



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0106515  
(43) 공개일자 2021년08월30일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C03C 3/097 (2006.01) C03C 21/00 (2006.01)  
C03C 3/083 (2006.01) C03C 3/085 (2006.01)  
C03C 3/091 (2006.01) C03C 3/093 (2006.01)  
C03C 3/11 (2006.01) G06F 3/041 (2006.01)  
G09F 9/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
C03C 3/097 (2013.01)  
C03C 21/002 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7022729
- (22) 출원일자(국제) 2019년12월24일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2021년07월19일
- (86) 국제출원번호 PCT/JP2019/050571
- (87) 국제공개번호 WO 2020/138062  
국제공개일자 2020년07월02일
- (30) 우선권주장  
JP-P-2018-240718 2018년12월25일 일본(JP)  
(뒷면에 계속)

- (71) 출원인  
니폰 덴키 가라스 가부시키키가이샤  
일본 시가켄 오츠시 세이란 2초메 7반 1코
- (72) 발명자  
유키 켄  
일본 시가켄 오츠시 세이란 2초메 7반 1코 니폰  
덴키 가라스 가부시키키가이샤 나이  
스즈키 료타  
일본 시가켄 오츠시 세이란 2초메 7반 1코 니폰  
덴키 가라스 가부시키키가이샤 나이  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
하영욱

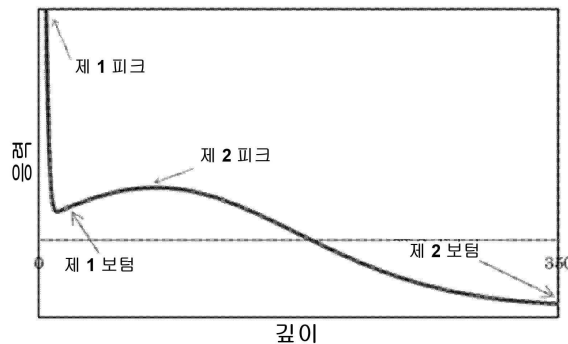
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 강화 유리판 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 발명의 강화 유리판은 표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리에 있어서, 유리 조성으로서, 몰%로 SiO<sub>2</sub> 50~80%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8~25%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0~10%, Li<sub>2</sub>O 3~15%, Na<sub>2</sub>O 3~21%, K<sub>2</sub>O 0~10%, MgO 0~10%, ZnO 0~10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0~15%를 함유하는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*C03C 3/083* (2013.01)  
*C03C 3/085* (2013.01)  
*C03C 3/091* (2013.01)  
*C03C 3/093* (2013.01)  
*C03C 3/11* (2013.01)  
*G06F 3/041* (2013.01)  
*G09F 9/00* (2021.05)

(30) 우선권주장

JP-P-2019-096572 2019년05월23일 일본(JP)  
JP-P-2019-164611 2019년09월10일 일본(JP)

(72) 발명자

**이치마루 토모노리**

일본 시가켄 오츠시 세이란 2쵸메 7반 1고 니폰 덴  
키 가라스 가부시키키가이샤 나이

**키노시타 키요타카**

일본 시가켄 오츠시 세이란 2쵸메 7반 1고 니폰 덴  
키 가라스 가부시키키가이샤 나이

**나가노 유타**

일본 시가켄 오츠시 세이란 2쵸메 7반 1고 니폰 덴  
키 가라스 가부시키키가이샤 나이

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리에 있어서, 유리 조성으로서, 몰%로 SiO<sub>2</sub> 50~80%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8~25%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0~10%, Li<sub>2</sub>O 3~15%, Na<sub>2</sub>O 3~21%, K<sub>2</sub>O 0~10%, MgO 0~10%, ZnO 0~10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0~15%를 함유하는 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

몰비([Na<sub>2</sub>O]-[Li<sub>2</sub>O])/([Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]) ≤ 0.29의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 3**

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

몰비([B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[Na<sub>2</sub>O]-[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>])/([Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[Li<sub>2</sub>O]) ≥ 0.30의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 4**

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

([Li<sub>2</sub>O]+[Na<sub>2</sub>O]+[K<sub>2</sub>O])를 12몰% 이상 함유하고, [SiO<sub>2</sub>]+1.2×[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]-3×[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]-2×[Li<sub>2</sub>O]-1.5×[Na<sub>2</sub>O]-[K<sub>2</sub>O]-[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] ≥ -22몰%의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 5**

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함유량이 0.1~2.3몰%인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 6**

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서,

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 0.1~4몰%인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 7**

제 1 항 내지 제 6 항 중 어느 한 항에 있어서,

압축 응력층의 최표면의 압축 응력값이 200~1000MPa인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 8**

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

압축 응력층의 응력 깊이가 50~200 $\mu$ m인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 9**

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서,

고온 점도 10<sup>2.5</sup>dPa·s에 있어서의 온도가 1650℃ 미만인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 10**

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,  
판두께방향의 중앙부에 오버플로우 합류면을 갖는 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 11**

제 1 항 내지 제 10 항 중 어느 한 항에 있어서,  
터치 패널 디스플레이의 커버 유리에 사용하는 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 12**

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서,  
표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리에 있어서, 유리 조성으로서,  $Al_2O_3$ 을 17몰% 이상,  $P_2O_5$ 를 1몰% 이상,  $([Li_2O]+[Na_2O]+[K_2O])$ 를 12몰% 이상 함유하고,  $[SiO_2]+1.2 \times [P_2O_5]-3 \times [Al_2O_3]-2 \times [Li_2O]-1.5 \times [Na_2O]-[K_2O]-[B_2O_3] \geq -22$ 몰%의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 13**

제 1 항 내지 제 12 항 중 어느 한 항에 있어서,  
 $Fe_2O_3$ 의 함유량이 0.001~0.1몰%인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 14**

제 1 항 내지 제 13 항 중 어느 한 항에 있어서,  
 $TiO_2$ 의 함유량이 0.001~0.1몰%인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 15**

제 1 항 내지 제 14 항 중 어느 한 항에 있어서,  
 $SnO_2$ 의 함유량이 0.01~1몰%인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 16**

제 1 항 내지 제 15 항 중 어느 한 항에 있어서,  
Cl의 함유량이 0.001~0.1몰%인 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 17**

제 1 항 내지 제 16 항 중 어느 한 항에 있어서,  
두께방향의 응력 프로파일이 적어도 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 것을 특징으로 하는 강화 유리판.

**청구항 18**

유리 조성으로서, 몰%로  $SiO_2$  50~80%,  $Al_2O_3$  8~25%,  $B_2O_3$  0~10%,  $Li_2O$  3~15%,  $Na_2O$  3~21%,  $K_2O$  0~10%,  $MgO$  0~10%,  $ZnO$  0~10%,  $P_2O_5$  0~15% 함유하는 것을 특징으로 하는 강화용 유리판.

**청구항 19**

유리 조성으로서, 몰%로  $SiO_2$  50~80%,  $Al_2O_3$  8~25%,  $B_2O_3$  0~10%,  $Li_2O$  3~15%,  $Na_2O$  3~21%,  $K_2O$  0~10%,  $MgO$  0~10%,  $ZnO$  0~10%,  $P_2O_5$  0~15%를 함유하는 강화용 유리판을 준비하는 준비 공정과, 당해 강화용 유리판에 대하여, 복수회의 이온 교환 처리를 행하여 표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리판을 얻는 이온 교환 공정을 구

비하는 것을 특징으로 하는 강화 유리판의 제조 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 강화 유리판 및 그 제조 방법에 관한 것이고, 특히 휴대전화, 디지털카메라, PDA(휴대단말) 등의 터치 패널 디스플레이의 커버 유리에 바람직한 강화 유리판 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 휴대전화, 디지털카메라, PDA(휴대단말) 등의 용도에는 터치 패널 디스플레이의 커버 유리로서, 이온 교환 처리된 강화 유리판이 사용되고 있다(특허문헌 1, 비특허문헌 1 참조).

**선행기술문헌**

**특허문헌**

[0003] (특허문헌 0001) 일본 특허 공개 2006-83045호 공보  
 (특허문헌 0002) 일본 특허 공표 2016-524581호 공보  
 (특허문헌 0003) 일본 특허 공표 2011-510903호 공보

**비특허문헌**

[0004] (비특허문헌 0001) 이즈미타니 테츠로 등, 「새로운 유리와 그 물성」, 초판, Japan Magement Systems, Inc. 1984년 8월 20일, p.451-498

**발명의 내용**

[0005] 그런데, 스마트폰을 잘못하여 노면 등에 떨어뜨리면, 커버 유리가 파손되어 스마트폰을 사용할 수 없게 되는 경우가 있다. 따라서, 이러한 사태를 회피하기 위해서, 강화 유리판의 강도를 높이는 것이 중요하게 된다.

[0006] 강화 유리판의 강도를 높이는 방법으로서, 응력 깊이를 깊게 하는 것이 유용하다. 상술하면, 스마트폰의 낙하시에 커버 유리가 노면과 충돌하면, 노면의 돌기물이나 모래알이 커버 유리에 침입하여 인장 응력층에 도달해서 파손에 이른다. 그래서, 압축 응력층의 응력 깊이를 깊게 하면, 노면의 돌기물이나 모래알이 인장 응력층까지 도달하기 어려워져, 커버 유리의 파손 확률을 저하시키는 것이 가능해진다.

[0007] 리튬 알루미늄노실리케이트 유리는 깊은 응력 깊이를 얻는데 유리하다. 특히, NaNO<sub>3</sub>을 포함하는 용융염 중에, 리튬 알루미늄노실리케이트 유리로 이루어지는 강화용 유리판을 침지하고, 유리 중의 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온을 이온 교환하면, 깊은 응력 깊이를 갖는 강화 유리판을 얻을 수 있다.

[0008] 그러나, 종래의 리튬 알루미늄노실리케이트 유리에서는 압축 응력층의 압축 응력값이 너무 작아질 우려가 있다. 그 한편, 압축 응력층의 압축 응력값을 크게 하도록 유리 조성을 설계하면, 화학적 안정성이 저하될 우려가 있었다. 또한, 리튬 알루미늄노실리케이트 유리는 유리 조성의 밸런스가 무너져, 성형시에 실투 파티클이 발생하기 쉽기 때문에 판 형상 성형이 곤란하다.

[0009] 본 발명은 상기 사정에 감안하여 이루어진 것이며, 그 기술적 과제는 판 형상으로 성형가능하고, 화학적 안정성이 우수하고, 또한 낙하시에 파손되기 어려운 강화 유리판을 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명자 등이 다양한 검토를 행한 결과, 유리 조성을 소정 범위로 규제함으로써, 상기 기술적 과제를 해결할 수 있는 것을 발견하여, 본 발명으로서 제안하는 것이다. 즉, 본 발명의 강화 유리판은 표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리에 있어서, 유리 조성으로서, 몰%로 SiO<sub>2</sub> 50~80%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8~25%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0~10%, Li<sub>2</sub>O 3~15%, Na<sub>2</sub>O 3~21%, K<sub>2</sub>O 0~10%, MgO 0~10%, ZnO 0~10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0~15%를 함유하는 것을 특징으로 한다.

- [0011] 또한, 본 발명의 강화 유리판은 몰비  $([Na_2O]-[Li_2O])/([Al_2O_3]+[B_2O_3]+[P_2O_5]) \leq 0.29$ 의 관계를 충족시키는 것이 바람직하다. 여기에서,  $[Na_2O]$ 는  $Na_2O$ 의 몰% 함유량을 가리킨다.  $[Li_2O]$ 는  $Li_2O$ 의 몰% 함유량을 가리킨다.  $[Al_2O_3]$ 은  $Al_2O_3$ 의 몰% 함유량을 가리킨다.  $[B_2O_3]$ 은  $B_2O_3$ 의 몰% 함유량을 가리킨다.  $[P_2O_5]$ 는  $P_2O_5$ 의 몰% 함유량을 가리킨다.  $([Na_2O]-[Li_2O])/([Al_2O_3]+[B_2O_3]+[P_2O_5])$ 는  $Na_2O$ 의 함유량으로부터  $Li_2O$ 의 함유량을 감한 양을,  $Al_2O_3$ ,  $B_2O_3$  및  $P_2O_5$ 의 함량으로 나눈 값을 가리킨다.
- [0012] 또한, 본 발명의 강화 유리판은 몰비  $([B_2O_3]+[Na_2O]-[P_2O_5])/([Al_2O_3]+[Li_2O]) \geq 0.30$ 의 관계를 충족시키는 것이 바람직하다. 여기에서,  $([B_2O_3]+[Na_2O]-[P_2O_5])/([Al_2O_3]+[Li_2O])$ 는  $B_2O_3$ 과  $Na_2O$ 의 함량으로부터  $P_2O_5$ 의 함유량을 감한 양을,  $Al_2O_3$ 과  $Li_2O$ 의 함량으로 나눈 값을 가리킨다.
- [0013] 또한, 본 발명의 강화 유리판은  $([Li_2O]+[Na_2O]+[K_2O])$ 를 12몰% 이상 함유하고,  $[SiO_2]+1.2 \times [P_2O_5]-3 \times [Al_2O_3]-2 \times [Li_2O]-1.5 \times [Na_2O]-[K_2O]-[B_2O_3] \geq -22$ 몰%의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 한다. 여기에서,  $[K_2O]$ 는  $K_2O$ 의 몰% 함유량을 가리킨다.  $[SiO_2]$ 는  $SiO_2$ 의 몰% 함유량을 가리킨다.  $([Li_2O]+[Na_2O]+[K_2O])$ 는  $Li_2O$ ,  $Na_2O$  및  $K_2O$ 의 함량을 가리킨다.  $[SiO_2]+1.2 \times [P_2O_5]-3 \times [Al_2O_3]-2 \times [Li_2O]-1.5 \times [Na_2O]-[K_2O]-[B_2O_3]$ 은  $SiO_2$ 의 함유량과  $P_2O_5$ 의 1.2배의 함유량의 합계로부터,  $Al_2O_3$ 의 3배의 함유량,  $Li_2O$ 의 2배의 함유량,  $Na_2O$ 의 1.5배의 함유량,  $K_2O$ 의 함유량 및  $B_2O_3$ 의 함유량을 감한 값을 가리킨다.
- [0014] 또한, 본 발명의 강화 유리판은  $P_2O_5$ 의 함유량이 0.1~2.3몰%인 것이 바람직하다.
- [0015] 또한, 본 발명의 강화 유리판은  $B_2O_3$ 의 함유량이 0.1~4몰%인 것이 바람직하다.
- [0016] 또한, 본 발명의 강화 유리판에서는 압축 응력층의 최표면의 압축 응력값이 200~1000MPa인 것이 바람직하다. 여기에서, 「최표면의 압축 응력값」과 「응력 깊이」는, 예를 들면 산란광 광탄성 응력계 SLP-1000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd. 제)을 사용하여 관찰되는 위상차 분포 곡선으로부터 측정된 값을 가리킨다. 그리고, 응력 깊이는 응력값이 제로가 되는 깊이를 가리킨다. 또한, 응력 특성의 산출에 있어서, 각 측정 시료의 굴절률을 1.51, 광학 탄성 정수를  $30.1[(nm/cm)/MPa]$ 로 한다.
- [0017] 또한, 본 발명의 강화 유리판에서는 압축 응력층의 응력 깊이가 50~200 $\mu m$ 인 것이 바람직하다.
- [0018] 또한, 본 발명의 강화 유리판에서는 고온 점도  $10^{2.5} dPa \cdot s$ 에 있어서의 온도가 1650 $^{\circ}C$  미만인 것이 바람직하다. 여기에서, 「고온 점도  $10^{2.5} dPa \cdot s$ 에 있어서의 온도」는, 예를 들면 백금구 인상법으로 측정할 수 있다.
- [0019] 또한, 본 발명의 강화 유리판은 관두계방향의 중앙부가 오버플로우 함유면을 갖는 것, 즉 오버플로우 다운드로우법으로 성형되어 이루어지는 것이 바람직하다. 여기에서, 「오버플로우 다운드로우법」은 성형체 내화물의 양 측으로부터 용융 유리를 넘치게 하여, 넘친 용융 유리를 성형체 내화물의 하단에서 합류시키면서 하방으로 연신 성형하여 유리판을 제조하는 방법이다.
- [0020] 또한, 본 발명의 강화 유리판은 터치 패널 디스플레이의 커버 유리에 사용하는 것이 바람직하다.
- [0021] 또한, 본 발명의 강화 유리판은 표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리에 있어서, 유리 조성으로서,  $Al_2O_3$ 을 17몰% 이상,  $P_2O_5$ 를 1몰% 이상,  $([Li_2O]+[Na_2O]+[K_2O])$ 를 12몰% 이상 함유하고,  $[SiO_2]+1.2 \times [P_2O_5]-3 \times [Al_2O_3]-2 \times [Li_2O]-1.5 \times [Na_2O]-[K_2O]-[B_2O_3] \geq -22$ 몰%의 관계를 충족시키는 것을 특징으로 한다. 이것에 의해, 이온 교환 성능을 높이면서 판 형상으로 성형가능하며, 더욱 내산성이 높은 유리를 얻기 쉬워진다.
- [0022] 또한, 본 발명의 강화 유리판은  $Fe_2O_3$ 의 함유량이 0.001~0.1몰%인 것이 바람직하다.
- [0023] 또한, 본 발명의 강화 유리판은  $TiO_2$ 의 함유량이 0.001~0.1몰%인 것이 바람직하다.
- [0024] 또한, 본 발명의 강화 유리판은  $SnO_2$ 의 함유량이 0.01~1몰%인 것이 바람직하다.
- [0025] 또한, 본 발명의 강화 유리판은 Cl의 함유량이 0.001~0.1몰%인 것이 바람직하다.
- [0026] 또한, 본 발명의 강화 유리판은 두께방향의 응력 프로파일이 적어도 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보

