



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0132077
(43) 공개일자 2018년12월11일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C03C 21/00 (2006.01) C03C 3/093 (2006.01)
C03C 3/097 (2006.01) H05K 5/00 (2006.01)
H05K 5/02 (2006.01) H05K 5/03 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C03C 21/002 (2013.01)
C03C 3/093 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7029113
- (22) 출원일자(국제) 2017년04월07일
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2018년10월08일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/026554
- (87) 국제공개번호 WO 2017/177109
국제공개일자 2017년10월12일
- (30) 우선권주장
62/320,109 2016년04월08일 미국(US)

- (71) 출원인
코닝 인코포레이티드
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트
플라자
- (72) 발명자
그로스, 티모시 마이클
미국, 뉴욕 14830, 코닝, 서밋 애비뉴 49
구오, 시아오주
미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 오버브룩 로
드 66
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
청운특허법인

전체 청구항 수 : 총 36 항

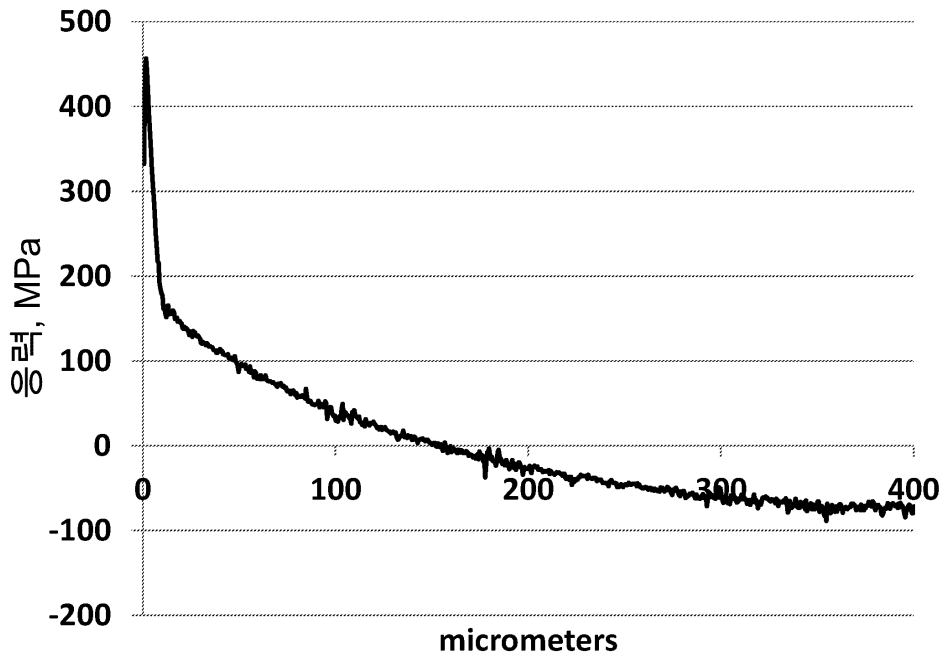
(54) 발명의 명칭 **두 영역을 포함하는 응력 프로파일을 포함하는 유리-계 물품, 및 제조 방법**

(57) 요약

두께 (t)를 한정하는 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면, 및 응력 프로파일을 포함하는 유리-계 물품은 개시되고, 약 3 millimeters 이하의 두께 (t)를 가지며, 및 여기서, 약 0·t 내지 0.3·t 및 0.7·t을 초과하는 두께 범위 사이에 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -0.1MPa/micrometer 미만이거나 또는 약

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6



0.1MPa/micrometer을 초과하는 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 또한, 0.1mm 내지 2mm 범위의 두께 (t)를 갖는 유리-계 물품은 개시되며; 및 여기서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 을 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함하고, 및 여기서, 약 $0.035 \cdot t$ 내지 $0.965 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -15MPa/micrometer 내지 약 15MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

(52) CPC특허분류

C03C 3/097 (2013.01)

H05K 5/0017 (2013.01)

H05K 5/0217 (2013.01)

H05K 5/03 (2013.01)

(72) 발명자

오람, 파스칼

미국, 뉴욕 14840, 하몬드스포트, 웨더 스트리트 13

레이만, 케빈 베리

미국, 뉴욕 14845, 호스헤드스, 레싱톤 런 7

루세브, 로스티스라브 뱃체브

미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 폭스 라인 웨 스트 6

슈나이더, 비터 마리노

미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 팀버 라인 6

월란테워즈, 트레버 에드워드

미국, 캘리포니아 94087, 서니베일, 웨스트 엘 카 미노 리얼 250, 아파트먼트 2410

명세서

청구범위

청구항 1

0.1mm 내지 2mm 범위의 두께 (t)를 한정하는 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면; 및

상기 두께 (t)를 따라 확장되는 응력 프로파일을 포함하는, 유리-계 물질으로서,

여기서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 $-200\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $-25\text{MPa}/\text{micrometer}$ 또는 약 $25\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $200\text{MPa}/\text{micrometer}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함하고,

여기서, 약 $0.035 \cdot t$ 내지 $0.965 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-15\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $15\text{MPa}/\text{micrometer}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함하며,

여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 200MPa 내지 약 1100MPa의 표면 CS를 포함하고, 및

