



(10) **DE 11 2017 000 454 T5 2018.10.18**

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/126607**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 000 454.3**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2017/001755**
(86) PCT-Anmeldetag: **19.01.2017**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **27.07.2017**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **18.10.2018**

(51) Int Cl.: **C03C 21/00 (2006.01)**
C03C 3/083 (2006.01)
C03C 3/085 (2006.01)
C03C 3/087 (2006.01)
C03C 3/091 (2006.01)
C03C 3/093 (2006.01)
C03C 3/097 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2016-010002 **21.01.2016** **JP**
2016-204745 **18.10.2016** **JP**

(74) Vertreter:
Müller-Boré & Partner Patentanwälte PartG mbB,
80639 München, DE

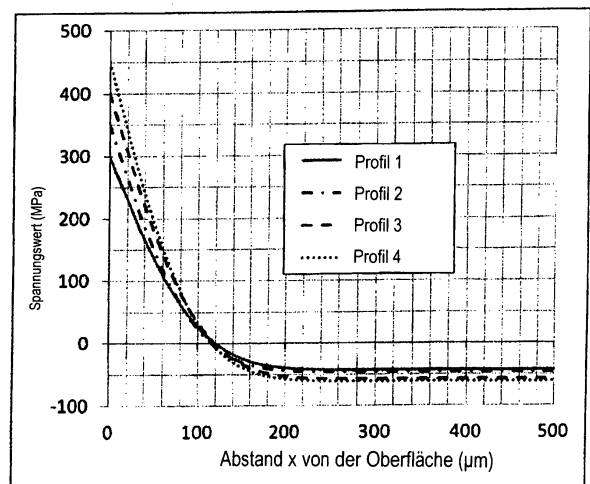
(71) Anmelder:
AGC Inc., Tokyo, JP

(72) Erfinder:
Murayama, Suguru, Tokyo, JP; Ohara, Seiki,
Tokyo, JP; Li, Qing, Tokyo, JP; Akiba, Shusaku,
Tokyo, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Chemisch gehärtetes Glas und Glas zum chemischen Härten**

(57) Zusammenfassung: Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung stellt ein chemisch gehärtetes Glas bereit, bei dem die Oberflächendruckspannung (CS) mindestens 300 MPa beträgt und der Druckspannungswert (CS_{90}) bei einer Tiefe von 90 μm von der Glasoberfläche mindestens 25 MPa beträgt, oder der Druckspannungswert (CS_{100}) bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche mindestens 15 MPa beträgt. Unter Verwendung der Mengen, angegeben als Molprozent auf einer Oxidbasis, der Komponenten von SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 , Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO und ZrO_2 in der Basiszusammensetzung des chemisch gehärteten Glases beträgt der Wert von X, der in der Beschreibung angegeben ist, 30000 oder mehr, und/oder der Wert von Z, der in der Beschreibung angegeben ist, beträgt 20000 oder mehr.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein chemisch gehärtetes Glas.

Stand der Technik

[0002] In den letzten Jahren wird ein Abdeckglas, das aus einem chemisch gehärteten Glas ausgebildet ist, zum Verbessern des Schutzes und der Schönheit einer Anzeigevorrichtung von mobilen Vorrichtungen, wie z.B. einem Mobiltelefon, einem Smartphone, einem persönlichen digitalen Assistenten (PDA) und einem Tabletendgerät, verwendet.**[0003]** Ein chemisch gehärtetes Glas weist eine Tendenz dahingehend auf, dass die Festigkeit zunimmt, wenn die Oberflächendruckspannung (Wert) (CS) und die Tiefe einer Druckspannungsschicht (DOL) zunehmen. Um andererseits die Ausgewogenheit mit der Oberflächendruckspannung aufrechtzuerhalten, wird innerhalb eines Glases eine innere Zugspannung (CT) erzeugt und als Ergebnis nimmt die CT zu, wenn die CS und die DOL groß sind. Wenn ein Glas mit einer großen CT bricht, ist die Art und Weise des Brechens heftig, wobei viele Fragmente gebildet werden, und als Ergebnis nimmt das Risiko zu, dass die Fragmente verstreut werden.**[0004]** Im Hinblick auf das Vorstehende offenbart z.B. das Patentdokument 1 die Formel (10), die eine akzeptable Grenze der inneren Zugspannung eines chemisch gehärteten Glases angibt, und offenbart, dass ein chemisch gehärtetes Glas, bei dem die Anzahl von verstreuten Fragmenten gering ist, durch Einstellen der folgenden CT' erhalten wird, obwohl die Festigkeit des chemisch gehärteten Glases erhöht ist. Die in dem Patentdokument 1 beschriebene innere Zugspannung CT' wird durch die folgende Formel (11) unter Verwendung von Messwerten für CS und DOL' abgeleitet.

$$CT' \leq -38,7 \times \ln(t) + 48,2 \quad (10)$$

$$CS \times DOL' = (t - 2 \times DOL') \times CT' \quad (11)$$

[0005] Hier entspricht die DOL' einer Tiefe einer Ionenaustauschschicht.

Dokumente des Standes der Technik

Patentdokument

[0006] Patentdokument 1: US-Patent Nr. 8,075,999

Zusammenfassung der Erfindung

Durch die Erfindung zu lösende Probleme

[0007] Gemäß den Untersuchungen durch die vorliegenden Erfinder gab es einen Fall, bei dem die Festigkeit eines chemisch gehärteten Glases in dem Verfahren des Patentdokuments 1 unzureichend ist. Es wird davon ausgegangen, dass dies darauf zurückzuführen ist, dass der Einfluss einer Glaszusammensetzung nicht ausreichend berücksichtigt wird, dass ein Spannungsprofil in der vorstehenden Formel zum Erhalten der CT' linear genähert wird, dass angenommen wird, dass der Punkt, an dem die Spannung Null ist, gleich der Tiefe einer Ionendiffusionsschicht ist, und dergleichen. Die vorliegende Erfindung stellt ein chemisch gehärtetes Glas bereit, bei dem diese Probleme vermindert sind und die Festigkeit weiter erhöht ist.

Mittel zum Lösen der Probleme

[0008] Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr, bei dem ein Druckspannungswert (CS_{90}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 90 μm von einer Glasoberfläche 25 MPa oder mehr beträgt oder ein Druckspannungswert (CS_{100}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche 15 MPa oder mehr beträgt, wobei ein Wert von X 30000 oder mehr beträgt, wobei der Wert von X auf der Basis der folgenden Formel unter Verwendung der Gehalte als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis von Komponenten von SiO_2 , Al_2O_3 ,

B_2O_3 , P_2O_5 , Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO und ZrO_2 in einer Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases berechnet wird.

$$X = SiO_2 \times 329 + Al_2O_3 \times 786 + B_2O_3 \times 627 + P_2O_5 \times (-941) + Li_2O \times 927 + Na_2O \times 47,5 + K_2O \times (-371) + MgO \times 1230 + CaO \times 1154 + SrO \times 733 + ZrO_2 \times 51,8$$

[0009] Der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung kann ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächen-druckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr sein, bei dem ein Druckspannungswert (CS_{90}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 90 μm von einer Glasoberfläche 25 MPa oder mehr beträgt oder ein Druckspannungswert (CS_{100}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche 15 MPa oder mehr beträgt, wobei ein Wert von Z 20000 oder mehr beträgt, wobei der Wert von Z auf der Basis der folgenden Formel unter Verwendung der Gehalte als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis von Komponenten von SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 , Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO und ZrO_2 in einer Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases berechnet wird.

$$Z = SiO_2 \times 237 + Al_2O_3 \times 524 + B_2O_3 \times 228 + P_2O_5 \times (-756) + Li_2O \times 538 + Na_2O \times 44,2 + K_2O \times (-387) + MgO \times 660 + CaO \times 569 + SrO \times 291 + ZrO_2 \times 510$$

[0010] Das chemisch gehärtetes Glas des ersten Aspekts weist vorzugsweise eine Plattenform mit einer Plattendicke t von 2 mm oder weniger auf.

[0011] Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächen-druckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr und das die folgenden Formeln (1) und (2) erfüllt.

$$StL(t) \geq a \times t + 7000 \text{ (Einheit: Mpa} \cdot \mu m) \quad (1)$$

$$a \geq 30000 \text{ (Einheit: Mpa} \cdot \mu m/mm) \quad (2)$$

(Hier ist t eine Plattendicke (mm) und $StL(t)$ ist ein Wert von St Grenze bei der Plattendicke t.)

[0012] Das chemisch gehärtete Glas des zweiten Aspekts erfüllt vorzugsweise $a \geq 35000$.

[0013] Ferner kann der zweite Aspekt ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr sein und das die folgenden Formeln (3), (4) und (5) erfüllt.

$$CTL(t) \geq -b \times \ln(t) + c \text{ (Einheit: MPa)} \quad (3)$$

$$b \geq 14 \text{ (Einheit: Mpa)} \quad (4)$$

$$c \geq 48,4 \text{ (Einheit: Mpa)} \quad (5)$$

(Hier ist t eine Plattendicke (mm) und $CTL(t)$ ist ein Wert von CT Grenze bei der Plattendicke t.)

[0014] Das chemisch gehärtete Glas des zweiten Aspekts weist vorzugsweise eine Plattenform mit einer Plattendicke t von 2 mm oder weniger auf.

[0015] Es ist bevorzugt, dass bei dem chemisch gehärteten Glas des zweiten Aspekts ein Druckspannungswert (CS_{90}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 90 μm von einer Glasoberfläche 25 MPa oder mehr beträgt oder ein Druckspannungswert (CS_{100}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche 15 MPa oder mehr beträgt.

[0016] Ein dritter Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein chemisch gehärtetes Glas mit einer durchschnittlichen Bruchhöhe in einem nachstehend beschriebenen Fallenlassen-auf-Sand-Test von 250 mm oder mehr, einer Anzahl von Fragmenten in einem Eindruckbruchtest, der nachstehend beschrieben ist, von 30 oder we-

niger, einer Plattendicke t von 0,4 bis 2 mm, einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr und einer Tiefe einer Druckspannungsschicht (DOL) von 100 μm oder mehr.

[0017] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass ein Produkt ($\text{CS}_{100} \times t^2$) eines Druckspannungswerts in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von einer Glasoberfläche und des Quadrats der Plattendicke t (mm) 5 $\text{MPa} \cdot \text{mm}^2$ oder mehr beträgt.

[0018] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass eine Fläche S_c ($\text{MPa} \cdot \mu\text{m}$) einer Druckspannungsschicht 30000 $\text{MPa} \cdot \mu\text{m}$ oder mehr beträgt.

[0019] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass die Tiefe d_h eines Abschnitts, bei der die Größe einer inneren Druckspannung 1/2 der Oberflächendruckspannung (CS) erreicht, 8 μm oder mehr beträgt.

[0020] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass die Position d_M , bei der die Druckspannung maximal ist, in einem Bereich bis zu 5 μm von einer Glasoberfläche liegt.

[0021] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass die Tiefe der Druckspannungsschicht (DOL) 110 μm oder mehr beträgt.

[0022] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass $\Delta\text{CS}_{\text{DOL}-20}$ (Einheit: $\text{MPa} \cdot \mu\text{m}$) 0,4 oder mehr beträgt, wobei $\Delta\text{CS}_{\text{DOL}-20}$ durch die folgende Formel unter Verwendung eines Druckspannungswerts $\text{CS}_{\text{DOL}-20}$ bei einer Tiefe von 20 μm der Glasoberflächenseite von der DOL berechnet wird.

$$\Delta\text{CS}_{\text{DOL}-20} = \text{CS}_{\text{DOL}-20} / 20$$

[0023] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass ΔCS_{100-90} (Einheit: $\text{MPa} \cdot \mu\text{m}$), das durch die folgende Formel unter Verwendung der CS_{90} und der CS_{100} berechnet wird, 0, 4 oder mehr beträgt.

$$\Delta\text{CS}_{100-90} = (\text{CS}_{90} - \text{CS}_{100}) / (100 - 90)$$

[0024] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass ein Glas mit der Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases einen Bruchzähigkeitswert ($K1c$) von 0,7 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ oder mehr aufweist.

[0025] Das chemisch gehärtete Glas der vorliegenden Erfindung weist vorzugsweise eine Fläche St ($\text{MPa} \cdot \mu\text{m}$) einer inneren Zugschicht von gleich oder weniger als $StL(t)$ ($\text{MPa} \cdot \mu\text{m}$) auf. (Hier ist t eine Plattendicke (mm) und $StL(t)$ ist ein Wert von St Grenze bei der Plattendicke t .)

[0026] Das chemisch gehärtete Glas der vorliegenden Erfindung weist vorzugsweise eine Spannung der inneren Zugschicht CT (MPa) von gleich oder weniger als $CTL(t)$ (MPa) auf. (Hier ist t eine Plattendicke (mm) und $CTL(t)$ ist ein Wert von CT Grenze bei der Plattendicke t .)

[0027] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass die Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases, als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis, 50 bis 80 % SiO_2 , 1 bis 30 % Al_2O_3 , 0 bis 6 % B_2O_3 , 0 bis 6 % P_2O_5 , 0 bis 20 % Li_2O , 0 bis 8 % Na_2O , 0 bis 10 % K_2O , 0 bis 20 % MgO , 0 bis 20 % CaO , 0 bis 20 % SrO , 0 bis 15 % BaO , 0 bis 10 % ZnO , 0 bis 5 % TiO_2 und 0 bis 8 % ZrO_2 enthält.

[0028] Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Glas zum chemischen Härten, das, als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis, 63 bis 80 % SiO_2 , 7 bis 30 % Al_2O_3 , 0 bis 5 % B_2O_3 , 0 bis 4 % P_2O_5 , 5 bis 15 % Li_2O , 4 bis 8 % Na_2O , 0 bis 2 % K_2O , 3 bis 10 % MgO , 0 bis 5 % CaO , 0 bis 20 % SrO , 0 bis 15 % BaO , 0 bis 10 % ZnO , 0 bis 1 % TiO_2 und 0 bis 8 % ZrO_2 enthält und nicht Ta_2O_5 , Gd_2O_3 , As_2O_3 und Sb_2O_3 enthält, wobei ein Wert von X 30000 oder mehr beträgt, wobei der Wert von X auf der Basis der folgenden Formel unter Verwendung der Gehalte als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis von Komponenten von SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 , Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO und ZrO_2 berechnet wird.

$$Z = \text{SiO}_2 \times 329 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times 786 + \text{B}_2\text{O}_3 \times 627 + \text{P}_2\text{O}_5 \times (-941) + \text{Li}_2\text{O} \times 927 + \text{Na}_2\text{O} \times 47,5 + \text{K}_2\text{O} \times (-371) + \text{MgO} \times 1230 + \text{CaO} \times 1154 + \text{SrO} \times 733 + \text{ZrO}_2 \times 51,8$$

[0029] In dem vorstehenden Glas zum chemischen Härten beträgt der Gehalt von ZrO_2 als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis vorzugsweise 1,2 % oder weniger.

[0030] Der Gehalt von K_2O als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis beträgt vorzugsweise 0,5 % oder mehr.

[0031] Der Gehalt von B_2O_3 als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis beträgt vorzugsweise 1 % oder weniger.

[0032] Der Gehalt von Al_2O_3 als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis beträgt vorzugsweise 11 % oder weniger.

[0033] Die Entglasungstemperatur T ist vorzugsweise mit einer Temperatur T4, bei der die Viskosität 10^4 dPa·s erreicht, identisch oder niedriger als diese.

Vorteilhafte Effekte der Erfindung

[0034] Die vorliegende Erfindung stellt ein chemisch gehärtetes Glas mit einer hohen Festigkeit bereit, bei dem ein Verstreuen von Fragmenten durch einen Bruch unterdrückt worden ist.

Figurenliste

[Fig. 1] Fig. 1 ist ein Konzeptdiagramm, das ein Spannungsprofil eines chemisch gehärteten Glases zeigt, wobei (a) eine Ansicht ist, die ein Beispiel eines Spannungsprofils eines chemisch gehärteten Glases zeigt, (b) eine vergrößerte Ansicht eines linken Endes des Spannungsprofils (a) ist, und (c) eine Ansicht ist, die Tiefen an Positionen zeigt, bei denen die Druckspannungen jedes der Profile A und B maximal sind.

[Fig. 2] Fig. 2 ist eine schematische Ansicht, die den Zustand des Herstellens einer Probe zum Messen der Oberflächendruckspannung (CS) eines chemisch gehärteten Glases zeigt, wobei (a) eine Probe vor dem Polieren zeigt und (b) eine dünn gemachte Probe nach dem Polieren zeigt.

[Fig. 3] Fig. 3 ist eine schematische Ansicht, die ein Testverfahren eines Fallenlassen-auf-Sand-Tests zeigt.

[Fig. 4] Fig. 4 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen der DOL und einer durchschnittlichen Bruchhöhe eines chemisch gehärteten Glases oder eines Glases aufgetragen ist.

[Fig. 5] Fig. 5 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen der CT und einer durchschnittlichen Bruchhöhe eines chemisch gehärteten Glases oder eines Glases aufgetragen ist.

[Fig. 6] Fig. 6 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen der CT und einer durchschnittlichen Bruchhöhe eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

[Fig. 7] Fig. 7 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen einem Oberflächendruckspannungswert und einer durchschnittlichen Bruchhöhe eines chemisch gehärteten Glases oder eines Glases aufgetragen ist.

[Fig. 8] Fig. 8 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen einem Druckspannungswert CS_{90} und einer durchschnittlichen Bruchhöhe eines chemisch gehärteten Glases oder eines Glases aufgetragen ist.

[Fig. 9] Fig. 9 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen einem Druckspannungswert CS_{100} und einer durchschnittlichen Bruchhöhe eines chemisch gehärteten Glases oder eines Glases aufgetragen ist.

[Fig. 10] Fig. 10 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen dem Produkt ($\text{CS}_{100} \times t^2$) eines Druckspannungswerts CS_{100} und dem Quadrat einer Plattendicke t und einer durchschnittlichen Bruchhöhe eines chemisch gehärteten Glases oder eines Glases aufgetragen ist.

[Fig. 11] Fig. 11 ist ein Graph, der die Testergebnisse eines Vierpunkt-Biegetests von chemisch gehärteten Gläsern zeigt.

[Fig. 12] Fig. 12 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen der CS und der Biegefestigkeit eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

[Fig. 13] Fig. 13 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen der DOL und der Biegefestigkeit eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

[Fig. 14] Fig. 14 ist ein Graph, der Spannungsprofile eines virtuellen chemisch gehärteten Glases zeigt.

[Fig. 15] **Fig. 15** zeigt Messergebnisse von St Grenze und CT Grenze, wobei (a) ein Graph ist, der die Beziehung zwischen einer Fläche St einer inneren Zugspannungsschicht und der Anzahl von Fragmenten zeigt, (b) eine vergrößerte Ansicht des Abschnitts ist, der in (a) durch eine gestrichelte Linie umgeben ist, (c) ein Graph ist, der die Beziehung zwischen der inneren Zugspannung CT und der Anzahl von Fragmenten zeigt, und (d) eine vergrößerte Ansicht des Abschnitts ist, der durch eine gestrichelte Linie in (c) umgeben ist.

[Fig. 16] **Fig. 16** ist eine erläuternde Ansicht einer Probe, die bei der Messung eines Bruchzähigkeitswerts durch das DCDC-Verfahren verwendet wird.

[Fig. 17] **Fig. 17** ist eine Ansicht, die eine K1-v-Kurve zeigt, welche die Beziehung zwischen einem Spannungsintensitätsfaktor K1 und einer Risswachstumsrate v zeigt, die bei der Messung eines Bruchzähigkeitswerts durch das DCDC-Verfahren verwendet wird.

[Fig. 18] **Fig. 18** ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen St Grenze und dem X-Wert eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

[Fig. 19] **Fig. 19** ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen St Grenze und dem Z-Wert eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

[Fig. 20] **Fig. 20** ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen St Grenze und dem Young'schen Modul eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

[Fig. 21] **Fig. 21** ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen dem X-Wert und dem Z-Wert eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

[Fig. 22] **Fig. 22** ist ein Graph, bei dem St Grenze zu einer Plattendicke t eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

[Fig. 23] **Fig. 23** ist ein Graph, bei dem CT Grenze zu einer Plattendicke t eines chemisch gehärteten Glases aufgetragen ist.

Modus zur Ausführung der Erfindung

[0035] Das chemisch gehärtete Glas der vorliegenden Erfindung ist nachstehend detailliert beschrieben.

<Erster Aspekt>

[0036] Das chemisch gehärtete Glas gemäß eines ersten Aspekts wird beschrieben.

[0037] Der erste Aspekt ist ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr, wobei ein Druckspannungswert (CS₉₀) in dem Abschnitt bei einer Tiefe von 90 µm von einer Glasoberfläche 25 MPa oder mehr beträgt oder ein Druckspannungswert (CS₁₀₀) in dem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 µm von der Glasoberfläche 15 MPa oder mehr beträgt.

[0038] In dem vorliegenden Aspekt beträgt der Wert von X, der auf der Basis der folgenden Formel unter Verwendung der Gehalte als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis von Komponenten von SiO₂, Al₂O₃, B₂O₃, P₂O₅, Li₂O, Na₂O, K₂O, MgO, CaO, SrO, BaO und ZrO₂ in einer Matrixzusammensetzung des chemisch gehärtetes Glas berechnet wird, 30000 oder mehr, und/oder wobei der Wert von Z, der auf der Basis der folgenden Formel berechnet wird, 20000 oder mehr beträgt.

$$Z = \text{SiO}_2 \times 329 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times 786 + \text{B}_2\text{O}_3 \times 627 + \text{P}_2\text{O}_5 \times (-941) + \text{Li}_2\text{O} \times 927 + \text{Na}_2\text{O} \times 47,5 + \text{K}_2\text{O} \times (-371) + \text{MgO} \times 1230 + \text{CaO} \times 1154 + \text{SrO} \times 733 + \text{ZrO}_2 \times 51,8$$

$$Z = \text{SiO}_2 \times 237 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times 524 + \text{B}_2\text{O}_3 \times 228 + \text{P}_2\text{O}_5 \times (-756) + \text{Li}_2\text{O} \times 538 + \text{Na}_2\text{O} \times 44,2 + \text{K}_2\text{O} \times (-387) + \text{MgO} \times 660 + \text{CaO} \times 569 + \text{SrO} \times 291 + \text{ZrO}_2 \times 510$$

[0039] Das chemisch gehärtete Glas des ersten Aspekts weist eine Druckspannungsschicht auf, die durch eine chemische Härtingsbehandlung (Ionenaustauschbehandlung) auf dessen Oberfläche ausgebildet worden ist. Bei der chemischen Härtingsbehandlung wird die Oberfläche eines Glases ionenausgetauscht, so dass eine Oberflächenschicht gebildet wird, die eine Restdruckspannung darin aufweist. Insbesondere werden Alkalimetallionen (typischerweise Li-Ionen oder Na-Ionen) mit einem kleinen Ionenradius, die in der Nähe der

Oberfläche einer Glasplatte vorliegen, durch Alkaliionen (typischerweise Na-Ionen oder K-Ionen für Li-Ionen und K-Ionen für Na-Ionen) mit einem größeren Ionenradius durch einen Ionenaustausch bei einer Temperatur ersetzt, die mit dem Glasübergangspunkt identisch oder niedriger als dieser ist. Dadurch verbleibt eine Druckspannungsschicht auf der Oberfläche eines Glases und die Festigkeit bzw. Härte eines Glases wird erhöht.

[0040] In dem ersten Aspekt beträgt die Oberflächendruckspannung (CS) des chemisch gehärteten Glases 300 MPa oder mehr. Wenn ein Smartphone oder ein Tablet-PC herabgefallen ist, wird auf der Oberfläche eines Abdeckglases eine Zugspannung erzeugt und deren Größe erreicht etwa 350 MPa. In diesem Fall wird dann, wenn CS 300 MPa oder mehr beträgt, die Zugspannung, die durch das Herabfallen erzeugt worden ist, aufgehoben und das Abdeckglas kann nur schwer brechen, was bevorzugt ist. Die CS des chemisch gehärteten Glases beträgt vorzugsweise 350 MPa oder mehr, mehr bevorzugt 400 MPa oder mehr und noch mehr bevorzugt 450 MPa oder mehr.

[0041] Andererseits ist die Obergrenze der CS des chemisch gehärteten Glases nicht speziell beschränkt. Wenn jedoch die CS zu groß ist, nimmt in dem Fall, bei dem das Glas zerbrochen ist, die Gefahr z.B. eines Verstreuens von Fragmenten zu. Daher beträgt sie im Hinblick auf die Sicherheit beim Brechen z.B. 2000 MPa oder weniger, vorzugsweise 1500 MPa oder weniger, mehr bevorzugt 1000 MPa oder weniger und noch mehr bevorzugt 800 MPa oder weniger.

[0042] Die CS des chemisch gehärteten Glases kann durch Einstellen der chemischen Härtingsbedingungen, der Zusammensetzung eines Glases und dergleichen in einer geeigneten Weise eingestellt werden.

[0043] Die CS des chemisch gehärteten Glases in dem ersten Aspekt ist wie folgt durch die Werte CS_F und CS_A durch die folgenden zwei Arten von Messverfahren festgelegt. Das Gleiche gilt für einen Druckspannungswert (CS_x) in dem Abschnitt bei einer Tiefe $\times \mu\text{m}$ von einer Glasoberfläche.

$$CS = CS_F = 1,28 \times CS_A$$

[0044] Die CS_F ist ein Wert, der durch ein Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., gemessen wird, und durch ein dazugehöriges Programm FsmV des Oberflächenspannungsmessgeräts erhalten wird.

[0045] Die CS_A ist ein Wert, der durch die folgenden Vorgänge unter Verwendung eines Doppelbrechungsbildgebungssystems Abrio-IM, hergestellt durch Tokyo Instruments, Inc., gemessen wird. Wie es in der **Fig. 2** gezeigt ist, wird ein Querschnitt eines chemisch gehärteten Glases mit einer Größe von 10 mm \times 10 mm oder größer und einer Dicke von etwa 0,2 bis 2 mm zu einem Bereich von 150 bis 250 μm poliert, so dass ein dünnes Stück hergestellt wird. Die Poliervorgänge sind derart, dass ein Schleifen bis zu einer Dicke der Zieldicke plus etwa 50 μm durch eine #1000-Diamant-elektroplattierte Schleifscheibe durchgeführt wird, und dann das Schleifen bis zu einer Dicke der Zieldicke plus etwa 10 μm durch eine #2000-Diamant-elektroplattierte Schleifscheibe durchgeführt wird, und schließlich ein Spiegelglanzpolieren durch Ceroxid durchgeführt wird, wodurch die Zieldicke erhalten wird. Die in der vorstehend beschriebenen Weise hergestellte Probe, deren Dicke auf etwa 200 μm vermindert worden ist, wird mit durchgelassenem Licht unter Verwendung von monochromatischem Licht mit $\lambda = 546 \text{ nm}$ als Lichtquelle gemessen und die Phasendifferenz (Verzögerung) des chemisch gehärteten Glases wird mit einem Doppelbrechungsbildgebungssystem gemessen. Die Spannung wird unter Verwendung des erhaltenen Werts und der folgenden Formel (A) berechnet.

$$F = \delta / (C \times t') \quad (A)$$

In der Formel (A) ist F die Spannung (MPa), δ ist die Phasendifferenz (Verzögerung) (nm), C ist eine photoelastische Konstante ($\text{nm cm}^{-1} \text{ MPa}$) und t' ist die Dicke (cm) einer Probe.

[0046] Die vorliegenden Erfinder haben gefunden, dass ein chemisch gehärtetes Glas mit einem gegebenen Wert oder mehr der DOL und einem gegebenen Ausmaß oder mehr eines Druckspannungswerts bei einer gegebenen Tiefe in einer Druckspannungsschicht (nachstehend als „Glas mit hohem DOL-Wert“ bezeichnet) eine hervorragende Fallbeständigkeit auf Sand aufweist. Sie haben ferner gefunden, dass selbst in dem Fall, bei dem CT relativ groß ist, ein solches Glas mit einer hohen DOL eine hohe Fallbeständigkeit auf Sand aufweist.

[0047] Im Hinblick auf das Vorstehende beträgt im ersten Aspekt der Druckspannungswert (CS_{90}) in dem Abschnitt bei einer Tiefe von 90 μm von der Glasoberfläche vorzugsweise 25 MPa oder mehr und mehr bevor-

zugt 30 MPa oder mehr. In dem chemisch gehärteten Glas beträgt der Druckspannungswert (CS_{100}) in dem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche vorzugsweise 15 MPa oder mehr und mehr bevorzugt 20 MPa oder mehr. Ferner beträgt in dem chemisch gehärteten Glas des ersten Aspekts das Produkt $CS_{100} \times t^2$ des Druckspannungswerts in dem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche und des Quadrats der Plattendicke t (mm) vorzugsweise 5 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder mehr.

[0048] In dem Fall, bei dem die CS_{90} 25 MPa oder mehr beträgt, kann eine ausreichende Beständigkeit gegen einen Bruch aufgrund von Fehlerstellen bereitgestellt werden, die durch eine Kollision mit einem scharfen Gegenstand, wie z.B. Sand, erzeugt werden, bei dem die Möglichkeit besteht, dass er in der Praxis mit dem chemisch gehärteten Glas kollidiert. Mit anderen Worten kann eine hervorragende Fallbeständigkeit auf Sand bereitgestellt werden. Die vorliegenden Erfinder haben ferner gefunden, dass bei dem chemisch gehärteten Glas mit einer CS_{90} von 25 MPa oder mehr ein chemisch gehärtetes Glas mit einer hohen Fallbeständigkeit auf Sand bereitgestellt werden kann, selbst wenn CT relativ groß ist.

[0049] Die CS_{90} beträgt mehr bevorzugt 30 MPa oder mehr, noch mehr bevorzugt 35 MPa oder mehr, noch mehr bevorzugt 40 MPa oder mehr, besonders bevorzugt 45 MPa oder mehr und insbesondere 50 MPa oder mehr.

[0050] Andererseits ist die Obergrenze der CS_{90} nicht speziell beschränkt. Im Hinblick auf die Sicherheit bei einem Brechen beträgt sie jedoch z.B. 250 MPa oder weniger, vorzugsweise 200 MPa oder weniger, mehr bevorzugt 150 MPa oder weniger, besonders bevorzugt 100 MPa oder weniger und insbesondere 75 MPa oder weniger.

[0051] Entsprechend dem Vorstehenden beträgt die CS_{100} mehr bevorzugt 20 MPa oder mehr, noch mehr bevorzugt 23 MPa oder mehr, noch mehr bevorzugt 26 MPa oder mehr, besonders bevorzugt 30 MPa oder mehr und insbesondere 33 MPa oder mehr. Die Obergrenze der CS_{100} ist nicht speziell beschränkt. Im Hinblick auf die Sicherheit bei einem Brechen beträgt sie jedoch z.B. 200 MPa oder weniger, vorzugsweise 150 MPa oder weniger, mehr bevorzugt 100 MPa oder weniger, besonders bevorzugt 75 MPa oder weniger und insbesondere 50 MPa oder weniger.

[0052] $CS_{100} \times t^2$ beträgt vorzugsweise 5 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder mehr, mehr bevorzugt 7 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder mehr, noch mehr bevorzugt 10 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder mehr, besonders bevorzugt 15 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder mehr und insbesondere 20 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder mehr. Die Obergrenze von $CS_{100} \times t^2$ ist nicht speziell beschränkt. Im Hinblick auf die Sicherheit bei einem Brechen beträgt sie jedoch z.B. 120 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder weniger, vorzugsweise 100 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder weniger, mehr bevorzugt 80 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder weniger, besonders bevorzugt 60 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder weniger und insbesondere 40 $\text{MPa}\cdot\text{mm}^2$ oder weniger.

[0053] In dem chemisch gehärteten Glas des ersten Aspekts beträgt die Tiefe d_h (vgl. (b) von **Fig. 1**) des Abschnitts, bei dem die Größe der inneren Druckspannungsschicht $1/2$ der Oberflächendruckspannung (CS) beträgt, vorzugsweise 8 μm oder mehr. In dem Fall, bei dem d_h 8 μm oder mehr beträgt, wird die Beständigkeit gegen eine Festigkeitsverminderung bei der Bildung von Fehlerstellen erhöht. Die d_h beträgt vorzugsweise 8 μm oder mehr, mehr bevorzugt 10 μm oder mehr, noch mehr bevorzugt 12 μm oder mehr und besonders bevorzugt 15 μm oder mehr. Andererseits ist die Obergrenze der d_h nicht speziell beschränkt. Im Hinblick auf die Sicherheit bei einem Brechen beträgt sie jedoch z.B. 70 μm oder weniger, bevorzugt 60 μm oder weniger, mehr bevorzugt 50 μm oder weniger, noch mehr bevorzugt 40 μm oder weniger, und besonders bevorzugt 30 μm oder weniger.