텀을 갖는 것이 바람직하다.

[0027] 본 발명의 강화용 유리판은 유리 조성으로서, 몰%로 SiO<sub>2</sub> 50~80%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8~25%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0~10%, Li<sub>2</sub>O 3~15%, Na<sub>2</sub>O 3~21%, K<sub>2</sub>O 0~10%, MgO 0~10%, ZnO 0~10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0~15%를 함유하는 것을 특징으로 한다.

[0028] 본 발명의 강화 유리판의 제조 방법은 유리 조성으로서, 몰%로 SiO<sub>2</sub> 50~80%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8~25%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0~10%, Li<sub>2</sub>O 3~15%, Na<sub>2</sub>O 3~21%, K<sub>2</sub>O 0~10%, MgO 0~10%, ZnO 0~10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0~15%를 함유하는 강화용 유리판을 준비하는 준비 공정과, 당해 강화용 유리판에 대하여, 복수회의 이온 교환 처리를 행하여 표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리판을 얻는 이온 교환 공정을 구비하는 것을 특징으로 한다.

**도면의 간단한 설명**

[0029] 도 1은 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 응력 프로파일을 예시하는 설명도이다.  
 도 2는 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 응력 프로파일을 예시하는 다른 설명도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0030] 본 발명의 강화 유리판(강화용 유리판)은 유리 조성으로서, 몰%로 SiO<sub>2</sub> 50~80%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8~25%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0~10%, Li<sub>2</sub>O 3~15%, Na<sub>2</sub>O 3~21%, K<sub>2</sub>O 0~10%, MgO 0~10%, ZnO 0~10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0~15%를 함유한다. 각 성분의 함유 범위를 한정할 이유를 하기에 나타낸다. 또한, 각 성분의 함유 범위의 설명에 있어서, % 표시는 특별히 언급이 없는 한, 몰%를 가리킨다.

[0031] SiO<sub>2</sub>는 유리의 네트워크를 형성하는 성분이다. SiO<sub>2</sub>의 함유량이 너무 적으면, 유리화하기 어려워지고, 또한 열팽창계수가 너무 높아져서 내열충격성이 저하하기 쉬워진다. 따라서, SiO<sub>2</sub>의 바람직한 하한 범위는 50% 이상, 55% 이상, 57% 이상, 59% 이상, 특히 61% 이상이다. 한편, SiO<sub>2</sub>의 함유량이 너무 많으면, 용융성이나 성형성이 저하하기 쉬워지고, 또한 열팽창계수가 너무 낮아져서 주변 재료의 열팽창계수에 정합시키기 어려워진다. 따라서, SiO<sub>2</sub>의 바람직한 상한 범위는 80% 이하, 70% 이하, 68% 이하, 66% 이하, 65% 이하, 특히 64.5% 이하이다.

[0032] Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>은 이온 교환 성능을 높이는 성분이며, 또한 변형점, 영률, 파괴 인성, 비커스 경도를 높이는 성분이다. 따라서, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 바람직한 하한 범위는 8% 이상, 10% 이상, 12% 이상, 13% 이상, 14% 이상, 14.4% 이상, 15% 이상, 15.3% 이상, 15.6% 이상, 16% 이상, 16.5% 이상, 17% 이상, 17.2% 이상, 17.5% 이상, 17.8% 이상, 18% 이상, 18% 초과, 18.3% 이상, 특히 18.5% 이상, 18.6% 이상, 18.7% 이상, 18.8% 이상이다. 한편, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 너무 많으면, 고온 점도가 상승하여, 용융성이나 성형성이 저하하기 쉬워진다. 또한, 유리에 실투 결정이 석출하기 쉬워져, 오버플로우 다운드로우법 등으로 판 형상으로 성형하기 어려워진다. 특히, 성형체 내화물로서 알루미늄계 내화물을 사용하여, 오버플로우 다운드로우법으로 판 형상으로 성형하는 경우, 알루미늄계 내화물과의 계면에 스피넬의 실투 결정이 석출하기 쉬워진다. 내산성도 더욱 저하하여, 산처리 공정에 적용하기 어려워진다. 따라서, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 바람직한 상한 범위는 25% 이하, 21% 이하, 20.5% 이하, 20% 이하, 19.9% 이하, 19.5% 이하, 19.0% 이하, 특히 18.9% 이하이다. 이온 교환 성능에의 영향이 큰 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량을 바람직한 범위로 하면, 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 프로파일을 형성하기 쉬워진다.

[0033] B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>은 고온 점도나 밀도를 저하시킴과 아울러 유리를 안정화시켜, 결정을 석출시키기 어렵게 하고, 액체 상태 온도를 저하시키는 성분이다. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 너무 적으면, 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온의 이온 교환에 있어서의 응력 깊이가 너무 깊어져, 결과로서 압축 응력층의 압축 응력값(CS<sub>Na</sub>)이 작아지기 쉽다. 또한, 유리가 불안정해지고, 내실투성이 저하할 우려도 있다. 따라서, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 바람직한 하한 범위는 0% 이상, 0.1% 이상, 0.2% 이상, 0.5% 이상, 0.6% 이상, 0.7% 이상, 0.8% 이상, 0.9% 이상, 특히 1% 이상이다. 한편, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 너무 많으면, 응력 깊이가 얕아질 우려가 있다. 특히, 유리 중에 포함되는 Na 이온과 용융염 중의 K 이온의 이온 교환의 효율이 저하하기 쉬워져, 압축 응력층의 응력 깊이(DOL\_ZERO<sub>k</sub>)가 작아지기 쉽다. 따라서, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 바람직한 상한 범위는 10% 이하, 5% 이하, 4% 이하, 3.8% 이하, 3.5% 이하, 3.3% 이하, 3.2% 이하, 3.1% 이하, 3% 이하, 특히 2.9% 이하이다. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량을 바람직한 범위로 하면, 제 1 피크, 제 2

피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 프로파일을 형성하기 쉬워진다.

- [0034]  $\text{Li}_2\text{O}$ 는 이온 교환 성분이며, 특히 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온을 이온 교환하여, 깊은 응력 깊이를 얻기 위한 필수적인 성분이다. 또한,  $\text{Li}_2\text{O}$ 는 고온 점도를 저하시켜, 용융성이나 성형성을 높이는 성분임과 아울러 영률을 높이는 성분이다. 따라서,  $\text{Li}_2\text{O}$ 의 바람직한 하한 범위는 3% 이상, 4% 이상, 5% 이상, 5.5% 이상, 6.5% 이상, 7% 이상, 7.3% 이상, 7.5% 이상, 7.8% 이상, 특히 8% 이상이다. 따라서,  $\text{Li}_2\text{O}$ 의 바람직한 상한 범위는 15% 이하, 13% 이하, 12% 이하, 11.5% 이하, 11% 이하, 10.5% 이하, 10% 미만, 특히 9.9% 이하, 9% 이하, 8.9% 이하이다.
- [0035]  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 이온 교환 성분이며, 또한 고온 점도를 저하시켜, 용융성이나 성형성을 높이는 성분이다. 또한,  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 내실투성을 높이는 성분이며, 특히 알루미늄나계 내화물과의 반응으로 생기는 실투를 억제하는 성분이다. 따라서,  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 바람직한 하한 범위는 3% 이상, 4% 이상, 5% 이상, 6% 이상, 7% 이상, 7.5% 이상, 8% 이상, 8.5% 이상, 8.8% 이상, 특히 9% 이상이다. 한편,  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 함유량이 너무 많으면, 열팽창계수가 너무 높아져, 내열충격성이 저하하기 쉬워진다. 또한, 유리 조성의 성분 밸런스가 무너져, 도리어 내실투성이 저하하는 경우가 있다. 따라서,  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 바람직한 상한 범위는 21% 이하, 20% 이하, 19% 이하, 특히 18% 이하, 15% 이하, 13% 이하, 11% 이하, 특히 10% 이하이다.
- [0036]  $\text{K}_2\text{O}$ 는 고온 점도를 저하시켜, 용융성이나 성형성을 높이는 성분이다. 그러나,  $\text{K}_2\text{O}$ 의 함유량이 너무 많으면, 열팽창계수가 너무 높아져, 내열충격성이 저하하기 쉬워진다. 또한, 최표면의 압축 응력값이 저하하기 쉬워진다. 따라서,  $\text{K}_2\text{O}$ 의 바람직한 상한 범위는 10% 이하, 7% 이하, 6% 이하, 5% 이하, 4% 이하, 3% 이하, 2% 이하, 1.5% 이하, 1% 이하, 1% 미만, 0.5% 이하, 특히 0.1% 미만이다. 또한, 응력 깊이를 깊게 하는 관점을 중시하면,  $\text{K}_2\text{O}$ 의 바람직한 하한 범위는 0% 이상, 0.1% 이상, 0.3% 이상, 특히 0.5% 이상이다.
- [0037] 몰비  $[\text{Li}_2\text{O}]/([\text{Na}_2\text{O}]+[\text{K}_2\text{O}])$ 는 바람직하게는 0.4~1.0, 0.5~0.9, 특히 0.6~0.8이다. 몰비  $[\text{Li}_2\text{O}]/([\text{Na}_2\text{O}]+[\text{K}_2\text{O}])$ 가 너무 작으면, 이온 교환 성능을 충분히 발휘할 수 없을 우려가 생긴다. 특히, 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온의 이온 교환의 효율이 저하하기 쉬워진다. 한편, 몰비  $[\text{Li}_2\text{O}]/([\text{Na}_2\text{O}]+[\text{K}_2\text{O}])$ 가 너무 크면, 유리에 실투 결정이 석출하기 쉬워져, 오버플로우 다운드로우법 등으로 판형상으로 성형하기 어려워진다. 또한, 「 $[\text{Li}_2\text{O}]/([\text{Na}_2\text{O}]+[\text{K}_2\text{O}])$ 」는  $\text{Li}_2\text{O}$ 의 함유량을  $\text{Na}_2\text{O}$ 와  $\text{K}_2\text{O}$ 의 합량으로 나눈 값을 가리킨다.
- [0038]  $\text{MgO}$ 는 고온 점도를 저하시켜, 용융성이나 성형성을 높이거나, 변형점이나 비커스 경도를 높이는 성분이며, 알칼리 토류 금속 산화물 중에서는 이온 교환 성능을 높이는 효과가 큰 성분이다. 그러나,  $\text{MgO}$ 의 함유량이 너무 많으면, 내실투성이 저하하기 쉬워지고, 특히 알루미늄나계 내화물과의 반응으로 생기는 실투를 억제하기 어려워진다. 따라서,  $\text{MgO}$ 의 바람직한 함유량은 0~10%, 0~5%, 0.1~4%, 0.2~3.5%, 특히 0.5~3% 미만이다.
- [0039]  $\text{ZnO}$ 는 이온 교환 성능을 높이는 성분이며, 특히 최표면의 압축 응력값을 높이는 효과가 큰 성분이다. 또한, 저온 점성을 저하시키지 않고, 고온 점성을 저하시키는 성분이다.  $\text{ZnO}$ 의 바람직한 하한 범위는 0% 이상, 0.1% 이상, 0.3% 이상, 0.5% 이상, 0.7% 이상, 특히 1% 이상이다. 한편,  $\text{ZnO}$ 의 함유량이 너무 많으면, 유리가 분상하거나, 내실투성이 저하하거나, 밀도가 높아지거나, 응력 깊이가 얕아지는 경향이 있다. 따라서,  $\text{ZnO}$ 의 바람직한 상한 범위는 10% 이하, 6% 이하, 5% 이하, 4% 이하, 3% 이하, 2% 이하, 1.5% 이하, 1.3% 이하, 1.2% 이하, 특히 1.1% 이하이다.
- [0040]  $\text{P}_2\text{O}_5$ 는 이온 교환 성능을 높이는 성분이며, 특히 응력 깊이를 깊게 하는 성분이다. 내산성도 더욱 향상시키는 성분이다.  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 함유량이 너무 적으면, 이온 교환 성능을 충분히 발휘할 수 없을 우려가 생긴다. 특히, 유리 중에 포함되는 Na 이온과 용융염 중의 K 이온의 이온 교환의 효율이 저하하기 쉬워져, 압축 응력층의 응력 깊이(DOL\_ZERO<sub>K</sub>)가 작아지기 쉽다. 또한, 유리가 불안정해져, 내실투성이 저하할 우려도 있다. 따라서,  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 바람직한 하한 범위는 0% 이상, 0.1% 이상, 0.4% 이상, 0.7% 이상, 1% 이상, 1.2% 이상, 1.4% 이상, 1.6% 이상, 2% 이상, 2.3% 이상, 2.5% 이상, 특히 3% 이상이다. 한편,  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 함유량이 너무 많으면, 유리가 분상하거나, 내수성이 저하하기 쉬워진다. 또한, 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온의 이온 교환에 있어서의 응력 깊이가 너무 깊어져, 결과로서 압축 응력층의 압축 응력값(CS<sub>Na</sub>)이 작아지기 쉽다. 따라서,  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 바람직한

상한 범위는 15% 이하, 10% 이하, 5% 이하, 4.5% 이하, 4% 이하이다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함유량을 바람직한 범위로 하면, 비단조의 프로파일을 형성하기 쉬워진다.