여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 0.1 t 내지 $0.25 \cdot t$ 범위의 DOC를 포함하는, 유리-계 물질.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 제1 두께 범위는 약 $0.02 \cdot t$ 내지 $0.025 \cdot t$ 및 $0.975 \cdot t$ 초과 내지 $0.98 \cdot t$ 로 확장되고, 및 상기 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 $-200\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $-25\text{MPa}/\text{micrometer}$ 또는 약 $25\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $200\text{MPa}/\text{micrometer}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함하는, 유리-계 물질.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 제1 두께 범위는, $0.025 \cdot t$ 내지 $0.035 \cdot t$ 및 $0.965 \cdot t$ 초과 내지 $0.975 \cdot t$ 로 더욱 확장되고, 및 상기 더욱 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 $-200\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $-25\text{MPa}/\text{micrometer}$ 또는 약 $25\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $200\text{MPa}/\text{micrometer}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함하는, 유리-계 물질.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 더욱 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 $-170\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $-30\text{MPa}/\text{micrometer}$ 또는 약 $30\text{MPa}/\text{micrometer}$ 내지 약 $170\text{MPa}/\text{micrometer}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함하는, 유리-계 물질.

청구항 5

청구항 1-4 중 어느 한 항에 있어서,

상기 응력 프로파일은, $0 \cdot t$ 내지 $0.3 \cdot t$ 의 두께에 걸쳐, 최소 기울기를 포함하는 접선 및 최대 기울기를 포함하는 접선을 더욱 포함하며, 여기서, 상기 최대 기울기와 최소 기울기 사이에 차이는 micrometers당 3.5MPa 이하인, 유리-계 물질.

청구항 6

청구항 1-5 중 어느 한 항에 있어서,

약 $0 \cdot t$ 내지 $0.3 \cdot t$ 와 $0.7 \cdot t$ 초과의 두께 사이에 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 미만이거나, 또는 약 $0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 를 초과하는, 유리-계 물질.

청구항 7

청구항 1-6 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리-계 물품은, 제1 두께 범위에 걸쳐 확장되는 칼럼 DOL을 더욱 포함하는, 유리-계 물품.

청구항 8

청구항 1-7 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 두께 범위에서 응력 프로파일은, 제곱 지수를 갖는 역-법칙 프로파일을 형성하고, 여기서, 상기 제곱 지수는 약 1.2 내지 3.2인, 유리-계 물품.

청구항 9

약 2 내지 약 20mol%의 Li_2O 를 포함하는, 중심 평면; 및

두께 (t)를 따라 확장되는 응력 프로파일을 포함하는, 유리-계 물품으로서,

여기서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 $-200MPa/micrometer$ 내지 약 $-25MPa/micrometer$ 또는 약 $25MPa/micrometer$ 내지 약 $200MPa/micrometer$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함하고,

여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 200MPa 내지 약 1100MPa의 표면 CS를 포함하며, 및

여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 $0.05 \cdot t$ 내지 $0.25 \cdot t$ 범위의 DOC를 포함하는, 유리-계 물품.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 유리-계 물품은, 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면을 더욱 포함하여 0.1mm 내지 2mm 범위의 두께 (t)를 한정하는, 유리-계 물품.

청구항 11

청구항 9 또는 10에 있어서,

상기 유리-계 물품은, 약 0.5mol% 내지 약 10mol%의 P_2O_5 를 포함하는 조성물을 포함하는, 유리-계 물품.

청구항 12

청구항 9-11 중 어느 한 항에 있어서,

상기 중심-평면은, 약 0.5mol% 내지 약 20mol%의 Na_2O 를 포함하는 조성물을 더욱 포함하는, 유리-계 물품.

청구항 13

청구항 9-12 중 어느 한 항에 있어서,

상기 중심-평면은, 약 2mol% 내지 약 10mol%의 Li_2O 를 포함하는 조성물을 더욱 포함하는, 유리-계 물품.

청구항 14

청구항 9-13 중 어느 한 항에 있어서,

상기 응력 프로파일은, $0 \cdot t$ 내지 $0.3 \cdot t$ 의 두께에 걸쳐, 최소 기울기를 포함하는 접선 및 최대 기울기를 포함하는 접선을 더욱 포함하며, 여기서, 상기 최대 기울기와 최소 기울기 사이에 차이는 micrometers당 3.5MPa 이하인, 유리-계 물품.

청구항 15

청구항 9-14 중 어느 한 항에 있어서,

약 $0 \cdot t$ 내지 $0.3 \cdot t$ 와 $0.7 \cdot t$ 초과와 두께 사이에 응력 프로파일의 모든 지점은, $-0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 미만이거나, 또는 약 $0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 를 초과하는, 유리-계 물품.

청구항 16

청구항 9-15 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리-계 물품은, 제1 두께 범위에 걸쳐 확장되는 칼륨 DOL을 더욱 포함하는, 유리-계 물품.

청구항 17

청구항 9-16 중 어느 한 항에 있어서,

상기 표면 CS는 약 690MPa 내지 950MPa 의 범위인, 유리-계 물품.

청구항 18

청구항 9-17 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 두께 범위에서 응력 프로파일은, 제곱 지수를 갖는 멱-법칙 프로파일을 형성하고, 여기서, 상기 제곱 지수는 약 1.2 내지 3.4인, 유리-계 물품.

청구항 19

청구항 1-18 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강화된 유리-계 기관의 누프 스크래치 임계값은 10N 을 초과하는, 유리-계 물품.

청구항 20

청구항 19에 있어서,

상기 강화된 유리-계 기관의 누프 스크래치 임계값은 16N 미만인, 유리-계 물품.

청구항 21

청구항 1-20 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강화된 유리-계 기관은, 180 그릿 연마제를 이용하는 표면 충격 임계값 시험에 따라 400N 이상의 힘으로 제1 및 제2 주 표면 중 하나에 충격을 가했을 때, 40% 내지 100%의 생존율을 갖는, 유리-계 물품.

