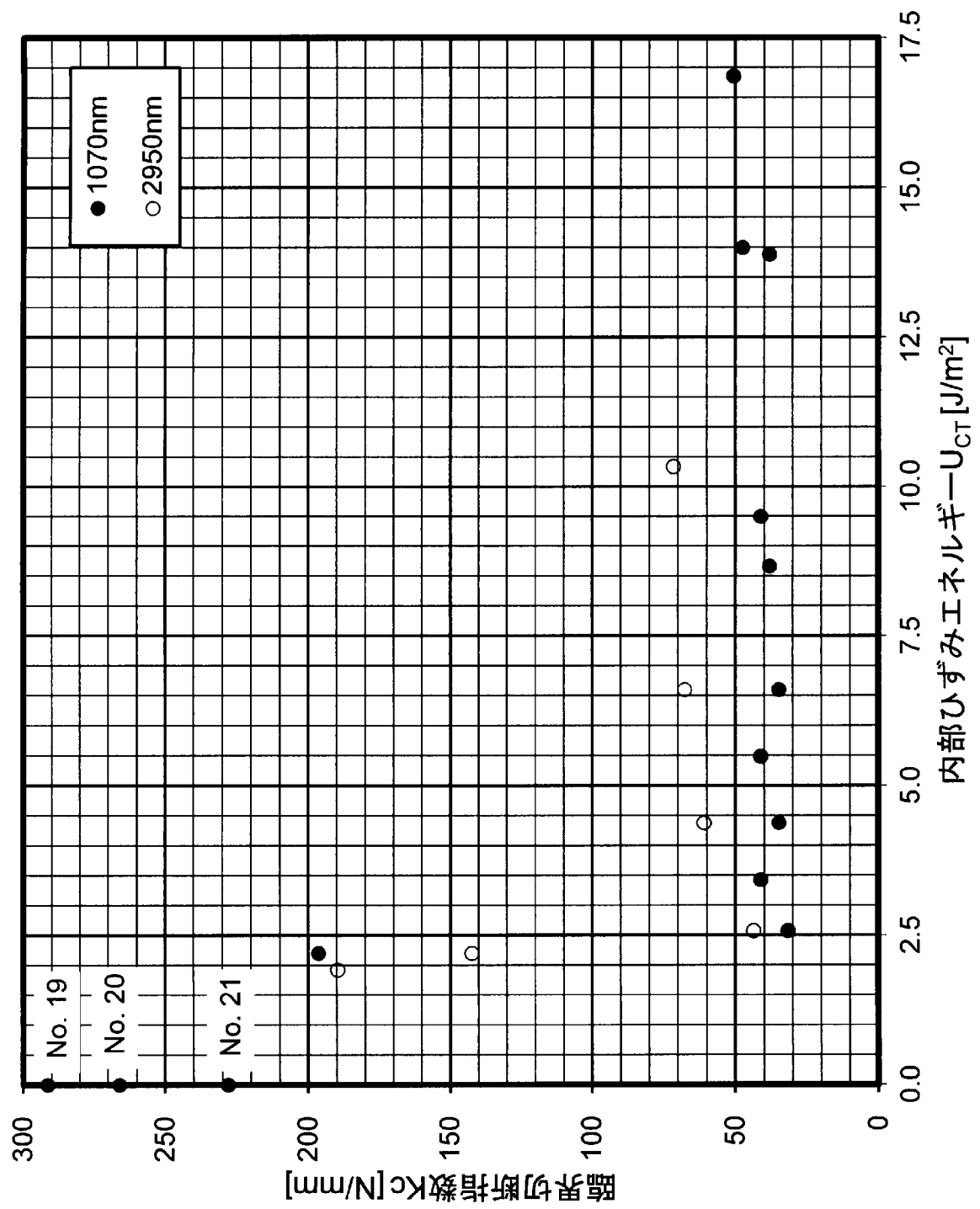
[図15]