[0041] 알칼리 금속 산화물은 이온 교환 성분이며, 고온 점도를 저하시켜, 용융성이나 성형성을 높이는 성분이다. 알칼리 금속 산화물의 함유량([Li<sub>2</sub>O]+[Na<sub>2</sub>O]+[K<sub>2</sub>O])이 너무 많으면, 열팽창계수가 높아질 우려가 있다. 또한, 내산성이 저하할 우려가 있다. 따라서, 알칼리 금속 산화물([Li<sub>2</sub>O]+[Na<sub>2</sub>O]+[K<sub>2</sub>O])의 바람직한 하한 범위는 10% 이상, 11% 이상, 12% 이상, 13% 이상, 14% 이상, 15% 이상이다. 따라서, 알칼리 금속 산화물([Li<sub>2</sub>O]+[Na<sub>2</sub>O]+[K<sub>2</sub>O])의 바람직한 상한 범위는 25% 이하, 23% 이하, 20% 이하, 19% 이하, 18% 이하이다.

[0042] 몰비 [Li<sub>2</sub>O]/[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]는 바람직하게는 4~30, 10~25, 특히 15~20이다. 몰비 [Li<sub>2</sub>O]/[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]가 너무 작으면, 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온의 이온 교환의 효율이 저하하기 쉬워진다. 한편, 몰비 [Li<sub>2</sub>O]/[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]가 너무 크면, 유리에 실투 결정이 석출하기 쉬워져, 오버플로우 다운드로우법 등으로 판 형상으로 성형하기 어려워진다. 또한, 「[Li<sub>2</sub>O]/[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]」는 Li<sub>2</sub>O의 함유량을 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함유량으로 나눈 값을 가리킨다.

[0043] 몰비([Na<sub>2</sub>O]-[Li<sub>2</sub>O])/([Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>])는 바람직하게는 0.29 이하, 0.27 이하, 0.26 이하, 0.25 이하, 0.23 이하, 0.20 이하, 특히 0.15 이하이다. 몰비([Na<sub>2</sub>O]-[Li<sub>2</sub>O])/([Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>])가 너무 크면, 이온 교환 성능을 충분히 발휘할 수 없을 우려가 생긴다. 특히, 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온이 이온 교환의 효율이 저하하기 쉬워진다.

[0044] 몰비([B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[Na<sub>2</sub>O]-[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>])/([Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[Li<sub>2</sub>O])는 바람직하게는 0.30 이상, 0.35 이상, 0.40 이상, 0.42 이상, 0.43 이상, 특히 0.45 이상이다. 몰비([B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[Na<sub>2</sub>O]-[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>])/([Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]+[Li<sub>2</sub>O])이 너무 작으면, 유리에 실투 결정이 석출하기 쉬워져, 오버플로우 다운드로우법 등으로 판 형상으로 성형하기 어려워진다.

[0045] ([SiO<sub>2</sub>]+1.2×[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]-3×[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]-2×[Li<sub>2</sub>O]-1.5×[Na<sub>2</sub>O]-[K<sub>2</sub>O]-[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>])은 바람직하게는 -40% 이상, -30% 이상, -25% 이상, -24% 이상, -23% 이상, -22% 이상, -21% 이상, -20% 이상, -19% 이상, 특히 -18% 이상이다. ([SiO<sub>2</sub>]+1.2×[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]-3×[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]-2×[Li<sub>2</sub>O]-1.5×[Na<sub>2</sub>O]-[K<sub>2</sub>O]-[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>])이 너무 작으면, 내산성이 저하하기 쉬워진다. 한편, ([SiO<sub>2</sub>]+1.2×[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]-3×[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]-2×[Li<sub>2</sub>O]-1.5×[Na<sub>2</sub>O]-[K<sub>2</sub>O]-[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>])이 너무 크면, 이온 교환 성능을 충분히 발휘할 수 없을 우려가 생긴다. 따라서, ([SiO<sub>2</sub>]+1.2×[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]-3×[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]-2×[Li<sub>2</sub>O]-1.5×[Na<sub>2</sub>O]-[K<sub>2</sub>O]-[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>])은 바람직하게는 30몰% 이하, 20몰% 이하, 15몰% 이하, 10몰% 이하, 5몰% 이하, 특히 0몰% 이하이다.

[0046] 상기 성분 이외에도, 예를 들면 이하의 성분을 첨가해도 좋다.

[0047] CaO는 다른 성분과 비교해서, 내실투성의 저하를 수반하지 않고, 고온 점도를 저하시켜 용융성이나 성형성을 높이거나, 변형점이나 비커스 경도를 높이는 성분이다. 그러나, CaO의 함유량이 너무 많으면, 이온 교환 성능이 저하하거나, 이온 교환 처리시에 이온 교환 용액을 열화시킬 우려가 있다. 따라서, CaO의 바람직한 상한 범위는 6% 이하, 5% 이하, 4% 이하, 3.5% 이하, 3% 이하, 2% 이하, 1% 이하, 1% 미만, 0.5% 이하, 특히 0.1% 미만이다.

[0048] SrO와 BaO는 고온 점도를 저하시켜 용융성이나 성형성을 높이거나, 변형점이나 영률을 높이는 성분이지만, 그들의 함유량이 너무 많으면, 이온 교환 반응이 저해되어 쉬워지는 것에 추가해서, 밀도나 열팽창계수가 부당하게 높아지거나, 유리가 실투하기 쉬워진다. 따라서, SrO와 BaO의 바람직한 함유량은 각각 0~2%, 0~1.5%, 0~1%, 0~0.5%, 0~0.1%, 특히 0~0.1% 미만이다.

[0049] ZrO<sub>2</sub>는 비커스 경도를 높이는 성분임과 아울러, 액체 상태 점도 부근의 점성이나 변형점을 높이는 성분이지만, 그 함유량이 너무 많으면, 내실투성이 현저하게 저하할 우려가 있다. 따라서, ZrO<sub>2</sub>의 바람직한 함유량은 0~3%, 0~1.5%, 0~1%, 특히 0~0.1%이다.

[0050] TiO<sub>2</sub>는 이온 교환 성능을 높이는 성분이며, 또한 고온 점도를 저하시키는 성분이지만, 그 함유량이 너무 많으면, 투명성이나 내실투성이 저하하기 쉬워진다. 따라서, TiO<sub>2</sub>의 바람직한 함유량은 0~3%, 0~1.5%, 0~1%, 0~0.1%, 특히, 0.001~0.1몰%이다.

- [0051] SnO<sub>2</sub>는 이온 교환 성능을 높이는 성분이지만, 그 함유량이 너무 많으면, 내실투성이 저하하기 쉬워진다. 따라서, SnO<sub>2</sub>는 바람직한 하한 범위는 0.005% 이상, 0.01% 이상, 특히 0.1% 이상이며, 바람직한 상한 범위는 3% 이하, 2% 이하, 특히 1% 이하이다.
- [0052] Cl은 청징제이지만, 그 함유량이 너무 많으면, 환경이나 설비에 악영향을 주는 성분이다. 따라서, Cl의 바람직한 하한 범위는 0.001% 이상, 특히 0.01% 이상이며, 바람직한 상한 범위는 0.3% 이하, 0.2% 이하, 특히 0.1% 이하이다.
- [0053] 청징제로서, SO<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>의 군(바람직하게는 SO<sub>3</sub>의 군)으로부터 선택된 1종 또는 2종(두가지 종류) 이상을 0.001~1% 첨가해도 좋다.
- [0054] Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>은 원료로부터 불가피하게 혼입되는 불순물이다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 바람직한 함유량은 1000ppm 미만(0.1% 미만), 800ppm 미만, 600ppm 미만, 400ppm 미만, 특히 300ppm 미만이다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 너무 많으면, 커버 유리의 투과율이 저하하기 쉬워진다.
- [0055] 한편, 하한 범위는 10ppm 이상, 20ppm 이상, 30ppm 이상, 50ppm 이상, 80ppm 이상, 100ppm 이상이다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함유량이 너무 적으면, 고순도 원료를 사용하기 때문에, 원료 비용이 양등하고, 제품을 염가로 제조할 수 없게 된다.
- [0056] 는,
- [0057] Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Hf<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 희토류 산화물은 영률을 높이는 성분이다. 그러나, 원료 비용이 높고, 또한 다량으로 첨가하면, 내실투성이 저하하기 쉬워진다. 따라서, 희토류 산화물의 바람직한 함유량은 5% 이하, 3% 이하, 2% 이하, 1% 이하, 0.5% 이하, 특히 0.1% 이하이다.
- [0058] 본 발명의 강화 유리판(강화용 유리판)은 환경적 배려에서, 유리 조성으로서, 실질적으로 As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, PbO 및 F를 함유하지 않는 것이 바람직하다. 또한, 환경적 배려에서, 실질적으로 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 함유하지 않는 것도 바람직하다. 「실질적으로 ~를 함유하지 않는다」란 유리 성분으로서 적극적으로 명시의 성분을 첨가하지 않지만, 불순물 레벨의 첨가를 허용하는 취지이며, 구체적으로는 명시의 성분의 함유량이 0.05% 미만인 경우를 가리킨다.
- [0059] 본 발명의 강화 유리판(강화용 유리판)은 이하의 특성을 갖는 것이 바람직하다.
- [0060] 밀도는 바람직하게는 2.55g/cm<sup>3</sup> 이하, 2.53g/cm<sup>3</sup> 이하, 2.50g/cm<sup>3</sup> 이하, 2.49g/cm<sup>3</sup> 이하, 2.45g/cm<sup>3</sup> 이하, 특히 2.35~2.44g/cm<sup>3</sup>이다. 밀도가 낮을수록, 강화 유리판을 경량화할 수 있다.
- [0061] 30~380℃에 있어서의 열팽창계수는 바람직하게는  $150 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  이하,  $100 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$  이하, 특히  $50 \sim 95 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 이다. 또한, 「30~380℃에 있어서의 열팽창계수」는 딜라토미터를 사용하여, 평균 열팽창계수를 측정된 값을 가리킨다.
- [0062] 연화점은 바람직하게는 950℃ 이하, 930℃ 이하, 900℃ 이하, 880℃ 이하, 860℃ 이하, 특히 850~700℃이다. 또한, 「연화점」은 ASTM C338의 방법에 근거해서 측정된 값을 가리킨다.
- [0063] 고온 점도  $10^{2.5}$  dPa·s에 있어서의 온도는 바람직하게는 1660℃ 이하, 1620℃ 미만, 1600℃ 이하, 특히 1400~1590℃가 바람직하다. 고온 점도  $10^{2.5}$  dPa·s에 있어서의 온도가 너무 높으면, 용융성이나 성형성이 저하하고, 용융 유리를 판 형상으로 성형하기 어려워진다. 또한, 「고온 점도  $10^{2.5}$  dPa·s에 있어서의 온도」는 백금구 인상법으로 측정된 값을 가리킨다.
- [0064] 액상 점도는 바람직하게는  $10^{3.74}$  dPa·s 이상,  $10^{4.5}$  dPa·s 이상,  $10^{4.8}$  dPa·s 이상,  $10^{4.9}$  dPa·s 이상,  $10^{5.0}$  dPa·s 이상,  $10^{5.1}$  dPa·s 이상,  $10^{5.2}$  dPa·s 이상,  $10^{5.3}$  dPa·s 이상,  $10^{5.4}$  dPa·s 이상, 특히  $10^{5.5}$  dPa·s 이상이다. 또한, 액상 점도가 높을수록, 내실투성이 향상하고, 성형시에 실투 파티클이 발생하기 어려워진다. 여기에서, 「액상 점도」란 액상 온도에 있어서의 점도를 백금구 인상법으로 측정된 값을 가리킨다. 「액상 온도」란 표준체 30메쉬(500 $\mu\text{m}$ )를 통과하여 50메쉬(300 $\mu\text{m}$ )에 남아 있는 유리 분말을 백금 보트에 넣고, 온도 구배로 중에 24시간 유지한 후, 백금 보트를 꺼내 현미경 관찰에 의해 유리 내부에 실투(실투 파티클)가 확인된 가장 높은 온

도로 한다.