[0054] In dem chemisch gehärteten Glas des ersten Aspekts liegt die Tiefe d_M (vgl. (c) von **Fig. 1**) einer Position, bei der die Druckspannung maximal ist, vorzugsweise in einem Bereich von 10 μm oder weniger von der Glasoberfläche. In dem Fall, bei dem sich d_M in dem Abschnitt bei einer Tiefe tiefer als 10 μm von der Glasoberfläche befindet, wird der Effekt der Erhöhung der Biegefestigkeit durch eine chemische Härtingsbehandlung nicht ausreichend erhalten, und dies kann zu einer Verminderung der Biegefestigkeit führen. Die d_M beträgt vorzugsweise 10 μm oder weniger, mehr bevorzugt 8 μm oder weniger und noch mehr bevorzugt 5 μm oder weniger.

[0055] In dem ersten Aspekt beträgt die DOL vorzugsweise 100 μm oder mehr. In dem Fall, bei dem die DOL 100 μm oder mehr beträgt, kann eine ausreichende Beständigkeit gegen ein Brechen aufgrund von Fehlerstellen aufgrund einer Kollision mit einem scharfen Gegenstand, wie z.B. Sand, bereitgestellt werden, wobei in der Praxis die Möglichkeit besteht, dass dieser mit dem chemisch gehärteten Glas kollidiert. Die DOL beträgt

mehr bevorzugt 110 µm oder mehr, noch mehr bevorzugt 120 µm oder mehr und besonders bevorzugt 130 µm oder mehr.

[0056] Andererseits ist die Obergrenze der DOL nicht speziell beschränkt. Im Hinblick auf die Sicherheit bei einem Brechen beträgt sie jedoch z.B. 200 µm oder weniger, bevorzugt 180 µm oder weniger, mehr bevorzugt 160 µm oder weniger und besonders bevorzugt 150 µm oder weniger.

[0057] Die DOL kann durch Einstellen der chemischen Härtingsbedingungen, der Zusammensetzung eines Glases und dergleichen in einer geeigneten Weise eingestellt werden.

[0058] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung beträgt ΔCS_{DOL-20} (Einheit: MPa/µm), das durch die folgende Formel unter Verwendung Druckspannungswerts CS_{DOL-20} bei einer Tiefe von 20 µm von der Seite der Glasoberfläche von der DOL berechnet wird, vorzugsweise 0,4 oder mehr.

$$\Delta CS_{DOL-20} = CS_{DOL-20} / 20$$

In dem Fall, bei dem ΔCS_{DOL-20} 0,4 oder mehr beträgt, kann die Biegefestigkeit nach der Bildung von Fehlerstellen durch einen scharfen Gegenstand (Biegefestigkeit nach der Bildung von Fehlerstellen) erhöht werden. ΔCS_{DOL-20} beträgt mehr bevorzugt schrittweise 0,5 oder mehr, 0,6 oder mehr, 0,7 oder mehr, 0,8 oder mehr, 0,9 oder mehr, 1,0 oder mehr, 1,2 oder mehr, 1,4 oder mehr und 1,5 oder mehr. Andererseits ist die Obergrenze von ΔCS_{DOL-20} nicht speziell beschränkt. Im Hinblick auf die Sicherheit bei einem Brechen beträgt sie jedoch z.B. 4,0 oder weniger, bevorzugt 3,0 oder weniger, mehr bevorzugt 2,0 oder weniger, noch mehr bevorzugt 1,7 oder weniger und typischerweise 1,6 oder weniger.

[0059] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung beträgt ΔCS_{100-90} (Einheit: MPa/µm), das durch die folgende Formel unter Verwendung von CS_{90} und CS_{100} berechnet wird, vorzugsweise 0,4 oder mehr.

$$\Delta CS_{100-90} = (CS_{90} - CS_{100}) / (100 - 90)$$

In dem Fall, bei dem ΔCS_{100-90} 0,4 oder mehr beträgt, kann die Biegefestigkeit nach der Bildung von Fehlerstellen durch einen scharfen Gegenstand (Biegefestigkeit nach der Bildung von Fehlerstellen) erhöht werden. ΔCS_{100-90} beträgt mehr bevorzugt schrittweise 0,5 oder mehr, 0,6 oder mehr, 0,7 oder mehr, 0,8 oder mehr, 0,9 oder mehr, 1,0 oder mehr, 1,2 oder mehr, 1,4 oder mehr und 1,5 oder mehr. Andererseits ist die Obergrenze von ΔCS_{100-90} nicht speziell beschränkt. Im Hinblick auf die Sicherheit bei einem Brechen beträgt sie jedoch z.B. 4,0 oder weniger, bevorzugt 3,0 oder weniger, mehr bevorzugt 2,0 oder weniger, noch mehr bevorzugt 1,7 oder weniger und typischerweise 1,6 oder weniger.

[0060] Die DOL des chemisch gehärteten Glases in dem ersten Aspekt ist eine Tiefe von einer Glasoberfläche eines Abschnitts, bei dem die Spannung in einem Spannungsprofil Null ist, und ist ein Wert, der durch ein Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., gemessen und durch ein dazugehöriges Programm FsmV analysiert wird. Sie kann auch durch eine dünn gemachte Probe, wie sie in (b) von **Fig. 2** gezeigt ist, mittels eines Doppelbrechungsbildgebungssystems Abrio-IM, hergestellt durch Tokyo Instruments, Inc., gemessen werden.

[0061] Bei dem chemisch gehärteten Glas des ersten Aspekts beträgt der Wert der Fläche (MPa·µm) der Druckspannungsschicht vorzugsweise 30000 MPa·µm oder mehr. In dem Fall, bei dem der Wert der Fläche Sc (MPa·µm) der Druckspannungsschicht 30000 MPa·µm oder mehr beträgt, kann ein chemisch gehärtetes Glas mit einer ausreichenden Beständigkeit gegen ein Brechen aufgrund von Fehlerstellen aufgrund einer Kollision mit einem scharfen Gegenstand, wie z.B. Sand, wobei in der Praxis die Möglichkeit besteht, dass dieser mit dem chemisch gehärteten Glas kollidiert, durch Einführen einer größeren CS und DOL bereitgestellt werden. Die Sc beträgt mehr bevorzugt 32000 MPa·µm oder mehr und noch mehr bevorzugt schrittweise 34000 MPa·µm oder mehr, 36000 MPa·µm oder mehr, 38000 MPa·µm oder mehr, 40000 MPa·µm oder mehr, 42000 MPa·µm oder mehr, 44000 MPa·µm oder mehr und 46000 MPa·µm oder mehr.

[0062] Die Sc (MPa·µm) des chemisch gehärteten Glases in dem ersten Aspekt ist wie folgt durch die Werte Sc_F und Sc_A durch die folgenden zwei Arten von Messverfahren festgelegt.

$$Sc = Sc_F = 1,515 \times Sc_A$$

Dabei ist Sc_F ein Wert, der unter Verwendung eines Werts berechnet wird, der durch ein Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., gemessen und durch ein dazugehöriges Programm FsmV analysiert wird, und Sc_A ist ein Wert, der durch die Messung mittels eines Doppelbrechungsbildgebungssystems Abrio-IM und einer dünn gemachten Probe gemessen wird, wobei es sich um dasselbe Verfahren wie bei der vorstehend beschriebenen Messung CS_A handelt.

[0063] Die Fläche St ($MPa \cdot \mu m$) der inneren Zugschicht des chemisch gehärteten Glases in dem ersten Aspekt ist wie folgt durch die Werte St_F und St_A durch die folgenden zwei Arten von Messverfahren festgelegt.

$$St = St_F = 1,515 \times St_A$$

Dabei ist St_F ein Wert, der unter Verwendung eines Werts berechnet wird, der durch ein Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., gemessen und durch ein dazugehöriges Programm FsmV analysiert wird, und St_A ist ein Wert, der durch die Messung mittels eines Doppelbrechungsbildgebungssystems Abrio-IM und einer dünn gemachten Probe gemessen wird, wobei es sich um dasselbe Verfahren wie bei der vorstehend beschriebenen Messung von CS_A handelt. Das Spannungsprofil wird durch zwei Verfahren erstellt, die den vorstehenden ähnlich sind, St_F oder St_A wird berechnet und St kann erhalten werden.

[0064] Schematische Diagramme von Sc und St sind in (a) von **Fig. 1** gezeigt. Sc und St sind im Prinzip dieselben Werte und werden vorzugsweise so berechnet, dass $0,95 < Sc/St < 1,05$ ist.

[0065] In dem ersten Aspekt beträgt der Wert von X , der auf der Basis der folgenden Formel mittels der Inhalte als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis von Komponenten von SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 , Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO und ZrO_2 in einer Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases berechnet wird, 30000 oder mehr, und/oder wobei der Wert von Z , der auf der Basis der folgenden Formel berechnet wird, 20000 oder mehr beträgt.

[0066] Die Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases ist eine Zusammensetzung eines Glases vor einem chemischen Härten (nachstehend auch als „Glas zum chemischen Härten“ bezeichnet). Der Abschnitt mit einer Zugspannung (nachstehend auch als „Zugspannungsabschnitt“ bezeichnet) des chemisch gehärteten Glases ist ein Abschnitt, der nicht ionenausgetauscht ist. In dem Fall, bei dem die Dicke des chemisch gehärteten Glases ausreichend groß ist, weist der Zugspannungsabschnitt des chemisch gehärteten Glases dieselbe Zusammensetzung auf wie diejenige des Glases vor dem chemischen Härten. In einem solchen Fall kann die Zusammensetzung des Zugspannungsabschnitts als Matrixzusammensetzung angesehen werden. Die bevorzugte Ausführungsform der Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases wird nachstehend beschrieben.

$$Z = SiO_2 \times 329 + Al_2O_3 \times 786 + B_2O_3 \times 627 + P_2O_5 \times (-941) + Li_2O \times 927 + Na_2O \times 47,5 + K_2O \times (-371) + MgO \times 1230 + CaO \times 1154 + SrO \times 733 + ZrO_2 \times 51,8$$

$$Z = SiO_2 \times 237 + Al_2O_3 \times 524 + B_2O_3 \times 228 + P_2O_5 \times (-756) + Li_2O \times 538 + Na_2O \times 44,2 + K_2O \times (-387) + MgO \times 660 + CaO \times 569 + SrO \times 291 + ZrO_2 \times 510$$

[0067] Die vorliegenden Erfinder haben experimentell gefunden, dass der X -Wert und der Z -Wert, die auf der Basis der vorstehenden Formeln berechnet werden, gut mit der Anzahl von Stücken (der Anzahl von Fragmenten) korrelieren, wenn das chemisch gehärtete Glas zerbrochen (gebrochen) wurde, und dass die Anzahl von Fragmenten, wenn das Glas zerbrochen wurde, zu einer Abnahme neigt, wenn der X -Wert und der Z -Wert zunehmen.

[0068] Auf der Basis der vorstehenden Erkenntnis beträgt im Hinblick darauf, dass ein Glas eine geringere Anzahl von Fragmenten erzeugt und eine höhere Sicherheit aufweist, bei dem chemisch gehärteten Glas des ersten Aspekts der X -Wert vorzugsweise 30000 $MPa \cdot \mu m$ oder mehr und noch mehr bevorzugt schrittweise 32000 $MPa \cdot \mu m$ oder mehr, 34000 $MPa \cdot \mu m$ oder mehr, 36000 $MPa \cdot \mu m$ oder mehr, 38000 $MPa \cdot \mu m$ oder mehr,

40000 MPa·µm oder mehr, 42000 MPa·µm oder mehr, 44000 MPa·µm oder mehr, 45000 MPa·µm oder mehr und 46000 MPa·µm oder mehr.

[0069] Entsprechend beträgt der Z-Wert vorzugsweise 20000 MPa·µm oder mehr und noch mehr bevorzugt schrittweise 22000 MPa·µm oder mehr, 24000 MPa·µm oder mehr, 26000 MPa·µm oder mehr, 28000 MPa·µm oder mehr, 29000 MPa·µm oder mehr und 30000 MPa·µm oder mehr.

[0070] Der X-Wert und der Z-Wert können durch die Komponentengehalte in der Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases eingestellt werden. In dem ersten Aspekt ist die Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases nicht speziell beschränkt. Es wird jedoch eine Glaszusammensetzung, bei der eine chemische Härtungsbehandlung angewandt werden kann, welche einem Glas die vorstehend beschriebenen chemischen Härtungseigenschaften nach dem chemischen Härten verleihen kann, und wobei der Wert von X 30000 oder mehr beträgt und/oder wobei der Wert von Z 20000 oder mehr beträgt, in einer geeigneten Weise ausgewählt.

[0071] Die vorliegenden Erfinder haben ferner experimentell gefunden, dass ein Y-Wert, der auf der Basis der folgenden Formel berechnet wird, mit der Anzahl von Stücken (der Anzahl von Fragmenten) korreliert, wenn ein chemisch gehärtetes Glas zerbrochen (gebrochen) wurde, und dass die Anzahl von Fragmenten, wenn das Glas zerbrochen wurde, zu einer Abnahme neigt, wenn der Y-Wert zunimmt.

$$Y = \text{SiO}_2 \times 0,00884 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times +0,0120 + \text{B}_2\text{O}_3 \times (-0,00373) + \text{P}_2\text{O}_5 \times 0,000681 + \text{Li}_2\text{O} \times 0,00735 \\ + \text{Na}_2\text{O} \times (-0,00234) + \text{K}_2\text{O} \times (-0,00608) + \text{MgO} \times 0,0105 + \text{CaO} \times 0,00789 + \text{SrO} \times 0,00752 \\ + \text{BaO} \times 0,00472 + \text{ZrO}_2 \times 0,0202$$

[0072] Auf der Basis der vorstehenden Erkenntnis beträgt im Hinblick darauf, dass ein Glas eine geringere Anzahl von Fragmenten erzeugt und eine höhere Sicherheit aufweist, bei dem chemisch gehärteten Glas des ersten Aspekts der Y-Wert vorzugsweise 0,7 oder mehr, mehr bevorzugt 0,75 oder mehr, noch mehr bevorzugt 0,77 oder mehr, besonders bevorzugt 0,80 oder mehr und insbesondere 0,82 oder mehr.

[0073] Bei dem Glas zum chemischen Härten der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass die Entglasungstemperatur T mit einer Temperatur T4 identisch oder niedriger als diese ist, bei der die Viskosität 10^4 dPa·s erreicht. In dem Fall, bei dem die Entglasungstemperatur T höher als T4 ist, wird die Qualität während des Bildens einer Glasplatte durch ein Floatverfahren oder dergleichen leicht durch eine Entglasung vermindert.

[0074] In dem Fall, bei dem das chemisch gehärtete Glas des ersten Aspekts ein plattenförmiges Glas (Glasplatte) ist, ist dessen Plattendicke (t) nicht speziell beschränkt. Um jedoch den Effekt des chemischen Härtens zu verbessern, beträgt sie z.B. 2 mm oder weniger, bevorzugt 1,5 mm oder weniger, mehr bevorzugt 1 mm oder weniger, noch mehr bevorzugt 0,9 mm oder weniger, besonders bevorzugt 0,8 mm oder weniger und insbesondere 0,7 mm oder weniger. Im Hinblick auf das Erhalten eines ausreichenden Effekts des Erhöehens der Festigkeit durch eine chemische Härtungsbehandlung beträgt die Plattendicke z.B. 0,1 mm oder mehr, bevorzugt 0,2 mm oder mehr, mehr bevorzugt 0,4 mm oder mehr und noch mehr bevorzugt 0,5 mm oder mehr.

[0075] Das chemisch gehärtete Glas des ersten Aspekts kann abhängig von den Produkten, auf die das Glas angewandt wird, Anwendungen und dergleichen eine Form aufweisen, die von einer Plattenform verschieden ist. Die Glasplatte kann eine angefaste bzw. abgeschrägte Form mit einer anderen Dicke eines Außenumfangs aufweisen. Die Glasplatte weist zwei Hauptoberflächen und an diese angrenzende Kantenoberflächen auf, so dass eine Plattendicke gebildet wird, und die zwei Hauptoberflächen können flache Oberflächen bilden, die parallel zueinander sind. Die Form der Glasplatte ist jedoch nicht darauf beschränkt. Beispielsweise können zwei Hauptoberflächen nicht parallel zueinander sein und die Gesamtheit oder ein Teil von einer oder beiden Hauptoberfläche(n) kann eine gekrümmte Oberfläche sein. Insbesondere kann die Glasplatte eine verzugfreie flache plattenförmige Glasplatte und eine gekrümmte Glasplatte mit einer gekrümmten Oberfläche sein.

[0076] Gemäß des ersten Aspekts wird ein chemisch gehärtetes Glas, das eine geringere Anzahl von Fragmenten erzeugt und eine hohe Sicherheit aufweist, erhalten, obwohl CT oder St groß ist.

[0077] Beispielsweise besteht in dem Fall, bei dem eine mobile Vorrichtung, wie z.B. ein Smartphone, versehentlich herabfällt, eine relativ hohe Wahrscheinlichkeit, dass sie mit einem Kollisionsgegenstand mit einem Kollisionsteil mit einem kleinen Winkel kollidiert (nachstehend auch als „scharfer Gegenstand“ bezeichnet), wie z.B. Sand, und dass ein chemisch gehärtetes Glas als Abdeckglas beschädigt wird. Daher ist ein chemisch

gehärtetes Glas erforderlich, das selbst in dem Fall einer Kollision mit einem scharfen Gegenstand kaum beschädigt wird.

[0078] Das chemisch gehärtete Glas gemäß dem ersten Aspekt weist eine hervorragende Beständigkeit gegen einen Bruch (Fallbeständigkeit auf Sand) aufgrund von Fehlerstellen auf, die durch eine Kollision mit einem scharfen Gegenstand, wie z.B. Sand, erzeugt werden, wobei in der Praxis die Möglichkeit einer Kollision besteht.

<Zweiter Aspekt>

[0079] Nachstehend wird das chemisch gehärtete Glas gemäß des zweiten Aspekts beschrieben.

[0080] Eines der chemisch gehärteten Gläser des zweiten Aspekts ist ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr und das die folgenden Formeln (1) und (2) erfüllt.

$$\text{StL}(t) \geq a \times t + 7000 \text{ (Einheit: Mpa} \cdot \mu\text{m)} \quad (1)$$

$$a \geq 30000 \text{ (Einheit: Mpa} \cdot \mu\text{m/mm)} \quad (2)$$

(Dabei ist t die Plattendicke (mm) und StL(t) ist ein Wert von St Grenze in dem Fall der Plattendicke t.)

[0081] StL(t) ist ein Wert, der durch die folgende Messung erhalten wird. Ein Glas mit 25 mm × 25 mm × Plattendicke t (mm) wird einer chemischen Härtungsbehandlung bei verschiedenen chemischen Härtungsbedingungen unterzogen, so dass sich die innere Zugspannungsfläche (St, Einheit: MPa·µm) ändert, wodurch chemisch gehärtete Gläser mit verschiedenen inneren Zugspannungsflächen (St, Einheit: MPa·µm) hergestellt werden. Durch die Verwendung eines Diamanteindruckkörpers mit einem Eindruckwinkel eines Flächenwinkels von 60° werden diese chemisch gehärteten Gläser durch einen Eindruckbruchtest zerbrochen, bei dem eine Last von 3 bis 10 kgf für 15 Sekunden aufrechterhalten wird, und die Anzahl von Stücken (die Anzahl von Fragmenten) der chemisch gehärteten Gläser nach dem Bruch wird gezählt. Die innere Zugspannungsfläche (St, Einheit: MPa·µm) in dem Fall, bei dem die Anzahl von Fragmenten 10 war, wird als St Grenze-Wert = StL(t) in dem Fall einer Plattendicke t (mm) festgelegt. In dem Fall, bei dem die Anzahl von Fragmenten 10 übersteigt, wird der StL(t)-Wert durch die folgende Formel unter Verwendung eines Stn-Werts, der ein St-Wert der maximalen Anzahl n von Fragmenten ist, die weniger als 10 wird, und eines Stm-Werts festgelegt, der ein St-Wert der minimalen Anzahl m von Fragmenten ist, die mehr als 10 wird.

$$\text{StL}(t) - \text{Wert} = \text{Stn} + (10 - n) \times (\text{Stm} - \text{Stn}) / (m - n)$$

In dem Fall, bei dem ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Größe von mehr als 25 mm × 25 mm verwendet wird, wird ein Bereich von 25 mm × 25 mm in einem chemisch gehärteten Glas angegeben und StL(t) wird innerhalb des Bereichs gemessen.

[0082] StL(t) hängt von der Plattendicke t (mm) und a ab und a ist ein Parameter, der von der Glaszusammensetzung abhängt. StL(t) ändert sich linear mit t und dessen Steigung kann durch den Parameter a ausgedrückt werden, der sich mit der Zusammensetzung ändert. In dem Fall, bei dem der Wert von a 30000 MPa·µm/mm oder mehr beträgt, kann der Bruchmodus, bei dem eine geringere Anzahl von Fragmenten erzeugt wird und bei dem eine hohe Sicherheit vorliegt, selbst dann erreicht werden, wenn eine größere CS und DOL eingebracht worden sind.

[0083] Der Wert von a beträgt mehr bevorzugt 32000 MPa·µm/mm oder mehr und beträgt mehr bevorzugt schrittweise 34000 MPa·µm/mm oder mehr, 36000 MPa·µm/mm oder mehr, 38000 MPa·µm/mm oder mehr, 40000 MPa·µm/mm oder mehr, 42000 MPa·µm/mm oder mehr, 44000 MPa·µm/mm oder mehr, 46000 MPa·µm/mm oder mehr, 48000 MPa·µm/mm oder mehr und 50000 MPa·µm/mm oder mehr.

[0084] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Ausführungsform nimmt in dem Fall, bei dem a größer als 53000 MPa·µm/mm ist, die Entglasungstemperatur eines Glases zu und die Produktivität bei der Glasherstellung kann verschlechtert werden. Daher beträgt der Wert a vorzugsweise 53000 MPa·µm/mm oder weniger.

[0085] Eines der chemisch gehärteten Gläser des zweiten Aspekts ist ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr und das die folgenden Formeln (3), (4) und (5) erfüllt.

$$\text{CTL}(t) \geq -b \times \ln(t) + c \text{ (Einheit: Mpa)} \quad (3)$$

$$b \geq 14 \text{ (Einheit: Mpa)} \quad (4)$$

$$c \geq 48,4 \text{ (Einheit: Mpa)} \quad (5)$$

(Dabei ist t die Plattendicke (mm) und CTL (t) ist ein Wert von CT Grenze in dem Fall der Plattendicke t.)

[0086] CTL(t) ist ein Wert, der durch die folgende Messung erhalten wird. Ein Glas mit 25 mm × 25 mm × Plattendicke t (mm) wird einer chemischen Härtungsbehandlung bei verschiedenen chemischen Härtungsbedingungen unterzogen, so dass sich die innere Zugspannung CT (Einheit: MPa) ändert, wodurch chemisch gehärtete Gläser mit verschiedenen inneren Zugspannungen CT (Einheit: MPa) hergestellt werden. Durch die Verwendung eines Diamanteindruckkörpers mit einem Eindruckwinkel eines Flächenwinkels von 60° werden diese chemisch gehärteten Gläser durch einen Eindruckbruchtest zerbrochen, bei dem eine Last von 3 bis 10 kgf für 15 Sekunden aufrechterhalten wird, und die Anzahl von Stücken (die Anzahl von Fragmenten) der chemisch gehärteten Gläser nach dem Bruch gezählt wird. Die innere Zugspannung CT (Einheit: MPa) in dem Fall, bei dem die Anzahl von Fragmenten 10 war, wird als CT Grenze-Wert = CTL(t) in dem Fall einer Plattendicke t (mm) festgelegt. In dem Fall, bei dem die Anzahl von Fragmenten 10 übersteigt, wird der CTL(t)-Wert durch die folgende Formel unter Verwendung eines CT_n-Werts, der ein CT-Wert der maximalen Anzahl n von Fragmenten ist, die weniger als 10 wird, und eines CT_m-Werts festgelegt, der ein CT-Wert der minimalen Anzahl m von Fragmenten ist, die mehr als 10 wird.

$$\text{CTL}(t) - \text{Wert} = \text{CT}_n + (10 - n) \times (\text{CT}_m - \text{CT}_n) / (m - n)$$

In dem Fall, bei dem ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Größe von mehr als 25 mm × 25 mm verwendet wird, wird ein Bereich von 25 mm × 25 mm in einem chemisch gehärteten Glas angegeben und CTL(t) wird innerhalb des Bereichs gemessen.

[0087] CTL(t) hängt von der Plattendicke t (mm), b und c ab und b und c sind Parameter, die von der Glaszusammensetzung abhängen. CTL(t) nimmt mit zunehmendem t ab und kann wie in der Formel (3) durch die Verwendung des natürlichen Logarithmus ausgedrückt werden. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform kann dann, wenn die Werte von b und c 14 MPa oder mehr bzw. 48,4 MPa oder mehr betragen, der Bruchmodus, bei dem eine geringere Anzahl von Fragmenten erzeugt wird und der eine hohe Sicherheit aufweist, selbst dann erhalten werden, wenn CS und DOL, die größer sind als herkömmliche CS und DOL, eingebracht worden sind.

[0088] Der Wert von b beträgt mehr bevorzugt 14 MPa oder mehr und beträgt vorzugsweise schrittweise 15 MPa oder mehr, 16 MPa oder mehr, 17 MPa oder mehr, 18 MPa oder mehr, 19 MPa oder mehr, 20 MPa oder mehr, 21 MPa oder mehr, 22 MPa oder mehr, 23 MPa oder mehr, 24 MPa oder mehr, 25 MPa oder mehr, 26 MPa oder mehr, 27 MPa oder mehr, 28 MPa oder mehr, 29 MPa oder mehr und 30 MPa oder mehr.

[0089] Der Wert von c beträgt mehr bevorzugt 48,4 MPa oder mehr und beträgt vorzugsweise schrittweise 49 MPa oder mehr, 50 MPa oder mehr, 51 MPa oder mehr, 52 MPa oder mehr, 53 MPa oder mehr, 54 MPa oder mehr, 55 MPa oder mehr, 56 MPa oder mehr, 57 MPa oder mehr, 58 MPa oder mehr, 59 MPa oder mehr, 60 MPa oder mehr, 61 MPa oder mehr, 62 MPa oder mehr, 63 MPa oder mehr, 64 MPa oder mehr und 65 MPa oder mehr.

[0090] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Ausführungsform wird in dem Fall, bei dem b größer als 35 MPa ist und c größer als 75 MPa ist, eine Entglasung eines Glases im Allgemeinen verschlechtert und die Produktivität bei der Glasherstellung kann verschlechtert werden. Daher ist CTL(t) vorzugsweise kleiner als $-35 \times \ln(t) + 75$.

[0091] Der St-Wert und der CT-Wert sind mittels der Werte St_F und CT_F, die durch ein Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd. gemessen und durch ein dazugehöriges Programm FsmV analysiert werden, oder der Werte St_A und CT_A, die durch die Messung unter

Verwendung eines Doppelbrechungsbildgebungssystems Abrio-IM und einer dünn gemachten Probe erhalten werden, festgelegt.

$$St = St_F = 1,515 \times St_A$$

$$CT = CT_F = 1,28 \times CT_A$$

[0092] Dabei ist CT_F ein Wert gleich dem Wert CT_{CV} , der durch FsmV analysiert worden ist, und unterscheidet sich von CT' , das durch die folgende Formel (11) erhalten worden ist.

$$CS \times DOL' = (t - 2 \times DOL') \times CT' \quad (11)$$

[0093] Dabei entspricht DOL' der Tiefe einer Ionenaustauschschicht. Die vorstehende Formel zum Erhalten von CT' stellt eine lineare Näherung eines Spannungsprofils dar und es wird ferner davon ausgegangen, dass der Punkt, an dem die Spannung Null ist, mit der Tiefe einer Ionenaustauschschicht identisch ist. Daher besteht ein Problem dahingehend, dass sie größer abgeschätzt wird als die tatsächliche innere Zugspannung, und dies ist als Index für die innere Zugspannung in der vorliegenden Ausführungsform ungeeignet.

[0094] Das chemisch gehärtete Glas des zweiten Aspekts weist eine Druckspannungsschicht, die durch eine chemische Härtungsbehandlung (Ionenaustauschbehandlung) gebildet worden ist, auf dessen Oberfläche auf.

[0095] Das chemisch gehärtete Glas des zweiten Aspekts weist eine Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr auf. Die Gründe für die Beschränkung von CS und den bevorzugten Zahlenbereich bei dem chemisch gehärteten Glas des zweiten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0096] Bevorzugte Zahlenbereiche für CS_{90} , CS_{100} und $CS_{100} \times t^2$ und die damit einhergehenden technischen Effekte des chemisch gehärteten Glases des zweiten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch. Insbesondere in dem Fall, bei dem der Druckspannungswert (CS_{90}) des Abschnitts bei einer Tiefe von 90 μm von der Glasoberfläche 25 MPa oder mehr beträgt oder der Druckspannungswert (CS_{100}) des Abschnitts bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche 15 MPa oder mehr beträgt, kann eine ausreichende Beständigkeit gegen ein Brechen aufgrund von Fehlerstellen aufgrund einer Kollision mit einem scharfen Gegenstand, wie z.B. Sand, bereitgestellt werden, wobei in der Praxis die Möglichkeit besteht, dass dieser mit dem chemisch gehärteten Glas kollidiert. Mit anderen Worten, es kann ein chemisch gehärtetes Glas mit einer hervorragenden Fallbeständigkeit auf Sand bereitgestellt werden.

[0097] Bevorzugte Zahlenbereiche von d_h und d_M und die damit einhergehenden technischen Effekte des chemisch gehärteten Glases des zweiten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0098] Der bevorzugte Zahlenbereich der DOL und der damit einhergehende technische Effekt bei dem chemisch gehärteten Glas des zweiten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0099] Bevorzugte Zahlenbereiche von Sc und St und die damit einhergehenden technischen Effekte des chemisch gehärteten Glases des zweiten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0100] Das chemisch gehärtete Glas des zweiten Aspekts ist vorzugsweise ein plattenförmiges Glas mit einer Plattendicke t von 2 mm oder weniger. Der bevorzugte Zahlenbereich der Plattendicke t und der damit einhergehende technische Effekt bei dem chemisch gehärteten Glas des zweiten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0101] Das chemisch gehärtete Glas des zweiten Aspekts kann verschiedene Formen aufweisen, die von einer Plattenform verschieden sind, wie dies bei dem chemisch gehärteten Glas des ersten Aspekts der Fall ist.

<Dritter Aspekt>

[0102] Nachstehend wird ein chemisch gehärtetes Glas gemäß des dritten Aspekts beschrieben.

[0103] Der dritte Aspekt betrifft ein chemisch gehärtetes Glas,

bei dem die durchschnittliche Bruchhöhe durch einen Fallenlassen-auf-Sand-Test bei den folgenden Bedingungen 250 mm oder mehr beträgt,
 die Anzahl von Fragmenten durch einen Eindruckbruchtest bei den folgenden Bedingungen 30 oder weniger beträgt,
 die Plattendicke t 0,4 bis 2 mm beträgt,
 die Oberflächendruckspannung (CS) 300 MPa oder mehr beträgt und
 die Tiefe (DOL) einer Druckspannungsschicht 100 μm oder mehr beträgt.

[0104] Im Hinblick auf das Bereitstellen einer hervorragenden Fallbeständigkeit auf Sand beträgt die durchschnittliche Bruchhöhe durch einen Fallenlassen-auf-Sand-Test des chemisch gehärteten Glases in dem dritten Aspekt 250 mm oder mehr, bevorzugt 300 mm oder mehr und mehr bevorzugt 350 mm oder mehr. Die durchschnittliche Bruchhöhe des chemisch gehärteten Glases in dem dritten Aspekt wird durch einen Fallenlassen-auf-Sand-Test bei den folgenden Bedingungen gemessen.

Bedingungen des Fallenlassen-auf-Sand-Tests:

[0105] Ein chemisch gehärtetes Glas (50 mm \times 50 mm \times Plattendicke t (mm)) wird mit einem doppelseitigen Schaumklebeband (50 mm \times 50 mm \times Dicke 3 mm) zur Herstellung einer Messprobe an eine harte Nylontestplatte (50 mm \times 50 mm, Gewicht: 54 g) geklebt. 1 g Quarzsand (#5 Quarzsand, hergestellt durch Takeori Kogyo-Sho) wird einheitlich auf eine SUS-Platte mit einer Größe von 15 cm \times 15 cm aufgebracht und die hergestellte Messprobe wird von einer vorgegebenen Höhe (Fallhöhe) auf die SUS-Platte, auf der Quarzsand aufgebracht ist, fallengelassen, so dass das chemisch gehärtete Glas nach unten zeigt. Mit dem Falltest wird bei einer Fallhöhe von 10 mm begonnen und die Höhe wird jeweils um 10 mm angehoben. Die Höhe, bei der das chemisch gehärtete Glas gebrochen ist, wird als Bruchhöhe (Einheit: mm) festgelegt. Der Falltest wird in jedem Beispiel 5 Mal oder häufiger durchgeführt und der Durchschnittswert dieser Bruchhöhen in dem Falltest wird als durchschnittliche Bruchhöhe (Einheit: mm) festgelegt.