청구항 22

청구항 1-21 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강화된 유리-계 기관은, 30 그릿 연마제를 이용하여 에지 충격 임계값 시험에 따라 0.68J 초과 내지 1.58J 미만의 에지-충격, 또는 300N 초과 내지 500N 미만의 에지-충격을 견딜 수 있는, 유리-계 물품.

청구항 23

청구항 1-21 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리-계 물품은, 제1표면으로부터 상기 제1표면과 제2표면 사이에 지점에서의 값으로 감소하고 및 상기 값으로부터 상기 제2표면으로 증가하는 금속 산화물의 농도를 더욱 포함하는, 유리-계 물품.

청구항 24

전면, 배면 및 측면을 갖는 하우징;

적어도 부분적으로 하우징 내에 제공되고, 적어도 컨트롤러, 메모리, 및 상기 하우징의 전면 또는 인접하게 제공되는 디스플레이를 포함하는 전기 부품; 및

상기 디스플레이 위에 배치된 커버 기관을 포함하는, 소비자용 전자 물품으로서,

여기서, 상기 하우징 또는 상기 커버 기관의 일부 중 적어도 하나는, 청구항 1-23 중 어느 한 항의 유리-계 물

품을 포함하는, 소비자용 전자 물품.

청구항 25

제1 주 표면, 제2 주 표면, 상기 제1 및 제2 주 표면 사이에서 수직으로 확장되는 평균 두께 t , 및 상기 제1 및 제2 주 표면 사이에서 확장되는 에지를 포함하는 유리-계 기판을 화학적으로 강화시키는 방법으로서, 상기 방법은:

상기 유리-계 기판을 나트륨 및 칼륨 이온의 혼합물을 포함하는 제1 욕조에서 제1시간의 기간 동안 유지시켜 제 1 IOX 단계를 수행하는 단계;

상기 제1 IOX 단계 후에, 상기 유리-계 기판에, CS 영역 및 CT 영역을 갖는 응력 프로파일을 형성하기 위해, 상기 유리-계 기판을 나트륨 및 칼륨 이온의 혼합물을 포함하는 제2 욕조에서 제2시간의 기간 동안 유지시켜 제2 IOX 단계를 수행하는 단계를 포함하고;

상기 제2 욕조는, 제1 욕조의 Na:K 몰 비보다 3-10배 작은 Na:K의 몰 비를 갖는, 유리-계 기판의 화학적 강화 방법.

청구항 26

청구항 25에 있어서,

상기 이온교환의 단계들 모두는, Na-함유 염 및 K-함유 염 모두를 포함하는 욕조에서 완성되고, 여기서, 상기 제1 욕조에서 Na 이온 대 K 이온의 비는, 제2 욕조에서 Na 이온 대 K 이온의 비보다 2.5 내지 800배 높은, 유리-계 기판의 화학적 강화 방법.

청구항 27

청구항 25-26 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 욕조는, 0.03 내지 0.4인, K에 대한 Na의 몰 비를 갖는, 유리-계 기판의 화학적 강화 방법.

청구항 28

청구항 25-27 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 IOX 단계의 유효 확산 시간은, 상기 제1단계의 1/20 내지 1/2인, 유리-계 기판의 화학적 강화 방법.

청구항 29

청구항 25-28 중 어느 한 항에 있어서,

DOL_{sp} 는: (i) 두께가 1 내지 1.3mm일 때, 두께의 0.5 내지 1.5%이고; (ii) 두께가 0.8 내지 1mm일 때, 두께의 0.6 내지 2%이며; (iii) 두께가 0.65 내지 0.8mm일 때, 두께의 0.7 내지 2.5%이고; (iv) 두께가 0.5 내지 0.65 mm인 경우, 두께의 0.9 내지 3%이며; 및 (v) 두께가 0.3 내지 0.5mm인 경우, 두께의 1 내지 3%인, 유리-계 기판의 화학적 강화 방법.

청구항 30

청구항 25-29 중 어느 한 항에 있어서,

DOC는 $0.1 \cdot t$ 이상인, 유리-계 기판의 화학적 강화 방법.

청구항 31

청구항 25-30 중 어느 한 항에 있어서,

상기 CT 영역에서 응력 프로파일은, 제곱 지수를 갖는 역-법칙 프로파일을 포함하며, 여기서, 상기 제곱 지수는 약 1 내지 3.4인, 유리-계 기판의 화학적 강화 방법.

청구항 32

청구항 25-31 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강화된 유리-계 기관의 누프 스크래치 임계값은 10N을 초과하는, 유리-계 기관의 화학적 강화 방법.

청구항 33

청구항 32에 있어서,

상기 강화된 유리-계 기관의 누프 스크래치 임계값은 16N 미만인, 유리-계 기관의 화학적 강화 방법.

청구항 34

청구항 25-33 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강화된 유리-계 기관은, 180 그릿 연마제를 이용하는 표면 충격 임계값 시험에 따라 400N 이상의 힘으로 제1 및 제2 주 표면 중 하나에 충격을 가했을 때, 40% 내지 100%의 생존율을 갖는, 유리-계 기관의 화학적 강화 방법.

청구항 35

청구항 25-34 중 어느 한 항에 있어서,

상기 강화된 유리-계 기관은, 30 그릿 연마제를 이용하여 에지 충격 임계값 시험에 따라 0.68J 초과 내지 1.58J 미만의 에지-충격, 또는 300N 초과 내지 500N 미만의 에지-충격을 견딜 수 있는, 유리-계 기관의 화학적 강화 방법.