- [0065] 영률은 바람직하게는 70GPa 이상, 74GPa 이상, 75~100GPa, 특히 76~90GPa이다. 영률이 낮으면, 판 두께가 얇은 경우에 커버 유리가 휘기 쉬워진다. 또한, 「영률」은 주지의 공진법으로 산출가능하다.
- [0066] 본 발명의 강화 유리판은 표면에 압축 응력층을 가지고 있다. 최표면의 압축 응력값은 바람직하게는 165MPa 이상, 200MPa 이상, 220MPa 이상, 250MPa 이상, 280MPa 이상, 300MPa 이상, 310MPa 이상, 특히 320MPa 이상이다. 최표면의 압축 응력값이 클수록, 비커스 경도가 높아진다. 한편, 표면에 극단적으로 큰 압축 응력이 형성되면, 강화 유리에 내재하는 인장 응력이 극단적으로 높아지고, 또한 이온 교환 처리전후의 치수 변화가 커질 우려가 있다. 이 때문에, 최표면의 압축 응력값은 바람직하게는 1000MPa 이하, 900MPa 이하, 700MPa 이하, 680MPa 이하, 650MPa 이하, 특히 600MPa 이하이다. 또한, 이온 교환 시간을 짧게 하거나, 이온 교환 용액의 온도를 내리면, 최표면의 압축 응력값이 커지는 경향이 있다.
- [0067] 응력 깊이는 바람직하게는 50 $\mu$ m 이상, 60 $\mu$ m 이상, 80 $\mu$ m 이상, 100 $\mu$ m 이상, 특히 120 $\mu$ m 이상이다. 응력 깊이가 깊을수록, 스마트폰을 떨어뜨렸을 때에, 노면의 돌기물이나 모래알이 인장 응력층까지 도달하기 어려워져, 커버 유리의 파손 확률을 저하시키는 것이 가능해진다. 한편, 응력 깊이가 너무 깊으면, 이온 교환 처리 전후에서 치수 변화가 커질 우려가 있다. 또한, 최표면의 압축 응력값이 저하하는 경향이 있다. 따라서, 응력 깊이는 바람직하게는 200 $\mu$ m 이하, 180 $\mu$ m 이하, 150 $\mu$ m 이하, 특히 140 $\mu$ m 이하이다. 또한, 이온 교환 시간을 길게 하거나, 이온 교환 용액의 온도를 올리면, 응력 깊이가 깊어지는 경향이 있다.
- [0068] 본 발명의 강화 유리판에 있어서, 판 두께는 바람직하게는 2.0mm 이하, 1.5mm 이하, 1.3mm 이하, 1.1mm 이하, 1.0mm 이하, 0.9mm 이하, 특히 0.8mm 이하이다. 판 두께가 작을수록, 강화 유리판의 질량을 저하시킬 수 있다. 한편, 판 두께가 너무 얇으면, 소망의 기계적 강도를 얻기 어려워진다. 따라서, 판 두께는 바람직하게는 0.3mm 이상, 0.4mm 이상, 0.5mm 이상, 0.6mm 이상, 특히 0.7mm 이상이다.
- [0069] 본 발명의 강화 유리판의 제조 방법은 유리 조성으로서, 몰%로 SiO<sub>2</sub> 50~80%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 8~25%, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0~10%, Li<sub>2</sub>O 3~15%, Na<sub>2</sub>O 3~21%, K<sub>2</sub>O 0~10%, MgO 0~10%, ZnO 0~10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0~15%를 함유하는 강화용 유리판을 준비하는 준비 공정과, 당해 강화용 유리판에 대하여, 복수회의 이온 교환 처리를 행하여 표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리판을 얻는 이온 교환 공정을 구비하는 것을 특징으로 한다. 또한, 본 발명의 강화 유리판의 제조 방법은 복수회의 이온 교환 처리를 행하는 것을 특징으로 하고 있지만, 본 발명의 강화 유리판은 복수회의 이온 교환 처리가 행해지고 있는 경우뿐만 아니라, 1회만 이온 교환 처리가 행해지고 있는 경우도 포함하는 것으로 한다.
- [0070] 강화용 유리를 제조하는 방법은, 예를 들면 이하와 같다. 우선, 소망의 유리 조성이 되도록 조합한 유리 원료를 연속 용융로에 투입하여 1400~1700℃에서 가열 용융하고, 청징한 후, 용융 유리를 성형 장치에 공급한 후에 판 형상으로 성형하고, 냉각하는 것이 바람직하다. 판 형상으로 성형한 후에, 소정 치수로 절단 가공하는 방법은 주지의 방법을 채용할 수 있다.
- [0071] 용융 유리를 판 형상으로 성형하는 방법으로서, 오버플로우 다운드로우법이 바람직하다. 오버플로우 다운드로우법에서는 유리판의 표면이 되어야 할 면은 성형체 내화물의 표면에 접촉하지 않고, 자유 표면의 상태로 판 형상으로 성형된다. 이 때문에, 미연마이면서, 표면 품질이 양호한 유리판을 염가로 제조할 수 있다. 또한, 오버플로우 다운드로우법에서는 성형체 내화물로서, 알루미늄계 내화물이나 지르코니아계 내화물이 사용된다. 그리고, 본 발명의 강화 유리판(강화용 유리판)은 알루미늄계 내화물이나 지르코니아계 내화물(특히, 알루미늄계 내화물)과의 적합성이 양호하기 때문에, 이들의 내화물과 반응해서 거품이나 파티클 등을 발생시키기 어려운 성질을 갖는다.
- [0072] 오버플로우 다운드로우법 이외에도, 다양한 성형 방법을 채용할 수 있다. 예를 들면, 플롯법, 다운드로우법(슬롯 다운드로우법, 리드로우법 등), 롤 아웃법, 프레스법 등의 성형 방법을 채용할 수 있다.
- [0073] 용융 유리의 성형시에, 용융 유리의 서냉점으로부터 변형점 사이의 온도역을 3℃/분 이상, 또한 1000℃/분 미만의 냉각 속도로 냉각하는 것이 바람직하고, 그 냉각 속도의 하한 범위는 바람직하게는 10℃/분 이상, 20℃/분 이상, 30℃/분 이상, 특히 50℃/분 이상이며, 상한 범위는 바람직하게는 1000℃/분 미만, 500℃/분 미만, 특히 300℃/분 미만이다. 냉각 속도를 너무 빠르게 하면, 유리의 구조가 거칠어지고, 이온 교환 처리 후에 비커스 경도를 높이는 것이 곤란해진다. 한편, 냉각 속도가 너무 느리면, 유리판의 생산 효율이 저하해버린다.
- [0074] 본 발명의 강화 유리판의 제조 방법에서는 복수회의 이온 교환 처리를 행한다. 복수회의 이온 교환 처리로서, KNO<sub>3</sub> 용융염을 포함하는 용융염에 침지시키는 이온 교환 처리를 행한 후, NaNO<sub>3</sub> 용융염을 포함하는 용융염에 침

지시키는 이온 교환 처리를 행하는 것이 바람직하다. 이와 같이 하면, 깊은 응력 깊이를 확보하면서, 최표면의 압축 응력값을 높일 수 있다.

[0075] 특히, 본 발명의 강화 유리판의 제조 방법에서는  $\text{NaNO}_3$  용융염 또는  $\text{NaNO}_3$ 과  $\text{KNO}_3$  혼합 용융염에 침지시키는 이온 교환 처리(제 1 이온 교환 공정)를 행한 후,  $\text{KNO}_3$ 과  $\text{LiNO}_3$  혼합 용융염에 침지시키는 이온 교환 처리(제 2 이온 교환 공정)를 행하는 것이 바람직하다. 이와 같이 하면, 도 1, 2에 나타내는 비단조의 응력 프로파일, 즉 적어도 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 응력 프로파일을 형성할 수 있다. 결과로서, 스마트 폰을 떨어뜨렸을 때의 커버 유리의 파손 확률을 대폭 저하시키는 것이 가능해진다.

[0076] 제 1 이온 교환 공정에서는 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온이 이온 교환하고,  $\text{NaNO}_3$ 과  $\text{KNO}_3$  혼합 용융염을 사용하는 경우, 유리 중에 포함되는 Na 이온과 용융염 중의 K 이온이 더 이온 교환한다. 여기에서, 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온의 이온 교환은 유리 중에 포함되는 Na 이온과 용융염 중의 K 이온의 이온 교환보다 스피드가 빠르고, 이온 교환의 효율이 높다. 제 2 이온 교환 공정에서는 유리 표면 근방(최표면으로부터 판 두께의 20%까지의 얇은 영역)에 있어서의 Na 이온과 용융염 중의 Li 이온이 이온 교환하고, 추가해서 유리 표면 근방(최표면으로부터 판 두께의 20%까지의 얇은 영역)에 있어서의 Na 이온과 용융염 중의 K 이온이 이온 교환한다. 즉, 제 2 이온 교환 공정에서는 유리 표면 근방에 있어서의 Na 이온을 이탈시키면서, 이온 반경이 큰 K 이온을 도입할 수 있다. 결과로서, 깊은 응력 깊이를 유지하면서, 최표면의 압축 응력값을 높일 수 있다.

[0077] 제 1 이온 교환 공정에서는, 용융염의 온도는  $360\sim 400^\circ\text{C}$ 가 바람직하고, 이온 교환 시간은 30분~6시간이 바람직하다. 제 2 이온 교환 공정에서는, 이온 교환 용액의 온도는  $370\sim 400^\circ\text{C}$ 가 바람직하고, 이온 교환 시간은 15분~3시간이 바람직하다.

[0078] 비단조의 응력 프로파일을 형성하는데 있어서, 제 1 이온 교환 공정에 사용하는  $\text{NaNO}_3$ 과  $\text{KNO}_3$  혼합 용융염에서는  $\text{NaNO}_3$ 의 농도가  $\text{KNO}_3$ 의 농도보다 높은 것이 바람직하고, 제 2 이온 교환 공정에 사용하는  $\text{KNO}_3$ 과  $\text{LiNO}_3$  혼합 용융염에서는  $\text{KNO}_3$ 의 농도가  $\text{LiNO}_3$ 의 농도보다 높은 것이 바람직하다.

[0079] 제 1 이온 교환 공정에 사용하는  $\text{NaNO}_3$ 과  $\text{KNO}_3$  혼합 용융염에 있어서,  $\text{KNO}_3$ 의 농도는 바람직하게는 0질량% 이상, 0.5질량% 이상, 1질량% 이상, 5질량% 이상, 7질량% 이상, 10질량% 이상, 15질량% 이상, 특히 20~90질량%이다.  $\text{KNO}_3$ 의 농도가 너무 높으면, 유리 중에 포함되는 Li 이온과 용융염 중의 Na 이온이 이온 교환할 때에 형성되는 압축 응력값이 매우 저하될 우려가 있다. 또한,  $\text{KNO}_3$ 의 농도가 너무 낮으면, 표면 응력계 FSM-6000에 의한 응력 측정이 곤란해질 우려가 있다.

[0080] 제 2 이온 교환 공정에 사용하는  $\text{KNO}_3$ 과  $\text{LiNO}_3$  혼합 용융염에 있어서,  $\text{LiNO}_3$ 의 농도는 바람직하게는 0 초과~5질량%, 0 초과~3질량%, 0 초과~2질량%, 특히 0.1~1질량%이다.  $\text{LiNO}_3$ 의 농도가 너무 낮으면, 유리 표면 근방에 있어서의 Na 이온이 이탈하기 어려워진다. 한편,  $\text{LiNO}_3$ 의 농도가 너무 높으면, 유리 표면 근방에 있어서의 Na 이온과 용융염 중의 K 이온의 이온 교환에 의해 형성되는 압축 응력값이 매우 저하할 우려가 있다.

[0081] 실시예 1

[0082] 이하, 실시예에 근거하여 본 발명을 설명한다. 또한, 이하의 실시예는 단순한 예시이다. 본 발명은 이하의 실시예에 조금도 한정되지 않는다.

[0083] 표 1~22는 본 발명의 실시예(시료 No. 1~35 및 38~215)와 비교예(시료 No. 36, 37)의 유리 조성과 유리 특성을 나타내고 있다. 또한, 표 중에서 「N.A.」는 미측정을 의미하고 있고, 「(Na-Li)/(Al+B+P)」는 몰비( $[\text{Na}_2\text{O}]-[\text{Li}_2\text{O}]/([\text{Al}_2\text{O}_3]+[\text{B}_2\text{O}_3]+[\text{P}_2\text{O}_5])$ )를 의미하고 있고, 「(B+Na-P)/(Al+Li)」는 몰비( $[\text{B}_2\text{O}_3]+[\text{Na}_2\text{O}]-[\text{P}_2\text{O}_5]/([\text{Al}_2\text{O}_3]+[\text{Li}_2\text{O}])$ )를 의미하고 있고, 「Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B」는  $[\text{SiO}_2]+1.2\times[\text{P}_2\text{O}_5]-3\times[\text{Al}_2\text{O}_3]-2\times[\text{Li}_2\text{O}]-1.5\times[\text{Na}_2\text{O}]-[\text{K}_2\text{O}]-[\text{B}_2\text{O}_3]$ 을 의미하고 있다.

표 1

(mol%)	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
SiO <sub>2</sub>	59.07	59.07	60.07	60.07	61.07	61.07	61.07	61.07	61.07	61.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.81	15.81	17.81	15.81	18.81	17.81	16.81	16.81	15.81	15.81
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Li <sub>2</sub> O	8.34	8.34	8.34	8.34	7.34	7.34	8.34	7.34	7.34	8.34
Na <sub>2</sub> O	11.10	13.10	10.10	12.10	9.10	10.10	10.10	11.10	12.10	11.10
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.136	0.260	0.087	0.205	0.083	0.136	0.091	0.195	0.260	0.151
(B+Na-P)/(Al+Li)	0.330	0.440	0.292	0.399	0.253	0.303	0.303	0.357	0.416	0.357
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-24.72	-21.72	-22.22	-19.22	-20.72	-19.22	-18.22	-17.72	-16.22	-16.72
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.452	2.459	2.445	2.451	2.438	2.440	2.441	2.444	2.447	2.443
$\alpha_{30-380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	87	95	84	91	75	83	81	85	89	88
T <sub>S</sub> (°C)	856	N.A.	N.A.	N.A.	915	889	874	867	861	844
10 <sup>2.5</sup> dPa·s (°C)	1518	1475	1535	1504	1561	1560	1547	1552	1535	1524
TL (°C)	1049	916	1088	973	1125	1078	1085	1035	976	1056
log $\eta$ at TL (dPa·s)	5.3	6.4	3.9	5.9	5.2	5.4	5.2	5.6	6.1	5.2
E (GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CS <sub>K</sub> (MPa)	1248	1129	1292	1142	1389	1309	1248	1264	1198	1152
DOL_ZERO <sub>K</sub> ( $\mu\text{m}$ )	20	24	19	24	16	19	19	21	24	22
CS <sub>Na</sub> (MPa)	287	201	312	208	279	269	269	248	211	236
DOL_ZERO <sub>Na</sub> ( $\mu\text{m}$ )	125	121	126	123	134	123	123	128	126	143

[0084]

표 2

(mol%)	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18	No.19	No.20
SiO <sub>2</sub>	61.07	63.07	61.07	63.07	63.07	61.07	61.07	61.07	59.07	59.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.81	15.81	17.81	15.81	17.81	15.81	15.81	17.81	17.81	15.81
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00
Li <sub>2</sub> O	8.34	8.34	8.34	7.34	8.34	7.34	8.34	8.34	8.34	8.34
Na <sub>2</sub> O	9.10	11.10	11.10	12.10	9.10	12.10	11.10	9.10	11.10	13.10
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00
ZnO	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.037	0.169	0.151	0.292	0.041	0.292	0.169	0.041	0.136	0.260
(B+Na-P)/(Al+Li)	0.253	0.440	0.406	0.502	0.330	0.502	0.440	0.330	0.483	0.606
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-19.72	-17.12	-25.12	-16.62	-20.12	-18.62	-19.12	-22.12	-29.12	-26.12
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.437	2.454	2.460	2.457	2.446	2.471	2.469	2.463	2.450	2.462
$\alpha_{30-380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	78	87	87	89	79	89	88	78	86	92
T <sub>S</sub> (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	823	N.A.	806	N.A.	N.A.	816	743
10 <sup>2.5</sup> dPa·s (°C)	1550	1527	1528	1535	1558	1489	1480	1507	1487	1449
TL (°C)	1125	1032	1070	984	1134	957	1018	1230	1055	904
log $\eta$ at TL (dPa·s)	4.9	5.1	5.1	5.7	4.9	5.7	5	3.9	5	5.6
E (GPa)	N.A.	80	80	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	78	78
CS <sub>K</sub> (MPa)	1326	967	1165	1083	1449	1170	1149	1460	1228	932
DOL_ZERO <sub>K</sub> ( $\mu\text{m}$ )	18	18	17	17	16	14	12	10	14	14
CS <sub>Na</sub> (MPa)	299	278	305	236	304	224	262	309	321	298
DOL_ZERO <sub>Na</sub> ( $\mu\text{m}$ )	136	116	119	119	137	98	104	104	104	93

[0085]