[0106] Im Hinblick auf einen noch sichereren Bruch (Zerbrechen), selbst wenn ein Brechen (Zerbrechen) stattfindet, beträgt die Anzahl von Fragmenten durch einen Eindruckbruchtest des chemisch gehärteten Glases in dem dritten Aspekt 30 oder weniger, bevorzugt 20 oder weniger, mehr bevorzugt 10 oder weniger, noch mehr bevorzugt 5 oder weniger und besonders bevorzugt 2 oder weniger. Die Anzahl von Fragmenten des chemisch gehärteten Glases in dem dritten Aspekt wird durch einen Eindruckbruchtest bei den folgenden Bedingungen gemessen.

Bedingungen des Eindruckbruchtests:

[0107] Bezüglich eines chemisch gehärteten Glases mit 25 mm \times 25 mm \times Plattendicke t (mm) wird das chemisch gehärtete Glas durch einen Eindruckbruchtest bricht, bei dem eine Last von 3 bis 10 kgf für 15 Sekunden unter Verwendung eines Diamanteindruckkörpers mit einem Eindruckkörperwinkel eines Flächenwinkels von 60° ausgeübt wird und die Anzahl von Fragmenten des chemisch gehärteten Glases nach dem Brechen gezählt wird. In dem Fall, bei dem ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Größe von mehr als 25 mm \times 25 mm verwendet wird, wird ein Bereich von 25 mm \times 25 mm in dem chemisch gehärteten Glas angegeben und ein Eindruckbruchtest und die Messung der Anzahl von Fragmenten werden in dem Bereich durchgeführt. In dem Fall, bei dem das chemisch gehärtete Glas eine gekrümmte Form aufweist, wird eine Größe von 25 mm \times 25 mm als vorgewölbter Bereich auf der gekrümmten Oberfläche des chemisch gehärteten Glases angegeben und der Eindruckbruchtest und die Messung der Anzahl von Fragmenten werden in dem Bereich durchgeführt.

[0108] Das chemisch gehärtete Glas des dritten Aspekts weist eine Plattenform auf (Glasplatte) und im Hinblick darauf, dass eine beträchtliche Erhöhung der Festigkeit durch ein chemisches Härten ermöglicht wird, beträgt dessen Plattendicke (t) z.B. 2 mm oder weniger, bevorzugt 1,5 mm oder weniger, mehr bevorzugt 1 mm oder weniger, noch mehr bevorzugt 0,9 mm oder weniger, besonders bevorzugt 0,8 mm oder weniger und insbesondere 0,7 mm oder weniger. Im Hinblick auf das Erhalten eines ausreichenden Effekts der Erhöhung der Festigkeit durch chemisches Härten beträgt die Plattendicke z.B. 0,3 mm oder mehr, bevorzugt 0,4 mm oder mehr und mehr bevorzugt 0,5 mm oder mehr.

[0109] Das chemisch gehärtete Glas des dritten Aspekts weist eine Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr auf. Der Grund für das Beschränken der CS und der bevorzugte Zahlenbereich bei dem chemisch gehärteten Glas des dritten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0110] Im Hinblick auf eine ausreichende Beständigkeit gegen einen Bruch aufgrund von Fehlerstellen, die durch eine Kollision mit einem scharfen Gegenstand, wie z.B. Sand, erzeugt werden, bei dem die Möglichkeit besteht, dass er in der Praxis mit dem chemisch gehärteten Glas kollidiert, beträgt die DOL in dem chemisch gehärteten Glas des dritten Aspekts 100 µm oder mehr. Die DOL beträgt mehr bevorzugt 110 µm oder mehr, noch mehr bevorzugt 120 µm oder mehr und besonders bevorzugt 130 µm oder mehr.

[0111] Bevorzugte Zahlenbereiche von CS_{90} , CS_{100} und $CS_{100} \times t^2$ und die damit einhergehenden technischen Effekte des chemisch gehärteten Glases des dritten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0112] Bevorzugte Zahlenbereiche von d_h und d_M und die damit einhergehenden technischen Effekte des chemisch gehärteten Glases des dritten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0113] Bevorzugte Zahlenbereiche von Sc und St und die damit einhergehenden technischen Effekte des chemisch gehärteten Glases des dritten Aspekts sind mit denjenigen in dem ersten Aspekt identisch.

[0114] Das chemisch gehärtete Glas gemäß des dritten Aspekts ist ein chemisch gehärtetes Glas, das eine geringere Anzahl von Fragmenten erzeugt und das eine hohe Sicherheit aufweist, obwohl CT oder St groß ist.

<Glas zum chemischen Härten>

[0115] Das Glas zum chemischen Härten der vorliegenden Erfindung wird nachstehend beschrieben.

[0116] Eine Glaszusammensetzung des Glases zum chemischen Härten wird nachstehend manchmal als Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases bezeichnet.

[0117] In dem Fall, bei dem die Dicke des chemisch gehärteten Glases ausreichend groß ist, ist der Abschnitt mit einer Zugspannung (nachstehend auch als „Zugspannungsabschnitt“ bezeichnet) in dem chemisch gehärteten Glas der Abschnitt, der nicht ionenausgetauscht ist. Daher weist der Zugspannungsabschnitt in dem chemisch gehärteten Glas dieselbe Zusammensetzung wie in dem Glas vor dem chemischen Härten auf. In einem solchen Fall kann die Zusammensetzung des Zugspannungsabschnitts in dem chemisch gehärteten Glas als Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases betrachtet werden.

[0118] Die Zusammensetzung eines Glases kann durch eine halbquantitative Analyse durch ein Röntgenfluoreszenzverfahren in einer vereinfachten Weise erhalten werden, kann jedoch präziser durch ein Nassanalyseverfahren, wie z.B. eine ICP-Emissionsspektrometrie, gemessen werden.

[0119] Falls nichts anderes angegeben ist, wird der Gehalt jeder Komponente durch den Molprozentsatz auf einer Oxidbasis angegeben.

[0120] Als Beispiel für die Zusammensetzung des Glases zum chemischen Härten der vorliegenden Erfindung (Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases der vorliegenden Erfindung) ist eine Zusammensetzung bevorzugt, die 50 bis 80 % SiO_2 , 1 bis 30 % Al_2O_3 , 0 bis 5 % B_2O_3 , 0 bis 4 % P_2O_5 , 3 bis 20 % Li_2O , 0 bis 8 % Na_2O , 0 bis 10 % K_2O , 3 bis 20 % MgO , 0 bis 20 % CaO , 0 bis 20 % SrO , 0 bis 15 % BaO , 0 bis 10 % ZnO , 0 bis 1 % TiO_2 und 0 bis 8 % ZrO_2 enthält.

[0121] Ein Beispiel dafür umfasst ein Glas, das 63 bis 80 % SiO_2 , 7 bis 30 % Al_2O_3 , 0 bis 5 % B_2O_3 , 0 bis 4 % P_2O_5 , 5 bis 15 % Li_2O , 4 bis 8 % Na_2O , 0 bis 2 % K_2O , 3 bis 10 % MgO , 0 bis 5 % CaO , 0 bis 20 % SrO , 0 bis 15 % BaO , 0 bis 10 % ZnO , 0 bis 1 % TiO_2 und 0 bis 8 % ZrO_2 enthält und nicht Ta_2O_5 , Gd_2O_3 , As_2O_3 und Sb_2O_3 enthält.

[0122] Bei dem Glas zum chemischen Härten ist es bevorzugt, dass der Wert von X, der auf der Basis von $X = SiO_2 \times 329 + Al_2O_3 \times 786 + B_2O_3 \times 627 + P_2O_5 \times (-941) + Li_2O \times 927 + Na_2O \times 47,5 + K_2O \times (-371) + MgO \times 1230 + CaO \times 1154 + SrO \times 733 + ZrO_2 \times 51,8$ berechnet wird, 30000 oder mehr beträgt.

[0123] Ferner ist es bevorzugt, dass der Wert von Z, der auf der Basis von $Z = SiO_2 \times 237 + Al_2O_3 \times 524 + B_2O_3 \times 228 + P_2O_5 \times (-756) + Li_2O \times 538 + Na_2O \times 44,2 + K_2O \times (-387) + MgO \times 660 + CaO \times 569 + SrO \times 291 + ZrO_2 \times 510$ berechnet wird, 20000 oder mehr beträgt.

[0124] SiO_2 ist eine Komponente, die das Grundgerüst eines Glases bildet. Ferner ist es eine Komponente, welche die chemische Dauerbeständigkeit erhöht und es ist eine Komponente, welche die Erzeugung von Rissen vermindert, wenn Fehlerstellen (Vertiefungen) auf einer Glasoberfläche gebildet worden sind. Der Gehalt von SiO_2 beträgt vorzugsweise 50 % oder mehr. Der Gehalt von SiO_2 beträgt mehr bevorzugt schrittweise 54 % oder mehr, 58 % oder mehr, 60 % oder mehr, 63 % oder mehr, 66 % oder mehr und 68 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von SiO_2 80 % übersteigt, wird die Schmelzbarkeit beträchtlich verschlechtert. Der Gehalt von SiO_2 beträgt 80 % oder weniger, mehr bevorzugt 78 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 76 % oder weniger, besonders bevorzugt 74 % oder weniger und insbesondere 72 % oder weniger.

[0125] Al_2O_3 ist eine Komponente, welche die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases erhöht. Die Bruchfestigkeit eines hier verwendeten Glases bedeutet, dass die Anzahl von Fragmenten gering ist, wenn ein Glas gebrochen ist. Bei einem Glas mit einer hohen Bruchfestigkeit werden Fragmente bei einem Bruch kaum verstreut und daher ist dessen Sicherheit hoch. Al_2O_3 ist eine Komponente, die dahingehend effektiv ist, dass sie das Ionenaustauschvermögen während eines chemischen Härten erhöht und die Oberflächendruckspannung nach dem Härten erhöht. Daher beträgt der Gehalt von Al_2O_3 vorzugsweise 1 % oder mehr. Al_2O_3 ist eine Komponente, welche die T_g eines Glases erhöht und ist eine Komponente, die den Young'schen Modul erhöht. Der Gehalt von Al_2O_3 beträgt mehr bevorzugt schrittweise 3 % oder mehr, 5 % oder mehr, 7 % oder mehr, 8 % oder mehr, 9 % oder mehr, 10 % oder mehr, 11 % oder mehr, 12 % oder mehr und 13 % oder mehr. Andererseits wird in dem Fall, bei dem der Gehalt von Al_2O_3 30 % übersteigt, die Säurebeständigkeit des Glases verschlechtert oder die Entglasungstemperatur wird erhöht. Zusätzlich wird die Viskosität des Glases erhöht, was zu einer Verschlechterung der Schmelzbarkeit führt. Der Gehalt von Al_2O_3 beträgt vorzugsweise 30 % oder weniger, mehr bevorzugt 25 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 20 % oder weniger, besonders bevorzugt 18 % oder weniger und insbesondere 15 % oder weniger. Wenn andererseits der Gehalt von Al_2O_3 groß ist, nimmt die Temperatur während des Schmelzens eines Glases zu, was zu einer Verschlechterung der Produktivität führt. Wenn die Produktivität eines Glases berücksichtigt wird, beträgt der Gehalt von Al_2O_3 vorzugsweise 11 % oder weniger und beträgt mehr bevorzugt schrittweise 10 % oder weniger, 9 % oder weniger, 8 % oder weniger und 7 % oder weniger.

[0126] B_2O_3 ist eine Komponente, welche die Absplitterbeständigkeit des Glases zum chemischen Härten oder des chemisch gehärteten Glases verbessert und die Schmelzbarkeit verbessert. B_2O_3 ist nicht essentiell, jedoch beträgt der Gehalt von B_2O_3 , wenn dieses enthalten ist, vorzugsweise 0,5 % oder mehr, mehr bevorzugt 1 % oder mehr und noch mehr bevorzugt 2 % oder mehr, um die Schmelzbarkeit zu verbessern. Wenn andererseits der Gehalt von B_2O_3 5 % übersteigt, werden während des Schmelzens Schlieren erzeugt und die Qualität des Glases zum chemischen Härten wird leicht verschlechtert. Daher beträgt der Gehalt vorzugsweise 5 % oder weniger. Der Gehalt von B_2O_3 beträgt mehr bevorzugt 4 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 3 % oder weniger und besonders bevorzugt 1 % oder weniger. Zur Verbesserung der Säurebeständigkeit ist es vorzugsweise nicht enthalten.

[0127] P_2O_5 ist eine Komponente zur Verbesserung des Ionenaustauschvermögens und der Absplitterbeständigkeit. P_2O_3 muss nicht enthalten sein, jedoch beträgt der Gehalt von P_2O_5 , wenn dieses enthalten ist, vorzugsweise 0,5 % oder mehr, mehr bevorzugt 1 % oder mehr und noch mehr bevorzugt 2 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von P_2O_5 4 % übersteigt, wird die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases verschlechtert oder die Säurebeständigkeit wird beträchtlich verschlechtert. Der Gehalt von P_2O_5 beträgt vorzugsweise 4 % oder weniger, mehr bevorzugt 3 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 2 % oder weniger und besonders bevorzugt 1 % oder weniger. Zur Verbesserung der Säurebeständigkeit ist es vorzugsweise nicht enthalten.

[0128] Li_2O ist eine Komponente, die eine Oberflächendruckspannung durch einen Ionenaustausch bildet und es ist eine Komponente, welche die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases erhöht.

[0129] In dem Fall, bei dem eine chemische Härtingsbehandlung so durchgeführt wird, dass Li-Ionen auf einer Glasoberfläche durch Na-Ionen ersetzt werden und die CS_{90} 30 MPa oder mehr beträgt, beträgt der Gehalt von Li_2O vorzugsweise 3 % oder mehr, mehr bevorzugt 4 % oder mehr, noch mehr bevorzugt 5 % oder mehr, besonders bevorzugt 6 % oder mehr und typischerweise 7 % oder mehr. Andererseits wird in dem Fall, bei dem der Gehalt von Li_2O 20 % übersteigt, die Säurebeständigkeit des Glases beträchtlich verschlechtert. Der Gehalt von Li_2O beträgt vorzugsweise 20 % oder weniger, mehr bevorzugt 18 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 16 % oder weniger, besonders bevorzugt 15 % oder weniger und insbesondere 13 % oder weniger.

[0130] Andererseits wird in dem Fall, bei dem eine chemische Härtingsbehandlung so durchgeführt wird, dass Na-Ionen auf einer Glasoberfläche durch K-Ionen ersetzt werden und die CS_{90} 30 MPa oder mehr beträgt,

wenn der Gehalt von Li_2O 3 % übersteigt, die Größe der Druckspannung vermindert und es ist schwierig, die CS_{90} von 30 MPa oder mehr zu erreichen. In diesem Fall beträgt der Gehalt von Li_2O vorzugsweise 3 % oder weniger, mehr bevorzugt 2 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 1 % oder weniger, und besonders bevorzugt 0,5 % oder weniger und es ist am meisten bevorzugt, dass Li_2O nicht wesentlich enthalten ist.

[0131] Der Ausdruck „nicht wesentlich enthalten“, der in der vorliegenden Beschreibung verwendet wird, bedeutet, dass die Komponente bis auf unvermeidbare Verunreinigungen, die in Ausgangsmaterialien und dergleichen enthalten sind, nicht enthalten ist, d.h., er bedeutet, dass die Komponente nicht absichtlich enthalten ist. Insbesondere bedeutet der Ausdruck, dass der Gehalt in einer Glaszusammensetzung weniger als 0,1 % beträgt.

[0132] Na_2O ist eine Komponente, die durch einen Ionenaustausch eine Oberflächendruckspannungsschicht bildet und die Schmelzbarkeit eines Glases verbessert.

[0133] In dem Fall, bei dem eine chemische Härtingsbehandlung so durchgeführt wird, dass Li-Ionen auf einer Glasoberfläche durch Na-Ionen ersetzt werden und die CS_{90} 30 MPa oder mehr beträgt, muss Na_2O nicht enthalten sein, kann jedoch in dem Fall enthalten sein, bei dem die Schmelzbarkeit eines Glases als wichtig erachtet wird. Der Gehalt von Na_2O , wenn dieses enthalten ist, beträgt vorzugsweise 1 % oder mehr. Der Gehalt von Na_2O beträgt mehr bevorzugt 2 % oder mehr und noch mehr bevorzugt 3 % oder mehr. Andererseits wird in dem Fall, bei dem der Gehalt von Na_2O 8 % übersteigt, die Oberflächendruckspannung, die durch einen Ionenaustausch gebildet wird, beträchtlich verschlechtert. Der Gehalt von Na_2O beträgt vorzugsweise 8 % oder weniger, mehr bevorzugt 7 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 6 % oder weniger, besonders bevorzugt 5 % oder weniger und insbesondere 4 % oder weniger.

[0134] Andererseits ist in dem Fall, bei dem eine chemische Härtingsbehandlung so durchgeführt wird, dass Na-Ionen auf einer Glasoberfläche durch K-Ionen ersetzt werden und die CS_{90} 30 MPa oder mehr beträgt, Na essentiell und dessen Gehalt beträgt 5 % oder mehr. Der Gehalt von Na_2O beträgt vorzugsweise 5 % oder mehr, mehr bevorzugt 7 % oder mehr, noch mehr bevorzugt 9 % oder mehr, besonders bevorzugt 11 % oder mehr und insbesondere 12 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von Na_2O 20 % übersteigt, wird die Säurebeständigkeit eines Glases beträchtlich verschlechtert. Der Gehalt von Na_2O beträgt vorzugsweise 20 % oder weniger, mehr bevorzugt 18 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 16 % oder weniger, besonders bevorzugt 15 % oder weniger und insbesondere 14 % oder weniger.

[0135] In dem Fall, bei dem Li-Ionen und Na-Ionen auf der Glasoberfläche gleichzeitig mit Na-Ionen bzw. K-Ionen ausgetauscht werden, und zwar z.B. durch ein Verfahren z.B. des Eintauchens in ein gemischtes geschmolzenes Salz von Kaliumnitrat und Natriumnitrat, beträgt der Gehalt von Na_2O vorzugsweise 10 % oder weniger, mehr bevorzugt 9 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 7 % oder weniger, besonders bevorzugt 6 % oder weniger und insbesondere 5 % oder weniger. Der Gehalt von N_2O beträgt vorzugsweise 2 % oder mehr, mehr bevorzugt 3 % oder mehr und noch mehr bevorzugt 4 % oder mehr.

[0136] K_2O kann enthalten sein, um z.B. das Ionenaustauschvermögen zu verbessern. Der Gehalt von K_2O , wenn es enthalten ist, beträgt vorzugsweise 0,5 % oder mehr, mehr bevorzugt 1 % oder mehr, noch mehr bevorzugt 2 % oder mehr und besonders bevorzugt 3 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von K_2O 10 % übersteigt, wird die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases verschlechtert. Daher beträgt der Gehalt von K_2O vorzugsweise 10 % oder weniger. Der Gehalt von K_2O beträgt mehr bevorzugt 8 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 6 % oder weniger, besonders bevorzugt 4 % oder weniger und insbesondere 2 % oder weniger.

[0137] MgO ist eine Komponente, welche die Oberflächendruckspannung des chemisch gehärteten Glases erhöht und ist eine Komponente, welche die Bruchfestigkeit verbessert. Daher ist es vorzugsweise enthalten. Der Gehalt von MgO , wenn es enthalten ist, beträgt vorzugsweise 3 % oder mehr und beträgt mehr bevorzugt schrittweise 4 % oder mehr, 5 % oder mehr, 6 % oder mehr, 7 % oder mehr und 8 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von MgO 20 % übersteigt, wird das Glas zum chemischen Härten während des Schmelzens leicht entglast. Der Gehalt von MgO beträgt vorzugsweise 20 % oder weniger und beträgt mehr bevorzugt schrittweise 18 % oder weniger, 15 % oder weniger, 14 % oder weniger, 13 % oder weniger, 12 % oder weniger, 11 % oder weniger und 10 % oder weniger.

[0138] CaO ist eine Komponente, welche die Schmelzbarkeit des Glases zum chemischen Härten verbessert und ist eine Komponente, welche die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases erhöht. Daher kann es enthalten sein. Der Gehalt von CaO , wenn es enthalten ist, beträgt vorzugsweise 0,5 % oder mehr, mehr

bevorzugt 1 % oder mehr, noch mehr bevorzugt 2 % oder mehr, besonders bevorzugt 3 % oder mehr und insbesondere 5 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von CaO 20 % übersteigt, wird das Ionenaustauschvermögen beträchtlich verschlechtert. Daher beträgt der Gehalt vorzugsweise 20 % oder weniger. Der Gehalt von CaO beträgt mehr bevorzugt 14 % oder weniger und noch mehr bevorzugt schrittweise 10 % oder weniger, 8 % oder weniger, 6 % oder weniger, 3 % oder weniger und 1 % oder weniger.

[0139] SrO ist eine Komponente, welche die Schmelzbarkeit des Glases zum chemischen Härten verbessert und ist eine Komponente, welche die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases erhöht. Daher kann es enthalten sein. Der Gehalt von SrO, wenn es enthalten ist, beträgt vorzugsweise 0,5 % oder mehr, mehr bevorzugt 1 % oder mehr, noch mehr bevorzugt 2 % oder mehr, besonders bevorzugt 3 % oder mehr und insbesondere 5 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von SrO 20 % übersteigt, wird das Ionenaustauschvermögen beträchtlich verschlechtert. Daher beträgt der Gehalt vorzugsweise 20 % oder weniger. Der Gehalt von SrO beträgt mehr bevorzugt 14 % oder weniger und noch mehr bevorzugt schrittweise 10 % oder weniger, 8 % oder weniger, 6 % oder weniger, 3 % oder weniger und 1 % oder weniger.

[0140] BaO ist eine Komponente, welche die Schmelzbarkeit des Glases zum chemischen Härten verbessert und ist eine Komponente, welche die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases erhöht. Daher kann es enthalten sein. Der Gehalt von BaO, wenn es enthalten ist, beträgt vorzugsweise 0,5 % oder mehr, mehr bevorzugt 1 % oder mehr, noch mehr bevorzugt 2 % oder mehr, besonders bevorzugt 3 % oder mehr und insbesondere 5 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von BaO 15 % übersteigt, wird das Ionenaustauschvermögen beträchtlich verschlechtert. Daher beträgt der Gehalt von BaO vorzugsweise 15 % oder weniger und mehr bevorzugt schrittweise 10 % oder weniger, 8 % oder weniger, 6 % oder weniger, 3 % oder weniger und 1 % oder weniger.

[0141] ZnO ist eine Komponente, welche die Schmelzbarkeit eines Glases verbessert, und kann enthalten sein. Der Gehalt von ZnO, wenn es enthalten ist, beträgt vorzugsweise 0,25 % oder mehr und mehr bevorzugt 0,5 % oder mehr. Wenn der Gehalt von ZnO 10 % übersteigt, wird die Witterungsbeständigkeit eines Glases beträchtlich verschlechtert. Der Gehalt von ZnO beträgt vorzugsweise 10 % oder weniger, mehr bevorzugt 7 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 5 % oder weniger, besonders bevorzugt 2 % oder weniger und insbesondere 1 % oder weniger.

[0142] TiO₂ ist eine Komponente, welche die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases verbessert, und kann enthalten sein. Der Gehalt von TiO₂, wenn es enthalten ist, beträgt vorzugsweise 0,1 % oder mehr, mehr bevorzugt 0,15 % oder mehr und noch mehr bevorzugt 0,2 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von TiO₂ 5 % übersteigt, wird das chemisch gehärtete Glas während des Schmelzens leicht entglast und dessen Qualität kann verschlechtert werden. Der Gehalt von TiO₂ beträgt vorzugsweise 1 % oder weniger, mehr bevorzugt 0,5 % oder weniger und noch mehr bevorzugt 0,25 % oder weniger.

[0143] ZrO₂ ist eine Komponente, welche die Oberflächendruckspannung durch einen Ionenaustausch erhöht und hat den Effekt des Verbesserns der Bruchfestigkeit des Glases für ein chemisch gehärtetes Glas. Daher kann es enthalten sein. Der Gehalt von ZrO₂, wenn es enthalten ist, beträgt vorzugsweise 0,5 % oder mehr und mehr bevorzugt 1 % oder mehr. Wenn andererseits der Gehalt von ZrO₂ 8 % übersteigt, wird das chemisch gehärtete Glas während des Schmelzens leicht entglast und dessen Qualität kann verschlechtert werden. Der Gehalt von ZrO₂ beträgt vorzugsweise 8 % oder weniger, mehr bevorzugt 6 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 4 % oder weniger, besonders bevorzugt 2 % oder weniger und insbesondere 1,2 % oder weniger.

[0144] Y₂O₃, La₂O₃ und Nb₂O₅ sind Komponenten, welche die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases erhöhen, und sie können enthalten sein. Jeder der Gehalte dieser Komponenten, wenn sie enthalten sind, beträgt bevorzugt 0,5 % oder mehr, mehr bevorzugt 1 % oder mehr, noch mehr bevorzugt 1,5 % oder mehr, besonders bevorzugt 2 % oder mehr und insbesondere 2,5 % oder mehr. Wenn jeder der Gehalte von Y₂O₃, La₂O₃ und Nb₂O₅ 8 % übersteigt, wird das Glas während des Schmelzens leicht entglast und die Qualität des chemisch gehärteten Glases kann verschlechtert werden. Jeder der Gehalte von Y₂O₃, La₂O₃ und Nb₂O₅ beträgt bevorzugt 8 % oder weniger, mehr bevorzugt 6 % oder weniger, noch mehr bevorzugt 5 % oder weniger, besonders bevorzugt 4 % oder weniger und insbesondere 3 % oder weniger.

[0145] Ta₂O₅ und Gd₂O₃ können in geringen Mengen enthalten sein, um die Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases zu erhöhen, jedoch erhöhen sie den Brechungsindex und die Reflexion, und daher beträgt deren Menge bevorzugt 1 % oder weniger und mehr bevorzugt 0,5 % oder weniger und es ist noch mehr bevorzugt, dass diese nicht enthalten sind.

[0146] Beim Färben eines Glases und bei dessen Verwendung kann eine Farbgebungskomponente in einem Bereich zugesetzt werden, so dass das Erreichen der gewünschten chemischen Härteigenschaften nicht beeinträchtigt wird. Bevorzugte Beispiele für die Farbgebungskomponente umfassen Co_3O_4 , MnO_2 , Fe_2O_3 , NiO , CuO , Cr_2O_3 , V_2O_5 , Bi_2O_3 , SeO_2 , TiO_2 , CeO_2 , Er_2O_3 und Nd_2O_3 .

[0147] Der Gesamtgehalt der Farbgebungskomponenten liegt vorzugsweise in einem Bereich von 7 % oder weniger als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis. Wenn er 7 % übersteigt, wird ein Glas leicht entglast, was nicht erwünscht ist. Der Gehalt beträgt vorzugsweise 5 % oder weniger, mehr bevorzugt 3 % oder weniger und noch mehr bevorzugt 1 % oder weniger. In dem Fall, bei dem die Durchlässigkeit eines Glases für sichtbares Licht im Vordergrund steht, ist es bevorzugt, dass diese Komponenten nicht wesentlich enthalten sind.

[0148] SO_3 , ein Chlorid, ein Fluorid und dergleichen können beim Schmelzen eines Glases in einer geeigneten Weise als Läuterungsmittel enthalten sein. Es ist bevorzugt, dass As_2O_3 nicht enthalten ist. Wenn Sb_2O_3 enthalten ist, beträgt der Gehalt vorzugsweise 0,3 % oder weniger und mehr bevorzugt 0,1 % oder weniger. Insbesondere ist es nicht enthalten.

[0149] Dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung kann dadurch eine antibakterielle Aktivität verliehen werden, dass es Silberionen auf dessen Oberfläche aufweist.

[0150] Das Glas zum chemischen Härten weist einen Bruchzähigkeitswert ($K1c$) von bevorzugt $0,7 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ oder mehr, mehr bevorzugt $0,75 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ oder mehr, noch mehr bevorzugt $0,77 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ oder mehr, besonders bevorzugt $0,80 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ oder mehr und insbesondere $0,82 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ oder mehr auf. Wenn der Bruchzähigkeitswert ($K1c$) $0,7 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ oder mehr beträgt, kann die Anzahl von Fragmenten eines Glases, wenn es bricht, effektiv vermindert werden.

[0151] Der Bruchzähigkeitswert ($K1c$) in der vorliegenden Beschreibung ist ein Bruchzähigkeitswert, der durch Messen der $K1$ -v-Kurve durch ein DCDC-Verfahren erhalten wird, das in den nachstehend beschriebenen Beispielen detailliert beschrieben ist.

[0152] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass eine Fläche St ($\text{MPa}\cdot\mu\text{m}$) einer inneren Zugschicht $StL(t)$ ($\text{MPa}\cdot\mu\text{m}$) oder weniger beträgt. Wenn die St $StL(t)$ oder weniger beträgt, wird die Anzahl von Fragmenten vermindert, obwohl das Glas tatsächlich bricht.

[0153] Bei dem chemisch gehärteten Glas der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass die innere Zugspannung CT (MPa) $CTL(t)$ (MPa) oder weniger beträgt. Wenn die CT $CTL(t)$ oder weniger beträgt, wird die Anzahl von Fragmenten vermindert, obwohl das Glas tatsächlich bricht.

[0154] In der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass der Young'sche Modul des Glases zum chemischen Härten 70 GPa oder mehr beträgt und zusätzlich die Differenz zwischen dem Druckspannungswert (CS_0) auf der äußersten Oberfläche des chemisch gehärteten Glases und der Druckspannungswert (CS_1) eines Abschnitts bei einer Tiefe von 1 μm von der Glasoberfläche 50 MPa oder weniger beträgt. Dies ist dahingehend bevorzugt, dass nur schwer ein Verzug verursacht wird, wenn eine Polierbehandlung einer Glasoberfläche nach der chemischen Härtebehandlung durchgeführt worden ist.

[0155] Der Young'sche Modul des Glases zum chemischen Härten beträgt mehr bevorzugt 74 GPa oder mehr, besonders bevorzugt 78 GPa oder mehr und noch mehr bevorzugt 82 GPa oder mehr. Die Obergrenze des Young'schen Moduls ist nicht speziell beschränkt, beträgt jedoch z.B. 90 GPa oder weniger und bevorzugt 88 GPa oder weniger. Der Young'sche Modul kann z.B. durch ein Ultraschallpulsverfahren gemessen werden.

[0156] Die Differenz zwischen CS_0 und CS_1 beträgt vorzugsweise 50 MPa oder weniger, mehr bevorzugt 40 MPa oder weniger und noch mehr bevorzugt 30 MPa oder weniger.

[0157] Der CS_0 beträgt vorzugsweise 300 MPa oder mehr, mehr bevorzugt 350 MPa oder mehr und noch mehr bevorzugt 400 MPa oder mehr. Andererseits ist die Obergrenze des CS_0 nicht speziell beschränkt, beträgt jedoch z.B. 1200 MPa oder weniger, bevorzugt 1000 MPa oder weniger und mehr bevorzugt 800 MPa oder weniger.

[0158] Der CS_1 beträgt vorzugsweise 250 MPa oder mehr, mehr bevorzugt 300 MPa oder mehr und noch mehr bevorzugt 350 MPa oder mehr. Andererseits ist die Obergrenze des CS_1 nicht speziell beschränkt, beträgt

jedoch z.B. 1150 MPa oder weniger, bevorzugt 1100 MPa oder weniger und mehr bevorzugt 1050 MPa oder weniger.

[0159] Das chemisch gehärtete Glas der vorliegenden Erfindung kann z.B. wie folgt hergestellt werden.

[0160] Ein Glas, das einer chemischen Härtungsbehandlung unterzogen werden soll, wird hergestellt. Das Glas, das einer chemischen Härtungsbehandlung unterzogen werden soll, ist vorzugsweise das Glas zum chemischen Härten der vorliegenden Erfindung. Das Glas, das einer chemischen Härtungsbehandlung unterzogen werden soll, kann mit einem herkömmlichen Verfahren hergestellt werden. Beispielsweise werden Ausgangsmaterialien für jede Komponente eines Glases gemischt und in einem Glasschmelzofen erwärmt und geschmolzen. Danach wird das Glas durch ein herkömmliches Verfahren homogenisiert, zu einer gewünschten Form, wie z.B. einer Glasplatte, geformt und dann getempert.