청구항 36

청구항 25-35 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 IOX 단계 이후의 유리-계 물품의 표면 CS는, 600MPa 이상인, 유리-계 기관의 화학적 강화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은, 2016년 4월 8일자로 출원된 미국 가 특허출원 제62/320,109호의 우선권을 주장하며, 그 전체적인 내용은 참조로서 여기에 혼입된다.

[0002] 본 개시는, 개선된 내과단성 (fracture resistance)을 포함하는, 개선된 내손상성 (damage resistance)을 나타내는 유리-계 물품 (Glass-based articles)에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로는, 실질적 부분의 두께를 따라 변하는, 0이 아닌 금속 산화물 농도 구배 (concentration gradient) 또는 농도를 나타내는 퓨전-형성 가능한 (fusion-formable), 유리 및 유리 세라믹 물품에 관한 것이다. 본 개시는 또한 변화하는 접선 (tangents)을 갖는 두 영역을 포함하는 응력 프로파일 (stress profile)을 포함하는 유리-계 물품에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 유리-계 물품은, 종종 이러한 물품의 표면 내로 큰 흠 (flaws)을 도입할 수 있는 심각한 충격을 경험한다. 이러한 흠은, 표면으로부터 약 200 micrometers까지의 깊이로 확장될 수 있다. 전통적으로, 열적으로 템퍼링된 유리 (thermally tempered glass)가, 이러한 흠이 유리 내로 더욱 전파되는 것을 방지할 수 있으며, 따라서, 파손을 방지할 수 있는, 큰 압축 응력 (CS) 층 (예를 들어, 유리의 전체 두께의 대략 21%)을 종종 나타내기 때문에, 열적으로 템퍼링된 유리는, 유리 내로 상기 흠의 도입에 의해 발생하는 파손을 방지하기 위해 사용되어 왔다. 열적 템퍼링에 의해 발생된 응력 프로파일의 예는, 도 1에 나타난다. 도 1에서, 열적으로 처리된 유리 물품 (100)은, 제1표면 (101), 두께 (t_1), 및 표면 CS (110)를 포함한다. 열적으로 처리된 유리 물품 (100)은, 여기서 정의된 바와 같은, 제1표면 (101)으로부터 압축의 깊이 (DOC) (130)로 감소하는 CS를 나타내며, 이 깊이에서 응력은 압축 응력으로부터 인장 응력으로 변화하고 및 최대 중심 장력 (CT) (120)에 도달한다.

[0004] 열적 강화 및 원하는 잔류 응력을 달성하기 위해, 충분한 열적 구배 (thermal gradient)가, 이러한 물품의 코어와 표면 사이에 형성되어야 하기 때문에, 열적 템퍼링은 현재, 두꺼운 유리-계 물품 (즉, 약 3 millimeters 이

상의 두께 (t_1)를 갖는 유리-계 물품)으로 제한된다. 이러한 두꺼운 물품은, 디스플레이 (예를 들어, 휴대폰, 테블릿, 컴퓨터, 네비게이션 시스템, 및 이와 유사한 것을 포함하는, 소비자 전자제품), 건축용 물품 (예를 들어, 창, 샤워 패널, 조리대, 등), 수송용 물품 (예를 들어, 자동차, 기차, 항공기, 해상 선박, 등), 가전기기, 또는 우수한 내파단성이지만, 얇고, 경-량의 물품을 요구하는 임의의 적용과 같은 많은 적용들에서 바람직하지 않거나 또는 실용적이지 않다.

[0005] 비록 화학적 강화가 열적 템퍼링과 동일한 방식으로 유리-계 물품의 두께에 의해 제한되지 않을지라도, 알려진 화학적으로 강화된 유리-계 물품은, 열적으로 템퍼링된 유리-계 물품의 응력 프로파일을 나타내지 못한다. 화학적 강화에 의해 (예를 들어, 이온 교환 공정에 의해) 발생된 응력 프로파일의 예는, 도 2에 나타난다. 도 2에서, 화학적으로 강화된 유리-계 물품 (200)은, 제1표면 (201), 두께 (t_2) 및 표면 CS (210)을 포함한다. 유리-계 물품 (200)은, 여기서 정의된 바와 같이, 제1표면 (201)으로부터 DOC (230)로 감소하는 CS를 나타내며, 이 깊이에서, 응력은 압축 응력으로부터 인장 응력으로 변화하고 및 최대 CT (220)에 도달한다. 도 2에 나타난 바와 같이, 이러한 프로파일은, 실질적으로 편평한 CT 영역 또는 CT 영역의 적어도 일부에 따라 일정하거나 또는 거의 일정한 인장 응력을 갖는 CT 영역을 나타낸다. 종종, 알려진 화학적으로 강화된 유리-계 물품은, 도 1에 나타난 최대 중심 값과 비교하여, 더 낮은 최대 CT 값을 나타낸다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 물품의 표면에서 상대적으로 높은 압축 응력, 가파른 기울기 또는 접선을 갖는 제1 응력 프로파일 영역 및 덜 가파른 프로파일 영역을 갖는 제2 응력 프로파일 영역을 갖는 유리-계 물품, 및 이러한 유리 물품을 제공하는 방법을 제공하는 것이 바람직할 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 개시의 제1 관점은, 두께 (t)를 한정하는 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면; 0이 아니고 및 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.3 \cdot t$ 범위의 두께에 따라 변화는 금속 산화물의 농도; 및 약 80MPa 미만의 최대 CT를 포함하는 중심 장력 (CT) 영역을 포함하는 유리-계 물품에 관한 것이다. 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품이 파단되는 경우, 유리-계 물품은, 적어도 2 조각/inch²으로 파단된다. 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품이 파단되는 경우, 상기 유리-계 물품은 적어도 1 조각/inch² 내지 40 조각/inch²으로 파단된다.