표 3

(mol%)	No.21	No.22	No.23	No.24	No.25	No.26	No.27	No.28	No.29	No.30
SiO <sub>2</sub>	60.07	60.07	61.07	61.07	61.07	61.07	59.07	59.07	59.07	59.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.81	15.81	18.81	17.81	16.81	16.81	17.81	16.81	18.81	18.81
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Li <sub>2</sub> O	8.34	8.34	7.34	7.34	8.34	7.34	7.34	8.34	8.34	7.34
Na <sub>2</sub> O	10.10	12.10	9.10	10.10	10.10	11.10	12.10	12.10	10.10	11.10
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.087	0.205	0.083	0.136	0.091	0.195	0.235	0.195	0.083	0.177
(B+Na-P)/(Al+Li)	0.445	0.564	0.406	0.462	0.462	0.523	0.542	0.542	0.428	0.483
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-26.62	-23.62	-25.12	-23.62	-22.62	-22.12	-28.62	-27.62	-30.62	-30.12
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.442	2.455	2.438	2.438	2.440	2.443	2.452	2.456	2.450	2.450
$\alpha_{30-380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	82	89	74	80	83	84	88	90	82	83
T <sub>s</sub> (°C)	N.A.	756	882	862	827	821	819	777	850	856
10 <sup>2.5</sup> dPa·s (°C)	1496	1488	1530	1530	1508	1524	1509	1474	1493	1507
TL (°C)	1089	967	1060	1078	1091	1030	991	985	1051	1040
log $\eta$ at TL (dPa·s)	4.9	5.3	5.5	5.2	4.8	5.3	5.6	5.3	5.2	5.4
E (GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	76	78	N.A.	N.A.
CS <sub>K</sub> (MPa)	1293	860	1438	1385	1218	1230	1264	1087	1439	1433
DOL_ZERO <sub>K</sub> (μm)	14	13	12	15	13	15	14	14	12	14
CS <sub>Na</sub> (MPa)	302	259	297	312	324	271	282	292	309	280
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	107	100	111	119	108	111	106	92	112	118

[0086]

표 4

(mol%)	No.31	No.32	No.33	No.34	No.35	No.36	No.37
SiO <sub>2</sub>	59.07	61.07	61.07	61.07	63.58	61.07	61.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.81	15.81	15.81	17.81	16.55	17.81	19.81
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	2.00	0.00
Li <sub>2</sub> O	9.34	7.34	8.34	8.34	8.19	4.34	8.34
Na <sub>2</sub> O	10.10	12.10	11.10	9.10	8.09	13.10	7.10
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.00
ZnO	1.16	1.16	1.16	1.16	0.00	1.16	1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.47	0.47	0.47	0.47	2.70	0.47	2.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.037	0.260	0.151	0.037	-0.056	0.432	-0.056
(B+Na-P)/(Al+Li)	0.428	0.589	0.523	0.406	0.164	0.660	0.164
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-29.62	-20.62	-21.12	-24.12	-11.87	-22.12	-22.72
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.450	2.449	2.448	2.435	2.404	2.442	2.437
$\alpha_{30-380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	84	87	86	78	79	83	68
T <sub>s</sub> (°C)	N.A.	785	781	N.A.	N.A.	891	917
10 <sup>2.5</sup> dPa·s (°C)	1480	1508	1487	1519	1593	1564	1541
TL (°C)	1068	938>	1034	1117	1145	938>	1343<
log $\eta$ at TL (dPa·s)	4.8	5.8<	4.9	4.9	5.14	7.0 <	3.5 >
E (GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	77	N.A.	N.A.
CS <sub>K</sub> (MPa)	1225	1045	1026	1379	1021	1474	1376
DOL_ZERO <sub>K</sub> (μm)	12	15	13	14	26	21	11
CS <sub>Na</sub> (MPa)	340	255	280	330	310	163	324
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	112	105	105	115	131	132	116

[0087]

표 5

	No.38	No.39	No.40	No.41	No.42	No.43	No.44	No.45	No.46	No.47	No.48
(mol%)											
SiO <sub>2</sub>	62.24	62.24	60.24	60.24	62.24	62.24	60.24	60.24	58.24	56.24	58.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.81	15.81	17.81	15.81	17.81	15.81	17.81	15.81	17.81	17.81	17.81
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00
Li <sub>2</sub> O	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34
Na <sub>2</sub> O	9.10	11.10	11.10	13.10	9.10	11.10	11.10	13.10	9.10	11.10	9.10
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.47	0.47	0.47	0.47	2.47	2.47	2.47	2.47	0.47	0.47	2.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na+Li)/(Al+B+P)	0.04	0.15	0.14	0.26	0.04	0.15	0.14	0.26	0.04	0.14	0.04
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.41	0.52	0.48	0.61	0.25	0.36	0.33	0.44	0.41	0.48	0.25
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-22.96	-19.96	-27.96	-24.96	-18.56	-15.56	-23.56	-20.56	-30.96	-35.96	-26.56
$\rho(g/cm^3)$	2.4099	2.4257	2.4265	2.4415	2.4127	2.4219	2.4277	2.436	2.4418	2.4581	2.4416
$d_{300}^{25}(\times 10^{-7}/^{\circ}C)$	80.3	86.9	86.9	91.8	80.8	88.6	88.7	94.8	96.9	103.9	99.8
T <sub>g</sub> (°C)	877	775	827	738	917	N.A.	877	N.A.	773	N.A.	N.A.
10 <sup>2</sup> βPa·s (°C)	1538	1517	1516	1467	1580	1548	1546	1498	1492	1461	1537
T <sub>L</sub> (°C)	1152	1047	1030	914	1126	1029	1125	1066	1216	941	1120
lognat TL (dPa·s)	4.66	4.87	5.33	5.55	5.19	5.62	4.87	4.90	3.74	5.25	4.78<
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	34.8<	N.A.	34.8<	N.A.	34.8	28.5	34.8<	34.8<	N.A.	N.A.	34.8<
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	0.8	N.A.	0.8	N.A.	0.9	0.8	0.9	0.7	N.A.	N.A.	0.9
E (GPa)	77.6	78.3	78.0	78.5	77.9	76.9	77.3	76.9	77.8	78.8	77.1
CS <sub>k</sub> (MPa)	1307	932	1124	751	1262	1016	1151	1018	810	N.A.	889
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	15.7	14.8	15.4	13.1	21.4	24.4	23.6	26.8	23.1	N.A.	36.1
CS <sub>Na</sub> (MPa)	279	221	272	212	258	197	324	165	202	N.A.	259
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	135.7	118.8	116.2	105.0	153.7	158.0	131.9	133.5	85.6	N.A.	95.1

[0088]

표 6

(mol%)	No.49	No.50	No.51	No.52	No.53	No.54	No.55	No.56	No.57	No.58
SiO <sub>2</sub>	56.24	61.24	61.24	60.24	62.24	62.24	60.24	60.24	62.24	63.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.81	16.81	15.81	16.81	15.81	15.81	17.81	15.81	15.81	16.81
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00
Li <sub>2</sub> O	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	5.84	5.84	5.84	5.84	4.34
Na <sub>2</sub> O	11.10	11.10	12.10	12.10	11.10	11.10	11.10	13.10	11.10	14.10
K <sub>2</sub> O	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	2.50	2.50	2.50	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.47	2.47	2.47	2.47	1.97	2.47	2.47	2.47	1.97	0.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.14	0.14	0.21	0.19	0.15	0.29	0.26	0.40	0.29	0.56
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.33	0.34	0.40	0.38	0.40	0.40	0.36	0.49	0.44	0.64
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-31.56	-19.56	-18.06	-22.06	-16.66	-13.06	-21.06	-18.06	-14.16	-16.62
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4584	2.4234	2.4272	2.4309	2.4189	2.4262	2.4323	2.4401	2.4249	2.4604
$d_{300,380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	107.4	88.4	92.1	92.1	87.6	96.7	95.2	102.5	95.3	90.5
Ts (°C)	N.A.	860	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	893	N.A.	N.A.	890
10 <sup>2.5</sup> TPa·s (°C)	1494	1547	1528	1529	1537	1589	1593	1544	1576	1592
TL (°C)	1018	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
lognat TL (dPa·s)	5.39	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	34.8<	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	33.3<
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	0.9	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.6
E (GPa)	77.4	76.8	76.6	76.6	76.6	74.1	75.2	74.6	74.5	76.8
CS <sub>k</sub> (MPa)	N.A.	915	894	1173	806	903	986	922	907	1166
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	N.A.	28.8	29.9	31.2	24.9	50.0	46.7	51.4	39.5	28.6
CS <sub>100</sub> (MPa)	N.A.	255	194	227	237	121	162	99	148	153
DOL_ZERO <sub>100</sub> (μm)	N.A.	132.3	140.8	150.6	147.3	129.5	131.3	92.7	103.9	124.0

표 7

	No.59	No.60	No.61	No.62	No.63	No.64	No.65	No.66	No.67	No.68
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	63.07	66.40	66.40	63.07	63.07	63.07	63.07	63.07	63.07	63.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.81	8.51	8.51	16.81	16.81	16.81	16.81	17.21	15.71	15.71
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	0.60
Li <sub>2</sub> O	4.34	4.21	4.21	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34
Na <sub>2</sub> O	13.10	8.55	8.55	13.10	13.10	13.10	13.10	13.10	13.10	13.10
K <sub>2</sub> O	1.00	3.73	3.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50
MgO	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	1.16	6.02	4.02	1.16	1.16	1.16	2.16	1.16	1.16	1.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.47	0.81	2.81	0.47	1.47	0.47	0.47	0.47	1.97	0.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	1.74	1.74	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.51	0.47	0.38	0.51	0.48	0.51	0.51	0.48	0.48	0.52
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.60	0.61	0.45	0.60	0.55	0.60	0.60	0.61	0.58	0.66
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-16.12	16.89	19.29	-15.12	-13.92	-15.12	-15.12	-16.92	-10.62	-13.92
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4613	2.5352	2.4784	2.46	2.4464	2.4583	2.4715	2.4483	2.4369	2.4577
$d_{300-380}^{\text{NaOH}}(\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C})$	93.3	90.6	90.4	86.1	85.8	86	85.2	85.9	85.8	94.4
Ts (°C)	902	918	N.A.	903	918	903	899	904	873	828
10 <sup>2</sup> ε <sub>50</sub> Pa·s (°C)	1488	1603	1531	1591	1613	1597	1596	1598	1599	1582
TL (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
log <sub>10</sub> at TL (dPa·s)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	33.3<	0	N.A.	33.3<	33.3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	0.6	0.6	N.A.	0.1	0.7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
E (GPa)	76.9	75.1	72.6	77.5	75.4	76.4	77.1	76.0	73.8	76.0
CS <sub>K</sub> (MPa)	1138	757	660	1262	1202	1255	1290	1264	1033	964
DOL_ZERO <sub>K</sub> (μm)	32.9	33.8	46.0	21.8	28.2	24.6	22.2	25.4	27.8	26.1
CS <sub>Na</sub> (MPa)	151	74	35	116	127	167	170	175	147	153
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	143.6	57.1	64.8	127.9	143.6	122.8	127.7	133.1	141.1	88.2

표 8

	No.69	No.70	No.71	No.72	No.73	No.74	No.75	No.76	No.77	No.78
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	63.07	63.07	63.22	63.94	66.40	64.76	65.76	64.76	65.76	64.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.21	17.81	17.00	12.71	10.25	16.25	16.25	16.25	16.25	17.81
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.60	0.00	0.40	0.40	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00
Li <sub>2</sub> O	4.34	4.34	4.34	8.34	4.21	5.20	5.20	5.70	5.70	6.34
Na <sub>2</sub> O	13.10	13.10	13.10	11.10	8.55	11.00	11.00	10.50	10.50	11.10
K <sub>2</sub> O	1.50	0.00	1.50	0.50	4.23	1.25	1.25	1.25	1.25	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00
ZnO	1.16	1.16	0.00	0.00	5.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.97	0.47	0.40	2.47	0.81	0.40	0.40	0.40	0.40	0.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na-Li)/(A+B+P)	0.52	0.48	0.49	0.18	0.39	0.35	0.35	0.29	0.29	0.26
(B+Na+P)/(A+Li)	0.63	0.57	0.61	0.43	0.53	0.50	0.50	0.46	0.46	0.44
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-7.62	-18.12	-17.53	-5.46	11.17	-11.76	-10.76	-12.01	-11.01	-17.96
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4417	2.454	2.438	2.4142	2.5106	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2.4243
$d_{90,2800^{\circ}\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}$ °C)	93.8	84.8	93.3	88.7	92.8	87.8	88.7	87.7	87.9	84.8
Ts (°C)	N.A.	937	865	N.A.	N.A.	883	899	877	893	949
10 <sup>2</sup> 5Pa·s (°C)	1567	1613	1611	1486	1527	1609	1639	1605	1634	1617
TL (°C)	N.A.	N.A.	943	N.A.	N.A.	961	965	1016	1005	1087
lognat TL (dPa·s)	N.A.	N.A.	6.69	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내산선(1HCl 5wt% 80°C 24h)	2.4	N.A.	33.3<	0.1	0	43.2	48.0	34.1	31.4	31.9
내알칼리선(1NaOH 5wt% 80°C 6h)	0.2	N.A.	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	N.A.
E (GPa)	73.3	77.0	75.8	75.7	74.1	76.8	76.0	77.2	76.2	77.6
CS <sub>K</sub> (MPa)	1041	N.A.	1026	930	792	1073	1020	1058	1024	1315
DOL_ZERO <sub>K</sub> (μm)	40.8	N.A.	32.0	26.6	40.6	30.5	32.1	26.1	30.3	26.9
CS <sub>Na</sub> (MPa)	157	N.A.	152	119	82	229	213	235	236	281
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	70.3	N.A.	121.9	118.2	69.2	108.0	117.5	115.9	115.1	134.0

표 6

	No.79	No.80	No.81	No.82	No.83	No.84	No.85	No.86	No.87	No.88
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	64.61	64.61	62.99	63.58	63.58	63.58	62.58	66.26	66.26	66.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.81	18.81	17.81	16.55	16.55	15.55	17.55	16.25	16.25	16.25
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10
Li <sub>2</sub> O	6.34	7.34	8.90	9.19	7.19	8.69	8.19	5.20	5.70	4.70
Na <sub>2</sub> O	9.85	7.85	8.90	7.09	9.09	8.59	8.09	10.50	10.00	11.00
K <sub>2</sub> O	1.25	1.25	1.25	0.52	0.52	0.52	0.52	1.25	1.25	1.25
MgO	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.00	0.00	2.70	2.70	2.70	2.70	0.40	0.40	0.40
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.20	0.03	0.00	-0.11	0.10	-0.01	0.00	0.32	0.26	0.38
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.41	0.30	0.34	0.17	0.27	0.24	0.21	0.48	0.44	0.51
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-17.63	-19.63	-22.95	-12.37	-11.37	-10.62	-15.87	-9.51	-9.76	-9.26
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4246	2.4243	N.A.	2.4019	2.4072	2.4076	2.4091	2.4161	2.4135	2.4133
$d_{90,380^{\circ}\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ )	86.6	77.5	88.4	79	82	84	79.7	87.4	86.4	87.9
T <sub>g</sub> (°C)	936	954	N.A.	N.A.	915	N.A.	915	917	913	923
10 <sup>25</sup> MPa·s (°C)	1616	1602	1556	1589	1610	1575	N.A.	1644	1648	1658
TL (°C)	1080	1270<	N.A.	1180	1092	1107	1136	990	1034	939
lognat TL (dPa·s)	5.91	N.A.	N.A.	N.A.	5.60	N.A.	N.A.	N.A.	6.24	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	34.4	34.9	>100	4.1	4.3	2.2	16.6	12.0	8.4	16.7
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	0.6	1.4	0.0	0.8	0.7	0.7	0.9	0.6	0.6	0.6
E (GPa)	78.3	79.8	N.A.	77.3	75.8	76.6	77.1	75.9	75.9	74.9
CS <sub>k</sub> (MPa)	1273	1319	1071	1059	1074	967	1138	1045	1039	1075
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	31.1	22.6	17.3	23.4	30.1	24.9	25.0	38.8	37.0	39.2
CS <sub>N<sub>g</sub></sub> (MPa)	294	352	401	388	280	288	339	240	260	234
DOL_ZERO <sub>N<sub>g</sub></sub> (μm)	1160	1084	87.0	113.8	122.3	120.5	111.5	121.2	129.4	114.9