[0161] Beispiele für das Formverfahren einer Glasplatte umfassen ein Floatverfahren, ein Pressverfahren, ein Schmelzverfahren und ein Abzugsverfahren („Downdraw“-Verfahren). Insbesondere ist ein Floatverfahren bevorzugt, das für eine Massenproduktion geeignet ist. Ein kontinuierliches Formverfahren, das von dem Floatverfahren verschieden ist, d.h., ein Schmelzverfahren und ein Abzugsverfahren, sind ebenfalls bevorzugt.

[0162] Das geformte Glas wird je nach Erfordernis Schleif- und Polierbehandlungen zur Bildung eines Glassubstrats unterzogen. Wenn das Glassubstrat zu der gewünschten Form und Größe geschnitten wird und ein Anfasen eines Glassubstrats durchgeführt wird, wird dann, wenn das Schneiden und Anfasen des Glassubstrats durchgeführt werden, bevor die nachstehend beschriebene chemische Härtungsbehandlung durchgeführt wird, durch die anschließende chemische Härtungsbehandlung eine Druckspannungsschicht auch an der Kante des Glassubstrats gebildet, und dies ist bevorzugt.

[0163] Nachdem die erhaltene Glasplatte der chemischen Härtungsbehandlung unterzogen worden ist, werden ein Reinigen und Trocknen durchgeführt. Auf diese Weise kann das chemisch gehärtete Glas der vorliegenden Erfindung hergestellt werden.

[0164] Die chemische Härtungsbehandlung kann mit einem herkömmlichen Verfahren durchgeführt werden. Bei der chemischen Härtungsbehandlung wird eine Glasplatte durch Eintauchen oder dergleichen mit einer Schmelze eines Metallsalzes (z.B. Kaliumnitrat), das Metallionen enthält (typischerweise K-Ionen), die einen großen Ionenradius aufweisen, in Kontakt gebracht, wodurch Metallionen (typischerweise Na-Ionen oder Li-Ionen) mit einem kleinen Ionenradius in der Glasplatte durch Metallionen mit einem großen Ionenradius ersetzt werden.

[0165] Die chemische Härtungsbehandlung (Ionenaustauschbehandlung) ist nicht speziell beschränkt, kann jedoch z.B. durch Eintauchen der Glasplatte in ein geschmolzenes Salz, wie z.B. Kaliumnitrat, das auf 360 bis 600 °C erwärmt ist, für 0,1 bis 500 Stunden durchgeführt werden. Die Erwärmungstemperatur des geschmolzenen Salzes beträgt vorzugsweise 375 bis 500 °C und die Eintauchzeit der Glasplatte in das geschmolzene Salz beträgt vorzugsweise 0,3 bis 200 Stunden.

[0166] Beispiele für das geschmolzene Salz zur Durchführung der chemischen Härtungsbehandlung umfassen ein Nitrat, ein Sulfat, ein Carbonat und ein Chlorid. Beispiele für das Nitrat umfassen Lithiumnitrat, Natriumnitrat, Kaliumnitrat, Cäsiumnitrat und Silbernitrat. Beispiele für das Sulfat umfassen Lithiumsulfat, Natriumsulfat, Kaliumsulfat, Cäsiumsulfat und Silbersulfat. Beispiele für das Carbonat umfassen Lithiumcarbonat, Natriumcarbonat und Kaliumcarbonat. Beispiele für das Chlorid umfassen Lithiumchlorid, Natriumchlorid, Kaliumchlorid, Cäsiumchlorid und Silberchlorid. Diese geschmolzenen Salze können allein verwendet werden oder können als Kombinationen von zwei oder mehr davon verwendet werden.

[0167] In der vorliegenden Erfindung sind die Behandlungsbedingungen der chemischen Härtungsbehandlung nicht speziell beschränkt und geeignete Bedingungen werden unter Berücksichtigung der Eigenschaften und der Zusammensetzung eines Glases, der Art eines geschmolzenen Salzes und der chemischen Härtungseigenschaften, wie z.B. der Oberflächendruckspannung (CS) und der Tiefe einer Druckspannungsschicht (DOL), die in dem schließlich erhaltenen chemisch gehärteten Glas erwünscht sind, ausgewählt.

[0168] In der vorliegenden Erfindung kann die chemische Härtungsbehandlung nur einmal durchgeführt werden oder eine Mehrzahl von chemischen Härtungsbehandlungen (mehrstufiges Härten) kann bei zwei oder mehr verschiedenen Bedingungen durchgeführt werden. Beispielsweise wenn die chemische Härtungsbehandlung als eine chemische Härtungsbehandlung einer ersten Stufe bei den Bedingungen durchgeführt wird,

dass die CS relativ abnimmt, und die chemische Härtingsbehandlung dann als eine chemische Härtingsbehandlung einer zweiten Stufe bei den Bedingungen durchgeführt wird, dass die CS relativ zunimmt, kann die innere Zugspannungsfläche (St) vermindert werden, während die CS der äußersten Oberfläche des chemisch gehärtetes Glas vergrößert wird, und als Ergebnis kann die innere Zugspannung (CS) auf einen niedrigen Wert vermindert werden.

[0169] Das chemisch gehärtete Glas der vorliegenden Erfindung ist besonders als ein Abdeckglas geeignet, das in mobilen Geräten, wie z.B. einem Mobiltelefon, einem Smartphone, einem tragbaren digitalen Assistenten (PDA) und einem Tabletendgerät, verwendet wird. Es ist auch als ein Abdeckglas für Anzeigevorrichtungen geeignet, die nicht mobil sein sollen, wie z.B. ein Fernsehgerät (TV), ein Personalcomputer (PC) und ein Berührungsfeld, eine Wandoberfläche eines Aufzugs, eine Wandoberfläche (Anzeige der gesamten Oberfläche) von Gebäuden, wie z.B. eines Hauses und eines Gebäudes, ein Baumaterial, wie z.B. ein Fensterglas, eine Tischoberfläche und ein Innenmaterial von Kraftfahrzeugen und Flugzeugen, und ein Abdeckglas davon, und zur Verwendung als Gehäuse mit einer gekrümmten Form, die keine Plattenform ist, durch Biegen oder Formen.

Beispiele

[0170] Die vorliegende Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf Beispiele beschrieben, jedoch ist die vorliegende Erfindung nicht auf diese beschränkt. Bei jedem Messergebnis in den Tabellen geben leere Spalten „nicht gemessen“ an.

(Herstellung eines chemisch gehärteten Glases)

[0171] Chemisch gehärtete Gläser der Beispiele S-1 bis S-13, S-15 bis S-29 und S-31 bis S-53 und Gläser der Beispiele S-14 und S-30, die in den Tabellen 1 bis 9 gezeigt sind, wurden wie folgt hergestellt.

[0172] Bezüglich der Beispiele S-1 bis S-6, S-13 bis S-23 und S-30 bis S-33 wurden Glasplatten durch einen Floatofen hergestellt, so dass sie jeweils eine Glaszusammensetzung als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis aufweisen, die in den Tabellen gezeigt ist. Allgemein verwendete Glasausgangsmaterialien, wie z.B. ein Oxid, ein Hydroxid, ein Carbonat und ein Nitrat, wurden in einer geeigneten Weise ausgewählt und in einem Schmelzofen geschmolzen, worauf sie durch ein Floatverfahren zu einer Platte mit einer Plattendicke t von 1,1 bis 1,3 mm geformt wurden. Die erhaltene Glasplatte wurde geschnitten und geschliffen und beide Oberflächen davon wurden spiegelglanzpoliert, um ein plattenförmiges Glas mit einer Größe von 50 mm vertikal \times 50 mm horizontal \times Plattendicke t (mm) zu erhalten. Die Plattendicke t (mm) ist in den Tabellen gezeigt.

[0173] Bezüglich der Gläser S-7 bis S-12, S-24 bis S-29 und S-34 bis S-53 wurden Glasplatten durch Schmelzen in einem Platintiegel so hergestellt, dass sie jeweils eine Glaszusammensetzung als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis aufwiesen, die in den Tabellen gezeigt ist. Allgemein verwendete Glasausgangsmaterialien, wie z.B. ein Oxid, ein Hydroxid, ein Carbonat und ein Nitrat, wurden in einer geeigneten Weise ausgewählt und abgewogen, so dass 1000 g als Glas vorlagen. Die gemischten Ausgangsmaterialien wurden in einem Platintiegel angeordnet und in einem elektrischen Widerstandsheizofen bei 1500 bis 1700 °C zum Schmelzen für etwa 3 Stunden angeordnet, worauf entschäumt und homogenisiert wurde. Das erhaltene geschmolzene Glas wurde in ein Formmaterial gegossen, für 1 Stunde bei einer Temperatur des Glasübergangspunkts + 50 °C gehalten und dann mit einer Geschwindigkeit von 0,5 °C/min auf Raumtemperatur gekühlt. Auf diese Weise wurde ein Glasblock erhalten. Der erhaltene Glasblock wurde geschnitten und geschliffen und beide Oberflächen davon wurden schließlich auf Spiegelglanz poliert, so dass ein plattenförmiges Glas mit einer Größe von 50 mm vertikal \times 50 mm horizontal \times Plattendicke t (mm) erhalten wurde. Die Plattendicke t (mm) ist in den Tabellen gezeigt.

[0174] Jedes Glas der Beispiele S-1 bis S-13, S-15 bis S-29 und S-31 bis S-53 wurde einer chemischen Härtingsbehandlung unterzogen, so dass ein chemisch gehärtetes Glas erhalten wurde. Die Bedingungen der chemischen Härtingsbehandlung jedes Glases sind in den Tabellen gezeigt.

[0175] Die Gläser der Beispiele S-14 und S-30 wurden nicht der chemischen Härtingsbehandlung unterzogen.

[0176] Bezüglich jedes der chemisch gehärteten Gläser der Beispiele S-1 bis S-13 und S-15 bis S-27 wurden die Oberflächendruckspannung CS (Einheit: MPa), die Dicke einer Druckspannungsschicht DOL (Einheit: μm), die innere Zugspannung CT (Einheit: MPa), ein Druckspannungswert CS_x (Einheit: MPa) des Abschnitts bei einer Tiefe von x μm von einer Glasoberfläche, das Produkt $\text{CS}_x \times t^2$ (Einheit: $\text{MPa} \cdot \text{mm}^2$) eines Druckspan-

nungswerts des Abschnitts bei einer Tiefe von $x \mu\text{m}$ von einer Glasoberfläche und des Quadrats der Plattendicke t (mm) und die Tiefe d_h (Einheit: μm) von einer Glasoberfläche, bei welcher der Druckspannungswert $1/2$ der Oberflächendruckspannung beträgt, mit einem Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., und einem dazugehörigen Programm FsmV gemessen. Bezüglich der Beispiele S-28 bis S-29, S-31 bis S-37, S-39, S-42 und S-44 wurden CS, DOL, CT, CS_x , $CS_x \times t^2$ und d_h durch ein Verfahren unter Verwendung eines Doppelbrechungsbildgebungssystems, hergestellt durch Tokyo Instruments, Inc., und einer dünn gemachten Probe gemessen. Bezüglich S-38, S-40, S-41, S-43 und S-45 bis S-53 wurde CS durch ein Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., gemessen, und DOL, CT, CS_x , $CS_x \times t^2$ und d_h wurden mit einem Verfahren gemessen, bei dem das vorstehend beschriebene Abrio-IM und eine dünn gemachte Probe verwendet wurden. Diese Ergebnisse sind in den Tabellen gezeigt.

[0177] In einigen Beispielen sind auch der Sc -Wert (Einheit: $\text{MPa}\cdot\mu\text{m}$), ΔCS_{100-90} (Einheit: $\text{MPa}/\mu\text{m}$), $CS_{\text{DOL-20}}$ (Einheit: MPa) und $\Delta CS_{\text{DOL-20}}$ (Einheit: MPa) gezeigt.

[0178] Bezüglich jedes der Beispiele S-1 bis S-53 wurden X- und Z-Werte auf der Basis der Zusammensetzung des Glases berechnet. Bezüglich jedes chemisch gehärteten Glases der Beispiele S-1 bis S-13, S-15 bis S-29 und S-31 bis S-53 wurden X- und Z-Werte auf der Basis der Glaszusammensetzung (Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases) vor der chemischen Härtungsbehandlung berechnet. Diese Ergebnisse sind in den Tabellen gezeigt.

<Entglasung T>

[0179] Ein Glas vor dem chemischen Härten wurde pulverisiert, mittels Sieben mit 4 mm Maschenweite und 2 mm Maschenweite klassiert, mit reinem Wasser gereinigt und getrocknet, so dass ein Glasbruch erhalten wurde. 2 bis 5 g des Glasbruchs wurden auf einer Platinschale angeordnet, für 17 Stunden in einem elektrischen Ofen gehalten, der bei einer konstanten Temperatur gehalten wurde, in Luft bei Raumtemperatur entnommen und abgekühlt und das Vorliegen oder die Abwesenheit einer Entglasung wurde mit einem Polarisationsmikroskop untersucht. Dieser Vorgang wurde wiederholt und die Entglasungstemperatur T wurde abgeschätzt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 gezeigt. In dem Ausdruck, dass die Entglasungstemperatur T T1-T2 ist, lag eine Entglasung bei T1 vor und eine Entglasung lag bei T2 nicht vor.

<T4>

[0180] Bezüglich eines Glases vor dem chemischen Härten wurde die Temperatur T4, bei der die Viskosität $10^4 \text{ dPa}\cdot\text{s}$ erreicht, mit einem Rotationsviskosimeter (gemäß ASTM C 956-96) gemessen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen gezeigt. Der Zahlenwert mit * ist ein berechneter Wert.

<Fallenlassen-auf-Sand-Test>

[0181] Die chemisch gehärteten Gläser der Beispiele S-1 bis S-13, S-15 bis S-29 und S-31 bis S-45 und die Gläser der Beispiele S-14 und S-30 wurden einem Fallenlassen-auf-Sand-Test mit dem folgenden Testverfahren unterzogen und die durchschnittliche Bruchhöhe (Einheit: mm) wurde gemessen.

[0182] Eine schematische Ansicht, die das Testverfahren des Fallenlassen-auf-Sand-Tests zeigt, ist in der **Fig. 3** gezeigt. In der folgenden Beschreibung bezüglich des Testverfahrens des Fallenlassen-auf-Sand-Tests ist das chemisch gehärtete Glas auch als „Glas“ beschrieben.

[0183] Ein Glas **13** (50 mm × 50 mm × Plattendicke t (mm)) wurde mit einem doppelseitigen Schaumklebeband **12** (#2310, hergestellt durch Sekisui Chemical Co., 50 mm × 50 mm × Dicke 3 mm) zur Herstellung einer Messprobe **1** (Gesamtgewicht: 61 g) an eine harte Nylontestplatte **11** (50 mm × 50 mm × Dicke 18 mm, Gewicht: 54 g) geklebt. 1 g Quarzsand **22** (#5 Quarzsand, hergestellt durch Takeori Kogyo-Sho) wurde einheitlich auf eine SUS-Platte **21** mit einer Größe von 15 cm × 15 cm aufgebracht und die hergestellte Messprobe **1** wurde von einer vorgegebenen Höhe (Fallhöhe) auf die SUS-Platte **21**, auf welcher der Quarzsand **22** aufgebracht ist, fallengelassen, so dass das Glas **13** nach unten zeigt. Mit dem Falltest wurde bei einer Fallhöhe von 10 mm begonnen und die Höhe wird jeweils um 10 mm angehoben. Die Höhe, bei der das chemisch gehärtete Glas **13** gebrochen ist, wurde als Bruchhöhe (Einheit: mm) festgelegt. Der Falltest wurde in jedem Beispiel 5 bis 10 Mal durchgeführt und der Durchschnittswert dieser Bruchhöhen in dem Falltest wurde als durchschnittliche Bruchhöhe (Einheit: mm) festgelegt. Diese Ergebnisse sind in den Tabellen gezeigt.

[0184] Ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen DOL (Einheit: μm) und der durchschnittlichen Bruchhöhe (Einheit: mm) des chemisch gehärteten Glases oder der Gläser der Beispiele S-1 bis S-35 aufgetragen ist, ist in der **Fig. 4** gezeigt.

[0185] Ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen CT (Einheit: MPa) und der durchschnittlichen Bruchhöhe (Einheit: mm) des chemisch gehärteten Glases oder der Gläser der Beispiele S-1 bis S-35 aufgetragen ist, ist in der **Fig. 5** gezeigt.

[0186] Bezüglich der Beispiele, bei denen DOL weniger als 50 μm beträgt, des chemisch gehärteten Glases der Beispiele S-1 bis S-35, ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen CT (Einheit: MPa) und der durchschnittlichen Bruchhöhe (Einheit: mm) der Gläser aufgetragen ist, in der **Fig. 6** gezeigt.

[0187] Ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen dem Oberflächendruckspannungswert CS (Einheit: MPa) und der durchschnittlichen Bruchhöhe (Einheit: mm) des chemisch gehärteten Glases oder der Gläser der Beispiele S-1 bis S-35 aufgetragen ist, ist in der **Fig. 7** gezeigt.

[0188] Ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen einem Druckspannungswert CS_{90} (Einheit: MPa) des Abschnitts bei einer Tiefe von 90 μm von der Glasoberfläche und der durchschnittlichen Bruchhöhe (mm) des chemisch gehärteten Glases oder der Gläser der Beispiele S-1 bis S-35 aufgetragen ist, ist in der **Fig. 8** gezeigt. Ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen einem Druckspannungswert CS_{100} (Einheit: MPa) des Abschnitts bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche und der durchschnittlichen Bruchhöhe (mm) des chemisch gehärteten Glases oder der Gläser der Beispiele S-1 bis S-35 aufgetragen ist, ist in der **Fig. 9** gezeigt.

[0189] Ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen dem Produkt ($CS_{100} \times t^2$) (Einheit: $\text{MPa} \cdot \text{mm}^2$) des Druckspannungswerts CS_{100} (Einheit: MPa) des Abschnitts bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche und des Quadrats der Plattendicke t (mm) und der durchschnittlichen Bruchhöhe (mm) des chemisch gehärteten Glases oder der Gläser der Beispiele S-1 bis S-35 aufgetragen ist, ist in der **Fig. 10** gezeigt.

[Tabelle 1]

Nr.	Bsp. S-1	Bsp. S-2	Bsp. S-3	Bsp. S-4	Bsp. S-5	Bsp. S-6
Plattendicke der Probe (mm)	0,55	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558
Zusammensetzungskomponente (mol-%)	SiO ₂	67,58	67,58	67,58	67,58	67,58
	Al ₂ O ₃	10,08	10,08	10,08	10,08	10,08
	B ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Li ₂ O					
	Na ₂ O	14,17	14,17	14,17	14,17	14,17
	K ₂ O	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	MgO	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01
	CaO	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	SrO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	BaO					
	ZnO					
	TiO ₂					
	ZrO ₂	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
SUMME	100	100	100	100	100	
X-Wert	40738	40738	40738	40738	40738	
Z-Wert	27245	27245	27245	27245	27245	

Nr.	Bsp. S-1	Bsp. S-2	Bsp. S-3	Bsp. S-4	Bsp. S-5	Bsp. S-6	
Plattendicke der Probe (mm)	0,55	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558	
T(°C)	1210-1220	1210-1220	1210-1220	1210-1220	1210-1220	1210-1220	
T4 (°C)	1263	1263	1263	1263	1263	1263	
Chemische Härtingsbedingungen der ersten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	100	100	100	100	50	40
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)					50	60
	Härtungstemperatur (°C)	425	550	450	500	450	450
	Härtungszeit (Stunden)	4	19	133	40	270	340
Chemische Härtingsbedingungen der zweiten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)						80
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)						20
	Härtungstemperatur (°C)						450
	Härtungszeit (Stunden)						4
Härtungsprofil	CS (MPa)	1014,0	259,5	586,1	376,1	153,7	408,4
	DOL (µm)	27,7	142,5	109,0	123,3	111,4	104,8
	CT (MPa)	56,8	211,6	223,8	203,7	59,3	88,0
	d _h (µm)		76	50	58	53	17
	Sc-Wert		38911	61103	44740	16568	22306
	CS bei DOL 120 µm (MPa)		46,7	-44,5	8,6	-9,9	-15,4
	CS bei DOL 110 µm (MPa)		66,5	-4,2	35,5	1,6	-4,2
	CS bei DOL 100 µm (MPa)		85,9	39,2	63,3	13,7	9,1
	CS bei DOL 90 µm (MPa)		104,7	85,4	92,0	26,3	20,0
	CS bei DOL 50 µm (MPa)		176,0	294,1	214,0	80,7	69,9
	CS bei DOL 30 µm (MPa)		209,8	408,5	278,1	109,5	118,7
	CS bei DOL 120 µm*(t ²)		14,5	-13,8	2,7	-3,1	-4,8
	CS bei DOL 110 µm*(t ²)		20,7	-1,3	11,1	0,5	-1,3
CS bei DOL 100 µm*(t ²)		26,7	12,2	19,7	4,3	2,8	
CS bei DOL 90 µm*(t ²)		32,6	26,6	28,7	8,2	6,2	
CS bei DOL 50 µm*(t ²)		54,8	91,6	66,6	25,1	21,8	
CS bei DOL 30 µm*(t ²)		65,3	127,2	86,6	34,1	37,0	
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)	104,0	432,5	420,0	541,0	228,0	270,0	
ΔCS ₁₀₀₋₉₀ (MPa/µm)		1,88	4,63	2,87	1,26	1,08	

[Tabelle 2]

Nr.	Bsp. S-7	Bsp. S-8	Bsp. S-9	Bsp. S-10	Bsp. S-11	Bsp. S-12	
Plattendicke der Probe (mm)	0,55	0,55	0,55	0,8	0,8	0,8	
Zusammensetzungs- komponente (mol-%)	SiO ₂	68	68	68	68	68	
	Al ₂ O ₃	10	10	10	10	10	
	B ₂ O ₃						
	P ₂ O ₅						
	Li ₂ O						
	Na ₂ O	8	8	8	8	8	
	K ₂ O						
	MgO	14	14	14	14	14	
	CaO						
	SrO						
	BaO						
	ZnO						
	TiO ₂						
	ZrO ₂						
SUMME	100	100	100	100	100	100	
X-Wert	47832	47832	47832	47832	47832	47832	
Z-Wert	30950	30950	30950	30950	30950	30950	
T(°C)	1400 oder höher	1400 oder höher	1400 oder höher	1400 oder höher	1400 oder höher	1400 oder höher	
T4 (°C)	*1312	*1312	*1312	*1312	*1312	*1312	
Chemische Härtungs- bedingun- gen der ers- ten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	80	80	80	80	80	
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	20	20	20	20	20	
	Härtungstemperatur (°C)	500	500	500	500	500	
	Härtungszeit (Stunden)	578	578	578	578	578	
Chemische Härtungs- bedingun- gen der zwei- ten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)		100	100		100	
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)						
	Härtungstemperatur (°C)		500	500		500	
	Härtungszeit (Stunden)		1	3		1	
Härtungs- profil	CS (MPa)	- 334,6	600,0	588,6	294,1	600,0	647,2
	DOL (µm)	110,7	112,0	113,6	127,0	130,0	139,8
	CT (MPa)	136,4		163,1	70,5		113,1
	d _h (µm)	64		19	56		22
	Sc-Wert						
	CS bei DOL 120 µm (MPa)	-21,6		-12,2	11,6		37,3

Nr.	Bsp. S-7	Bsp. S-8	Bsp. S-9	Bsp. S-10	Bsp. S-11	Bsp. S-12
Plattendicke der Probe (mm)	0,55	0,55	0,55	0,8	0,8	0,8
CS bei DOL 110 µm (MPa)	1,6		7,0	29,5		57,4
	26,4		26,8	48,9		78,2
	52,6		47,2	69,6		99,7
	170,2		134,5	162,9		191,9
	234,5		206,9	214,2		263,5
CS bei DOL 120 µm*(t ²)	-6,5		-3,7	7,4		23,9
CS bei DOL 110 µm*(t ²)	0,5		2,1	18,9		36,7
CS bei DOL 100 µm*(t ²)	8,0		8,1	31,3		50,0
CS bei DOL 90 µm*(t ²)	15,9		14,3	44,5		63,8
CS bei DOL 50 µm*(t ²)	51,5		40,7	104,2		122,8
CS bei DOL 30 µm*(t ²)	70,9		62,6	137,1		168,6
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)	438,0	480,0	576,7	532,0	485,0	600,0
ΔCS_{100-90} (MPa/µm)	2,63		2,04	2,07		2,15

[Tabelle 3]

Nr.	Bsp. S-13	Bsp. S-14	Bsp. S-15	Bsp. S-16	Bsp. S-17	Bsp. S-18
Plattendicke der Probe (mm)	0,78	0,825	0,825	0,825	0,825	0,809
Zusammensetzungskomponente (mol-%)	SiO ₂	67,58	67,58	67,58	67,58	67,58
	Al ₂ O ₃	10,08	10,08	10,08	10,08	10,08
	B ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Li ₂ O					
	Na ₂ O	14,17	14,17	14,17	14,17	14,17
	K ₂ O	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	MgO	8,01	8,01	8,01	8,01	8,01
	CaO	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
	SrO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	BaO					
	ZnO					
	TiO ₂					
	ZrO ₂	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
SUMME	100	100	100	100	100	
X-Wert	40738	40738	40738	40738	40738	
Z-Wert	27245	27245	27245	27245	27245	
T(°C)	1210-1220	1210-1220	1210-1220	1210-1220	1210-1220	
T4 (°C)	1263	1263	1263	1263	1263	

Nr.	Bsp. S-13	Bsp. S-14	Bsp. S-15	Bsp. S-16	Bsp. S-17	Bsp. S-18	
Plattendicke der Probe (mm)	0,78	0,825	0,825	0,825	0,825	0,809	
Chemische Härtingsbedingungen der ersten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	50	Keine Härtingsbehandlung	100	100	100	70
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	50	Keine Härtingsbehandlung				30
	Härtungstemperatur (°C)	450		450	450	450	450
	Härtungszeit (Stunden)	270		4 Stunden	6 Stunden		159
Chemische Härtingsbedingungen der zweiten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)						
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)						
	Härtungstemperatur (°C)						
	Härtungszeit (Stunden)						
Härtungsprofil	CS (MPa)	208,0	0,0	957,3	920,0	602,8	319,3
	DOL (µm)	118,1	0,0	34,6	46,9	145,5	130,4
	CT (MPa)	67,5	0,0	34,5	59,0	177,3	78,7
	d _h (µm)	59		16		67	62
	Sc-Wert	34238		31334		82538	38312
	CS bei DOL 120 µm (MPa)	-2,4	0,0	0,0		86,6	12,1
	CS bei DOL 110 µm (MPa)	7,4	0,0	0,0		123,7	35,8
	CS bei DOL 100 µm (MPa)	32,5	0,0	0,0		162,3	59,9
	CS bei DOL 90 µm (MPa)	48,0	0,0	0,0		202,4	81,6
	CS bei DOL 50 µm (MPa)	121,8	0,0	0,0		373,8	193,4
	CS bei DOL 30 µm (MPa)	158,4	0,0	104,2		464,3	251,3
	CS bei DOL 120 µm*(t ²)	-1,5	0,0	0,0		58,9	7,9
	CS bei DOL 110 µm*(t ²)	4,5	0,0	0,0		84,2	23,4
	CS bei DOL 100 µm*(t ²)	19,8	0,0	0,0		110,5	39,2
	CS bei DOL 90 µm*(t ²)	29,2	0,0	0,0		137,7	53,4
	CS bei DOL 50 µm*(t ²)	74,1	0,0	0,0		254,4	126,6
	CS bei DOL 30 µm*(t ²)	96,3	0,0	70,9		316,0	164,5

Nr.	Bsp. S-13	Bsp. S-14	Bsp. S-15	Bsp. S-16	Bsp. S-17	Bsp. S-18
Plattendicke der Probe (mm)	0,78	0,825	0,825	0,825	0,825	0,809
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)	422,5	139,0	129,0	91,0	449,0	426,0
Anzahl der Fragmente mit einer Größe von 25 mm × 25 mm						
ΔCS_{100-90} (MPa/ μ m)	1,55				4,00	2,17

[Tabelle 4]

Nr.	Bsp. S-19	Bsp. S-20	Bsp. S-21	Bsp. S-22	Bsp. S-23	Bsp. S-24	
Plattendicke der Probe (mm)	0,979	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	
Zusammensetzungskomponente (mol-%)	SiO ₂	67,58	64,2	64,2	64,2	64,2	64,48
	Al ₂ O ₃	10,08	8	8	8	8	14,38
	B ₂ O ₃	0,00					5,06
	P ₂ O ₅	0,00					
	Li ₂ O						
	Na ₂ O	14,17	12,5	12,5	12,5	12,5	13,7
	K ₂ O	0,05	4	4	4	4	0,01
	MgO	8,01	10,5	10,5	10,5	10,5	2,31
	CaO	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1	0,04
	SrO	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	
	BaO		0,1	0,1	0,1	0,1	
	ZnO						
	TiO ₂						
	ZrO ₂	0,04	0,5	0,5	0,5	0,5	
SUMME	100	100	100	100	100	99,98	
X-Wert	40738					39224	
Z-Wert	27245					26120	
T(°C)	1210-1220	1154 oder niedriger	1154 oder niedriger	1154 oder niedriger	1154 oder niedriger		
T4 (°C)	1263	1176	1117	1176	1176		
Chemische Härtingsbedingungen der ersten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	50	100	100	100	100	100
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	50					
	Härtungstemperatur (°C)	450	450	450	450	450	450
	Härtungszeit (Stunden)	217					3 Stunden
Plattendicke der Probe (mm)	0,979	0,75	0,75	0,75			

Nr.		Bsp. S-19	Bsp. S-20	Bsp. S-21	Bsp. S-22	Bsp. S-23	Bsp. S-24
Chemische Härtingsbedingungen der zweiten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)						
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)						
	Härtungstemperatur (°C)						
	Härtungszeit (Stunden)						
Härtungsprofil	CS (MPa)	216,0	401,4	322,7	631,4	600,0	1025,0
	DOL (µm)	124,5	90,7	117,2	95,9	150,0	25,5
	CT (MPa)	35,8	54,3	82,3	107,1	200,0	34,9
	d _h (µm)	55	29	53	38		
	Sc-Wert	24747	26914	35176	51737		
	CS bei DOL 120 µm (MPa)	5,2	-45,1	-5,7	-72,9		
	CS bei DOL 110 µm (MPa)	17,8	-34,0	14,9	-45,3		
	CS bei DOL 100 µm (MPa)	31,7	-18,5	37,1	-14,4		
	CS bei DOL 90 µm (MPa)	46,9	1,3	60,8	21,4		
	CS bei DOL 50 µm (MPa)	116,7	118,8	169,0	231,3		
	CS bei DOL 30 µm MPa	155,5	195,3	229,0	377,7		
	CS bei DOL 120 µm*(t ²)	4,9	-25,4	-3,2	-41,0		
	CS bei DOL 110 µm*(t ²)	17,1	-19,1	8,4	-25,5		
	CS bei DOL 100 µm*(t ²)	30,4	-10,4	20,9	-8,1		
	CS bei DOL 90 µm*(t ²)	44,9	0,7	34,2	12,0		
	CS bei DOL 50 µm*(t ²)	111,8	66,8	95,1	130,1		
	CS bei DOL 30 µm*(t ²)	149,0	109,9	128,8	212,5		
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)		401,0	172,0	370,0	203,0	390,0	94,0
Anzahl der Fragmente mit einer Größe von 25 mm × 25 mm		2					
ΔCS ₁₀₀₋₉₀ (MPa/µm)		1,51	1,98	2,38	3,57		

Tabelle 5

Nr.	Bsp. S-25	Bsp. S-26	Bsp. S-27	Bsp. S-28	Bsp. S-29	Bsp. S-30	
Plattendicke der Probe (mm)	0,8	0,817	0,843	0,6	0,6	1,1	
Zusammensetzungs-komponente (mol-%)	SiO ₂	64,48	56,12	56,12	70	70	64,5
	Al ₂ O ₃	14,38	17,18	17,18	6	6	12
	B ₂ O ₃	5,06			0	0	0
	P ₂ O ₅		6,84	6,84			
	Li ₂ O				16	16	12,8
	Na ₂ O	13,7	16,77	16,77	4	4	5,5
	K ₂ O	0,01	0,30	0,30	0	0	3,4
	MgO	2,31	2,66	2,66	2	2	0
	CaO	0,04			0	0	0
	SrO				0	0	0
	BaO				0	0	0
	ZnO						
	TiO ₂						
	ZrO ₂				2	2	1,8
SUMME	99,98	99,88	99,88	100	100	100	
X-Wert	39224	29493	29493	45332	45332	41611	
Z-Wert	26120	19516	19516	30859	30859	28306	
T(°C)				1000 oder niedriger	1000 oder niedriger	1000-1050	
T4 (°C)				1037	1037	1063	
Chemische Härtingsbedingungen der ersten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	80	99,5	50			Keine Härtingsbehandlung
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	20	0,5	50	100	100	Keine Härtingsbehandlung
	Härtungstemperatur (°C)	450	400	450			
	Härtungszeit (Stunden)	230 Stunden	2	20			
Plattendicke der Probe (mm)	0,8	0,817	0,843	0,6	0,6	1,1	
Chemische Härtingsbedingungen der zweiten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)			96			
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)						
	Härtungstemperatur (°C)			400			
	Härtungszeit (Stunden)			0,33			