λ [nm]	No.	Y [MPa]	α_L $\times 10^{-6} [1/K]$	ρ $\times 10^{-3} [g/mm^3]$	c [J/g/K]	t [mm]	α [1/mm]	r [%]	CS [MPa]	DOL [μm]	CT [MPa]	U_{CT} [J/m ²]	v [mm/s]	ϕ [mm]	P [W]	Pe [W]	Ec [J/mm]	Ea [J/mm]	Kc [N/mm]
1070	1					1.10			789	36.6	28.1	5.49			32.5	29.5	11.8	0.14	41
	2					1.11				51.2	37.3	9.50			32.5	29.5	11.8	0.14	41
	3					1.12				64.8	45.7	14.00			37.5	34.0	13.6	0.17	47
	4					1.11				68.8	50.7	16.86			40.0	36.3	14.5	0.18	51
	5					0.83				27.4	28.9	4.38			27.5	24.9	10.0	0.09	35
	6	74000	9.8	2.48	0.918	0.83	0.011	9.3	726	37.4	36.0	6.60	2.50	0.1	27.5	24.9	10.0	0.09	35
	7					0.82				22.5	22.2	2.57			25.0	22.7	9.1	0.08	32
	8					1.11				30.5	22.0	3.42			32.5	29.5	11.8	0.14	41
	9					0.70				40.0	45.5	8.67			30.0	27.2	10.9	0.08	38
	10					0.72				51.8	57.7	13.88			30.0	27.2	10.9	0.09	38
	11					0.72				20.9	21.9	2.20			155	140.6	56.2	0.44	196
2950	12	74000	9.8	2.48	0.918	0.70	0.59	5.2	750	41.0	49.8	10.34	2.00	0.2	0.98	0.93	0.46	0.16	72
	13					0.83				27.4	28.9	4.38			1.08	1.02	0.41	0.16	61
	14					0.83				37.4	36.0	6.60			1.08	1.02	0.46	0.18	68
	15					0.82				22.5	22.2	2.57			1.08	1.02	0.29	0.11	44
	16					0.72				20.9	21.9	2.20			0.98	0.93	0.93	0.32	142
	17					0.72				20.4	20.5	1.92			0.98	0.93	1.24	0.43	190
1070	18	74000	9.8	2.48	0.918	0.70	0.011	9.3	0	0	0	0	0	0.5	切断不可				
	19					0.70				0	0	0			230	209	83	0.64	291
	20					0.70				0	0	0			210	190	76	0.58	266
	21					0.70				0	0	0			180	163	65	0.50	228

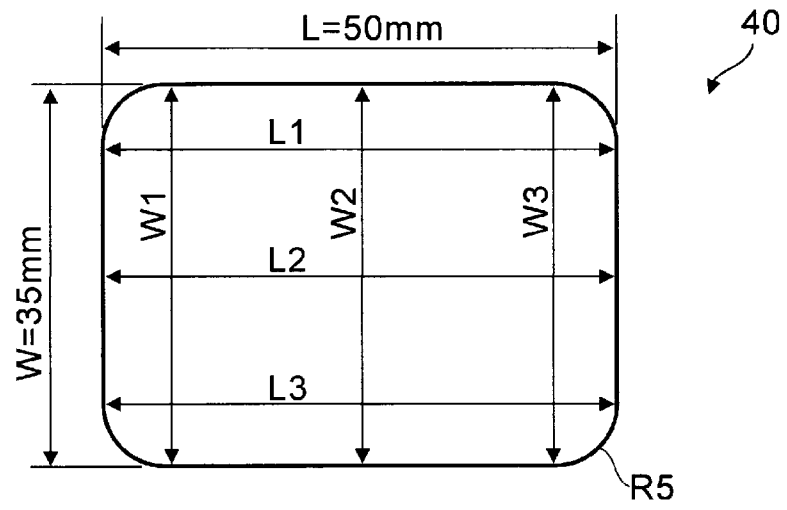
[図16A]



[図16B]