표 10

	No.89	No.90	No.91	No.92	No.93	No.94	No.95	No.96	No.97	No.98
(mol%)	No.89	No.90	No.91	No.92	No.93	No.94	No.95	No.96	No.97	No.98
SiO <sub>2</sub>	65.76	63.36	64.36	63.36	63.36	63.50	63.50	63.50	63.50	62.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.25	17.81	17.81	17.81	17.81	15.56	17.56	15.56	14.56	17.81
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Li <sub>2</sub> O	4.70	8.34	8.34	8.84	8.34	8.10	6.10	6.10	6.10	8.34
Na <sub>2</sub> O	11.50	9.10	8.10	8.60	8.60	8.00	8.00	10.00	11.00	9.10
K <sub>2</sub> O	1.25	1.25	1.25	1.25	1.75	2.15	2.15	2.15	2.15	1.25
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	2.55	2.55	2.55	2.55	0.47
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na+Li)/(Al+B+P)	0.41	0.04	-0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.09	0.21	0.28	0.04
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.53	0.35	0.31	0.33	0.33	0.23	0.23	0.35	0.41	0.33
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-10.51	-21.75	-19.25	-22.00	-21.50	-10.57	-12.57	-9.57	-8.07	-21.65
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4178	2.4307	2.4217	2.4292	2.4309	2.4088	2.4039	2.414	2.4181	2.4268
$d_{500\pm 380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	89.5	86.3	84.12	86.9	87.9	87.9	82.6	91.4	93.7	87.9
T <sub>s</sub> (°C)	902	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	938	860	880	N.A.
$10^{25} \mu\text{Pa} \cdot \text{s}$ (°C)	1656	1572	1595	1570	1578	1579	1630	1606	1574	1569
TL(°C)	916	1092	1137	1113	1084	1020	1036	1014>	1014>	1110
lognat TL(dPa·s)	N.A.	N.A.	5.20	N.A.	N.A.	N.A.	6.41	N.A.	N.A.	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	78.6<	76.4<	74.7<	78.2<	78.3<	4.8	16.2	8.0	1.2	67.5
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6	0.5
E(GPa)	75.1	79.7	79.5	79.9	79.4	75.5	74.9	74.3	74.1	78.7
CS <sub>k</sub> (MPa)	1021	1033	1142	1020	1023	843	1046	895	N.A.	1055
DOL_ZERO <sub>k</sub> ( $\mu\text{m}$ )	37.5	25.3	27.3	24.7	27.4	40.7	44.4	46.9	N.A.	29.0
CS <sub>Na</sub> (MPa)	235	354	401	383	360	287	282	218	N.A.	354
DOL_ZERO <sub>Na</sub> ( $\mu\text{m}$ )	113.2	119.5	113.8	100.6	104.9	113.8	113.0	108.3	N.A.	108.5

표 11

	No.99	No.100	No.101	No.102	No.103	No.104	No.105	No.106	No.107	No.108
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	62.89	62.89	62.89	62.96	63.36	62.96	62.96	65.65	64.10	64.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.81	17.81	16.81	18.81	18.81	18.81	18.10	17.56	18.10	18.10
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Li <sub>2</sub> O	7.34	7.34	8.34	7.34	7.34	7.34	8.72	6.10	6.33	6.33
Na <sub>2</sub> O	9.10	10.10	10.10	8.60	8.60	8.60	7.93	8.00	8.24	8.24
K <sub>2</sub> O	1.25	1.25	1.25	0.75	0.75	0.75	0.75	2.15	1.69	0.04
MgO	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.47	0.47	0.47	0.40	0.00	1.40	1.40	0.40	1.40	3.05
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na-Li)/(A+B+P)	0.09	0.15	0.10	0.07	0.07	0.06	-0.04	0.11	0.10	0.09
(B+Na+P)/(A+Li)	0.33	0.39	0.39	0.32	0.33	0.28	0.25	0.33	0.28	0.22
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-22.65	-21.15	-20.15	-21.42	-21.50	-20.22	-19.84	-13.00	-15.33	-11.70
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.426	2.4299	2.4338	2.4301	2.4328	2.4165	2.4134	2.4171	2.4144	2.3956
$\alpha_{50\sim 380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	82.6	91.4	93.7	78.1	79	79	81.4	81.9	80.2	71.2
Ts (°C)	930	887	†	921	927	937	915	974	963	966
10 <sup>25</sup> MPa·s (°C)	1584	1584	1556	1571	1573	1594	1574	1653	1636	1635
TL (°C)	1086	1059	1032	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1173	1204	1261
lognat TL (dPa·s)	5.71	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5.40	5.00	4.60
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	77.1	76.6	61.0	55.7	51.8	38.4	36.0	35.9	33.8	3.9
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	0.7	0.5	0.5	0.8	0.7	1.0	0.8	0.7	0.9	1.2
E (GPa)	78.8	78.3	79.1	79.7	80.6	78.2	78.4	78.0	77.1	75.6
CS <sub>k</sub> (MPa)	1176	1056	894	1301	1345	1227	1160	1195	1171	1128
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	29.4	29.6	25.3	18.7	18.1	21.3	21.8	31.5	32.7	21.8
CS <sub>Na</sub> (MPa)	313	295	330	345	362	324	351	290	303	276
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	121.7	124.0	102.4	108.4	97.4	108.6	123.7	108.7	104.6	132.6

표 12

	No.109	No.110	No.111	No.112	No.113	No.114	No.115	No.116	No.117	No.118
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	62.60	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.10	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Li <sub>2</sub> O	6.33	6.00	7.00	8.00	6.00	7.00	8.00	6.00	7.00	8.00
Na <sub>2</sub> O	8.94	6.00	5.00	4.00	7.00	6.00	5.00	8.00	7.00	6.00
K <sub>2</sub> O	0.84	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
MgO	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.05	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na+Li)/(Al+B+P)	0.12	0.00	-0.09	-0.18	0.05	-0.05	-0.14	0.10	0.00	-0.10
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.25	0.09	0.04	0.00	0.17	0.12	0.08	0.25	0.20	0.15
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-15.05	-8.06	-8.56	-9.06	-10.76	-11.26	-11.76	-13.46	-13.96	-14.46
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4049	2.3812	2.3791	2.377	2.3945	2.3926	2.3908	2.4074	2.4049	2.4024
$\alpha_{50\pm 380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	78.7	61.7	60.2	59.5	66.8	65.2	64	71.9	70.2	69
Ts (°C)	947	981	972	966	976	968	961	974	965	957
10 <sup>2</sup> $\sigma_{50\text{Pa}}$ ·s (°C)	1642	1644	1632	1618	1636	1623	1612	1630	1618	1609
TL (°C)	1086	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
lognat TL (dPa·s)	5.93	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	14.1	1.6	1.9	1.5	3.0	2.5	2.3	5.2	4.3	4.1
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	1.1	N.A.	1.4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	0.9	1.3
E (GPa)	75.3	75.8	76.6	77.1	76.6	77.4	78.1	77.3	78.0	N.A.
CS <sub>k</sub> (MPa)	1106	963	962	963	1047	1049	1055	1149	1141	1129
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	28.9	20.5	21.1	18.6	24.2	21.9	18.6	24.6	22.0	20.4
CS <sub>h<sub>0</sub></sub> (MPa)	262	202	287	286	223	276	286	234	276	N.A.
DOL_ZERO <sub>h<sub>0</sub></sub> (μm)	122.6	134.4	119.2	125.3	132.8	124.9	123.6	128.1	123.7	N.A.

표 13

	No.119	No.120	No.121	No.122	No.123	No.124	No.125	No.126	No.127	No.128
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	64.50	61.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	15.40
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Li <sub>2</sub> O	6.38	7.38	8.38	6.38	7.38	8.38	6.38	7.38	8.38	7.80
Na <sub>2</sub> O	6.38	5.38	4.38	7.38	6.38	5.38	8.38	7.38	6.38	7.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50
MgO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	2.36
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.50
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.00	-0.09	-0.18	0.05	-0.05	-0.14	0.10	0.00	-0.10	-0.04
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.10	0.06	0.02	0.18	0.13	0.09	0.26	0.21	0.17	0.16
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-8.63	-9.13	-9.63	-11.33	-11.83	-12.33	-14.03	-14.53	-15.03	-9.40
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2.4176
$\alpha_{300\pm 300^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	86.5
Ts (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	883
10 <sup>25</sup> MPa <sup>-1</sup> s (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1560
TL (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1034
lograt TL (dPa <sup>-1</sup> s)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5.56
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	4.6
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1.0
E (GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	76.1
CS <sub>k</sub> (MPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	919
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	35.8
CS <sub>h<sub>0</sub></sub> (MPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	228
DOL_ZERO <sub>h<sub>0</sub></sub> (μm)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	108.5

표 14

(mol%)	No.129	No.130	No.131	No.132	No.133	No.134	No.135	No.136	No.137	No.138
SiO <sub>2</sub>	61.00	60.20	59.80	59.80	60.50	61.00	60.50	61.00	60.50	58.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.00	15.40	16.50	15.40	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	16.15
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Li <sub>2</sub> O	8.00	8.00	7.80	7.80	8.00	9.00	9.00	7.00	7.00	9.25
Na <sub>2</sub> O	7.80	7.80	7.00	7.00	7.80	6.80	6.80	8.80	8.80	6.75
K <sub>2</sub> O	1.50	1.50	2.50	2.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.75
MgO	2.06	2.46	3.46	2.36	2.06	2.06	2.06	2.06	2.06	4.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.50	4.50	2.80	4.00	5.00	4.50	5.00	4.50	5.00	4.50
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na-Li)/(A+B+P)	-0.01	-0.01	-0.04	-0.04	-0.01	-0.11	-0.11	0.09	0.09	-0.12
(B+Na+P)/(A+Li)	0.15	0.15	0.18	0.13	0.13	0.10	0.08	0.20	0.18	0.09
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-7.90	-9.90	-15.04	-10.30	-7.80	-8.40	-8.30	-7.40	-7.30	-14.07
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4098	2.4145	2.435	2.417	2.4083	2.4076	2.4049	2.4126	2.4109	2.4254
$\alpha_{900,380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	86.2	86.5	86.3	87.4	86.4	84.6	84.9	88.1	88.5	80.6
Ts (°C)	875	873	N.A.	879	872	870	864	881	876	N.A.
10 <sup>2.5</sup> TPa <sup>-1</sup> ·s (°C)	1554	1545	1524	1553	1554	1546	1543	1566	1565	1492
TL (°C)	1022	N.A.	1040	N.A.	1012	1080	1059	992	989	1117
lognat TL (dPa·s)	5.47	N.A.	5.53	N.A.	5.46	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	4.46
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	2.2	4.7	38.8	5.8	2.3	1.8	2.1	2.2	2.4	8.9
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	1.2	1.1	1.0	1.3	1.3	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3
E (GPa)	75.3	N.A.	78.6	N.A.	76.7	76.0	75.4	74.5	74.1	78.3
CS <sub>K</sub> (MPa)	878	920	1015	916	873	912	886	923	897	1006
DOL_ZERO <sub>K</sub> (μm)	36.5	36.1	29.9	38.0	34.6	29.5	31.8	36.2	36.7	22.0
CS <sub>Na</sub> (MPa)	223	N.A.	257	N.A.	173	283	291	228	228	338
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	123.2	N.A.	95.5	N.A.	123.5	122.0	119.1	117.8	111.7	116.3

표 15

(mol%)	No.139	No.140	No.141	No.142	No.143	No.144	No.145	No.146	No.147	No.148
SiO <sub>2</sub>	61.26	68.20	68.20	61.30	60.40	68.20	70.20	61.40	60.30	60.73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.40	9.50	9.50	15.40	16.15	9.50	9.50	18.50	18.80	18.94
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Li <sub>2</sub> O	8.64	9.00	8.00	7.80	9.25	9.00	9.00	6.80	7.20	7.50
Na <sub>2</sub> O	6.46	8.16	8.16	7.00	6.75	6.16	6.16	8.40	8.10	7.85
K <sub>2</sub> O	2.50	3.00	3.00	2.50	0.75	3.00	3.00	0.30	0.45	0.30
MgO	2.40	2.00	3.00	2.36	2.06	4.00	2.00	0.50	0.50	0.50
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.20	0.00	0.00	3.50	4.50	0.00	0.00	3.96	4.30	4.50
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.16	0.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.10	0.10
(Na-Li)/(Al+B+P)	-0.12	-0.09	0.02	-0.04	-0.12	-0.30	-0.30	0.07	0.04	0.01
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.14	0.45	0.47	0.16	0.09	0.34	0.34	0.18	0.15	0.13
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-10.67	6.36	8.36	-9.40	-12.13	9.36	11.36	-15.95	-18.04	-17.86
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4200	2.4279	2.4264	2.4181	2.4088	2.4239	2.4100	2.4022	2.4068	N.A.
$d_{50-380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	87.4	94.3	95.9	87.5	79.5	88.8	86.7	74.9	74.8	N.A.
T <sub>g</sub> (°C)	N.A.	701	685	884	N.A.	713	713	931	926	N.A.
10 <sup>25</sup> MPa·s (°C)	1537	1427	1435	1556	1534	1445	1479	1596	1579	N.A.
TL (°C)	1055	879	884	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1080	1140	N.A.
lognat TL (dPa·s)	5.28	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5.82	5.3	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	3.9	0.0	0.0	3.8	5.4	0.0	0.0	13.5	20.7	N.A.
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	1.0	0.6	0.6	0.9	1.1	0.5	0.6	1.2	1.1	N.A.
E (GPa)	77.3	77.6	77.4	76.2	76.9	78.8	77.6	N.A.	75.9	N.A.
CS <sub>k</sub> (MPa)	934	506	473	943	957	561	508	1067	1072	N.A.
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	36.5	17.3	19.8	38.3	25.9	14.7	19.0	25.0	25.2	N.A.
CS <sub>Na</sub> (MPa)	312	136	175	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	291	260	N.A.
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	101.3	78.7	62.3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	132.5	125.8	N.A.