Nr.		Bsp. S-25	Bsp. S-26	Bsp. S-27	Bsp. S-28	Bsp. S-29	Bsp. S-30
Härtungsprofil	CS (MPa)	430	1000	887	360	300	0
	DOL(μm)	139	21	94,3	102	150	0
	CT (MPa)	133,0	27,1	45,0			
	d_h (μm)	70		7			
	Sc-Wert	62383		28077			
	CS bei DOL 120 μm (MPa)	74,8		-37,5			0
	CS bei DOL 110 μm (MPa)	100,3		-24,0			0
	CS bei DOL 100 μm (MPa)	94,8		-9,2			0
	CS bei DOL 90 μm (MPa)	156,9		7,4			0
	CS bei DOL 50 μm (MPa)	263,9		96,6			0
	CS bei DOL 30 μm (MPa)	343,0		154,4			0
	CS bei DOL 120 μm^* (t^2)	47,9		-26,6			0
	CS bei DOL 110 μm^* (t^2)	64,2		-17,1			0
	CS bei DOL 100 μm^* (t^2)	60,7		-6,6			0
	CS bei DOL 90 $\mu\text{m}^*(t^2)$	100,4		5,2			0
	CS bei DOL 50 $\mu\text{m}^*(t^2)$	168,9		68,6			0
	CS bei DOL 30 $\mu\text{m}^*(t^2)$	219,5		109,7			0
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)		514,0	136,0	150,0	129,0	436,0	158,0
ΔCS_{100-90} (MPa/ μm)		6,21		1,66			
$\text{CS}_{\text{DOL-20}}$ (MPa)				34,3			
$\Delta\text{CS}_{\text{DOL-20}}$ (MPa/ μm)				1,72			

[Tabelle 6]

Nr.		Bsp. S-31	Bsp. S-32	Bsp. S-33	Bsp. S-34	Bsp. S-35
Plattendicke der Probe (mm)		1,1	0,8	0,8	0,6	0,6
Zusammensetzungskomponente (mol-%)	SiO ₂	64,5	64,5	64,5	65,67	65,67
	Al ₂ O ₃	12	12	12	11,67	11,67
	B ₂ O ₃	0	0	0	0,41	0,41
	P ₂ O ₅					
	Li ₂ O	12,8	12,8	12,8	10,69	10,69
	Na ₂ O	5,5	5,5	5,5	9,60	9,60

Nr.		Bsp. S-31	Bsp. S-32	Bsp. S-33	Bsp. S-34	Bsp. S-35
	K ₂ O	3,4	3,4	3,4	0,07	0,07
	MgO	0	0	0	0,00	0,00
	CaO	0	0	0	0,83	0,83
	SrO	0	0	0	0,00	0,00
	BaO	0	0	0		
	ZnO					
	TiO ₂					
	ZrO ₂	1,8	1,8	1,8	1,07	1,07
	SUMME	100	100	100	100	100
X-Wert		41611	41611	41611	42387	42387
Z-Wert		28306	28306	28306	28937	28937
T(°C)		1000-1050	1000-1050	1000-1050		
T4 (°C)		1063	1063	1063		
Chemische Härtingsbedingungen der ersten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)		95	95	95	95
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	100	5	5	5	5
	Härtungstemperatur (°C)	425	380	380	380	380
	Härtungszeit (Stunden)	6	8	15	8	15
Plattendicke der Probe (mm)		1,1	0,8	0,8	0,6	0,6
Chemische Härtingsbedingungen der zweiten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)					
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)					
	Härtungstemperatur (°C)					
	Härtungszeit (Stunden)					
Härtungsprofil	CS (MPa)	300	432,0	339,4	457,4	452,6
	DOL (µm)	150	100,7	129,5	116,6	118,6
	CT (MPa)		34,3	41,5	55,5	50,4
	d _h (µm)		6,5	13,5	4	4,5
	Sc-Wert					
	CS bei DOL 120 µm (MPa)		-12,6	4,4	-4,5	-2,9
	CS bei DOL 110 µm (MPa)		-8,4	12,1	4,3	3,9
	CS bei DOL 100 µm (MPa)		4,2	18,1	11,1	11,8
	CS bei DOL 90 µm (MPa)		9,4	27,8	18,5	17,7
	CS bei DOL 50 µm (MPa)		56,8	67,3	59,7	45,9
	CS bei DOL 30 µm (MPa)		92,0	90,2	84,2	59,0
	CS bei DOL 120 µm*(t ²)		-8,1	2,8	-1,6	-1,1
CS bei DOL 110 µm*(t ²)		-5,4	7,8	1,6	1,4	
CS bei DOL 100 µm*(t ²)		2,7	11,6	4,0	4,2	
CS bei DOL 90 µm*(t ²)		6,0	17,8	6,6	6,4	

Nr.	Bsp. S-31	Bsp. S-32	Bsp. S-33	Bsp. S-34	Bsp. S-35
CS bei DOL 50 $\mu\text{m}^*(t^2)$		36,4	43,1	21,5	16,5
CS bei DOL 30 $\mu\text{m}^*(t^2)$		58,9	57,7	30,3	21,2
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)	548,0	256,0	222,0	232,0	204,0
ΔCS_{100-90} (MPa/ μm)		0,52	0,97	0,74	0,59
$\text{CS}_{\text{DOL-20}}$ (MPa)		18,6	14,1	13,9	12,7
$\Delta\text{CS}_{\text{DOL-20}}$ (MPa/ μm)		0,93	0,70	0,70	0,64

[Tabelle 7]

Nr.	Bsp. S-36	Bsp. S-37	Bsp. S-38	Bsp. S-39	Bsp. S-40	
Plattendicke der Probe (mm)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Zusammensetzungs-komponente (mol-%)	SiO ₂	70	70	70	70	
	Al ₂ O ₃	10	10	10	10	
	B ₂ O ₃					
	P ₂ O ₅					
	Li ₂ O	10	10	10	10	
	Na ₂ O	3	3	3	3	
	K ₂ O	1	1	1	1	
	MgO	5	5	5	5	
	CaO					
	SrO					
	BaO					
	ZnO					
	TiO ₂					
	ZrO ₂	1	1,00	1,00	1	1
SUMME	100	100	100	100	100	
X-Wert	46133	46133	46133	46133	46133	
Z-Wert	30766	30766	30766	30766	30766	
T(°C)	1194-1200	1194-1200	1194-1200	1194-1200	1194-1200	
T4 (°C)	1211	1211	1211	1211	1211	
Chemische Härtingsbedingungen der ersten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	100	98	98	98	96,5
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)		2	2	2	3,5
	Härtungstemperatur (°C)	450	400	450	450	450
	Härtungszeit (Stunden)	6	6	6	6	6
Plattendicke der Probe (mm)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	

Nr.		Bsp. S-36	Bsp. S-37	Bsp. S-38	Bsp. S-39	Bsp. S-40
Chemische Härtingsbedingungen der zweiten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)					
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	100	100	100	100	100
	Härtungstemperatur (°C)	425	425	425	425	425
	Härtungszeit (Stunden)	5	1	3	3,25	2,5
Härtungsprofil	CS (MPa)	416	298	537	310	484
	DOL (µm)	124	115	127	124	130
	CT (MPa)	-61	-69	-61	-73	-77
	dh (µm)					
	Sc-Wert	31703	34235	27916	32402	32098
	CS bei DOL 120 µm (MPa)					
	CS bei DOL 110 µm (MPa)					
	CS bei DOL 100 µm (MPa)	22,8	16,5	23,5	26,0	29,2
	CS bei DOL 90 µm (MPa)	36,9	28,9	31,8	38,4	40,0
	CS bei DOL 50 µm (MPa)					
	CS bei DOL 30 µm (MPa)					
	CS bei DOL 120 µm*(t ²)					
	CS bei DOL 110 µm*(t ²)					
	CS bei DOL 100 µm*(t ²)	14,6	10,5	15,0	16,7	18,7
	CS bei DOL 90 µm*(t ²)	23,6	18,5	20,4	24,6	25,6
	CS bei DOL 50 µm*(t ²)					
	CS bei DOL 30 µm*(t ²)					
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)		488,0	413,0	460,0	478,0	496,7
Anzahl der Fragmente mit einer Größe von 25 mm × 25 mm		4	2	2	12	6
ΔCS_{100-90} (MPa/µm)		1,41	1,25	0,83	1,24	1,08
CS_{DOL-20} (MPa)		21,4	25,0	17,3	20,5	16,4
ΔCS_{DOL-20} (MPa/µm)		1,07	1,25	0,86	1,02	0,82

[Tabelle 8]

Nr.		Bsp. S-41	Bsp. S-42	Bsp. S-43	Bsp. S-44	Bsp. S-45
Plattendicke der Probe (mm)		0,8	0,8	Bsp. 0,8	Bsp. 0,8	0,8
Zusammensetzungskomponente (mol-%)	SiO ₂	70	70	70	70	70
	Al ₂ O ₃	10	10	10	10	10
	B ₂ O ₃					
	P ₂ O ₅					
	Li ₂ O	10	10	10	10	10
	Na ₂ O	3	3	3	3	3

Nr.		Bsp. S-41	Bsp. S-42	Bsp. S-43	Bsp. S-44	Bsp. S-45
	K ₂ O	1	1	1	1	1
	MgO	5	5	5	5	5
	CaO					
	SrO					
	BaO					
	ZnO					
	TiO ₂					
	ZrO ₂	1	1	1	1	1,00
SUMME		100	100	100	100	100
X-Wert		46133	46133	46133	46133	46133
Z-Wert		30766	30766	30766	30766	30766
T(°C)		1194- 1200	1194- 1200	1194- 1200	1194- 1200	1194- 1200
T4 (°C)		1211	1211	1211	1211	1211
Chemische Härtungs- bedingun- gen der ers- ten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.- %)	95		95	92,5	90
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.- %)	5	100	5	7,5	10
	Härtungstemperatur (°C)	450	425	450	450	450
	Härtungszeit (Stunden)	6	1,5	7,5	2,5	1,5
Plattendicke der Probe (mm)		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Chemische Härtungsbe- dingungen der zwei- ten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.- %)		95			
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.- %)	100	5			
	Härtungstemperatur (°C)	425	450			
	Härtungszeit (Stunden)	2	6			
Härtungs- profil	CS (MPa)	554	469	691		715
	DOL (µm)	149	173	164	129	120
	CT (MPa)	-83	-77	-44	-73	-55
	d _h (µm)					
	Sc-Wert	38570	29319	18731	34849	33479
	CS bei DOL 120 µm (MPa)					
	CS bei DOL 110 µm (MPa)					
	CS bei DOL 100 µm (MPa)	41,0	51,7	37,8	34,2	27,0
	CS bei DOL 90 µm (MPa)	52,3	55,3	42,0	47,6	42,0
	CS bei DOL 50 µm (MPa)					
	CS bei DOL 30 µm (MPa)					
CS bei DOL 120 µm*(t ²)						
CS bei DOL 110 µm*(t ²)						
CS bei DOL 100 µm*(t ²)		26,2	33,1	24,2	21,9	17,3
CS bei DOL 90 µm*(t ²)		33,5	35,4	26,9	30,5	26,9

Nr.	Bsp. S-41	Bsp. S-42	Bsp. S-43	Bsp. S-44	Bsp. S-45
CS bei DOL 50 $\mu\text{m}^*(\text{t}^2)$					
CS bei DOL 30 $\mu\text{m}^*(\text{t}^2)$					
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)	509,0	360,0	456,0	313,0	406,0
Anzahl der Fragmente mit einer Größe von 25 mm × 25 mm	322	2	2	6	2
$\Delta\text{CS}_{100-90}(\text{MPa}/\mu\text{m})$	1,14	0,36	0,42	1,34	1,50
$\text{CS}_{\text{DOL-20}}(\text{MPa})$	17,2	10,6	14,6	23,0	27,0
$\Delta\text{CS}_{100-90}(\text{MPa}/\mu\text{m})$	0,86	0,53	0,73	1,15	1,35

[Tabelle 9]

Nr.	Bsp. S-46	Bsp. S-47	Bsp. S-48	Bsp. S-49	Bsp. S-50	Bsp. S-51	Bsp. S-52	Bsp. S-53
Plattendicke der Probe (mm)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Zusammensetzungskomponente (mol-%)	SiO ₂	69	69	69	69	70	70	70
	Al ₂ O ₃	9	9	9	9	7,5	7,5	7,5
	B ₂ O ₃							
	P ₂ O ₅							
	Li ₂ O	9,5	9,5	9,5	9,5	8	8	8
	Na ₂ O	4,5	4,5	4,5	4,5	5,3	5,3	5,3
	K ₂ O	1	1	1	1	1	1	1
	MgO	6	6	6	6	7	7	7
	CaO					0,2	0,2	0,2
	SrO							
	BaO							
	ZnO							
	TiO ₂	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	ZrO ₂	1	1,00	1,00	1	1	1	1
SUMME	100,04	100,04	100,04	100,04	100,04	100,04	100,04	
X-Wert	45856	45856	45856	45856	45114	45114	45114	
Z-Wert	30462	30462	30462	30462	29915	29915	29915	
T(°C)	1116-1130	1116-1130	1116-1130	1116-1130	1090-1100	1090-1100	1090-1100	
T4 (°C)	1163	1163	1163	1163	1159	1159	1159	
Chemische Härtingsbedingungen der ersten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)							
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	100	100	100	100	100	100	
	Härtungstemperatur (°C)	450	450	450	450	450	450	

Nr.		Bsp. S-46	Bsp. S-47	Bsp. S-48	Bsp. S-49	Bsp. S-50	Bsp. S-51	Bsp. S-52	Bsp. S-53
	Härtungszeit (Stunden)	1	1	1	1	1	1	1	1
Plattendicke der Probe (mm)		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Chemische Härtingsbedingungen der zweiten Stufe	KNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)	100	99	98	95	100	99	98	95
	NaNO ₃ -Konzentration (Gew.-%)		1	2	5		1	2	5
	Härtungstemperatur (°C)	450	450	450	450	450	450	450	450
	Härtungszeit (Stunden)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Härtungsprofil	CS (MPa)	910	862	859	792	885	851	821	749
	DOL (µm)	149	143	147	142	134	139	135	132
	CT (MPa)	56	63	57	67	48	49	49	53
	d _h (µm)								
	Sc-Wert	23020	29456	24529	32824	19597	20477	20660	24574
	CS bei DOL 120 µm (MPa)	22,1	25,3	22,0	21,0	9,5	10,7	12,0	11,1
	CS bei DOL 110 µm (MPa)	29,9	32,7	30,0	33,6	16,7	19,1	17,6	19,3
	CS bei DOL 100 µm (MPa)	39,5	43,9	41,3	48,1	23,6	27,3	27,6	29,3
	CS bei DOL 90 µm (MPa)	46,9	54,2	49,8	60,3	31,2	35,5	37,6	38,7
	CS bei DOL 50 µm (MPa)	79,0	101,5	84,4	119,0	59,7	67,6	74,8	89,8
CS bei DOL 30 µm (MPa)	88,3	121,7	94,3	152,1	68,8	77,5	91,0	119,3	
	CS bei DOL 120 µm* (t ²)	14,2	16,2	14,1	13,5	6,1	6,9	7,7	7,1
	CS bei DOL 110 µm* (t ²)	19,1	20,9	19,2	21,5	10,7	12,2	11,3	12,4
	CS bei DOL 100 µm* (t ²)	25,3	28,1	26,4	30,8	15,1	17,5	17,7	18,7
	CS bei DOL 90 µm* (t ²)	30,0	34,7	31,9	38,6	19,9	22,7	24,1	24,7
	CS bei DOL 50 µm* (t ²)	50,6	65,0	54,0	76,1	38,2	43,3	47,9	57,4
	CS bei DOL 30 µm* (t ²)	56,5	77,9	60,3	97,3	44,1	49,6	58,3	76,4
Durchschnittswert der Bruchhöhe beim Fallenlassen-auf-Sand-Test (mm)									
Anzahl der Fragmente mit einer Größe von 25 mm × 25 mm		2	2	2	2	2	2	2	2

Nr.	Bsp. S-46	Bsp. S-47	Bsp. S-48	Bsp. S-49	Bsp. S-50	Bsp. S-51	Bsp. S-52	Bsp. S-53
ΔCS_{100-90} (MPa/ μm)	0,74	1,03	0,85	1,22	0,76	0,82	1,00	0,94
CS_{DOL-20} (MPa)	13,8	19,6	15,3	19,0	13,6	13,5	15,1	17,6
ΔCS_{DOL-20} (MPa/ μm)	0,69	0,98	0,77	0,95	0,68	0,68	0,76	0,88

[0190] Aus den Ergebnissen der Tabellen 1 bis 9 und der **Fig. 4** bis **Fig. 6** ist ersichtlich, dass im Bereich in der Umgebung von 0 bis 50 μm der DOL die durchschnittliche Bruchhöhe dazu neigt, geringfügig abzunehmen, wenn die DOL zunimmt. Ferner ist ersichtlich, dass im Bereich von weniger als 50 μm der DOL die durchschnittliche Bruchhöhe dazu neigt, abzunehmen, wenn CT zunimmt. Andererseits ist ersichtlich, dass in den Beispielen mit einer DOL von 100 μm oder mehr der DOL die durchschnittliche Bruchhöhe dazu neigt, zuzunehmen.

[0191] Aus den **Fig. 7** bis **Fig. 9** ist ersichtlich, dass die durchschnittliche Bruchhöhe eine geringe Korrelation mit CS aufweist und eine starke Korrelation mit den inneren Druckspannungen CS_{90} und CS_{100} aufweist. Es sollte beachtet werden, dass dann, wenn CS_{90} und CS_{100} 30 MPa bzw. 20 MPa übersteigen, die durchschnittliche Bruchhöhe etwa 300 mm oder mehr beträgt und dass eine starke Verbesserung der Festigkeit erreicht werden kann.

[0192] Aus der **Fig. 10** ist ersichtlich, dass die durchschnittliche Bruchhöhe eine starke Korrelation mit $CS_{100} \times t^2$ aufweist. Es sollte beachtet werden, dass dann, wenn $CS_{100} \times t^2$ 5 MPa \cdot mm² übersteigt, die durchschnittliche Bruchhöhe etwa 300 mm oder mehr beträgt und eine starke Verbesserung der Festigkeit erreicht werden kann.

<Eindruckbruchtest>

[0193] Die chemisch gehärteten Gläser des Beispiels S-19 und der Beispiele S-36 bis S-53, die jeweils eine Größe von 25mm \times 25 mm \times Plattendicke t (mm) aufweisen, wurden durch einen Eindruckbruchtest, bei dem eine Last von 3 bis 25 kgf für 15 Sekunden aufrechterhalten wurde, mittels eines Diamanteindruckkörpers mit einem Eindruckwinkel von 60° eines Flächenwinkels gebrochen und die Anzahl von Fragmenten jedes chemisch gehärteten Glases nach dem Bruch wurde gezählt. Diese Ergebnisse sind in der Tabelle 4 und in den Tabellen 7 bis 9 gezeigt.

<Vierpunkt-Biegetest nach der Bildung von Fehlerstellen oder ohne Bildung von Fehlerstellen>

[0194] Eine Glasplatte mit derselben Glaszusammensetzung wie im Beispiel S-1 und mit einer Dicke von 1, 1 bis 1,3 mm wurde mit einem Floatverfahren bei denselben Bedingungen wie im Beispiel S-1 hergestellt. Die erhaltene Glasplatte wurde geschnitten und geschliffen und beide Oberflächen davon wurden schließlich spiegelglanzpoliert, so dass ein plattenförmiges Glas mit einer Größe von 5 mm vertikal \times 40 mm horizontal \times 1,1 mm Dicke erhalten wurde. Danach wurde eine chemische Härtingsbehandlung bei jeder chemischen Härtingsbedingung durchgeführt, die in der Spalte der Beispiele 4PB-1 bis 4PB-6 in der Tabelle 10 gezeigt ist, und jedes chemisch gehärtete Glas der Beispiele 4PB-1 bis 4PB-6 wurde hergestellt.

[0195] Ein Glasblock mit derselben Glaszusammensetzung wie im Beispiel S-7 wurde durch Schmelzen in einem Platintiegel bei denselben Bedingungen wie im Beispiel S-7 hergestellt. Der erhaltene Glasblock wurde geschnitten und geschliffen und beide Oberflächen davon wurden schließlich spiegelglanzpoliert, so dass ein plattenförmiges Glas mit einer Größe von 5 mm vertikal \times 40 mm horizontal \times 0,8 mm Dicke erhalten wurde. Danach wurde eine chemische Härtingsbehandlung bei jeder chemischen Härtingsbedingung durchgeführt, die in der Spalte der Beispiele 4PB-7 bis 4PB-9 in der nachstehenden Tabelle 10 gezeigt ist, und jedes chemisch gehärtete Glas der Beispiele 4PB-7 bis 4PB-9 wurde hergestellt.

[0196] Die Härtingstemperatur (Einheit: °C) in der Tabelle 10 ist die Temperatur eines geschmolzenen Salzes während der chemischen Härtingsbehandlung. Ferner steht die Salzkonzentration für den Anteil von KNO_3 auf einer Gewichtsbasis in dem geschmolzenen Salz, das in der chemischen Härtingsbehandlung = $(\text{KNO}_3 / (\text{KNO}_3 + \text{Na}_2\text{O})) \times 100$ (Einheit: %) verwendet wird. Ferner zeigt die Härtingszeit eine Eintauchzeit (Einheit: Stunde) eines Glases in einem geschmolzenen Salz.

[0197] Bezüglich jedes chemisch gehärteten Glases der Beispiele 4PB-1 bis 4PB-9 wurden die Oberflächen-druckspannung (CS, Einheit: MPa) und die Dicke der Druckspannungsschicht (DOL, Einheit: μm) durch ein

Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., und ein dazugehöriges Programm FsmV gemessen. Ferner wurde die innere Zugspannung (CT, Einheit: MPa) auf der Basis der erhaltenen CS und DOL berechnet. Diese Ergebnisse sind in der Tabelle 10 und der Tabelle 11 gezeigt.

[Tabelle 10]

Nr.	Plattendicke	Härtungstemperatur 1	Salzkonzentration 1	Härtungszeit 1	Härtungstemperatur 1	Salzkonzentration 2	Härtungszeit 2	CS	DOL	CT	d _h
Bsp. 4PB-1	1,0	550	80	18				239	138	66,7	
Bsp. 4PB-2	1,0	550	100	13				352	127	82,9	
Bsp. 4PB-3	1,0	550	80	37				185	162	71,6	
Bsp. 4PB-4	1,0	500	100	40				475	153	161	
Bsp. 4PB-5	1,0	450	50	4				270	26	9,8	13
Bsp. 4PB-6	1,0	550	80	6				320	91	43,9	
Bsp. 4PB-7	0,8	500	80	578				294	127	70	56
Bsp. 4PB-8	0,8	500	80	578	500	100	1	655	124	86	13,5
Bsp. 4PB-9	0,8	500	80	578	500	100	3	647	140	113	22

[0198] Ein Diamanteindruckkörper (Eindruckwinkel des Flächenwinkels: 110°) wurde auf jedes chemisch gehärtete Glas der Beispiele 4PB-1 bis 4PB-9 bei einer Last von 0,5 kgf, 1 kgf, 1,5 kgf oder 2 kgf für 15 Sekunden gedrückt, um Fehlerstellen auf der Glasoberfläche zu erzeugen. Dann wurde ein Vierpunkt-Biegetest bei den Bedingungen eines unteren Abstands von 30 mm, eines oberen Abstands von 10 mm und einer Kreuzkopfgeschwindigkeit von 0,5 mm/min durchgeführt und die Bruchspannung (MPa) bei jeder Fehlerstellenbildungsbedingung wurde gemessen. Bruchspannungswerte (Biegefestigkeit, Einheit: MPa), wenn der Vierpunkt-Biegetest ohne die Bildung von Fehlerstellen durchgeführt wurde, und bei jeder Eindrucklast eines Eindruckkörpers sind in der Tabelle 11 und der **Fig. 11** gezeigt. In der **Fig. 11** zeigen (a) bis (i) die Testergebnisse des chemisch gehärteten Glases der Beispiele 4PB-1 bis 4PB-9.

[Tabelle 11]

	Bsp. 4PB-1	Bsp. 4PB-2	Bsp. 4PB-3	Bsp. 4PB-4	Bsp. 4PB-5	Bsp. 4PB-6	Bsp. 4PB-7	Bsp. 4PB-8	Bsp. 4PB-9
CS	239	352	185	475	270	320	294	655	647
DOL	138	127	162	153	26	91	127	124	140
CT	66,7	82,9	71,6	160,5	9,8	43,9	70	86	113
d _h					13		56,0	13,5	22,0
Biegefestigkeit ohne die Bildung von Fehlerstellen MPa	254	465	223	654	526	400	346	646	653

	Bsp. 4PB- 1	Bsp. 4PB- 2	Bsp. 4PB- 3	Bsp. 4PB- 4	Bsp. 4PB- 5	Bsp. 4PB- 6	Bsp. 4PB- 7	Bsp. 4PB- 8	Bsp. 4PB- 9
Biegefestigkeit, wenn Fehlerstellen bei 0,5 kgf gebildet werden MPa	253	450	222	634	86	403	340	459	616
Biegefestigkeit, wenn Fehlerstellen bei 1 kgf gebildet werden MPa	257	493	221	624	69	301	339	335	344
Biegefestigkeit, wenn Fehlerstellen bei 2 kgf gebildet werden MPa	254	480	222	613	52	0	311	281	330

[0199] Ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen der Bruchfestigkeit ohne die Bildung von Fehlerstellen und CS aufgetragen ist, ist in der **Fig. 12** gezeigt. Aus der **Fig. 12** ist ersichtlich, dass dann, wenn CS 300 MPa oder mehr beträgt, die Bruchfestigkeit ohne die Bildung von Fehlerstellen 350 MPa oder mehr erreichen kann. Wenn ein Smartphone oder ein Tablet-PC herabgefallen ist, wird eine Zugspannung auf der Oberfläche eines Abdeckglases erzeugt und deren Größe erreicht etwa 350 MPa. Daher beträgt CS vorzugsweise 300 MPa oder mehr. Ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen der Bruchfestigkeit, wenn Fehlerstellen bei 2 kgf in den Beispielen 4PB-1 bis 4-PB-9 gebildet werden, und der DOL aufgetragen ist, ist in der **Fig. 13** gezeigt. In dem chemisch gehärteten Glas mit einer DOL von 100 µm oder mehr beträgt die Bruchfestigkeit selbst nach der Bildung von Fehlerstellen bei 2 kgf mittels eines Diamanteindruckkörpers (Eindruckwinkel des Flächenwinkels: 110 °C) 200 MPa oder mehr, eine höhere Bruchfestigkeit wird selbst nach der Bildung von Fehlerstellen bei einer größeren Belastung beibehalten und es wurde gezeigt, dass es selbst bei einem Vorliegen von Fehlerstellen eine hohe Zuverlässigkeit als Abdeckglas aufweist. Die DOL beträgt vorzugsweise 100 µm oder mehr, mehr bevorzugt 110 µm oder mehr, noch mehr bevorzugt 120 µm oder mehr und besonders bevorzugt 130 µm oder mehr.

[0200] Aus den vorstehenden Ergebnissen ist ersichtlich, dass dann, wenn CS_{90} , CS_{100} und $CS_{100} \times t^2$ mehr als 30 MPa, mehr als 20 MPa bzw. mehr als 5 MPa·mm² betragen, eine offensichtliche Festigkeitsverbesserung bei einem Fallenlassen-auf-Sand-Test erreicht werden kann. Ferner ist ersichtlich, dass dann, wenn CS_{90} , CS_{100} und $CS_{100} \times t^2$ mehr als 50 MPa, mehr als 30 MPa bzw. mehr als 7 MPa·mm² betragen, eine starke Festigkeitsverbesserung bei einem Fallenlassen-auf-Sand-Test erreicht werden kann. Ferner ist ersichtlich, dass dann, wenn CS 300 MPa übersteigt, die Bruchfestigkeit 350 MPa ausreichend übersteigt und eine ausreichende Bruchfestigkeit als Abdeckglas erhalten werden kann.

[0201] Das Spannungsprofil eines virtuellen chemisch gehärteten Glases mit einer Plattendicke von 1 mm ist in der **Fig. 14** gezeigt. CS, DOL, CT, Sc und St von jedem der Profile sind in der Tabelle 12 gezeigt. Das Härtingsprofil von **Fig. 14** und der Tabelle 12 wird durch die folgende Formel erstellt.

$$F(x) = \alpha + \text{ERFC}(\beta \times x) - CT$$

[0202] x ist eine Tiefe von einer Glasoberfläche und die Funktion ERFC (c) ist eine komplementäre Fehlerfunktion. Werte der Konstanten α und β sind in der Tabelle 12 gezeigt.

[Tabelle 12]

	α	β	CS MPa	DOL μm	CT MPa	CS ₉₀ MPa	CS ₁₀₀ MPa	Fläche Sc der Druck- spannungs- schicht MPa· μm	Fläche St der inneren Zug- spannungs- schicht MPa· μm
Profil 1	344	0,009	300	120	43,6	43,1	26,3	30000	30200
Profil 2	398	0,0096	350	115	47,1	41,1	22,3	33300	33400
Profil 3	458	0,0091	400	119	57,6	55,5	33,2	39600	40000
Profil 4	511	0,0095	450	116	60,9	54,9	30,7	43100	42900

[0203] Aus den vorstehenden Ergebnissen ergibt sich, dass die chemisch gehärteten Gläser mit solchen Profilen eine hohe Festigkeit bei dem Fallenlassen-auf-Sand-Test und beim Kantenbiegen aufweisen. Es ergibt sich, dass das chemisch gehärtete Glas mit einem eingebrachten höheren CS-Wert und eingebrachten höheren CS₉₀- und CS₁₀₀-Werten eine höhere Festigkeit aufweist, und aus der Tabelle 12 ist ersichtlich, dass der Sc-Wert des chemisch gehärteten Glases der vorliegenden Erfindung etwa 30000 MPa· μm oder mehr beträgt. In diesem Fall ist der St-Wert derselbe Wert wie der Sc-Wert, der vorstehend beschrieben worden ist. Wenn ein Brechen stattfinden sollte, ist es bevorzugt, dass ein Glas sicher bricht, und um dies zu erreichen, ist es bevorzugt, dass der nachstehend beschriebene St Grenze-Wert ein hoher Wert ist.

<Beziehung zwischen X-, Y- und Z-Werten und der Anzahl der Fragmente eines Glases>

[0204] Zum Bewerten der Beziehung zwischen der Glaszusammensetzung und der Bruchfestigkeit des chemisch gehärtetes Glases wurden chemisch gehärtete Gläser mit verschiedenen St-Werten bei verschiedenen chemischen Härtingsbedingungen hergestellt und die Beziehung zwischen der Anzahl von Fragmenten beim Brechen und dem St-Wert wurde untersucht. Insbesondere wurden Gläser mit einer Größe von 25 mm × 25 mm × Dicke t (mm) der chemischen Härtingsbehandlung bei verschiedenen chemischen Härtingsbedingungen unterzogen, so dass sich die innere Zugspannungsfläche (St, Einheit: MPa· μm) ändert, und chemisch gehärtete Gläser mit verschiedenen inneren Zugspannungsflächen (St, Einheit: MPa· μm) wurden hergestellt. Die innere Zugspannungsfläche (St, Einheit: MPa· μm), wenn die Anzahl von Fragmenten 10 betrug, wurde als St Grenze-Wert festgelegt, und die innere CT (Einheit: MPa), wenn die Anzahl von Fragmenten 10 betrug, wurde als CT Grenze-Wert festgelegt. In dem Fall, bei dem die Anzahl von Fragmenten über 10 liegt, wurde der St Grenze-Wert durch die folgende Formel unter Verwendung eines St_n-Werts, welcher der St-Wert der maximalen Anzahl n von Fragmenten ist, die weniger als 10 werden, und eines St_m-Werts festgelegt, welcher der St-Wert der minimalen Anzahl m von Fragmenten ist, die mehr als 10 werden.

$$\text{St Grenze - Wert} = \text{St}_n + (10 - n) \times (\text{St}_m - \text{St}_n) / (m - n)$$

[0205] In dem Fall, bei dem die Anzahl von Fragmenten über 10 liegt, wurde der CT Grenze-Wert durch die folgende Formel unter Verwendung eines CT_n-Werts, welcher der CT-Wert der maximalen Anzahl n von Fragmenten ist, die weniger als 10 werden, und eines CT_m-Werts festgelegt, welcher der CT-Wert der minimalen Anzahl m von Fragmenten ist, die mehr als 10 werden.

$$\text{CT Grenze - Wert} = \text{CT}_n + (10 - n) \times (\text{CT}_m - \text{CT}_n) / (m - n)$$

[0206] Der St-Wert und der CT-Wert werden wie folgt unter Verwendung der Werte St_F und CT_F, die durch ein Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., gemessen und durch ein dazugehöriges Programm FsmV analysiert werden, oder St_A und CT_A, die durch Messen mittels eines Doppelbrechungsbildgebungssystems Abrio-IM und einer dünn gemachten Probe erhalten werden, festgelegt.

$$\text{ST} = \text{St}_F = 1,515 \times \text{St}_A$$

$$\text{CT} = \text{CT}_F = 1,28 \times \text{CT}_A$$

[0207] Dabei ist CT_F ein Wert, der mit einem Wert CT_{CV} identisch ist, der durch FsmV analysiert wird.