[0008] 하나 이상의 구체 예에서, 상기 금속 산화물의 농도는 0이 아니고, 전체 두께에 따라 변화한다. 하나 이상의 구체 예에서, 금속 산화물은 두께 범위에 따라 응력을 발생한다. 금속 산화물의 일가 이온은, 유리-계 기관에서 금속 산화물의 모든 일가 이온에서 가장 큰 이온 직경을 가질 수 있다. 금속 산화물의 농도는, 제1표면으로부터 상기 제1표면과 제2표면 사이에 지점의 값으로 감소할 수 있고 및 상기 값으로부터 제2표면으로 증가할 수 있다. 예를 들어, 제1표면에서 금속 산화물의 농도는, 약 $0.5 \cdot t$ 와 같은 깊이에서의 금속 산화물의 농도보다 약 1.5배를 초과할 수 있다. 몇몇 사례에서, 금속 산화물의 농도는, 두께 전체에 걸쳐 약 0.05mol% 이상 (예를 들어, 약 1mol% 내지 약 15mol% 범위)이다. 금속 산화물은, Li₂O, Na₂O, K₂O, Rb₂O, 및 Cs₂O 중 임의의 하나 이상을 포함할 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 금속 산화물 농도 구배는, 유리-계 물품의 CT 영역에 존재할 수 있다.

[0009] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 두께를 따라 확장되는 응력 프로파일을 포함하고, 여기서 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.3 \cdot t$ 및 $0.7 \cdot t$ 를 초과하는 두께 범위 사이에 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -0.1MPa/micrometer 미만 또는 약 0.1MPa/micrometers를 초과하는 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 응력 프로파일은, 최대 CS, DOC 및 약 80MPa 미만의 최대 CT를 포함하고, 여기서, CS의 최대 절대값에 대한 최대 CT의 비는, 약 0.01 내지 약 0.2의 범위이며, 여기서 DOC는 약 $0.1 \cdot t$ 이상이다. 하나 이상의 구체 예의 유리-계 물품이 파단된 경우, 유리-계 물품은, 적어도 2 조각/inch²으로 파단된다.

[0010] 하나 이상의 구체 예의 유리-계 물품은, 약 300MPa 이상 또는 약 500MPa 이상의 표면 압축 응력 (CS)를 포함할 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 200MPa 이상의 표면 CS 및 약 $0.4 \cdot t$ 이상의 층의 화학적 깊이를 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, CS는, 제1표면에서 DOC로 확장될 수 있고, 여기서, DOC는 약 $0.1 \cdot t$ 이상이다. 몇몇 구체 예의 유리-계 물품은, 약 0.01 내지 약 0.2의 범위에서 (최대 CS를 포함할 수 있는) 표면 CS

의 절대값에 대한 최대 CT의 비를 나타낸다. 선택적으로, 표면 CS의 절대값은 최대 CT를 초과한다.