표 16

	No.149	No.150	No.151	No.152	No.153	No.154	No.155	No.156	No.157	No.158
(mol%)	No.149	No.150	No.151	No.152	No.153	No.154	No.155	No.156	No.157	No.158
SiO <sub>2</sub>	61.02	60.55	60.73	60.43	66.16	64.12	62.82	62.35	61.84	61.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.57	18.51	18.51	18.76	11.85	14.09	15.44	15.95	16.51	16.87
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.11	0.11	0.10	0.36	0.31	0.33	0.31	0.21	0.26
Li <sub>2</sub> O	7.13	6.91	6.82	7.22	0.52	2.61	3.81	4.24	4.81	5.23
Na <sub>2</sub> O	8.21	8.38	8.48	8.08	14.66	12.79	11.74	11.34	10.87	10.52
K <sub>2</sub> O	0.35	0.49	0.49	0.44	1.29	1.03	0.87	0.81	0.74	0.70
MgO	0.72	0.67	0.67	0.52	4.64	3.40	2.62	2.35	2.06	1.85
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.28	4.13	3.94	4.31	0.23	1.43	2.16	2.45	2.77	2.97
SnO <sub>2</sub>	0.16	0.16	0.16	0.05	0.15	0.12	0.09	0.09	0.08	0.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cl	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
(Na-Li)/(A+B+P)	0.05	0.06	0.07	0.04	1.14	0.64	0.44	0.38	0.31	0.26
(B+Na+P)/(A+Li)	0.16	0.17	0.18	0.15	1.20	0.70	0.51	0.46	0.39	0.35
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-16.59	-17.02	-17.02	-17.78	6.19	-2.16	-7.33	-9.16	-11.24	-12.82
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4068	N.A.	2.4092	N.A.	2.4483	2.439	2.4326	2.429	2.4257	2.4231
$d_{50-380^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	73.5	N.A.	75.7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Ts (°C)	923	N.A.	927	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
10 <sup>25</sup> dPa·s (°C)	1293	N.A.	1587	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TL (°C)	1125	N.A.	1125	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
lograt TL (dPa·s)	5.3	N.A.	5.3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	19.1	N.A.	20.7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	1.3	N.A.	1.1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
E (GPa)	N.A.	N.A.	76	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CS <sub>k</sub> (MPa)	1064	N.A.	1086	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1164	1151	1138
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	26.6	N.A.	23.5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	31.6	29	26.1
CS <sub>100</sub> (MPa)	271	N.A.	246	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	168	198	214
DOL_ZERO <sub>100</sub> (μm)	132.0	N.A.	132.1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	92.8	89.6	90.4

표 17

	No.159	No.160	No.161	No.162	No.163	No.164	No.165	No.166	No.167	No.168
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	61.13	60.80	60.45	60.27	60.09	59.88	59.76	59.64	59.64	59.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.24	17.62	17.85	18.12	18.35	18.55	18.73	18.81	18.91	18.99
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.24	0.22	0.27	0.26	0.20	0.23	0.22	0.17	0.20	0.16
Li <sub>2</sub> O	5.55	5.91	6.31	6.51	6.74	7.02	7.17	7.41	7.41	7.49
Na <sub>2</sub> O	10.19	9.85	9.57	9.34	9.13	8.91	8.74	8.64	8.53	8.45
K <sub>2</sub> O	0.65	0.62	0.59	0.56	0.53	0.51	0.49	0.48	0.47	0.47
MgO	1.65	1.44	1.29	1.16	1.04	0.90	0.79	0.71	0.65	0.58
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.17	3.37	3.50	3.64	3.76	3.86	3.95	4.00	4.05	4.10
SnO <sub>2</sub>	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cl	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.23	0.19	0.15	0.13	0.11	0.08	0.07	0.05	0.05	0.04
(B+Na-P)/(Al+Li)	0.32	0.28	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18	0.18	0.17
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-14.08	-15.46	-16.74	-17.57	-18.34	-19.28	-19.86	-20.40	-20.51	-20.70
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4203	2.4179	2.4164	2.4147	2.4132	2.4117	2.4105	2.4097	2.4085	2.4081
$\alpha_{300\pm 300^\circ\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ )	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Ts (°C)	N.A.	895	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
10 <sup>2</sup> $\mu\text{Pa} \cdot \text{s}$ (°C)	N.A.	1587	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TL (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
lognat TL (dPa · s)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
E (GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CS <sub>k</sub> (MPa)	1133	1126	1122	1122	1112	1114	1114	1117.442	1100	1103
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	24.8	24.1	23.4	22.8	22.3	22.4	22.3	21.4265	22.2	21.7
CS <sub>0.5</sub> (MPa)	216	218	235	236	253	259	260	249	268	273
DOL_ZERO <sub>0.5</sub> (μm)	96.7	102.8	95	96.5	97.5	101.5	98.4	107	99.7	100.7

표 18

	No.169	No.170	No.171	No.172	No.173	No.174	No.175	No.176	No.177	No.178
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	59.52	59.57	59.69	59.77	59.89	59.97	59.86	59.91	59.97	60.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.00	18.99	18.99	18.94	18.94	18.97	18.97	18.98	18.93	18.91
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.21	0.23	0.20	0.12	0.10	0.13	0.18	0.19	0.18
Li <sub>2</sub> O	7.65	7.65	7.54	7.57	7.55	7.51	7.65	7.57	7.53	7.42
Na <sub>2</sub> O	8.38	8.34	8.30	8.27	8.27	8.24	8.22	8.21	8.22	8.20
K <sub>2</sub> O	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
MgO	0.53	0.48	0.45	0.43	0.40	0.37	0.33	0.31	0.34	0.32
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.12	4.15	4.18	4.20	4.22	4.24	4.24	4.23	4.22	4.24
SnO <sub>2</sub>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cl	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.07
(Na+Li)/(Al+B+P)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-21.06	-20.91	-20.50	-20.23	-19.96	-19.80	-20.17	-20.04	-19.78	-19.28
p(g/cm <sup>3</sup> )	2.4076	2.4065	2.4055	2.4048	2.4038	2.4034	2.4029	2.4027	2.4029	2.4016
d <sub>500,380°C</sub> (×10 <sup>-7</sup> /°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Ts (°C)	N.A.	902	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	907	N.A.
10 <sup>2</sup> σPa·s (°C)	N.A.	1577	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1577	N.A.
TL (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
logηat TL (dPa·s)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	N.A.	29.6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	21.6	N.A.
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	N.A.	1.6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1.6	N.A.
E (GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CS <sub>k</sub> (MPa)	1103	1102	1108	1108	1108	1112	1104	1109	1108	N.A.
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	21.3	21.3	22	23.4	23.6	23.7	23.5	23.3	24.4	N.A.
CS <sub>Na</sub> (MPa)	274	264	276	258	251	262	271	269	264	N.A.
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	94.9	100.5	106.5	106.7	91.2	101.7	98.4	106.3	99.6	N.A.

표 19

	No.179	No.180	No.181	No.182	No.183	No.184	No.185	No.186	No.187	No.188
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	60.16	60.18	60.28	60.15	60.20	60.14	60.38	60.38	60.38	60.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.92	18.91	18.95	18.93	18.95	18.95	18.57	18.57	18.57	18.67
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.19	0.22	0.20	0.22	0.17	0.18	0.10	0.10	0.10	0.10
Li <sub>2</sub> O	7.38	7.37	7.22	7.40	7.39	7.45	7.13	7.63	7.13	7.13
Na <sub>2</sub> O	8.18	8.18	8.20	8.17	8.17	8.17	8.21	8.21	8.21	8.21
K <sub>2</sub> O	0.45	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.35	0.35	0.85	0.35
MgO	0.29	0.27	0.26	0.23	0.22	0.20	0.72	0.72	0.72	0.72
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.27	4.27	4.28	4.29	4.30	4.30	4.28	3.78	3.78	4.28
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.16	0.16	0.16	0.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
(Na-Li)/(A+B+P)	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.05
(B+Na+P)/(A+Li)	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.16	0.17	0.18	0.16
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-19.14	-19.09	-18.83	-19.22	-19.12	-19.32	-17.22	-18.82	-18.32	-17.62
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4017	2.4015	2.4011	N.A.	N.A.	2.4005	2.4068	2.4114	2.4128	2.4076
$\alpha_{500,380^{\circ}\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ )	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	73.5	75.7	76.8	75.1
Ts (°C)	N.A.	N.A.	908	N.A.	N.A.	N.A.	923	919	919	920
10 <sup>2</sup> ε <sub>500Pa</sub> ·s (°C)	N.A.	N.A.	1575	N.A.	N.A.	N.A.	1580	1566	1574	1573
TL (°C)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1125	1113	1167	1136
lognat TL (dPa·s)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5.3	5.3	4.9	5.2
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	N.A.	N.A.	19.9	N.A.	N.A.	N.A.	19.1	30.4	33.5	20.6
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	N.A.	N.A.	1.5	N.A.	N.A.	N.A.	1.3	1.3	1.3	1.4
E (GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CS <sub>k</sub> (MPa)	N.A.	1101	1094	1100	1093	1096	1064	1086	1067	1055
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	N.A.	24.8	24.5	23.6	24.3	23.7	27	23	28	25
CS <sub>100</sub> (MPa)	N.A.	272	269	249	246	244	271	294	263	253
DOL_ZERO <sub>100</sub> (μm)	N.A.	110.8	103.2	111.7	103.1	105	132	127	131	129

표 20

	No.189	No.190	No.191	No.192	No.193	No.194	No.195	No.196	No.197	No.198
(mol%)										
SiO <sub>2</sub>	60.28	60.28	59.88	59.88	59.78	59.78	60.33	60.36	60.38	63.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.67	18.67	18.57	18.57	18.67	18.67	18.80	18.80	18.80	15.12
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.28
Li <sub>2</sub> O	7.63	7.13	7.63	7.13	7.63	7.13	7.20	7.20	7.20	3.61
Na <sub>2</sub> O	8.21	8.21	8.21	8.21	8.21	8.21	8.10	8.10	8.10	11.63
K <sub>2</sub> O	0.35	0.85	0.35	0.85	0.35	0.85	0.45	0.45	0.45	0.91
MgO	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.50	0.50	0.50	2.66
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.78	3.78	4.28	4.28	4.28	4.28	4.30	4.30	4.30	2.15
SnO <sub>2</sub>	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.12	0.09	0.07	0.11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
(Na+Li)/(Al+B+P)	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04	0.46
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.17	0.18	0.15	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.52
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-19.22	-18.72	-18.72	-18.22	-19.12	-18.62	-18.01	-17.98	-17.96	-5.23
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.4124	2.4133	2.4095	2.41	2.4096	2.4107	2.4052	2.4046	2.4036	2.4299
$d_{900,380^{\circ}\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ )	75.1	77.5	76.1	77.7	76.2	76.4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
T <sub>g</sub> (°C)	915	919	910	913	910	914	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
10 <sup>25</sup> MPa·s(°C)	1564	1574	1567	1575	1565	1574	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TL(°C)	1166	1166	1160	1155	1155	1146	1167	1149	1108	1063
log $\eta$ at TL(dPa·s)	4.8	4.9	4.9	5.0	4.9	5.0	4.9	5.1	5.5	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	34.5	38.1	28.4	31	30.2	31.5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
E(GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CS <sub>k</sub> (MPa)	1088	1071	1062	1038	1054	1044	N.A.	1112	N.A.	N.A.
DOL_ZERO <sub>k</sub> ( $\mu\text{m}$ )	23	24	24	27	23	27	N.A.	23.3	N.A.	N.A.
CS <sub>Na</sub> (MPa)	265	260	265	257	297	268	N.A.	256	N.A.	N.A.
DOL_ZERO <sub>Na</sub> ( $\mu\text{m}$ )	140	131	134	130	129	129	N.A.	106.6	N.A.	N.A.

표 21

	No.199	No.200	No.201	No.202	No.203	No.204	No.205	No.206	No.207	No.208
(mol%)	No.199	No.200	No.201	No.202	No.203	No.204	No.205	No.206	No.207	No.208
SiO <sub>2</sub>	60.41	60.37	60.37	65.32	65.60	65.89	66.17	69.40	59.40	59.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.80	18.80	18.80	12.83	12.48	12.13	11.79	18.80	18.80	18.80
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10	0.10	0.10	0.40	0.41	0.43	0.45	0.20	0.20	0.20
Li <sub>2</sub> O	7.20	7.20	7.20	1.38	1.04	0.70	0.36	7.20	7.20	8.11
Na <sub>2</sub> O	8.10	8.10	8.10	13.83	14.17	14.50	14.83	9.01	9.01	8.10
K <sub>2</sub> O	0.45	0.45	0.45	1.20	1.24	1.29	1.33	0.45	0.45	0.45
MgO	0.50	0.50	0.50	4.01	4.22	4.42	4.62	0.50	0.02	0.50
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.30	4.30	4.30	0.81	0.61	0.40	0.20	4.30	4.78	4.30
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.08	0.08	0.13	0.14	0.14	0.15	0.04	0.04	0.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.010	0.010	0.010
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.002	0.002	0.002	0.002	0.010	0.010	0.010
Cl	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.01	0.01	0.01
(Na+Li)/(Al+B+P)	0.04	0.04	0.04	0.89	0.97	1.06	1.16	0.08	0.08	0.00
(B+Na+P)/(Al+Li)	0.15	0.15	0.15	0.94	1.03	1.13	1.24	0.19	0.17	0.15
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-17.93	-17.97	-17.97	2.71	3.92	5.12	6.31	-20.41	-19.83	-20.86
p(g/cm <sup>3</sup> )	2.403	2.4033	2.4031	2.4443	2.444	2.4452	2.4459	2.4084	2.4014	2.4065
d <sub>500,380°C</sub> (×10 <sup>-7</sup> /°C)	74.8	74.2	N.A.	89.4	90.5	90	90.4	78.8	79.4	77.2
Ts (°C)	926	924	N.A.	871	870	867	867	909	912	901.5
10 <sup>2</sup> σPa·s (°C)	1569	1579	N.A.	1608	1605	1600	1597	1563	1572	1555
TL (°C)	1108	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1094	1078	1117
logηat TL (dPa·s)	5.5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5.4	5.7	5.2
내산성(HCl Swt% 80°C 24h)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	38.4	32.8	37.6
내알칼리성(NaOH Swt% 80°C 6h)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1.2	1.4	1.3
E (GPa)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	75.2	74.4	76.0
CS <sub>k</sub> (MPa)	1130	1109	1107	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1123	1059	1098
DOL_ZERO <sub>k</sub> (μm)	24.0	23.1	22.7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	27.5	30.8	25.7
CS <sub>Na</sub> (MPa)	245	238	244	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	275	260	286
DOL_ZERO <sub>Na</sub> (μm)	110.0	111.3	109.1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	123.4	128.9	124.1