[0208] Messbeispiele, wenn t 1 mm ist, sind in der **Fig. 15** und der Tabelle 13 gezeigt. Die **Fig. 15** zeigt das Messbeispiel von St Grenze und CT Grenze, wobei (a) ein Graph ist, der die Beziehung zwischen der Fläche St ($MPa \cdot \mu m$) der inneren Zugspannungsschicht, wenn die Plattendicke (t) 1 mm beträgt, und der Anzahl von Fragmenten zeigt, und (b) eine vergrößerte Ansicht des Abschnitts ist, der durch eine gestrichelte Linie in (a) umgeben ist. (c) ist ein Graph, der die Beziehung zwischen der inneren Zugspannung CT (MPa), wenn die Plattendicke (t) 1 mm beträgt, und der Anzahl von Fragmenten zeigt, und (d) eine vergrößerte Ansicht des Abschnitts ist, der durch eine gestrichelte Linie in (c) umgeben ist. StL10 in (b) und CTL10 in (d) zeigen die innere Zugspannungsfläche (St, Einheit: $MPa \cdot \mu m$) und die innere Zugspannung (CT, Einheit: MPa), wenn die Anzahl der Fragmente 10 ist.

[Tabelle 13]

Geschmolzenes Salz	Konzentration (%)	Temperatur (°C)	Zeit (Stunden)	t/ μm	CS/ MPa	DOL/ μm	CT/ MPa	Fläche der inneren Zugspannungsschicht St MPa· μm	Anzahl der Fragmente
KNO ₃	100	450	4,00	1010	957,3	34,6	33,1	31129	2
KNO ₃	100	450	7,17	1010	904,3	48,0	41,3	37524	2
KNO ₃	100	450	7,58	1010	915,0	48,5	42,7	38775	7
KNO ₃	100	450	8,00	1010	905,1	50,2	43,6	39432	8
KNO ₃	100	450	8,00	1020	901,6	52,7	45,7	41460	11
KNO ₃	100	450	9,00	1020	889,2	54,7	48,0	43398	27
KNO ₃	100	450	10,00	1020	880,0	52,5	50,2	45312	83

[0209] Gläser mit einem größeren St Grenze-Wert und CT Grenze-Wert sind Gläser mit einer verbesserten Bruchfestigkeit. Der St Grenze-Wert und der CT Grenze-Wert sind ein Index, der den Grad der Bruchfestigkeit zeigt, und legen keine zulässige Grenze des Bruchmodus fest.

[0210] Der St Grenze-Wert wurde in derselben Weise erhalten, wie es vorstehend beschrieben ist. Er ist in den Tabellen 14 und 15 gezeigt.

[0211] Bezüglich Gläser vor dem chemischen Härten sind die Ergebnisse hinsichtlich des Young'schen Moduls E (Einheit: GPa) und des Bruchzähigkeitswerts K1c (Einheit: $MPa \cdot m^{1/2}$), die durch das DCDC-Verfahren gemessen worden sind, ebenfalls in den Tabellen 14 und 15 gezeigt.

[0212] Der Young'sche Modul E wurde durch ein Ultraschallpulsverfahren (JIS R1602) gemessen.

[0213] Der Bruchzähigkeitswert wurde wie folgt erhalten. Eine K1-v-Kurve, welche die Beziehung zwischen einem Spannungsintensitätsfaktor K1 (Einheit: $MPa \cdot m^{1/2}$) und einer Risswachstumsgeschwindigkeit v (Einheit: m/s) zeigt, wie es in der **Fig. 17** gezeigt ist, wurde mittels einer Probe mit einer Form, wie sie in der **Fig. 16** gezeigt ist, und einem Tensilon UTA-5kN, hergestellt durch Orientec, gemäß dem DCDC-Verfahren unter Bezugnahme auf das Verfahren gemessen, das in M. Y. He, M. R. Turner und A. G. Evans, Acta Metall. Mater. 43 (1995) 3453, beschrieben ist, wobei die erhaltenen Daten der Region III durch eine lineare Gleichung einer Rekursion unterzogen und extrapoliert wurden und ein Spannungsintensitätsfaktor K1 von 0,1 m/s als Bruchzähigkeitswert K1c festgelegt wurde.

[0214] Bezüglich jedes der Beispiele CT-1 bis CT-27 wurden X-, Y- und Z-Werte aus der folgenden Formel auf der Basis der Zusammensetzung des Glases vor dem chemischen Härten (Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases) berechnet. Diese Ergebnisse sind in den Tabellen 14 und 15 gezeigt.

$$Z = SiO_2 \times 329 + Al_2O_3 \times 786 + B_2O_3 \times 627 + P_2O_5 \times (-941) + Li_2O \times 927 + Na_2O \times 47,5 + K_2O \times (-371) + MgO \times 1230 + CaO \times 1154 + SrO \times 733 + ZrO_2 \times 51,8$$

$$Y = \text{SiO}_2 \times 0,00884 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times 0,0120 + \text{B}_2\text{O}_3 \times (-0,00373) + \text{P}_2\text{O}_5 \times 0,000681 + \text{Li}_2\text{O} \times 0,00735 + \text{Na}_2\text{O} \times (-0,00234) + \text{K}_2\text{O} \times (-0,00608) + \text{MgO} \times 0,0105 + \text{CaO} \times 0,00789 + \text{SrO} \times 0,00752 + \text{BaO} \times 0,00472 + \text{ZrO}_2 \times 0,0202$$

$$Z = \text{SiO}_2 \times 237 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times 524 + \text{B}_2\text{O}_3 \times 228 + \text{P}_2\text{O}_5 \times (-756) + \text{Li}_2\text{O} \times 538 + \text{Na}_2\text{O} \times 44,2 + \text{K}_2\text{O} \times (-387) + \text{MgO} \times 660 + \text{CaO} \times 569 + \text{SrO} \times 291 + \text{ZrO}_2 \times 510$$

[0215] Bezüglich der chemisch gehärteten Gläser der Beispiele CT-1, CT-5, CT-7 bis CT-12, CT-14 bis CT-19 und CT-21 bis CT-24 ist ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen St Grenze, wenn die Dicke t 1 mm betrug, und dem X-Wert aufgetragen ist, in der Fig. 18 gezeigt, ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen St Grenze, wenn die Dicke t 1 mm betrug, und dem Z-Wert aufgetragen ist, ist in der Fig. 19 gezeigt, ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen St Grenze, wenn die Dicke t 1 mm betrug, und dem Young'schen Modul aufgetragen ist, ist in der Fig. 20 gezeigt, und ein Graph, bei dem die Beziehung zwischen dem X-Wert und dem Z-Wert aufgetragen ist, ist in der Fig. 21 gezeigt.

[Tabelle 14]

mol-%	Bsp. CT-1	Bsp. CT-2	Bsp. CT-3	Bsp. CT-4	Bsp. CT-5	Bsp. CT-6	Bsp. CT-7	Bsp. CT-8	Bsp. CT-9	Bsp. CT-10	Bsp. CT-11	Bsp. CT-12	Bsp. CT-13
SiO ₂	64	62	58	54	58	58	62	62	64	64	64,4	64,48	56,12
Al ₂ O ₃	12	12	12	12	15	14	12	12	12	12	6	14,38	17,18
B ₂ O ₃		2				2	4					5,06	
P ₂ O ₅								4					6,84
Li ₂ O	16	16	16	16	19	18	16	16	16	16			
Na ₂ O											12	13,7	16,77
K ₂ O											4	0,01	0,30
MgO	6	6	6	8	6	6	4	4			11	2,31	2,66
CaO			6	8					6		0,1	0,04	
SrO										6	0,1		
BaO													
ZrO ₂	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,5		
SUM-ME	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,1	99,98	99,88
E	90,3	89,0	95,7	96,9	92,2	90,8	86,4	83,4	90,9	89,4	78,0	68,9	64,0
K1c	0,92	0,91	0,93		0,93	0,92	0,88				0,76	0,71	0,69
StA Grenze	33852				37356		32998	29460	35501	34245			
StF Grenze											39443	40926	
St Grenze	51286				56594		49992	44632	53785	51880	39443	40926	

mol-%	Bsp. CT-1	Bsp. CT-2	Bsp. CT-3	Bsp. CT-4	Bsp. CT-5	Bsp. CT-6	Bsp. CT-7	Bsp. CT-8	Bsp. CT-9	Bsp. CT-10	Bsp. CT-11	Bsp. CT-12	Bsp. CT-13
X-Wert	52804	53400	57754	61206	55969	55510	52194	45922	52348	49822	38838	39224	29493
Y-Wert	0,93	0,91	0,93	0,93	0,94	0,91	0,88	0,89	0,92	0,91	0,76	0,72	0,69
Z-Wert	35044	35026	37036	38546	36808	36202	34162	30226	34498	32830	26010	26120	19516

[Tabelle 15]

mol-%	Bsp. CT-14	Bsp. CT-15	Bsp. CT-16	Bsp. CT-17	Bsp. CT-18	Bsp. CT-19	Bsp. CT-20	Bsp. CT-21	Bsp. CT-22	Bsp. CT-23	Bsp. CT-24	Bsp. CT-25	Bsp. CT-26	Bsp. CT-27
SiO ₂	68	68	68	68	68	68	68	60	50	60	58	71,1	68,0	68,0
Al ₂ O ₃	10	10	10	10	10	10	10	20	30	20	18	1,1	10,0	10,0
B ₂ O ₃														
P ₂ O ₅											4			
Li ₂ O										10	10			
Na ₂ O	12	10	8	14	14	14	14	10	10	10	10	12,4	12,0	10,0
K ₂ O	6	12										0,2		
MgO	4		14	8				10	10			6,9	10,0	12,0
CaO					8							8,3		
SrO						8								
BaO							8							
ZrO ₂														
SUMME	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100,0	100,0	100,0
E	70,9	66,9	80,9	72,0	75,3	74,4	72,6	86,0	99,1	83,3		71,9		
K1c	0,69	0,63	0,84	0,78	0,75	0,75	0,73	0,89	0,87			0,75		
StA Grenze			30901	28014				32109						
StF Grenze	33852	25829	48877	39917	38987	35159		49249	51622	44950	40463		43266	
St Grenze	33852	25829	48877	39917	38987	35159		49249	51622	44950	40463		43266	
X-Wert	33496	26255	47832	40737	40129	36761	30897	48235	52805	45205	39211	42834	34102	45467
Y-Wert	0,70	0,62	0,85	0,77	0,75	0,75	0,73	0,85	0,88	0,82	0,78	0,75	0,80	0,82
Z-Wert	22204	17154	30950	27255	26527	24303	21975	31742	34612	30522	25976	27172	28486	29718

[0216] Aus den Ergebnissen der Tabellen 14 und 15 und den **Fig. 18** bis **Fig. 21** ist ersichtlich, dass der X-Wert und der Z-Wert mit St Grenze bei 1 mm mit einer hohen Genauigkeit korrelieren und Parameter sind, welche die Bruchfestigkeit mit einer hohen Genauigkeit zeigen, wenn das chemisch gehärtete Glas zerbrochen wird. Ferner ist ersichtlich, dass St Grenze zunimmt, wenn der X-Wert und der Z-Wert zunehmen. Wenn St Grenze des chemisch gehärteten Glases zunimmt, gibt dies einen sichereren Bruch an, so dass die Anzahl von Fragmenten gering ist, selbst wenn das chemisch gehärtete Glas zerbrochen worden ist. Beispielsweise wenn das chemisch gehärtete Glas einen X-Wert und Z-Wert von 30000 oder mehr bzw. 20000 oder mehr aufweist, ist St Grenze größer als 30000 MPa. Beispielsweise kann selbst in dem Beispiel eines chemisch gehärteten Glases mit einer hohen Festigkeit von 1 mm mit Sc oder St von 30000 MPa oder mehr, wie es vorstehend beschrieben ist, ein Glas mit einer höheren Sicherheit erhalten werden, bei dem die Anzahl von Fragmenten, wenn ein Glas zerbrochen wird, ausreichend klein ist.

[0217] Gläser wurden wie folgt so hergestellt, dass sie jeweils eine Glaszusammensetzung als Molprozent-satz auf einer Oxidbasis aufweisen, die in den Beispielen 2-1 bis 2-53 in den Tabellen 16 bis 20 gezeigt ist. Allgemein verwendete Glasausgangsmaterialien, wie z.B. ein Oxid, ein Hydroxid, ein Carbonat und ein Nitrat, wurden in einer geeigneten Weise ausgewählt und abgewogen, so dass 1000 g als Glas erhalten wurden. Die gemischten Ausgangsmaterialien wurden in einen Platintiegel eingebracht und für etwa 3 Stunden in einen Widerstandsheizofen bei 1500 bis 1700 °C zum Schmelzen eingebracht, worauf entschäumt und homogenisiert wurde. Das erhaltene geschmolzene Glas wurde in ein Formmaterial gegossen, für 1 Stunde bei der Temperatur des Glasübergangspunkts + 50 °C gehalten und dann mit einer Geschwindigkeit von 0,5 °C/min auf Raumtemperatur gekühlt. Auf diese Weise wurde ein Glasblock erhalten. Der erhaltene Glasblock wurde geschnitten, geschliffen und poliert und dann den folgenden Messungen unterzogen.

[0218] Die Dichte wurde mit einem hydrostatischen Wägeverfahren (JIS Z8807, Verfahren zur Messung der Dichte und der relativen Dichte eines Feststoffs) gemessen.

[0219] Der lineare Ausdehnungskoeffizient α und der Glasübergangspunkt T_g wurden gemäß dem Verfahren von JIS R3102 (Testverfahren für die durchschnittliche lineare Wärmeausdehnung von Glas) gemessen.

[0220] Der Young'sche Modul E, die Synthesegeschwindigkeit G und das Poisson-Verhältnis wurden mit einem Ultraschallpulsverfahren gemessen (JIS R1602).

[0221] Der X-Wert, der Y-Wert und der Z-Wert in den Beispielen 2-1 bis 2-53 sind gezeigt.

[0222] Entsprechend dem Vorstehenden wurde die Entglasungstemperatur T abgeschätzt und die Temperatur T4, bei der die Viskosität 10^4 dPa·s erreicht, wurde gemessen.

[0223] Diese Ergebnisse sind in den Tabellen 16 bis 20 gezeigt.

[0224] Das Beispiel, das im Beispiel 2-51 beschrieben ist, ist das Beispiel, das in US 2015/0259244 A1 beschrieben ist.

[0225] Die Beispiele 2-1, 2-3 bis 2-50 und 2-52 sind Beispiele dafür, dass der X-Wert 30000 oder mehr beträgt, und selbst wenn größere CS und DOL eingebracht wurden, kann ein Glas mit einer höheren Sicherheit erhalten werden, so dass die Anzahl von Fragmenten, wenn das Glas zerbrochen wurde, ausreichend gering ist. Andererseits beträgt der X-Wert im Beispiel 2-2 und im Beispiel 2-51 30000 oder weniger.

[0226] Die Beispiele 2-1, 2-3 bis 2-50 und 2-52 sind Beispiele dafür, dass der Z-Wert 20000 oder mehr beträgt, und selbst wenn größere CS und DOL eingebracht wurden, kann ein Glas mit einer höheren Sicherheit erhalten werden, so dass die Anzahl von Fragmenten, wenn das Glas zerbrochen wurde, ausreichend gering ist. Andererseits beträgt der Z-Wert im Beispiel 2-2 und im Beispiel 2-51 20000 oder weniger.

[Tabelle 16]

(mol-%)	Bsp. 2-1	Bsp. 2-2	Bsp. 2-3	Bsp. 2-4	Bsp. 2-5	Bsp. 2-6	Bsp. 2-7	Bsp. 2-8	Bsp. 2-9	Bsp. 2-10	Bsp. 2-11	Bsp. 2-12
SiO ₂	68	68	68	68	68	68	60	50	50	50	60	60
Al ₂ O ₃	10	10	10	10	10	10	20	30	25	30	20	20
B ₂ O ₃	0											
P ₂ O ₅	0											
Li ₂ O	0									10	10	10
Na ₂ O	12	10	8	14	14	14	10	10	10			10
K ₂ O	6	12	0	0	0	0	0					0
MgO	4	0	14				10	10	10	10	5	0
CaO	0			8								
SrO	0				8							
BaO	0					8						
ZnO												
TiO ₂												
ZrO ₂	0								5		5	0
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dichte (g/cm ³)	2,44	2,45	2,45	2,48	2,61	2,73	2,50	2,58	2,72	2,58	2,60	2,44
α_{50-350} (10 ⁷ /°C)			58,0				57,0					
T _q (°C)			722				748					
E (GPa)	70,9	66,9	80,9	75,3	74,4	72,6	86,0	99,1	101,0	1110	100	83,3
G	29,1	27,3	33,0	30,3	28,5	26,6	34,4	38,4	37,2	1,0 43,0	38,5	34,1
Poisson-Verhältnis	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,22	0,21	0,23	0,23	0,22
K _{1c}	0,69	0,63	0,84	0,75	0,75	0,73	0,89	0,87		1,03		0,84
X-Wert	33496	26255	47832	40129	36761	30897	48235	52805	49134	61600	11	45205
Y-Wert	0,70	0,62	0,85	0,75	0,75	0,73	0,85	0,88	0,92	0,98	1,00	0,82
Z-Wert	22204	17154	30950	26527	24303	21975	31742	34612	34542	39550	35930	30522
T (°C)			1400 oder höher									
T ₄ (°C)			*1312									

[Tabelle 17]

(mol-%)	Bsp. 2-13	Bsp. 2-14	Bsp. 2-15	Bsp. 2-16	Bsp. 2-17	Bsp. 2-18	Bsp. 2-19	Bsp. 2-20	Bsp. 2-21	Bsp. 2-22	Bsp. 2-23	Bsp. 2-24
SiO ₂	58	58	58	58	68	68	62	58	54	58	58	62
Al ₂ O ₃	18	18	18	20	10	10	12	12	12	15	14	12
B ₂ O ₃	4						2	0	0	0	2	4

(mol-%)	Bsp. 2-13	Bsp. 2-14	Bsp. 2-15	Bsp. 2-16	Bsp. 2-17	Bsp. 2-18	Bsp. 2-19	Bsp. 2-20	Bsp. 2-21	Bsp. 2-22	Bsp. 2-23	Bsp. 2-24
P ₂ O ₅		4	4	2								
Li ₂ O	10	10					16	16	16	19	18	16
Na ₂ O	10	10	10	8	8	8	0	0	0	0	0	0
K ₂ O				2	0	0	0	0	0	0		0
MgO			10	10	12	12	6	6	8	6	6	4
CaO							0	6	8	0	0	0
SrO							0	0	0	0	0	0
BaO					2		0	0	0	0	0	0
ZnO												
TiO ₂												
ZrO ₂						2	2	2	2	2	2	2
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dichte (g/cm ³)					2,52	2,50	2,47	2,56	2,58	2,50	2,49	2,45
α50-350 (10 ⁷ /°C)												
T _q (°C)												
E (GPa)					79,6	82,3	89,0	95,7	96,9	92,2	90,8	86,4
G					31,6	32,9	36,0	37,3	37,5	36,9	36,5	35,3
Poisson-Verhältnis					0,22	0,22	0,23	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23
K1c		0,78					0,91	0,93		0,93	0,92	0,88
X-Wert	45483	39211	42241	44858	45372	45476	53400	57754	61206	55969	55510	52194
Y-Wert	0,76	0,78	0,81	0,83	0,84	0,87	0,91	0,93	0,93	0,94	0,91	0,88
Z-Wert	29912	25976	27196	28894	29630	30650	35026	37036	38546	36808	36202	34162
T(°C)												
T4 (°C)												

[Tabelle 18]

(mol-%)	Bsp. 2-25	Bsp. 2-26	Bsp. 2-27	Bsp. 2-28	Bsp. 2-29	Bsp. 2-30	Bsp. 2-31	Bsp. 2-32	Bsp. 2-33	Bsp. 2-34	Bsp. 2-35	Bsp. 2-36
SiO ₂	62	64	64	64	70	70	70	70	70	70	70	70
Al ₂ O ₃	12	12	12	12	10	10	10	8	11	11	10	10
B ₂ O ₃		0							2	2		
P ₂ O ₅	4											
Li ₂ O	16	16	16	16	12	12	10	8	11	11	10	8
Na ₂ O	0	0	0	0	3	1	1	1	1		4	5
K ₂ O	0	0	0	0							1	2
MgO	4	0	0	0	4	6	8	12	4	5	4	4
CaO	0	6	0	0								

(mol-%)	Bsp. 2-25	Bsp. 2-26	Bsp. 2-27	Bsp. 2-28	Bsp. 2-29	Bsp. 2-30	Bsp. 2-31	Bsp. 2-32	Bsp. 2-33	Bsp. 2-34	Bsp. 2-35	Bsp. 2-36
SrO	0	0	6	0								
BaO	0	0	0	6								
ZnO												
TiO ₂												
ZrO ₂	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dichte (g/cm ³)	2,44	2,52	2,61	2,70	2,42	2,42	2,43	2,45	2,40	2,40	2,43	2,43
α 50-350 (10 ⁷ /°C)												
Tg (°C)												
E (GPa)	83,4	90,9	89,4	87,4	87,3	86,5	87,3	88,3	83,7	83,9	83,5	81,7
G	34,2	36,1	34,3	32,3	36,1	35,7	35,9	36,1	34,9	35,0	34,4	33,6
Poisson-Verhältnis	0,21	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,22	0,21	0,21
K1c												
X-Wert	45922	52348	49822	45424	47128	49493	50099	51593	48146	49329	44951	42773
Y-Wert	0,89	0,92	0,91	0,90	0,88	0,91	0,91	0,92	0,88	0,90	0,86	0,84
Z-Wert	30226	34498	32830	31084	31569	32800	33044	33560	31922	32538	30150	28731
T(°C)					1250 oder höher			1300 oder höher		1300 oder höher	1140-1150	1091-1110
T4 (°C)					*1161			*1223		*1225	1195	1219

[Tabelle 19]

(mol-%)	Bsp. 2-37	Bsp. 2-38	Bsp. 2-39	Bsp. 2-40	Bsp. 2-41	Bsp. 2-42	Bsp. 2-43	Bsp. 2-44	Bsp. 2-45	Bsp. 2-46	Bsp. 2-47	Bsp. 2-48
SiO ₂	70	70	70	70	70	70	70	70	67	65	70	66
Al ₂ O ₃	10	10	11	11	12	12	12	12	16	18	10	14
B ₂ O ₃			2	2			2	2				
P ₂ O ₅												
Li ₂ O	10	8	8	6	8	6	7	6	9	10	10	8
Na ₂ O	2	3	2	3	3	4	3	3	4	4	3	5
K ₂ O	1	2	1	2	1	2	1	1	3	2	1	2
MgO	6	6	5	5	6	6	4	4			5	4
CaO												
SrO												
BaO												
ZnO												
TiO ₂												

(mol-%)	Bsp. 2-37	Bsp. 2-38	Bsp. 2-39	Bsp. 2-40	Bsp. 2-41	Bsp. 2-42	Bsp. 2-43	Bsp. 2-44	Bsp. 2-45	Bsp. 2-46	Bsp. 2-47	Bsp. 2-48
ZrO ₂	1	1	1	1			1	2	1	1	1	1
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dichte (g/cm ³)	2,43	2,43	2,41	2,41	2,40	2,41	2,40	2,43	2,42	2,44	2,42	2,45
α 50-350 (10 ⁷ /°C)												
Tg (°C)												
E (GPa)	85,0	83,2	82,4	80,6	83,8	81,9	81,7	82,6	81,3	83,7	84,2	83,6
G	35,0	34,2	34,3	33,4	34,9	34,0	34,0	34,0	33,6	34,4	34,7	34,2
Poisson-Verhältnis	0,22	0,21	0,22	0,21	0,22	0,21	0,22	0,22	0,21	0,22	0,21	0,22
K1c												
X-Wert	47316	45138	46272	44094	47030	44852	44948	44073	42091	44303	46133	44601
Y-Wert	0,88	0,86	0,86	0,84	0,87	0,85	0,86	0,87	0,84	0,86	0,87	0,85
Z-Wert	31381	29963	30625	29207	30888	29469	29996	29968	28631	30130	30766	29879
T(°C)	1230-1238										1194-1200	
T4 (°C)	*1210										1211	

[Tabelle 20]

(mol-%)	Bsp. 2-49	Bsp. 2-50	Bsp. 2-51	Bsp. 2-52	Bsp. 2-53
SiO ₂	65	60	57,43	69	70
Al ₂ O ₃	14	10	16,1	9	7,5
B ₂ O ₃					
P ₂ O ₅			6,54		
Li ₂ O	8	8		9,5	8
Na ₂ O	6	4	17,05	4,5	5,3
K ₂ O	2	2		1	1
MgO	4	8	2,81	6	7
CaO		8			0,2
SrO					
BaO					
ZnO					
TiO ₂				0,04	0,04
ZrO ₂	1			1	1
Summe	100	100	99,9	100,0	100,0
Dichte (g/cm ³)	2,46	2,53		2,44	2,44
α 50-350 (10 ⁷ /°C)				70	72
Tg (°C)				552	548
E (GPa)	83,6	88,5		84	82,6

(mol-%)	Bsp. 2-49	Bsp. 2-50	Bsp. 2-51	Bsp. 2-52	Bsp. 2-53
G	34,0	34,9			33,8
Poisson-Verhältnis	0,22	0,23		0,22	0,22
K1c					
X-Wert	44320	53536	29661	45856	
Y-Wert	0,84	0,83	0,69	0,85	
Z-Wert	29686	32999	19711	30462	
T(°C)	1250 oder höher	1120-1133		1116-1130	1090-1100
T4 (°C)	1227	1027		1163	1159

<Beziehung zwischen der Glasplattendicke, St, CT und der Anzahl von Fragmenten des Glases>

[0227] Zur Bewertung der Beziehung zwischen der Glasplattendicke und der Bruchfestigkeit des chemisch gehärteten Glases wurden chemisch gehärtete Gläser mit verschiedenen St-Werten und CT-Werten mit verschiedenen Zusammensetzungen bei verschiedenen chemischen Härtingsbedingungen hergestellt und die Beziehung zwischen der Plattendicke, wenn sie gebrochen ist, der Anzahl der Fragmente, dem St-Wert und dem CT-Wert wurde untersucht. Insbesondere wurden Gläser mit einer Größe von 25 mm × 25 mm × Dicke t (mm) der chemischen Härtingsbehandlung bei verschiedenen chemischen Härtingsbedingungen unterzogen, so dass die innere Zugspannungsfläche (St, Einheit: MPa·µm) oder die innere Zugspannung CT (Einheit: MPa) verändert wird und chemisch gehärtete Gläser mit verschiedener innerer Zugspannungsfläche (St, Einheit: MPa·µm) oder innerer Zugspannung CT (Einheit: MPa) hergestellt wurden. Durch die Verwendung eines Eindruckkörpers mit einem Eindruckkörperwinkel von 60° von einem Flächenwinkel wurden diese chemisch gehärteten Gläser durch einen Eindruckbruchtest zerbrochen, bei dem eine Last von 3 kgf für 15 Sekunden aufrechterhalten wird und die Anzahl der Stücke (die Anzahl der Fragmente) nach dem Brechen gezählt wurde. Die innere Zugspannungsfläche (St, Einheit: MPa·µm), wenn die Anzahl der Fragmente 10 betrug, wurde als St Grenze-Wert festgelegt, und die innere Zugspannung CT (Einheit: MPa), wenn die Anzahl der Fragmente 10 betrug, wurde als der CT Grenze-Wert festgelegt. In dem Fall, bei dem die Anzahl von Fragmenten über 10 liegt, wurde der St Grenze-Wert durch die folgende Formel unter Verwendung eines St_n-Werts, welcher der St-Wert der maximalen Anzahl n von Fragmenten ist, die weniger als 10 werden, und eines St_m-Werts festgelegt, welcher der St-Wert der minimalen Anzahl m von Fragmenten ist, die mehr als 10 werden.

$$\text{St Grenze - Wert} = \text{St}_n + (10 - n) \times (\text{St}_m - \text{St}_n) / (m - n)$$

[0228] In dem Fall, bei dem die Anzahl von Fragmenten über 10 liegt, wurde der CT Grenze-Wert durch die folgende Formel unter Verwendung eines CT_n-Werts, welcher der CT-Wert der maximalen Anzahl n von Fragmenten ist, die weniger als 10 werden, und eines CT_m-Werts festgelegt, welcher der CT-Wert der minimalen Anzahl m von Fragmenten ist, die mehr als 10 werden.

$$\text{CT Grenze - Wert} = \text{CT}_n + (10 - n) \times (\text{CT}_m - \text{CT}_n) / (m - n)$$

[0229] Der St-Wert und der CT-Wert werden wie folgt unter Verwendung der Werte St_F und CT_F, die durch ein Oberflächenspannungsmessgerät FSM-6000, hergestellt durch Orihara Manufacturing Co., Ltd., gemessen und durch ein dazugehöriges Programm FsmV analysiert werden, oder St_A und CT_A, die durch Messen mittels eines Doppelbrechungsbildgebungssystems Abrio-IM und einer dünn gemachten Probe erhalten werden, festgelegt.

$$\text{St} = \text{St}_F = 1,515 \times \text{St}_A$$

$$\text{CT} = \text{CT}_F = 1,28 \times \text{CT}_A$$

[0230] Dabei ist CT_F ein Wert, der mit einem Wert CT_{CV} identisch ist, der durch FsmV analysiert wird.

[0231] Die chemisch gehärteten Gläser der Beispiele CT-5, CT-16, CT-17 und CT-26 und die St Grenze- und CT Grenze-Werte in Bezug auf deren Plattendicken sind in den Tabellen 21 und 22 gezeigt. Ferner sind Graphen, bei denen St Grenze und CT Grenze des chemisch gehärteten Glases der Beispiele CT-5, CT-16, CT-17 und CT-26 für jede Plattendicke t (mm) aufgetragen sind, in den **Fig. 22** und **Fig. 23** gezeigt.

[0232] Aus der Tabelle 21 und der **Fig. 22** ist ersichtlich, dass St Grenze dazu neigt, linear mit der Plattendicke zuzunehmen, und es wird näherungsweise durch die folgende Formel dargestellt.

$$St(a,t) = a \times t + 7000 \text{ (Einheit: MPa} \cdot \mu\text{m)}$$

[0233] Es ist ersichtlich, dass sich die Konstante a in der vorstehenden Formel abhängig von dem chemisch gehärteten Glas ändert. St Grenze ist bei jeder Plattendicke groß, wenn sich der Wert a erhöht, und obwohl größere CS und DOL eingebracht werden, kann das chemisch gehärtete Glas als Glas verwendet werden, das eine geringere Anzahl von Fragmenten erzeugt.

[0234] Aus der Tabelle 22 und der **Fig. 23** ist ersichtlich, dass CT Grenze mit zunehmender Plattendicke zu einer Abnahme neigt, und es wird näherungsweise durch die folgende Formel dargestellt.

$$CT(b,c,t) = -b \times \ln(t) + c \text{ (Einheit: Mpa)}$$

[0235] Es ist ersichtlich, dass sich die Konstanten b und c in der vorstehenden Formel abhängig von dem chemisch gehärteten Glas ändern und b dazu neigt, monoton zu c zuzunehmen. Aus der **Fig. 23** ergibt sich, dass CT Grenze bei jeder Plattendicke groß ist, wenn die Werte b und c zunehmen, und obwohl größere CS und DOL eingebracht werden, kann das chemisch gehärtete Glas als Glas verwendet werden, das eine geringere Anzahl von Fragmenten erzeugt.