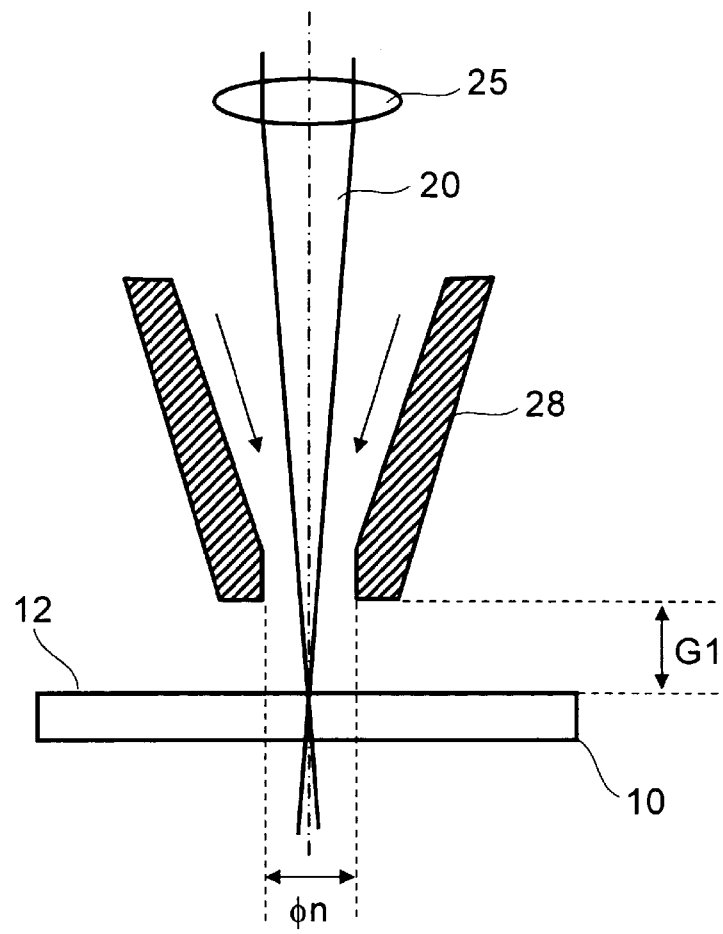
[図17]



[図18]

No.	P [W]	ϕ [mm]	v [mm/s]		Δv [mm/s]	a [mm/s ²]	T [s]	E [J/mm ²]		ΔE [J/mm ²]	$\Delta E/T$ [J/mm ² /s]
			直線	コーナ—				直線	コーナ—		
A1	100	0.1	5	1	4	1	4	200	1000	800	200
A2						3	1.3				600
A3						5	0.8				1000
A4						20	0.2				4000
B1	80	0.1	5	1	4	1	4	160	800	640	160
B2						3	1.3				480
B3						5	0.8				800
B4						10	0.4				1600