- [0011] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 제1 금속 산화물 농도 및 제2 금속 산화물 농도를 포함하고, 여기서, 제1 금속 산화물 농도는, 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.5 \cdot t$ 의 제1 두께 범위로부터 약 0mol% 내지 약 15mol%의 범위이며, 및 여기서, 제2 금속 산화물 농도는, 약 0 micrometers 내지 약 25 micrometers의 제2 두께 범위로부터 약 0mol% 내지 약 10mol%의 범위이다. 선택적으로, 유리-계 물품은, 제3 금속 산화물을 포함한다.
- [0012] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 0이 아니고 및 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.3 \cdot t$ (또는 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.4 t$ 또는 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.45 \cdot t$)의 두께 범위를 따라 변하는 금속 산화물의 농도; 약 200MPa 이상의 표면 압축 응력; 및 약 80MPa 미만의 최대 CT를 갖는 CT 영역을 포함한다.
- [0013] 유리-계 물품은, 약 3 millimeters 이하 또는 약 1 millimeter 이하의 두께 (t)를 가질 수 있다. 유리-계 물품은, 비정질 구조, 결정질 구조 (crystalline structure) 또는 모두의 조합을 가질 수 있다. 유리-계 물품은, 약 380nm 내지 약 780nm 범위의 파장에 걸쳐 약 88% 이상의 투과율 (transmittance)을 나타낼 수 있다. 게다가, 몇몇 구체 예에서, 유리-계 물품은, CIE 광원 F02 하에서, 약 88 이상의 L^* 값, 약 -3 내지 약 +3의 범위에서 a^* 값, 및 약 -6 내지 약 +6의 범위에서 b^* 값의 CIELAB 색 공간 좌표 (color space coordinates)를 나타낼 수 있다.
- [0014] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 80 GPa 미만의 영률 (Young's modulus)을 포함한다. 유리-계 물품은, 약 100 kilopoise (kP) 이상의 액상선 점도 (liquidus viscosity)를 포함한다.
- [0015] 유리-계 물품은, 약 15mol%를 초과하는 Al_2O_3 및 Na_2O 의 조합된 양을 포함하는 조성물, 약 4mol%를 초과하는 Na_2O 를 포함하는 조성물, B_2O_3 , ZnO , 또는 B_2O_3 및 ZnO 모두가 실질적으로 없는 조성물, 및 0이 아닌 양의 P_2O_5 를 포함하는 조성물: 중 임의의 하나 이상을 갖는 조성물을 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 유리-계 물품은, 약 $460^\circ C$ 에서 약 $450 \mu m^2 / \text{시간}$ 이상의 확산율 (diffusivity) 및 약 $0.15 \cdot t$ 를 초과하는 DOC를 포함할 수 있으며, 여기서, 표면 CS의 절대값은, 최대 CT의 1.5배 이상이다.
- [0017] 몇몇 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 $0.7 MPa \cdot m^{1/2}$ 이상의 파괴 인성 (fracture toughness) (K_{IC})을 포함한다.
- [0018] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 $0 J/m'$ 초과 내지 $20 J/m'$ 미만의 저장된 인장 에너지 (stored tensile energy)를 나타낸다.
- [0019] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, CS 영역 및 CT 영역을 포함하는 응력 프로파일을 포함하고, 여기서, CT 영역은, 식 $\text{응력}(x) = \text{MaxCT} - (((\text{MaxCT} \cdot (n+1))/0.5^n) \cdot |(x/t) - 0.5|^n)$ 에 의해 근사값이 구해지며, 여기서, MaxCT는 최대 CT 값 및 MPa의 단위로 양의 값이고, x 는, micrometers로 두께 (t)를 따른 위치이며, 및 n 은 1.5 내지 5이다. 몇몇 구체 예에서, CT 영역은, 약 50MPa 내지 약 250MPa 범위에서 최대 CT 값을 포함하고, 및 상기 최대 CT 값은 약 $0.4t$ 내지 약 $0.6t$ 의 범위에서 깊이에 있다. 몇몇 사례에서, 약 $0t$ 내지 약 $0.1t$ microns 범위의 두께로부터, 응력 프로파일은, 약 20MPa/microns 내지 약 200MPa/microns의 범위에서 기울기를 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일은, $0.5t$ 로부터 표면까지 측정된 바와 같은 복수의 오차 함수 (error functions)에 의해 정의된다.
- [0020] 본 개시의 제2 관점은, (mol%로): 약 60 내지 약 75의 범위에서 양으로 SiO_2 , 약 12 내지 약 20의 범위에서 양으로 Al_2O_3 , 약 0 내지 약 5의 범위에서 양으로 B_2O_3 , 약 2 내지 약 8의 범위에서 양으로 Li_2O , 4 초과 양으로 Na_2O , 0이 아닌 양으로 P_2O_5 , 약 0 내지 약 5의 범위에서 양으로 MgO , 약 0 내지 약 3의 범위에서 양으로 ZnO , 약 0 내지 약 5의 범위에서 양으로 CaO 를 포함하는, 강화된 유리-계 물품에서 유리 조성물의 용도에 관한 것으로, 여기서, 상기 유리 조성물은 이온-교환 가능하고, 비정질이며, 여기서, Al_2O_3 및 Na_2O 의 총량은 약 15mol%를 초과하고, 여기서, 상기 유리 조성물은 실질적으로 핵제 (nucleating agents)가 없으며, 및 여기서, 상기 유리 조성물은 약 100 kP 이상의 액상선 점도를 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, 상기 유리 조성물은, B_2O_3 , ZnO , 또는 B_2O_3 및 ZnO 모두가 실질적으로 없다.
- [0021] 본 개시의 제3 관점은, mol%로, 약 60 내지 약 75의 범위에서 양으로 SiO_2 , 약 12 내지 약 20의 범위에서 양으로 Al_2O_3 , 약 0 내지 약 5의 범위에서 양으로 B_2O_3 , 약 2 내지 약 8의 범위에서 양으로 Li_2O , 약 4 초과 양으로

로 Na_2O , 약 0 내지 약 5의 범위에서 양으로 MgO , 약 0 내지 약 3의 범위에서 양으로 ZnO , 약 0 내지 약 5의 범위에서 양으로 CaO , 및 0이 아닌 양으로 P_2O_5 를 포함하는 조성물을 포함하는 유리 기판에 관한 것으로, 여기서, 유리 기판은 이온-교환 가능하고, 및 비정질이며, 여기서, 상기 조성물에서 Al_2O_3 및 Na_2O 의 총량은, 약 15mol%를 초과하고, 여기서, 상기 유리 조성물은 핵제가 실질적으로 없으며, 및 약 100 kPa 이상의 액상선 점도를 포함한다.

[0022] 몇몇 구체 예에서, 유리 기판은 비정질이고, 강화되며, 여기서, Na_2O 농도는 변화되고, 여기서, 상기 조성물은 핵제가 실질적으로 없으며, 상기 조성물에서 Al_2O_3 및 Na_2O 의 총량은 약 15mol%를 초과하고, 및 약 100 kPa 이상의 액상선 점도를 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 유리 기판은 0이 아닌 양으로 P_2O_5 를 포함한다.