[Tabelle 21]

		Bsp. CT-13	Bsp. CT-17	Bsp. CT-16	Bsp. CT-26	Bsp. CT-5
Plattendicke (mm)	0,4			22476	21252	
	0,55		25519	31734	26847	35000
	0,8	30107		43007	35680	
	1		39917	48877	43266	56594
a			33092	43000	36100	49900

[Tabelle 22]

		Bsp. CT-13	Bsp. CT-17	Bsp. CT-16	Bsp. CT-26	Bsp. CT-5
Plattendicke (mm)	0,4			72,4	61,3	
	0,55		52,2	75,4	55,8	72
	0,8	42,6		66,4	50,3	
	1		44,6	56,9	48,4	57,8
b			13	21	14	23
c			44,6	56,9	48,4	57,8

[0236] Während die vorliegende Erfindung detailliert und unter Bezugnahme auf spezifische Ausführungsformen davon beschrieben worden ist, ist es für einen Fachmann klar, dass diese verändert und modifiziert werden kann, ohne von dem Wesen und dem Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0237] Die vorliegende Anmeldung basiert auf einer japanischen Patentanmeldung (Anmeldung Nr. 2016-010002), eingereicht am 21. Januar 2016, und einer japanischen Patentanmeldung (Anmeldung Nr. 2016-

204745), eingereicht am 18. Oktober 2016, wobei deren gesamter Inhalt hierin unter Bezugnahme einbezogen ist.

Bezugszeichenliste

- 1** Messprobe
- 11** Testplatte
- 12** Doppelseitiges Schaumklebeband
- 13** Glas
- 21** SUS-Platte
- 22** Quarzsand

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 8075999 [0006]
- US 2015/0259244 A1 [0224]
- JP 2016010002 [0237]

Patentansprüche

1. Chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr, bei dem ein Druckspannungswert (CS_{90}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 90 μm von einer Glasoberfläche 25 MPa oder mehr beträgt oder ein Druckspannungswert (CS_{100}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche 15 MPa oder mehr beträgt; und ein Wert von X 30000 oder mehr beträgt, wobei der Wert von X auf der Basis der folgenden Formel unter Verwendung der Gehalte als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis von Komponenten von SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 , Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO und ZrO_2 in einer Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases berechnet wird:

$$X = \text{SiO}_2 \times 329 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times 786 + \text{B}_2\text{O}_3 \times 627 + \text{P}_2\text{O}_5 \times (-941) + \text{Li}_2\text{O} \times 927 + \text{Na}_2\text{O} \times 47,5 + \text{K}_2\text{O} \times (-371) + \text{MgO} \times 1230 + \text{CaO} \times 1154 + \text{SrO} \times 733 + \text{ZrO}_2 \times 51,8$$

2. Chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr, bei dem ein Druckspannungswert (CS_{90}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 90 μm von einer Glasoberfläche 25 MPa oder mehr beträgt oder ein Druckspannungswert (CS_{100}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche 15 MPa oder mehr beträgt; und ein Wert von Z 20000 oder mehr beträgt, wobei der Wert von Z auf der Basis der folgenden Formel unter Verwendung der Gehalte als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis von Komponenten von SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , P_2O_5 , Li_2O , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , SrO , BaO und ZrO_2 in einer Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases berechnet wird:

$$Z = \text{SiO}_2 \times 237 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times 524 + \text{B}_2\text{O}_3 \times 228 + \text{P}_2\text{O}_5 \times (-756) + \text{Li}_2\text{O} \times 538 + \text{Na}_2\text{O} \times 44,2 + \text{K}_2\text{O} \times (-387) + \text{MgO} \times 660 + \text{CaO} \times 569 + \text{SrO} \times 291 + \text{ZrO}_2 \times 510$$

3. Chemisch gehärtetes Glas nach Anspruch 1 oder 2, das eine Plattenform mit einer Plattendicke t von 2 mm oder weniger aufweist.

4. Chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr und das die folgenden Formeln (1) und (2) erfüllt:

$$\text{StL}(t) \geq a \times t + 7000 \text{ (Einheit: Mpa} \cdot \mu\text{m)} \quad (1)$$

und

$$a \geq 30000 \text{ (Einheit: MPa} \cdot \mu\text{m} / \text{mm)} \quad (2),$$

wobei t eine Plattendicke (mm) ist und $\text{StL}(t)$ ein Wert von St Grenze bei der Plattendicke t ist.

5. Chemisch gehärtetes Glas nach Anspruch 4, das $a \geq 35000$ erfüllt.

6. Chemisch gehärtetes Glas mit einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr und das die folgenden Formeln (3), (4) und (5) erfüllt:

$$\text{CTL}(t) \geq -b \times \ln(t) + c \text{ (Einheit: Mpa)} \quad (3),$$

$$b \geq 14 \text{ (Einheit: Mpa)} \quad (4)$$

und

$$c \geq 48,4 \text{ (Einheit: Mpa)} \quad (5),$$

wobei t eine Plattendicke (mm) ist und $\text{CTL}(t)$ ein Wert von CT Grenze bei der Plattendicke t ist.

7. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 4 bis 6, das eine Plattenform mit einer Plattendicke t von 2 mm oder weniger aufweist.

8. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 4 bis 7, bei dem ein Druckspannungswert (CS_{90}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 90 μm von einer Glasoberfläche 25 MPa oder mehr beträgt oder ein Druckspannungswert (CS_{100}) in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von der Glasoberfläche 15 MPa oder mehr beträgt.

9. Chemisch gehärtetes Glas mit einer durchschnittlichen Bruchhöhe in einem nachstehend beschriebenen Fallenlassen-auf-Sand-Test von 250 mm oder mehr, einer Anzahl von Fragmenten in einem Eindruckbruchtest, der nachstehend beschrieben ist, von 30 oder weniger, einer Plattendicke t von 0,4 bis 2 mm, einer Oberflächendruckspannung (CS) von 300 MPa oder mehr und einer Tiefe einer Druckspannungsschicht (DOL) von 100 μm oder mehr:

Bedingungen des Fallenlassen-auf-Sand-Tests: Ein chemisch gehärtetes Glas (50 mm \times 50 mm \times Plattendicke t (mm)) wird mit einem doppelseitigen Schaumklebeband (50 mm \times 50 mm \times Dicke 3 mm) zur Herstellung einer Messprobe an eine harte Nylontestplatte (50 mm \times 50 mm, Gewicht: 54 g) geklebt. 1 g Quarzsand (#5 Quarzsand, hergestellt durch Takeori Kogyo-Sho) wird einheitlich auf eine SUS-Platte mit einer Größe von 15 cm \times 15 cm aufgebracht und die hergestellte Messprobe wird von einer vorgegebenen Höhe (Fallhöhe) auf die SUS-Platte, auf der Quarzsand aufgebracht ist, fallengelassen, so dass das chemisch gehärtete Glas nach unten zeigt. Mit dem Falltest wird bei einer Fallhöhe von 10 mm begonnen und die Höhe wird jeweils um 10 mm angehoben. Die Höhe, bei der das chemisch gehärtete Glas gebrochen ist, wird als Bruchhöhe (Einheit: mm) festgelegt. Der Falltest wird in jedem Beispiel 5 Mal oder häufiger durchgeführt und der Durchschnittswert dieser Bruchhöhen in dem Falltest wird als durchschnittliche Bruchhöhe (Einheit: mm) festgelegt, und Bedingungen des Eindruckbruchtests:

Bezüglich eines chemisch gehärteten Glases mit 25 mm \times 25 mm \times Plattendicke t (mm) wird das chemisch gehärtete Glas durch einen Eindruckbruchtest bricht, bei dem eine Last von 3 bis 10 kgf für 15 Sekunden unter Verwendung eines Diamanteindruckkörpers mit einem Eindruckkörperwinkel eines Flächenwinkels von 60° ausgeübt wird und die Anzahl von Fragmenten des chemisch gehärteten Glases nach dem Brechen gezählt wird. In dem Fall, bei dem ein chemisch gehärtetes Glas mit einer Größe von mehr als 25 mm \times 25 mm verwendet wird, wird ein Bereich von 25 mm \times 25 mm in dem chemisch gehärteten Glas angegeben und ein Eindruckbruchtest und die Messung der Anzahl von Fragmenten werden in dem Bereich durchgeführt. In dem Fall, bei dem das chemisch gehärtete Glas eine gekrümmte Form aufweist, wird eine Größe von 25 mm \times 25 mm als vorgewölbter Bereich auf der gekrümmten Oberfläche des chemisch gehärteten Glases angegeben und der Eindruckbruchtest und die Messung der Anzahl von Fragmenten werden in dem Bereich durchgeführt.

10. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem das Produkt ($CS_{100} \times t^2$) eines Druckspannungswerts in einem Abschnitt bei einer Tiefe von 100 μm von einer Glasoberfläche und des Quadrats der Plattendicke t (mm) 5 MPa $\cdot\text{mm}^2$ oder mehr beträgt.

11. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem die Fläche Sc (MPa $\cdot\mu\text{m}$) einer Druckspannungsschicht 30000 MPa $\cdot\mu\text{m}$ oder mehr beträgt.

12. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem die Tiefe d_n eines Abschnitts, bei der die Größe einer inneren Druckspannung 1/2 der Oberflächendruckspannung (CS) erreicht, 8 μm oder mehr beträgt.

13. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem die Position d_M , bei der die Druckspannung maximal ist, in einem Bereich bis zu 5 μm von einer Glasoberfläche liegt.

14. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei dem die Tiefe der Druckspannungsschicht (DOL) 110 μm oder mehr beträgt.

15. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei dem ein Glas mit einer Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases einen Bruchzähigkeitswert ($K1c$) von 0,7 MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$ oder mehr aufweist.

16. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 15, das eine Fläche St (MPa $\cdot\mu\text{m}$) einer inneren Zugschicht von gleich oder weniger als $StL(t)$ (MPa $\cdot\mu\text{m}$) aufweist, wobei t eine Plattendicke (mm) ist und $StL(t)$ ein Wert von St Grenze bei der Plattendicke t ist.

17. Chemisch gehärtetes Glas nach einem der Ansprüche 1 bis 16, das eine Spannung der inneren Zug-schicht CT (MPa) von gleich oder weniger als CTL(t) (MPa) aufweist, wobei t eine Plattendicke (mm) ist und CTL(t) ein Wert von CT Grenze bei der Plattendicke t ist.

18. Matrixzusammensetzung des chemisch gehärteten Glases nach einem der Ansprüche 1 bis 17, umfassend, als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis, 50 bis 80 % SiO₂, 1 bis 30 % Al₂O₃, 0 bis 5 % B₂O₃, 0 bis 4 % P₂O₅, 0 bis 20 % Li₂O, 0 bis 8 % Na₂O, 0 bis 10 % K₂O, 0 bis 20 % MgO, 0 bis 20 % CaO, 0 bis 20 % SrO, 0 bis 15 % BaO, 0 bis 10 % ZnO, 0 bis 1 % TiO₂ und 0 bis 8 % ZrO₂.

19. Glas zum chemischen Härten, umfassend, als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis, 63 bis 80 % SiO₂, 7 bis 30 % Al₂O₃, 0 bis 5 % B₂O₃, 0 bis 4 % P₂O₅, 5 bis 15 % Li₂O, 4 bis 8 % Na₂O, 0 bis 2 % K₂O, 3 bis 10 % MgO, 0 bis 5 % CaO, 0 bis 20 % SrO, 0 bis 15 % BaO, 0 bis 10 % ZnO, 0 bis 1 % TiO₂ und 0 bis 8 % ZrO₂ und das nicht Ta₂O₅, Gd₂O₃, As₂O₃ und Sb₂O₃ umfasst, wobei ein Wert von X is 30000 oder mehr beträgt, wobei der Wert von X auf der Basis der folgenden Formel unter Verwendung der Gehalte als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis von Komponenten von SiO₂, Al₂O₃, B₂O₃, P₂O₅, Li₂O, Na₂O, K₂O, MgO, CaO, SrO, BaO und ZrO₂ berechnet wird:

$$Z = \text{SiO}_2 \times 329 + \text{Al}_2\text{O}_3 \times 786 + \text{B}_2\text{O}_3 \times 627 + \text{P}_2\text{O}_5 \times (-941) + \text{Li}_2\text{O} \times 927 + \text{Na}_2\text{O} \times 47,5 + \text{K}_2\text{O} \times (-371) + \text{MgO} \times 1230 + \text{CaO} \times 1154 + \text{SrO} \times 733 + \text{ZrO}_2 \times 51,8.$$

20. Glas zum chemischen Härten nach Anspruch 19, bei dem der Gehalt von ZrO₂ als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis 1,2 % oder weniger beträgt.

21. Glas zum chemischen Härten nach Anspruch 19 oder 20, bei dem der Gehalt von K₂O als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis 0,5 % oder mehr beträgt.

22. Glas zum chemischen Härten nach einem der Ansprüche 19 bis 21, bei dem der Gehalt von B₂O₃ als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis 1 % oder weniger beträgt.

23. Glas zum chemischen Härten nach einem der Ansprüche 19 bis 22, bei dem Gehalt von Al₂O₃ als Molprozentsatz auf einer Oxidbasis 11 % oder weniger beträgt.

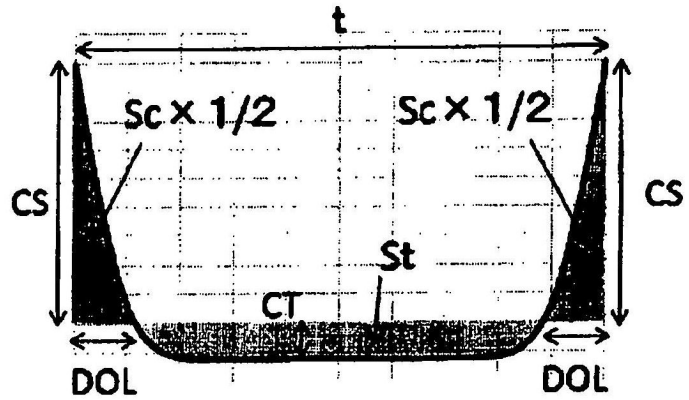
24. Glas zum chemischen Härten nach einem der Ansprüche 19 bis 23, bei dem die Entglasungstemperatur T mit einer Temperatur T4, bei der die Viskosität 10⁴ dPa·s erreicht, identisch oder niedriger als diese ist.

Es folgen 16 Seiten Zeichnungen

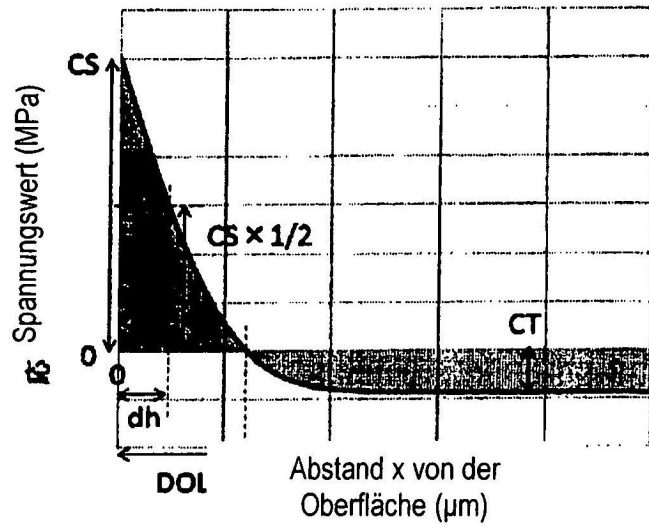
Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

(a)



(b)



(c)

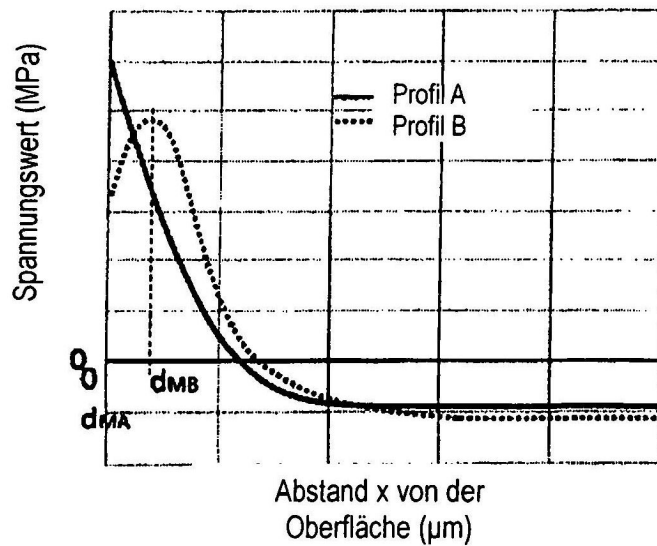
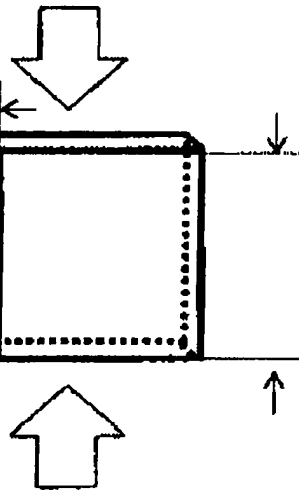


Fig. 2

(a)

Probe nach dem Härten und vor dem Dünnermachen

0,2 ~ 2mm

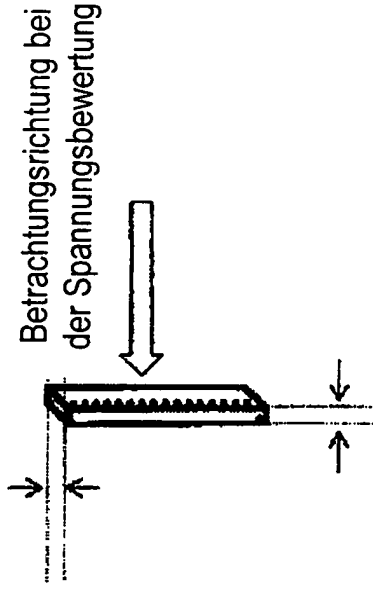


10 mm oder mehr

(b)