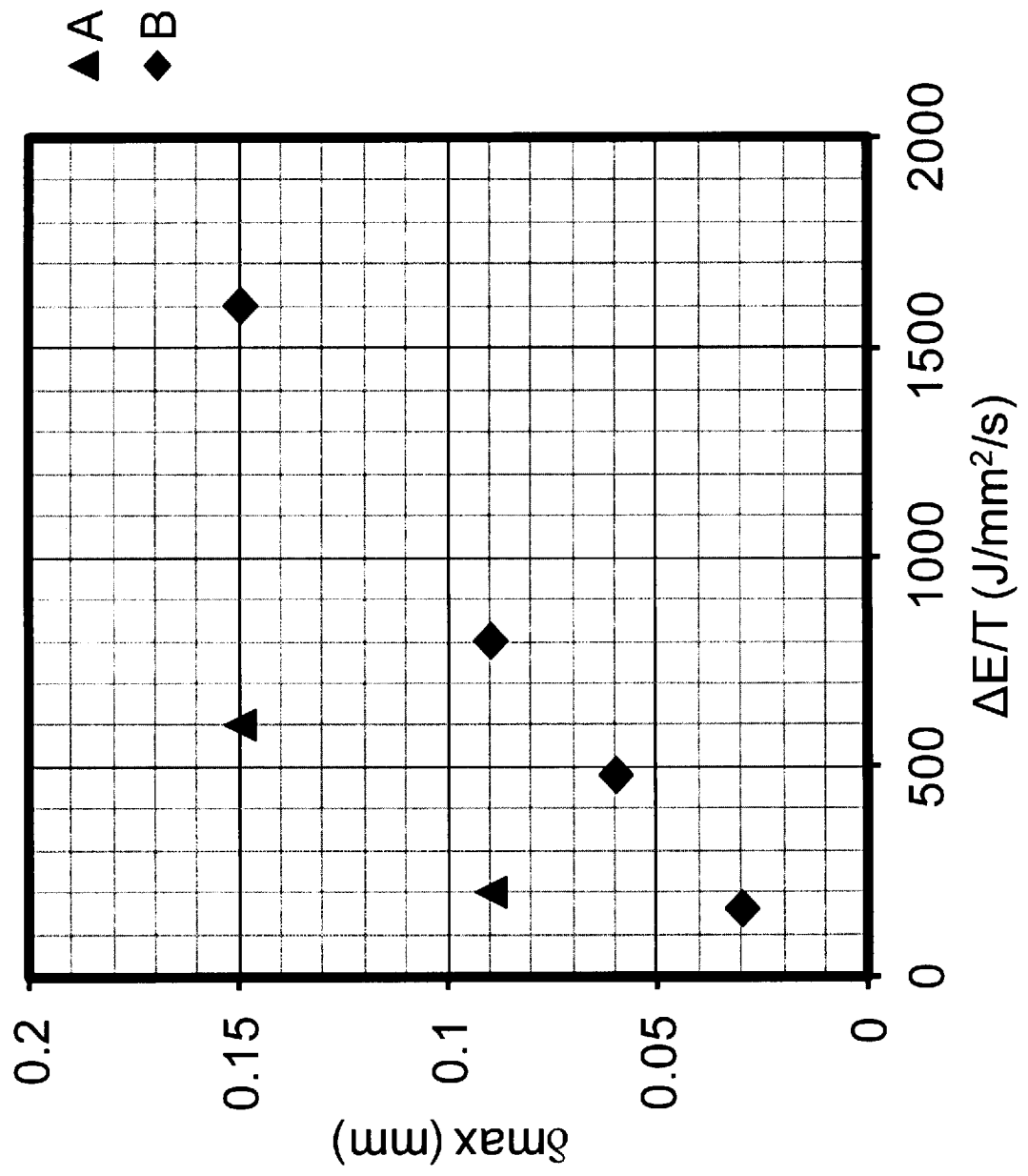
[図19]



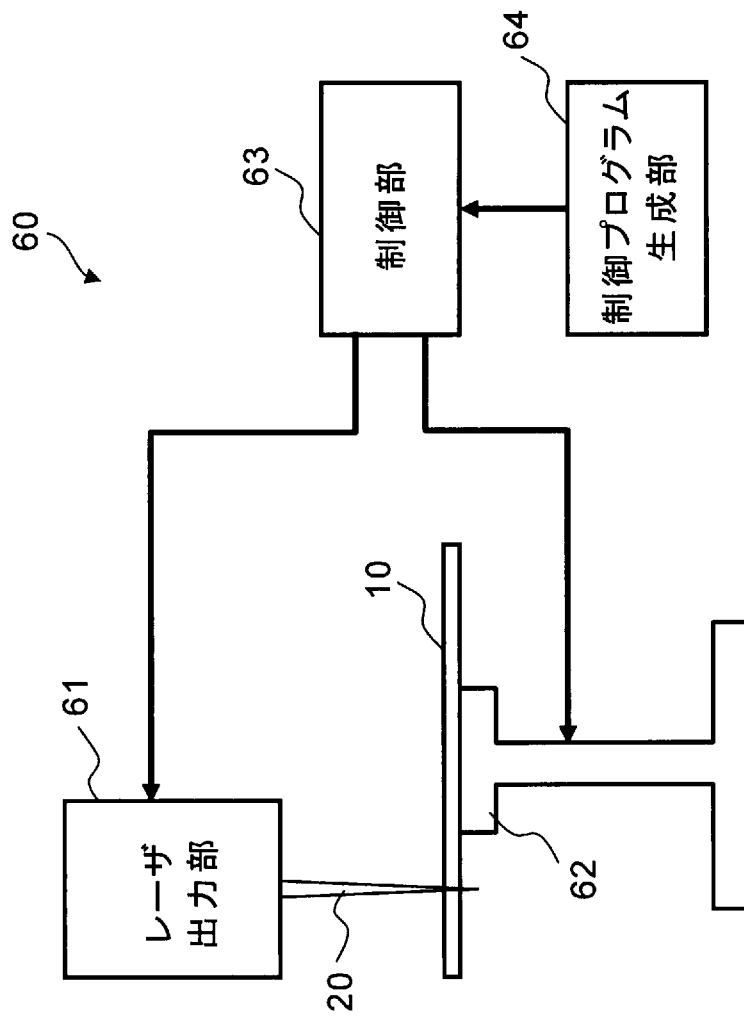
[図20]