표 22

	No.209	No.210	No.211	No.212	No.213	No.214	No.215
(mol%)							
SiO <sub>2</sub>	59.40	59.61	59.41	59.61	59.61	59.41	59.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.80	18.60	18.60	18.60	18.60	18.60	18.56
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	0.20	0.20	0.20	0.50	0.20	0.20
Li <sub>2</sub> O	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11
Na <sub>2</sub> O	8.10	8.10	8.30	8.10	8.10	8.30	8.35
K <sub>2</sub> O	0.45	0.45	0.45	0.15	0.15	0.15	0.45
MgO	0.02	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.02
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.78	4.30	4.30	4.60	4.30	4.30	4.78
SnO <sub>2</sub>	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
TiO <sub>2</sub>	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Cl	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
(Na-Li)/(Al+B+P)	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
(B+Na-P)/(Al+Li)	0.13	0.15	0.16	0.14	0.16	0.16	0.14
Si+1.2P-3Al-2Li-1.5Na-K-B	-20.28	-20.05	-20.55	-19.39	-20.05	-20.25	-19.94
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.3997	2.4043	2.4059	2.4018	2.4014	2.4111	2.399
$\alpha_{30\sim 380^{\circ}\text{C}}$ ( $\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ )	77.5	76.7	78.1	75.6	74.9	76.5	78.6
Ts (°C)	908	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
10 <sup>2.5</sup> dPa · s (°C)	1562	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
TL (°C)	1120	N.A.	N.A.	1090	1092	1130	1098
lognat TL (dPa · s)	5.1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
내산성(HCl 5wt% 80°C 24h)	29.3	31	36.8	23.6	27.2	35.2	25.5
내알칼리성(NaOH 5wt% 80°C 6h)	1.3	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
E (GPa)	75.0	75.4	75	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CS <sub>K</sub> (MPa)	1044	1108	1109	1087	1104	1120	1044
DOL_ZERO <sub>K</sub> (μm)	29.3	26.8	26.7	25.3	24.2	23.8	29.9
CS <sub>N<sub>0</sub></sub> (MPa)	291	290	281	296	286	299	226
DOL_ZERO <sub>N<sub>0</sub></sub> (μm)	130.1	124.3	132.9	134.3	126.1	120.9	153

[0105]

[0106]

다음과 같이 해서, 표 중의 각 시료를 제작했다. 우선 표 중의 유리 조성이 되도록 유리 원료를 조합하고, 백금 포트를 사용해서 1600°C에서 21시간 용융했다. 계속해서, 얻어진 용융 유리를 카본판 상에 흘려보내고, 평판 형상으로 성형한 후, 서냉점에서 변형점 사이의 온도역을 3°C/분으로 냉각하여 유리판(강화용 유리판)을 얻었다. 얻어진 유리판에 대해서, 판 두께가 1.5mm가 되도록 표면을 광학 연마한 후, 다양한 특성을 평가했다.

[0107]

밀도( $\rho$ )는 주지의 아르키메데스법에 의해 측정된 값이다.

[0108]

30~380°C에 있어서의 열팽창계수( $\alpha_{30\sim 380^{\circ}\text{C}}$ )는 딜라토미터를 사용하여 평균 열팽창계수를 측정된 값이다.

[0109]

고온 점도  $10^{2.5}$  dPa · s에 있어서의 온도( $10^{2.5}$  dPa · s)는 백금구 인상법으로 측정된 값이다.

[0110]

연화점(Ts)은 ASTM C338의 방법에 근거하여 측정된 값이다.

[0111]

액상 온도(TL)는 표준체 30메쉬(500 $\mu\text{m}$ )를 통과하여 50메쉬(300 $\mu\text{m}$ )에 남아 있는 유리 분말을 백금 보트에 넣고, 온도 구배로 중에 24시간 유지한 후, 백금 보트를 꺼내 현미경 관찰에 의해, 유리 내부에 실투(실투 파티클)가 확인된 가장 높은 온도로 했다. 액상 점도(log $\eta$  at TL)는 액상 온도에 있어서의 점도를 백금구 인상법으로 측정된 값이며, 로그를 취해서 log $\eta$ 로 나타낸 것이다.

[0112]

영률(E)은 JIS R1602-1995 「파인 세라믹스의 탄성률 시험 방법」에 준거한 방법으로 산출한 것이다.

[0113]

내산성 시험은 측정 시료로서 50×10×1.0mm의 치수로 양면 경면 연마 가공한 유리 시료를 사용하고, 중성 세제 및 순수로 충분히 세정한 후, 80°C로 가온한 5질량% HCl 수용액에 24시간 침지시킴과 아울러, 침지 전후의 단위 표면적당의 질량 손실(mg/cm<sup>2</sup>)을 산출하는 것으로 평가한 것이다.

[0114]

내알칼리성 시험은 측정 시료로서 50×10×1.0mm의 치수로 양면 경면 연마 가공한 유리 시료를 사용하고, 중성 세제 및 순수로 충분히 세정한 후, 80°C로 가온한 5질량% NaOH 수용액에 6시간 침지시킴과 아울러, 침지 전후의

단위표면적당의 질량 손실(mg/cm<sup>2</sup>)을 산출하는 것으로 평가한 것이다.

- [0115] 계속해서, 430℃의 KNO<sub>3</sub> 용융염 중에, 각 유리판을 4시간 침지함으로써 이온 교환 처리를 행하여 표면에 압축 응력층을 갖는 강화 유리판을 얻은 후, 유리 표면을 세정한 뒤에, 표면 응력계 FSM-6000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd.제)을 사용해서 관찰되는 간섭무늬의 개수와 그 간격으로부터 최표면의 압축 응력층의 압축 응력값(CS<sub>K</sub>)과 응력 깊이(DOL\_ZERO<sub>K</sub>)를 산출했다. 여기에서, DOL\_ZERO<sub>K</sub>는 압축 응력값이 제로가 되는 깊이이다. 또한, 응력 특성의 산출에 있어서, 각 시료의 굴절률을 1.51, 광학 탄성 정수를 30.1[(nm/cm)/MPa]로 했다.
- [0116] 또한, 380℃의 NaNO<sub>3</sub> 용융염 중에, 각 유리판을 1시간 침지함으로써 이온 교환 처리를 행하여 강화 유리판을 얻은 후, 유리 표면을 세정한 뒤에 산란광 광탄성 응력계 SLP-1000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd.제)을 사용해서 관찰되는 위상차 분포 곡선으로부터 최표면의 압축 응력값(CS<sub>Na</sub>)과 응력 깊이(DOL\_ZERO<sub>Na</sub>)를 산출했다. 여기에서, DOL\_ZERO<sub>Na</sub>는 응력값이 제로가 되는 깊이이다. 또한, 응력 특성의 산출에 있어서, 각 시료의 굴절률을 1.51, 광학 탄성 정수를 30.1[(nm/cm)/MPa]로 했다.
- [0117] 표로부터 명백한 바와 같이, 시료 No. 1~35 및 38~215는 KNO<sub>3</sub> 용융염으로 이온 교환 처리한 경우, 최표면의 압축 응력층의 압축 응력값(CS<sub>K</sub>)이 473MPa 이상이며, 또한 NaNO<sub>3</sub> 용융염으로 이온 교환 처리한 경우, 최표면의 압축 응력층의 압축 응력값(CS<sub>Na</sub>)이 165MPa 이상이기 때문에, 어느 용융염에서도 이온 교환 처리가 가능하며, 낙하시에 파손이 생기기 어려운 것으로 생각된다. 또한, 시료 No. 1~35 및 38~215는 액상 점도가 10<sup>3.74</sup>dPa·s 이상이기 때문에, 판 형상으로 성형가능한 것으로 생각된다. 한편, 시료 No. 36은 압축 응력층의 압축 응력값(CS<sub>Na</sub>)이 163MPa이기 때문에, 낙하시에 파손되기 쉬운 것으로 생각된다. 또한, 시료 No. 37은 액상 점도가 10<sup>3.5</sup>dPa·s 미만이기 때문에, 판 형상으로 성형하기 어려운 것으로 생각된다.
- [0118] 그리고, 표 5~22로부터 명백한 바와 같이, 시료 No. 37~215는 ([SiO<sub>2</sub>]+1.2×[P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>]-3×[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]-2×[Li<sub>2</sub>O]-1.5×[Na<sub>2</sub>O]-[K<sub>2</sub>O]-[B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>])이 -36mol% 이상으로 내산성이 높기 때문에, 산처리 공정에 적용하기 쉬워 커버 유리로써 바람직한 것으로 생각된다.
- [0119] 실시예 2
- [0120] 우선, 표 1의 시료 No. 2 및 표 4의 시료 No. 35의 유리 조성이 되도록 유리 원료를 조합하고, 백금 포트를 사용하여 1600℃에서 21시간 용융했다. 계속해서, 얻어진 용융 유리를 카본판 상에 흘려보내고 평판 형상으로 성형한 후, 서냉점으로부터 변형점 사이의 온도역을 3℃/분으로 냉각하여 유리판(강화용 유리판)을 얻었다. 얻어진 유리판에 대해서, No. 2는 판 두께 0.7mm, No. 35는 판 두께 0.8mm이 되도록 표면을 광학 연마했다.
- [0121] 얻어진 강화용 유리판을 380℃의 NaNO<sub>3</sub> 용융염 중(NaNO<sub>3</sub>의 농도 100질량%)에 3시간 침지함으로써 이온 교환 처리를 행한 후, 380℃의 KNO<sub>3</sub>과 LiNO<sub>3</sub> 혼합 용융염 중(LiNO<sub>3</sub>의 농도 2.5질량%)에 75분간 침지함으로써 이온 교환 처리를 행했다. 또한, 얻어진 강화 유리판의 표면을 세정한 뒤에, 산란광 광탄성 응력계 SLP-1000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd.제) 및 표면 응력계 FSM-6000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd.제)을 사용해서 강화 유리판의 응력 프로파일을 측정할 바, 모두 도 1과 같은 비단조의 응력 프로파일, 즉 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 응력 프로파일이 얻어졌다.
- [0122] 실시예 3
- [0123] 우선, 표 12의 시료 No. 109 및 표 15의 시료 No. 146의 유리 조성이 되도록 유리 원료를 조합하고, 백금 포트를 사용해서 1600℃에서 21시간 용융했다. 계속해서, 얻어진 용융 유리를 카본판 상에 흘려보내고 평판 형상으로 성형한 후, 서냉점으로부터 변형점 사이의 온도역을 3℃/분으로 냉각하여 유리판(강화용 유리판)을 얻었다. 얻어진 유리판에 대해서, 판 두께 0.7mm가 되도록 표면을 광학 연마했다.
- [0124] 얻어진 강화용 유리판을 380℃의 NaNO<sub>3</sub> 용융염 중(NaNO<sub>3</sub>의 농도 100질량%)에 3시간 침지함으로써 이온 교환 처리를 행한 후, 380℃의 KNO<sub>3</sub>과 LiNO<sub>3</sub> 혼합 용융염 중(LiNO<sub>3</sub>의 농도 1.5질량%)에 45분간 침지함으로써 이온 교환 처리를 행했다. 또한, 얻어진 강화 유리판의 표면을 세정한 뒤에, 산란광 광탄성 응력계 SLP-1000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd.제) 및 표면 응력계 FSM-6000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd.제)을 사용해서 강화

유리판의 응력 프로파일을 측정할 바, 모두 도 2와 같은 비단조의 응력 프로파일, 즉 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 응력 프로파일이 얻어졌다. 따라서, 얻어진 강화 유리판은 낙하시의 파손 확률이 낮은 것으로 예상된다.

[0125] 실시예 4

[0126] 우선, 표 15의 시료 No. 147의 유리 조성이 되도록 유리 원료를 조합하고, 백금 포트를 사용해서 1600℃에서 21시간 용융했다. 계속해서, 얻어진 용융 유리를 카본관 상에 흘려보내고 평판 형상으로 성형한 후, 서냉점으로부터 변형점 사이의 온도역을 3℃/분으로 냉각하여 유리판(강화용 유리판)을 얻었다. 얻어진 유리판에 대해서, 판 두께 0.7mm이 되도록 표면을 광학 연마했다.

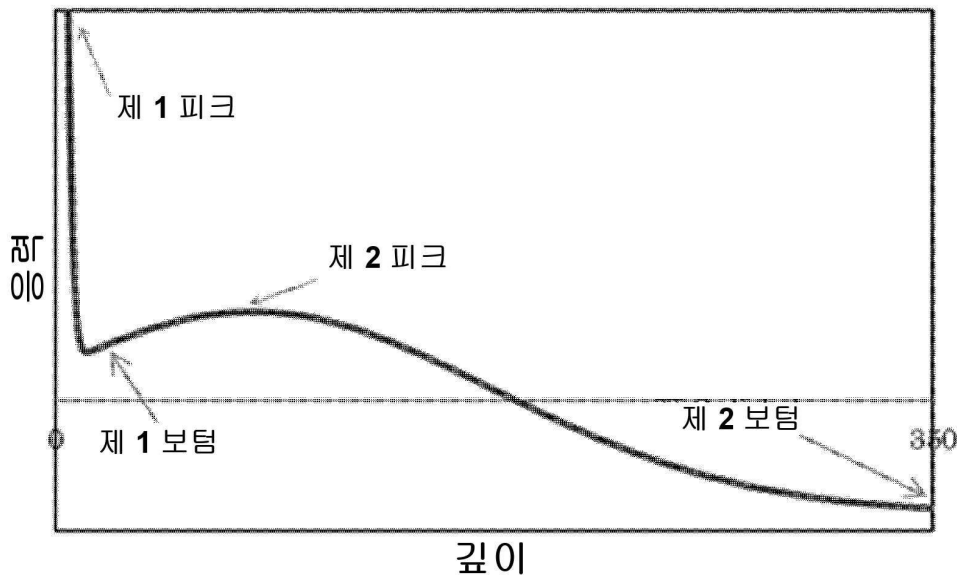
[0127] 얻어진 강화용 유리판을 380℃의 NaNO<sub>3</sub> 용융염 중(NaNO<sub>3</sub>의 농도 100질량%)에 3시간 침지함으로써 이온 교환 처리를 행한 후, 380℃의 KNO<sub>3</sub>과 LiNO<sub>3</sub> 혼합 용융염 중(LiNO<sub>3</sub>의 농도 1.5질량%)에 45분간 침지함으로써 이온 교환 처리를 행했다. 또한, 얻어진 강화 유리판의 표면을 세정한 뒤에, 산탄광 광탄성 응력계 SLP-1000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd.제) 및 표면 응력계 FSM-6000(Orihara Manufacturing, Co., Ltd.제)을 사용해서 강화 유리판의 응력 프로파일을 측정할 바, 모두 도 2와 같은 비단조의 응력 프로파일, 즉 제 1 피크, 제 2 피크, 제 1 보텀, 제 2 보텀을 갖는 응력 프로파일이 얻어졌다. 따라서, 얻어진 강화 유리판은 낙하시의 파손 확률이 낮은 것으로 예상된다.

[0128] (산업상 이용가능성)

[0129] 본 발명의 강화 유리판은 휴대전화, 디지털카메라, PDA(휴대단말) 등의 터치 패널 디스플레이의 커버 유리로서 바람직하다. 또한, 본 발명의 강화 유리판은 이들의 용도 이외에도, 높은 기계적 강도가 요구되는 용도, 예를 들면 창문 유리, 자기 디스크용 기관, 플랫 패널 디스플레이용 기관, 플렉시블 디스플레이용 기관, 태양전지용 커버 유리, 고체 촬상 소자용 커버 유리, 차재용 커버 유리에의 응용이 기대된다.

**도면**

**도면1**



도면2