[0023] 본 개시의 제4 관점은, 0.1mm 내지 2mm 범위의 두께 (t)를 한정하는 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면; 및 두께 (t)를 따라 확장하는 응력 프로파일을 포함하는 유리-계 물품에 관한 것으로, 여기서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선은 포함하고, 여기서, 약 $0.035 \cdot t$ 로부터 $0.965 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -15MPa/micrometer 내지 약 15MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함하며, 여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 200MPa 내지 약 1100MPa의 표면 CS를 포함하고, 및 여기서, 상기 응력 프로파일은 약 $0.1 \cdot t$ 내지 $0.25 \cdot t$ 범위의 DOC를 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

[0024] 하나 이상의 구체 예에서, 제2 두께 범위의 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -2MPa/micrometer 내지 약 2MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

[0025] 하나 이상의 구체 예에서, 약 $0.025 \cdot t$ 로부터 및 $0.975 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -15MPa/micrometer 내지 약 15MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 제2 두께 범위의 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -2MPa/micrometer 내지 약 2MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

[0026] 하나 이상의 구체 예에서, 약 $0.02 \cdot t$ 내지 $0.98 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -15MPa/micrometer 내지 약 15MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -2MPa/micrometer 내지 약 2MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

[0027] 하나 이상의 구체 예에서, 제2 두께 범위의 응력 프로파일은, 제곱 지수 (power exponent)를 갖는 멱-법칙 프로파일 (power-law profile)을 형성하고, 여기서, 상기 제곱 지수는 약 1.2 내지 3.2이다. 몇몇 구체 예에서, 제곱 지수는 약 1.3 내지 2.8이다.

[0028] 하나 이상의 구체 예에서, 표면 CS는, 약 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 610, 620MPa 내지 약 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000 또는 1100MPa이다.

[0029] 하나 이상의 구체 예에서, 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -140MPa/micrometer 내지 약 -35MPa/micrometer 또는 약 35MPa/micrometer 내지 약 140MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -140MPa/micrometer 내지 약 -35MPa/micrometer 또는 약 35MPa/micrometer 내지 약 140MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

[0030] 하나 이상의 구체 예에서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.025 \cdot t$ 및 $0.975 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.025 \cdot t$ 및 $0.975 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약

-25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 몇몇 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 몇몇 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -140MPa/micrometer 내지 약 -35MPa/micrometer 또는 약 35MPa/micrometer 내지 약 140MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

- [0031] 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.035 \cdot t$ 및 $0.965 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 하나 이상의 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 몇몇 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 몇몇 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -140MPa/micrometer 내지 약 -35MPa/micrometer 또는 약 35MPa/micrometer 내지 약 140MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0032] 하나 이상의 구체 예에서, 제1 두께 범위는, K-함유 염 (K-containing salt)에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0033] 하나 이상의 구체 예에서, 제2 두께 범위는, Na-함유 염에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0034] 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일은, 단일 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0035] 하나 이상의 구체 예에서, 상기 응력 프로파일은, 둘 이상의 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0036] 하나 이상의 구체 예에서, 상기 표면 CS는, 약 690MPa 내지 950MPa이다.
- [0037] 하나 이상의 구체 예에서, 상기 유리-계 물품은, 약 0.5mol% 내지 약 2mol%의 P_2O_5 를 포함하는 조성물을 포함한다.
- [0038] 본 개시의 제5 관점은, 중심-평면 (center plane)을 포함하는 유리-계 물품에 관한 것으로, 여기서, 중심-평면은 약 2 내지 약 20mol%의 Li_2O ; 0.1mm 내지 2mm 범위의 두께 (t)를 한정하는 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면; 및 두께 (t)를 따라 확장하는 응력 프로파일을 포함하고, 여기서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함하며, 여기서, 상기 응력 프로파일은 약 200MPa 내지 약 1100MPa의 표면 CS를 포함하고, 및 여기서, 상기 응력 프로파일은 약 $0.05 \cdot t$ 내지 $0.25 \cdot t$ 범위의 DOC를 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0039] 하나 이상의 구체 예에서, 제1 두께 범위는, K-함유 염에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0040] 하나 이상의 구체 예에서, 제2 두께 범위는, Na- 또는 K-함유 염에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0041] 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일은, 단일 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0042] 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일은, 둘 이상의 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0043] 하나 이상의 구체 예에서, 표면 CS는, 약 690MPa 내지 950MPa의 범위이다.
- [0044] 하나 이상의 구체 예에서, 제2 두께 범위에서 응력 프로파일은, 제곱 지수를 갖는 멱-법칙 프로파일을 형성하며, 여기서 제곱 지수는 약 1.2 내지 3.4이다. 몇몇 구체 예들에서, 제곱 지수는 약 1.3 내지 2.8이다.
- [0045] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 0.5mol%의 P_2O_5 및 10mol%의 P_2O_5 를 포함하는 조성물을 포함한다.
- [0046] 하나 이상의 구체 예에서, 중심-평면은, 약 0.5mol% 내지 20mol%의 Na_2O 를 포함하는 조성물을 더욱 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 중심-평면은, 약 2mol% 내지 10mol%의 Li_2O 를 포함하는 조성물을 더욱 포함한다. 몇몇 구체

예에서, 유리 물품의 중심-평면에서 Na_2O 의 농도는, 약 5mol% 내지 16mol%이다. 몇몇 구체 예에서, 유리 물품의 중심-평면에서 Na_2O 농도는, 약 10mol% 내지 15mol%이다. 몇몇 구체 예에서, 유리 물품의 중심-평면에서 Li_2O 의 농도는, 약 3mol% 내지 10mol%이다.

[0047] 하나 이상의 구체 예에서, 공정은, 여기에 기재된 응력 프로파일을 얻기 위해 제공된다. 이러한 공정은, 단일 이온교환에 의해 또는 둘 이상의 이온 교환에 의해, 비교적 긴 이온 교환 시간을 포함한다. 하나 이상의 구체 예에 따르면, 이온 교환 시간은, 1시간 초과, 1.5시간 초과, 2시간 초과, 2.5시간 초과, 3시간 초과, 3.5시간 초과, 4시간 초과, 4.5시간 초과, 5시간 초과, 5.5시간 초과, 6시간 초과, 6.5시간 초과, 7시간 초과, 7.5시간 초과 및 8시간 초과이다.