No.	$\Delta E/T$ [J/mm ² /s]	δW_{min} [mm]	δW_{max} [mm]	δL_{min} [mm]	δL_{max} [mm]	$\Delta \delta$ [mm]	δ_{max} [mm]	δ_{avg} [mm]
A1	200	0.04	0.09	0.06	0.09	0.05	0.09	0.07
A2	600	0.01	0.06	0.13	0.15	0.14	0.15	0.09
A3	1000	-	-	-	-	-	-	-
A4	4000	-	-	-	-	-	-	-
B1	160	0	0.03	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02
B2	480	0	0.06	0.01	0.05	0.06	0.06	0.03
B3	800	0	0.09	0.03	0.09	0.09	0.09	0.05
B4	1600	0	0.13	0.02	0.15	0.15	0.15	0.08

[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 0 1 2 / 0 8 1 3 7 1

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C03B33/09 (2006.01)i, B23K2 6/0 0 (2006.01)i, B23K2 6/1 4 (2006.01)i, B23K2 6/3 8 (2006.01)i, B23K2 6/4 0 (2006.01)i, C03B33/0 4 (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)

C 0 3 B 3 3 / 0 0 - 3 3 / 1 4 , C 0 3 C 2 1 / 0 0 , B 2 3 K 2 6 / 0 0

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

Jitsuyo	Shinan	Koho	1922-1 996	Jitsuyo	Shinan	Toroku	Koho	1996-2013
Kokai	Jitsuyo	Shinan	1971-2013	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2013

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.
A	WO 2011/142464 A1 (Asahi Glass Co., Ltd.), 17 November 2011 (17.11.2011), claims ; example 37; fig. 1, 5 (Family : none)	1-13
A	WO 2008/108332 A1 (Nippon Electric Glass Co., Ltd.), 12 September 2008 (12.09.2008), claims ; examples; fig. 2 & US 2010/0119846 A1	1-13
A	JP 2006-256944 A (Lemi Co., Ltd.), 28 September 2006 (28.09.2006), claims ; paragraph [0044] (Family : none)	1-13



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

"I" 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

15 February, 2013 (15.02.13)

Date of mailing of the international search report

26 February, 2013 (26.02.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 012 / 081371

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	J P 2010-116276 A (Nippon Electric Glass Co., Ltd.), 21 May 2010 (27.05.2010), claims; example s (Family: none)	1-13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. C03B33/09 (2006. 01) i , B23K26/00 (2006. 01) i , B23K26/14 (2006. 01) i , B23K26/38 (2006. 01) i ,
B23K26/40 (2006. 01) i , C03B33/04 (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. C03B33/00- 33/14 , C03C21/00, B23K26/00

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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 — 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 — 2 0 1 3 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 カテゴリー水	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	W0 2011/142464 A1 (旭硝子株式会社) 2011. 11. 17 , 特許請求の範囲、例 3 7、図 1, 5 (ファミリーなし)	1-13
A	W0 2008/108332 A1 (日本電気硝子株式会社) 2008. 09. 12, 特許請求の範囲、実施例、図 2 & US 2010/0119846 A1	1-13
A	JP 2006-256944 A (株式会社レミ) 2006. 09. 28 , 特許請求の範囲、【0 0 4 4】 (ファミリーなし)	1-13

☒ 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

IA 「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」
 IE 「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」
 I 「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)」
 IΘ 「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

「」 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
 rx 「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」
 IY 「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」
 I& 「同一パテントファミリー文献」

国際調査を完了した日

1 5 . 0 2 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 6 . 0 2 . 2 0 1 3

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)

山崎 直也

電話番号 0 3 — 3 5 8 1 — 1 1 0 1 内線 3 4 6 5

4 T

3 2 3 4

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 2010-116276 A (日本電気硝子株式会社) 2010. 05. 27, 特許請求の範囲、実施例 (ファミリーなし)	1-13