Probe nach dem Dünnermachen

0,2 ~ 2mm



150 bis 250 μm

Fig. 3

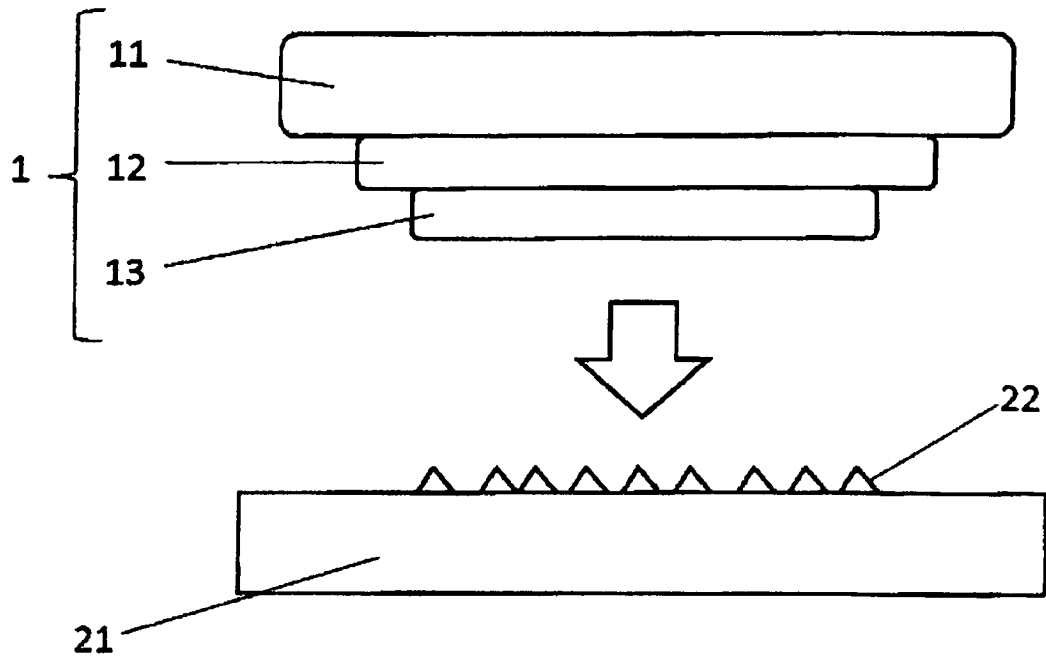


Fig. 4

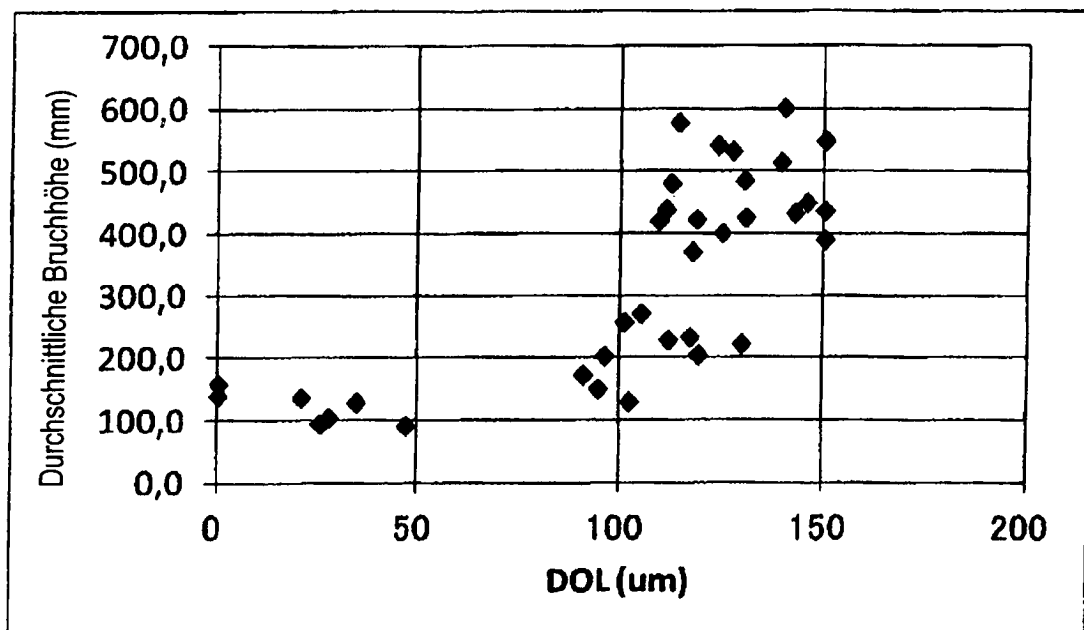


Fig. 5

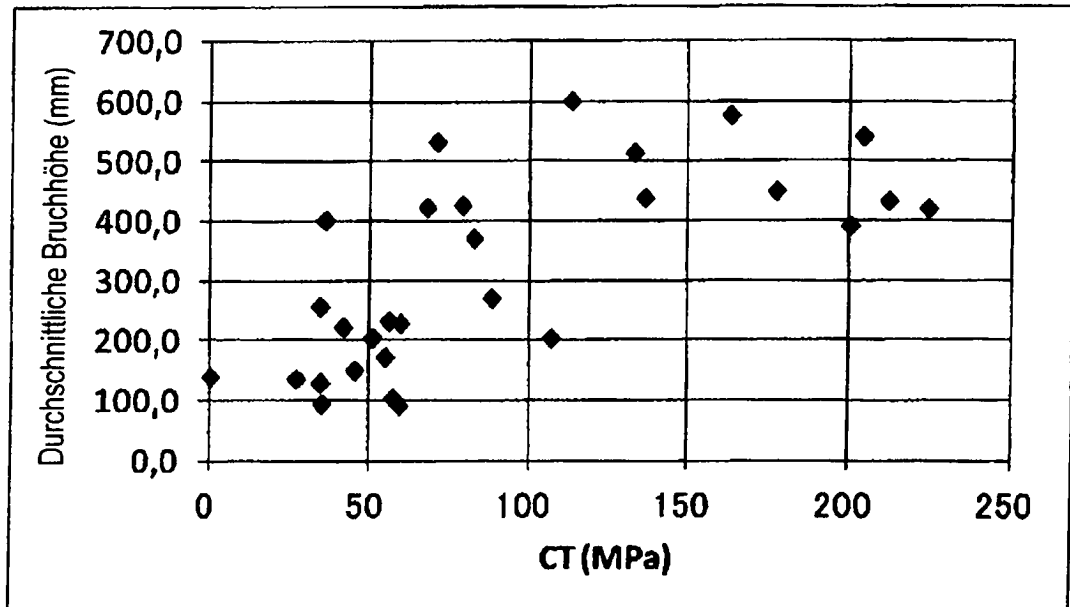


Fig. 6

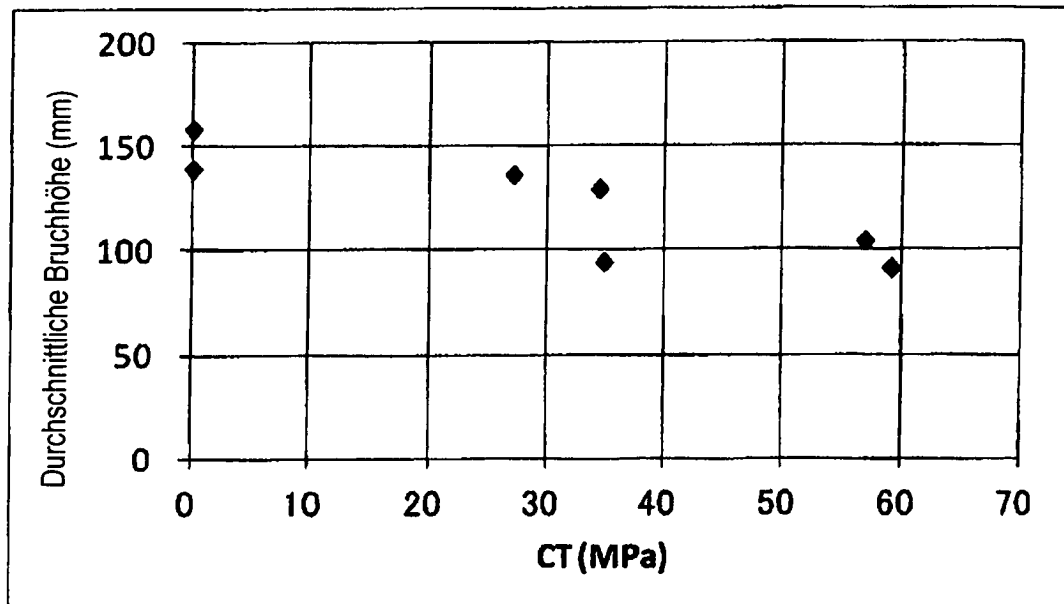


Fig. 7

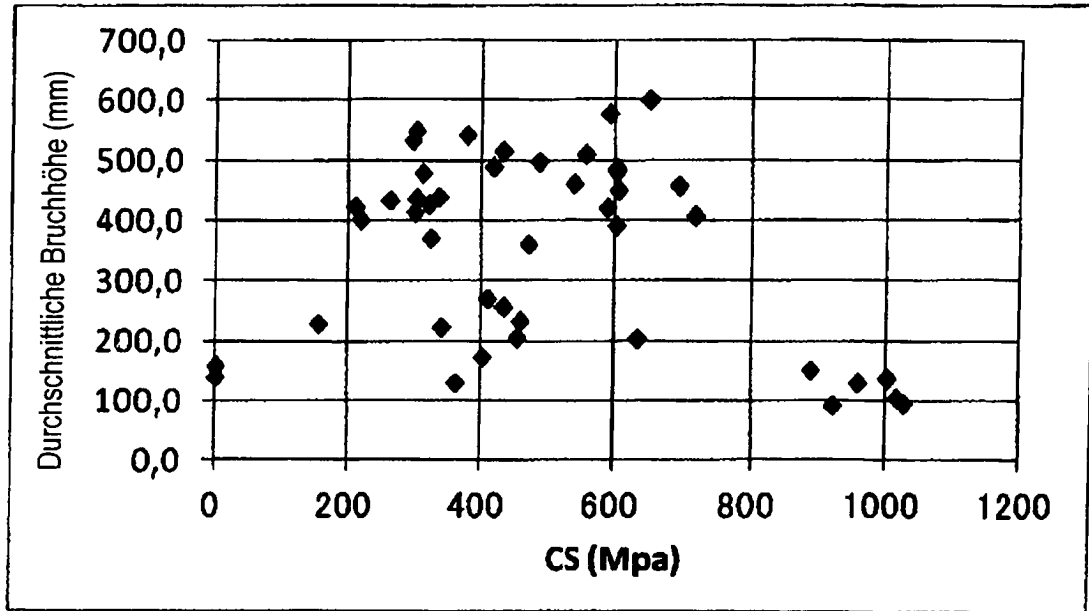


Fig. 8

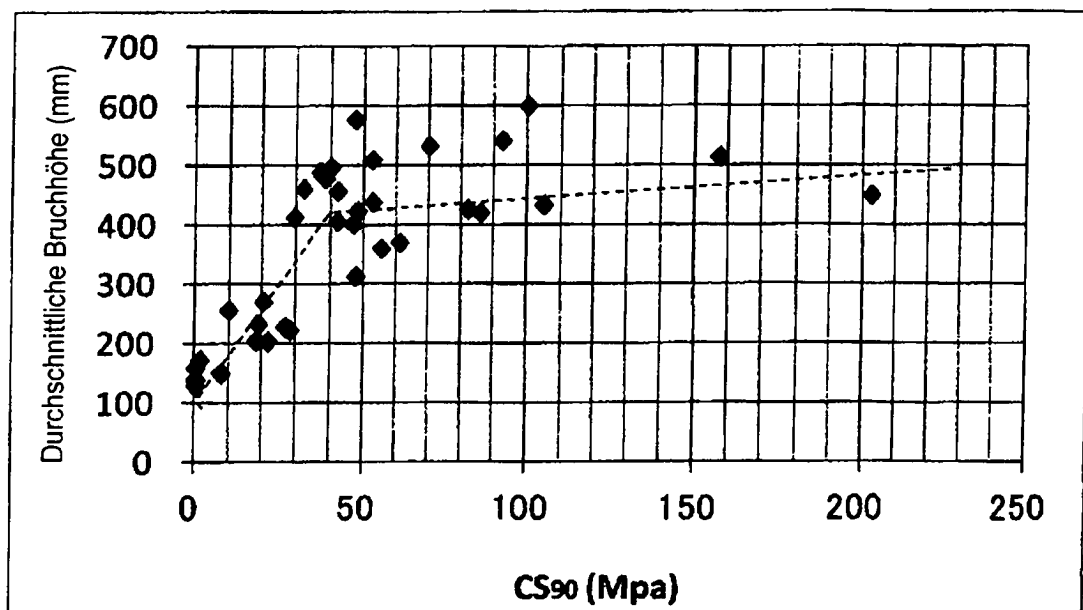


Fig. 9

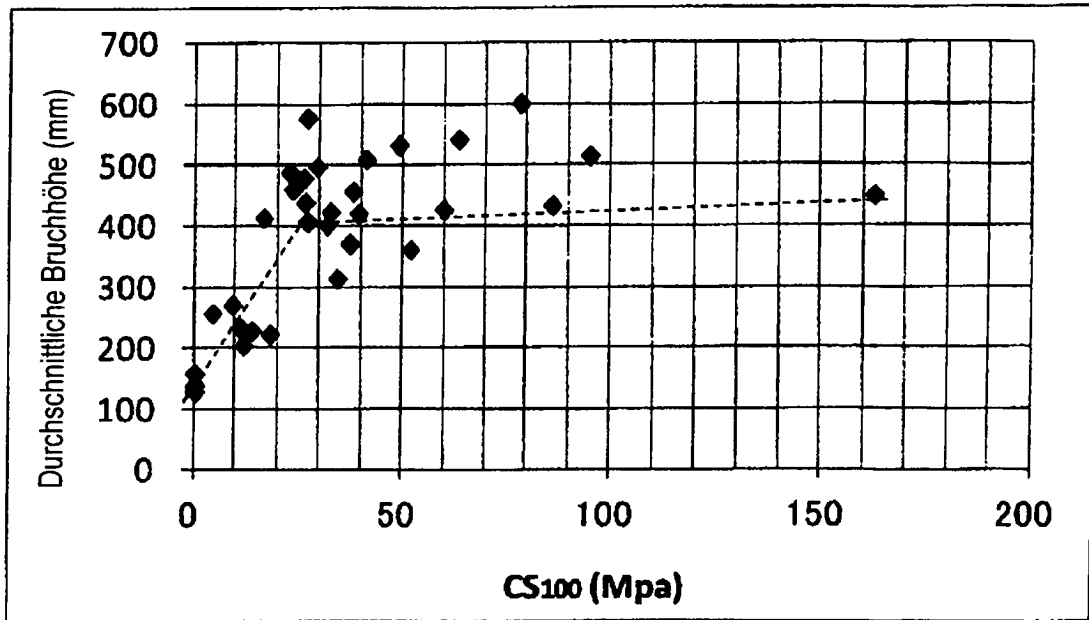


Fig. 10

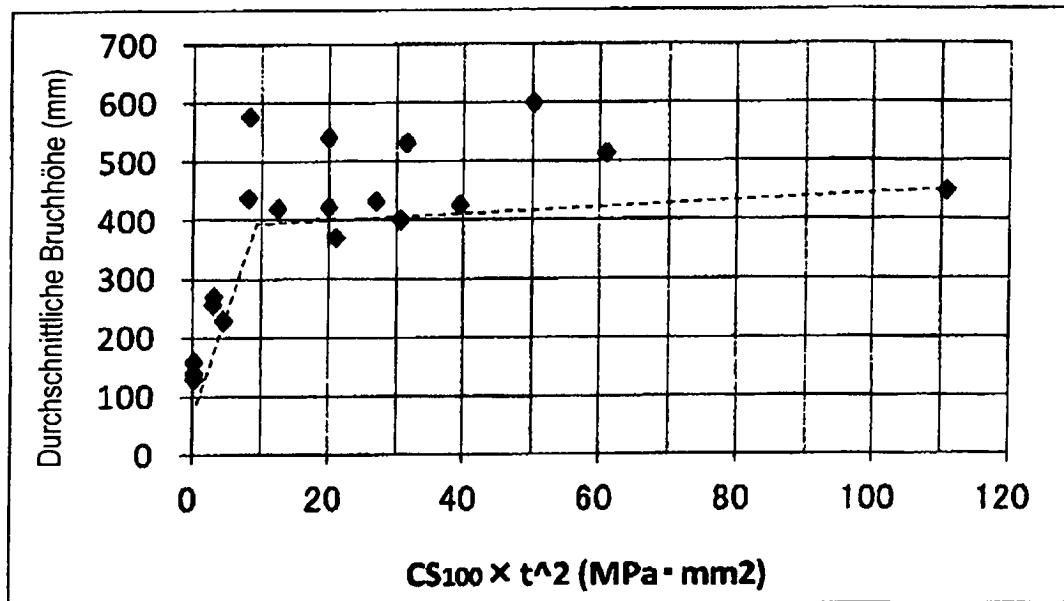


Fig. 11

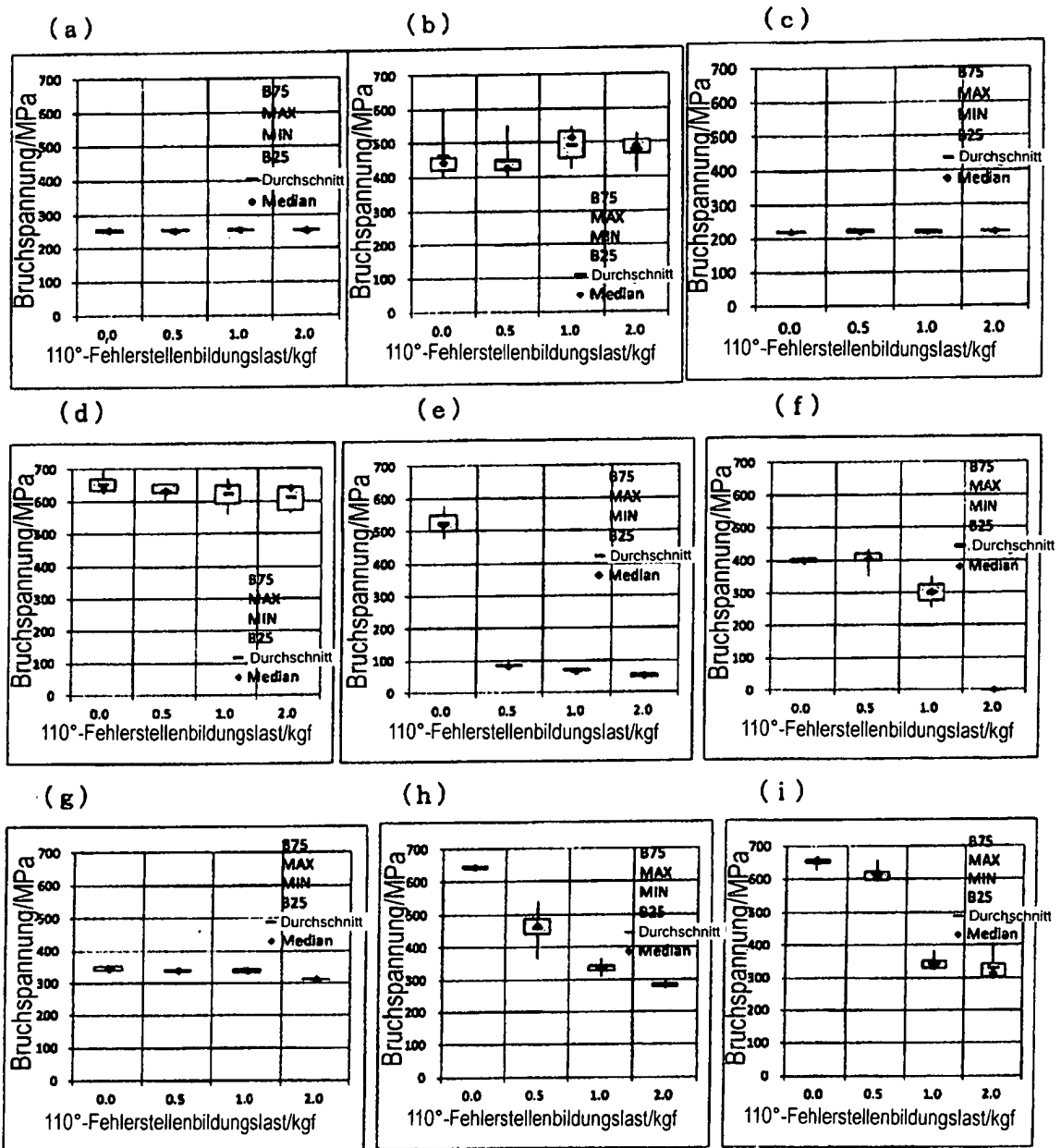


Fig. 12

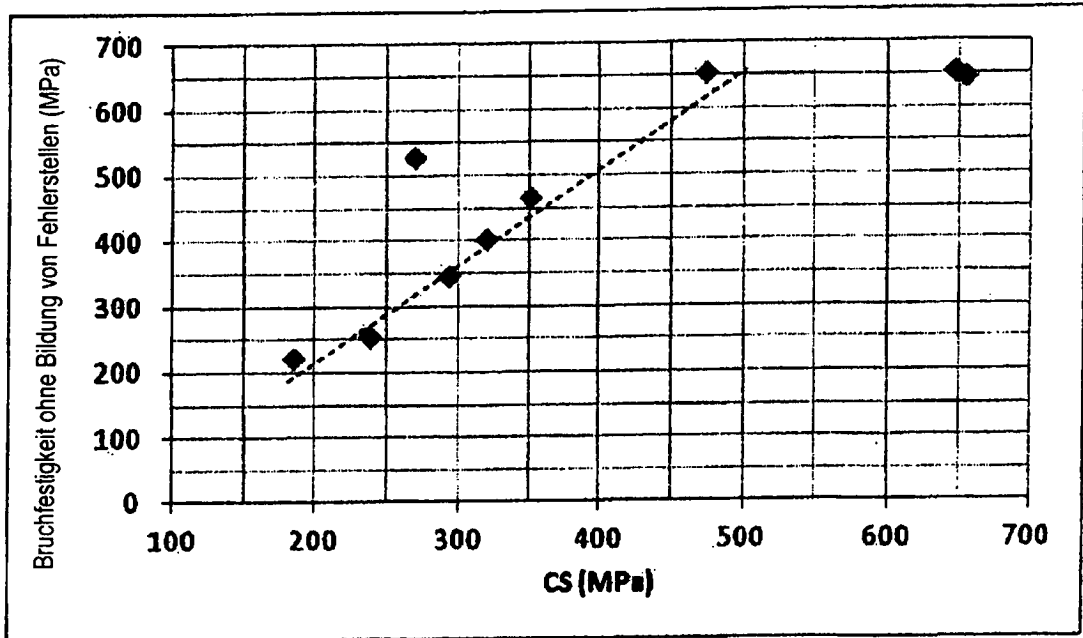


Fig. 13

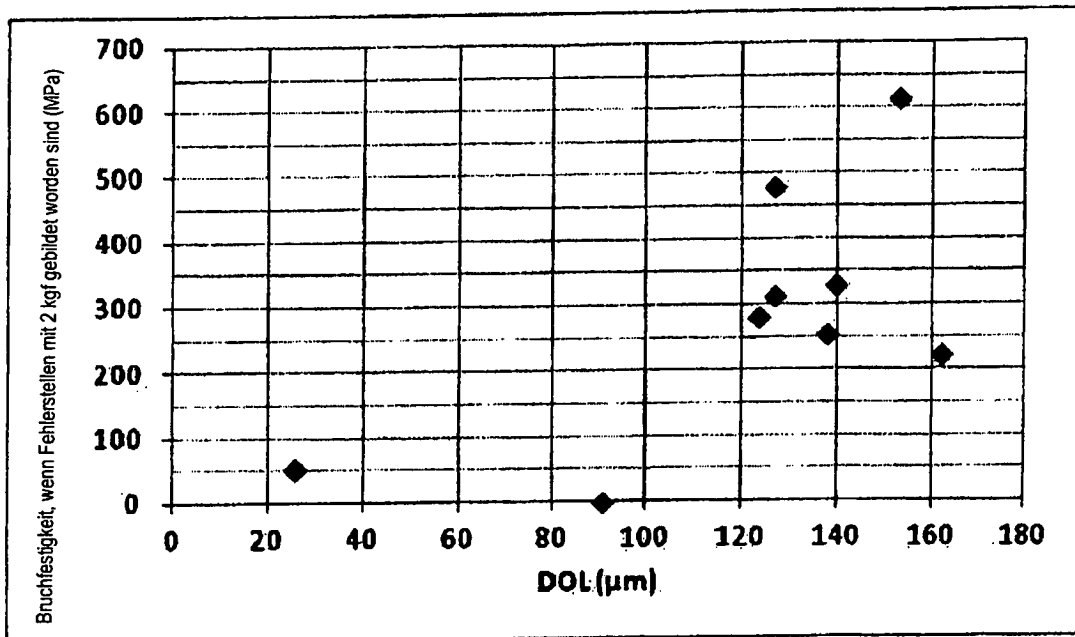


Fig. 14

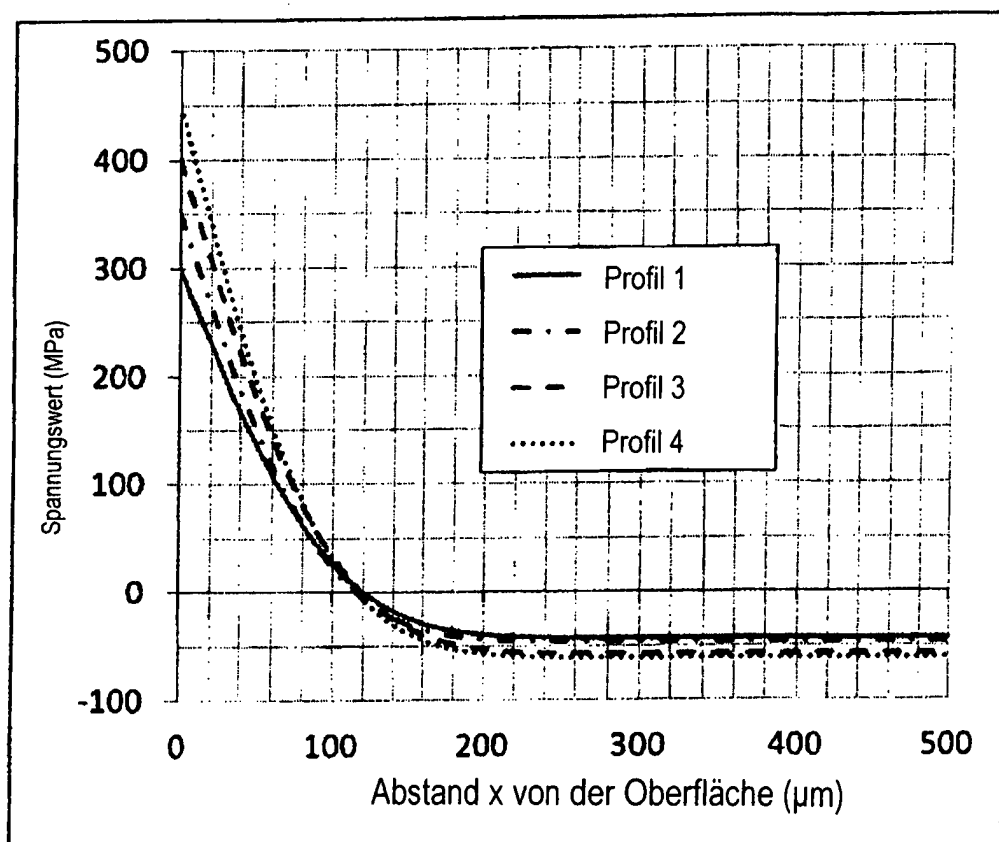


Fig. 15

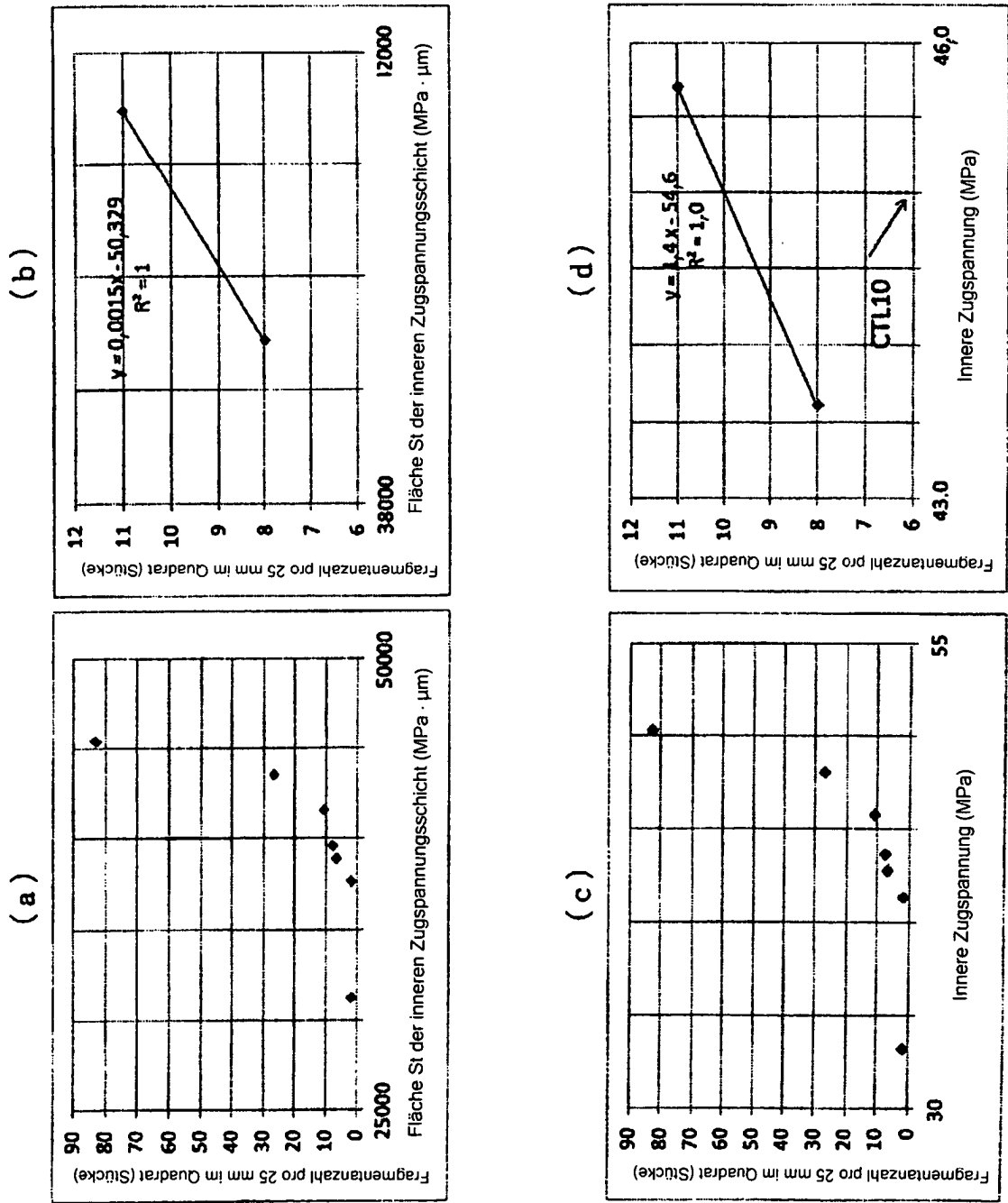


Fig. 16

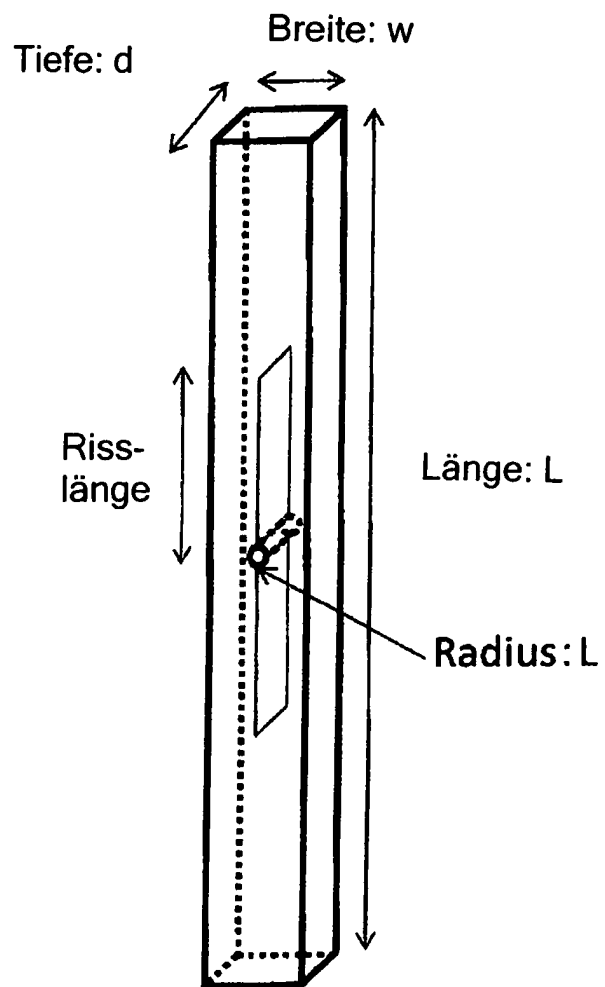


Fig. 17

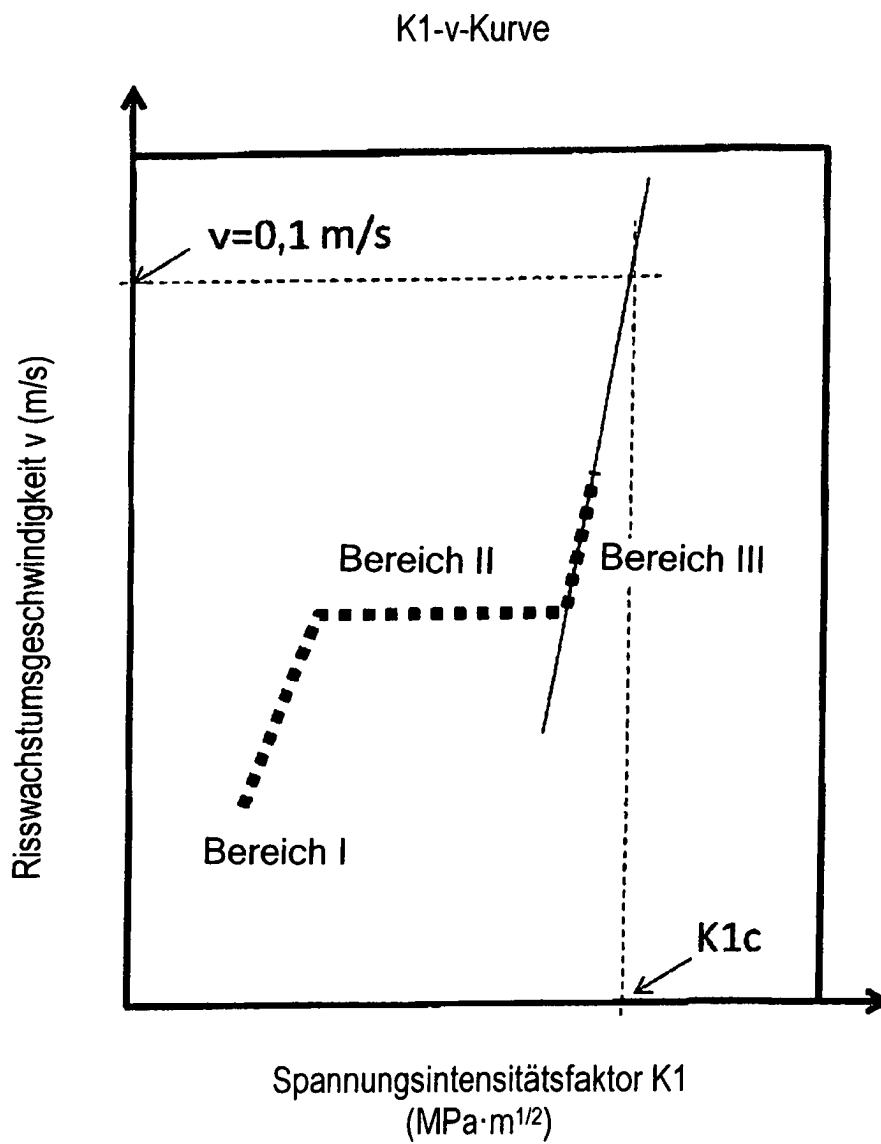


Fig. 18

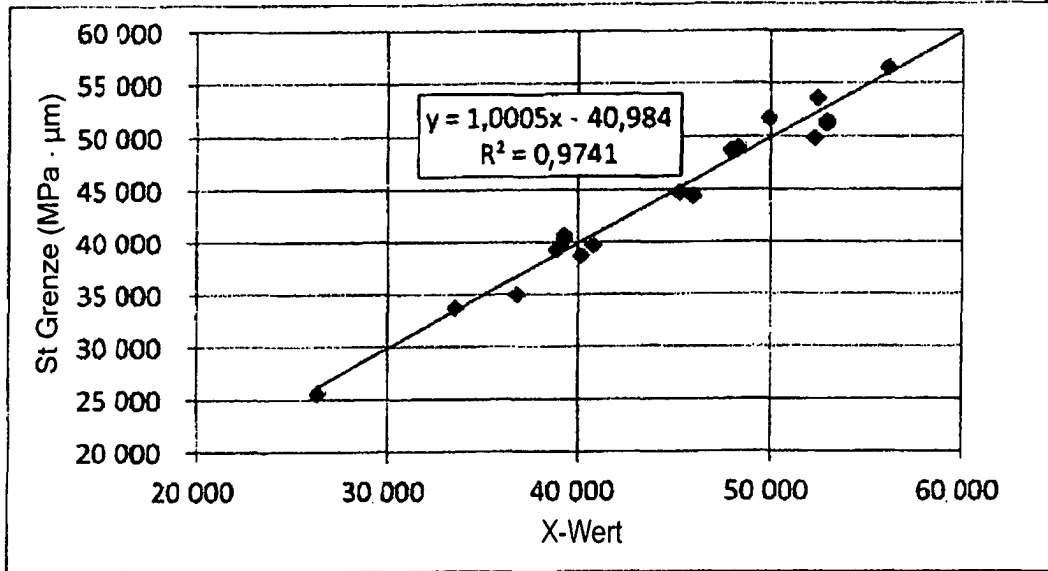


Fig. 19

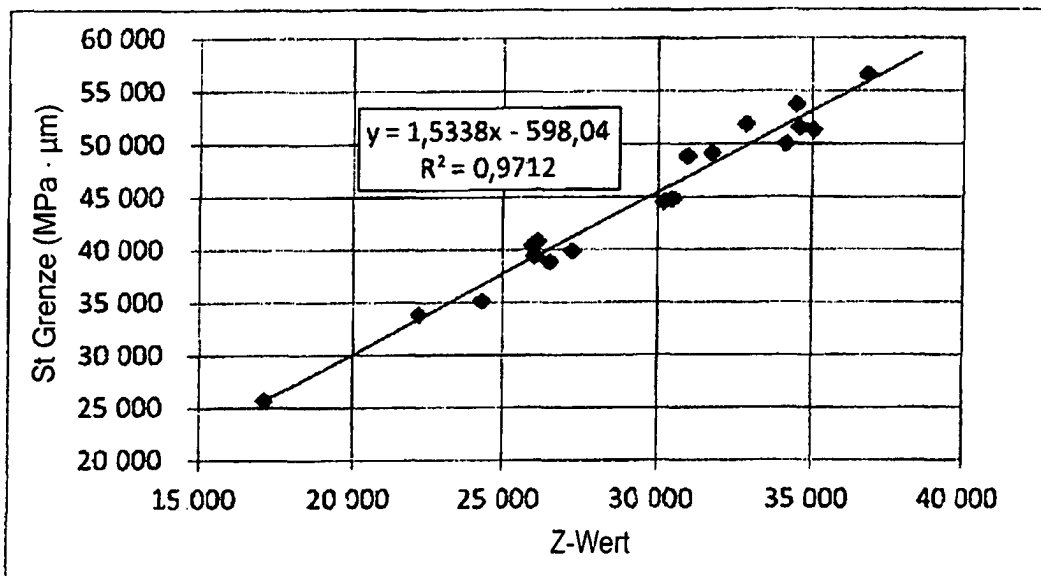


Fig. 20

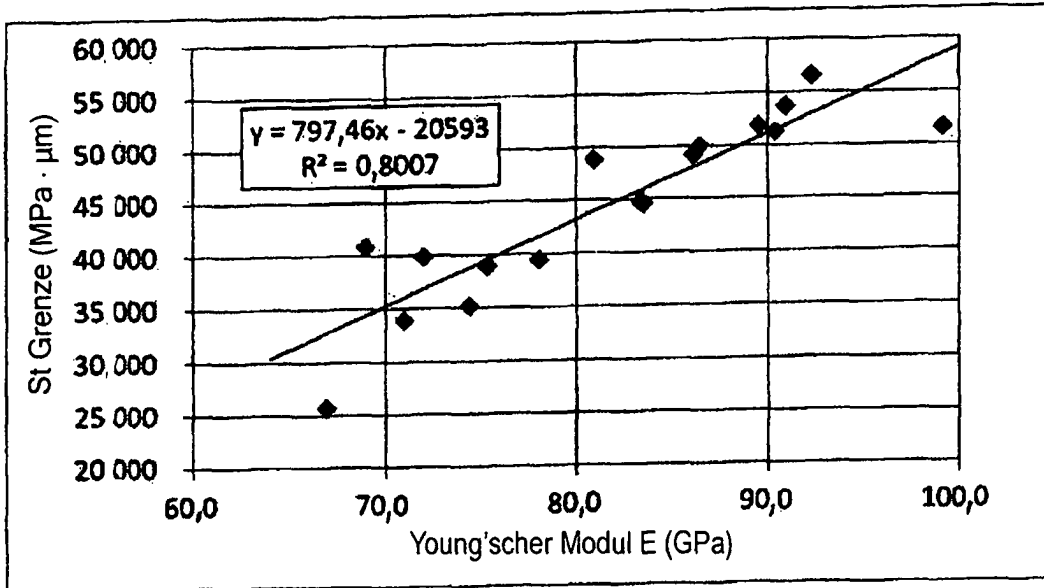


Fig. 21

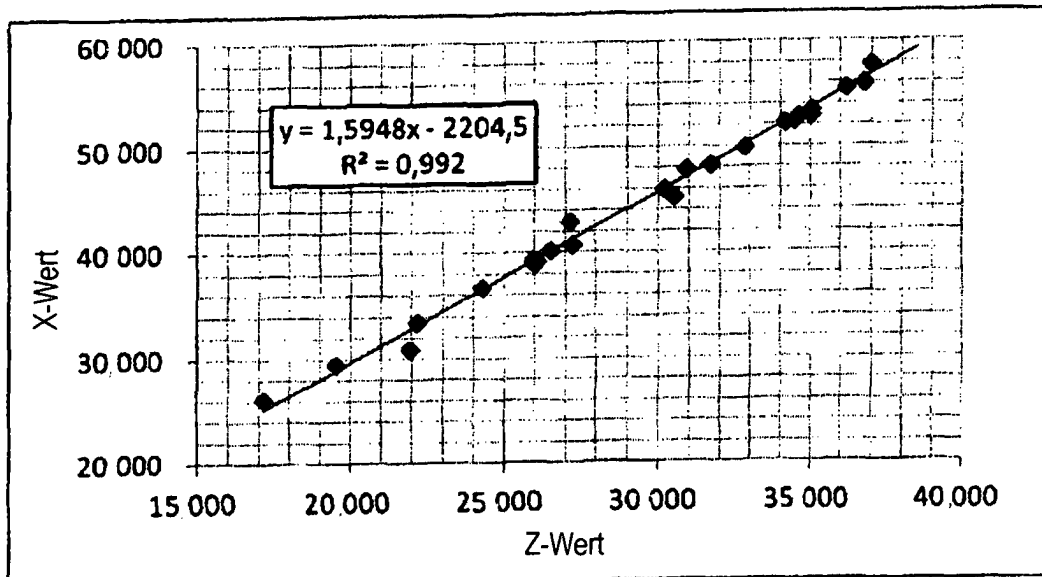


Fig. 22

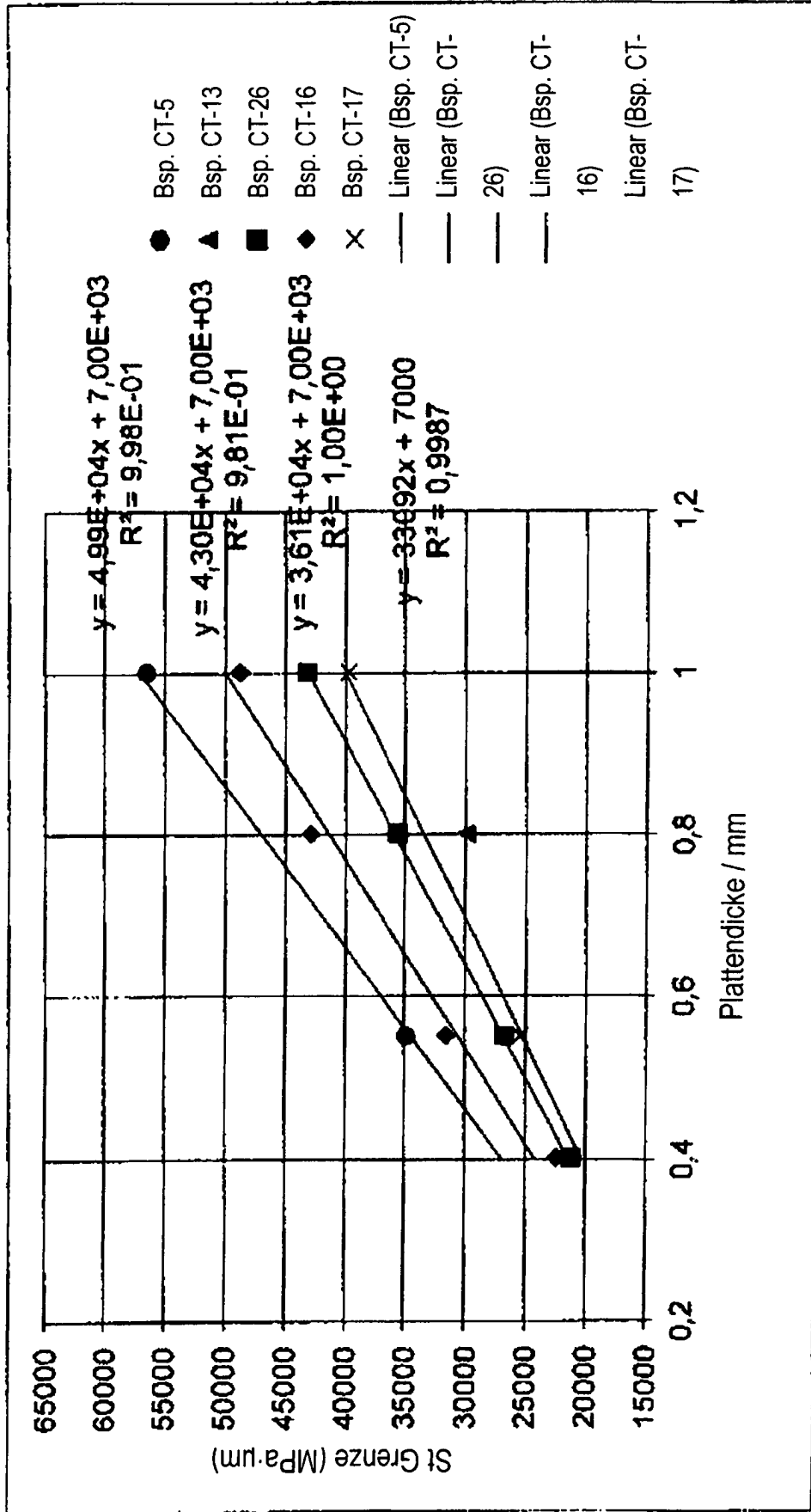


Fig. 23