[0048] 부가적인 특색 및 장점은, 하기 상세한 설명에서 서술될 것이고, 부분적으로 하기 상세한 설명으로부터 기술분야의 당업자에게 명백하거나, 또는 하기 상세한 설명, 청구항뿐만 아니라 첨부된 도면을 포함하는, 여기에 기재된 구체 예를 실행시켜 용이하게 인지될 것이다.

[0049] 진술한 배경기술 및 하기 상세한 설명 모두는 단순히 대표적인 것이고, 청구항의 본질 및 특징을 이해하기 위한 개요 또는 틀거리를 제공하도록 의도된 것으로 이해될 것이다. 수반되는 도면은 또 다른 이해를 제공하기 위해 포함되고, 본 명세서에 혼입되며, 본 명세서의 일부를 구성한다. 도면은 하나 이상의 구체 예를 예시하고, 상세한 설명과 함께 다양한 구체 예의 원리 및 작동을 설명하는 역할을 한다.

도면의 간단한 설명

- [0050] 도 1은 알려진, 열적으로 템퍼링된 유리 물품의 두께를 가로지르는 단면도이다;
- 도 2는 알려진, 화학적으로 강화된 유리 물품의 두께를 가로지르는 단면도이다;
- 도 3은, 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 화학적으로 강화된 유리-계 물품의 두께를 가로지르는 단면도이다;
- 도 4는, 링-온-링 장치 (ring-on-ring apparatus)의 개략적인 단면도이다;
- 도 5는, 이온 교환 시간의 함수에 따라 실시 예 1A-1G에 대한 최대 CT 값을 나타내는 그래프이다;
- 도 6은, 실시 예 1E의 유리-계 물품의 표면으로부터 유리-계 물품으로 확장되는 깊이의 함수에 따라 실시 예 1E의 측정된 응력을 나타내는 그래프이다;
- 도 7은, 다른 하중 또는 압력으로 마멸된 후에 실시 예 2A에 따른 유리-계 물품의 파손 값에 대한 하중을 나타내는 그래프이다;
- 도 8은, 실시 예 2A에 따른 유리-계 물품이 180 그릿 샌드페이퍼 (grit sandpaper)에 낙하되고, 그 다음, 30 그릿 샌드페이퍼에 낙하된 후에 파손된 높이를 나타내는 그래프이다;
- 도 9는, 실시 예 3A 및 비교 예 3B에 따른 유리-계 물품이 30 그릿 샌드페이퍼 상에 낙하된 후에, 파손된 높이를 나타내는 그래프이다;
- 도 10은, 25psi의 하중 또는 압력으로 마멸된 후에, 실시 예 3A 및 비교 예 3B에 따른 유리-계 물품의 파손에 대한 평균 하중을 비교하는 그래프이다;
- 도 11은, 45psi의 하중 또는 압력으로 마멸된 후, 실시 예 3A 및 비교 예 3B에 따른 유리-계 물품의 파손에 대한 평균 하중을 비교하는 그래프이다;
- 도 12는, 깊이의 함수에 따라 실시 예 4A-1 내지 4A-6의 응력 프로파일을 나타내는 그래프이다;
- 도 13은, 이온 교환 시간의 함수에 따라 실시 예 4A-1 내지 4A-6의 최대 CT 및 DOC 값을 나타내는 그래프이다;
- 도 14는, 깊이의 함수에 따라 실시 예 4B-1 내지 4B-6의 응력 프로파일을 나타내는 그래프이다;
- 도 15는, 이온 교환 시간의 함수에 따라 실시 예 4B-1 내지 4B-6의 최대 CT 및 DOC 값을 나타내는 그래프이다;
- 도 16은, 깊이의 함수에 따라 실시 예 4C-1 내지 4C-6의 응력 프로파일을 나타내는 그래프이다;
- 도 17은, 이온 교환 시간의 함수에 따라 실시 예 4C-1 내지 4C-6의 최대 CT 및 DOC 값을 나타내는 그래프이다;

- 도 18은, 깊이의 함수에 따라 실시 예 4D-1 내지 4D-6의 응력 프로파일을 나타내는 그래프이다;
- 도 19는, 이온 교환 시간의 함수에 따라 실시 예 4D-1 내지 4D-6의 최대 CT 및 DOC 값을 나타내는 그래프이다;
- 도 20은, 깊이의 함수에 따라 비교 예 5A 및 실시 예 5B의 응력 프로파일을 나타내는 그래프이다;
- 도 21은, 최대 CT의 함수에 따라 비교 예 5A 및 실시 예 5B의 저장된 인장 에너지를 나타내는 그래프이다;
- 도 22는, 최대 CT의 함수에 따라 비교 예 5C 및 실시 예 5D의 저장된 인장 에너지를 나타내는 그래프이다;
- 도 23은, 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따라 4개의 화학적으로 강화된 유리-계 물품의 두께를 가로지르는 단면도이다;
- 도 24는, 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따라 화학적으로 강화된 유리-계 물품의 K, Na 및 Li에 대한 정규화된 마이크로프로브 농도 프로파일 (normalized microprobe concentration profiles)을 나타내는 그래프이다;
- 도 25는, 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따라 4개의 화학적으로 강화된 유리-계 물품의 스크래치 시험 결과의 이미지이다;
- 도 26은, 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리-계 물품의 파손에 대한 평균 하중을 비교하는 그래프이다;
- 도 27a는, 이동 또는 핸드헬드 전자 장치에 사용되는 유리-계 물품에서 통상적으로 일어나는 손상 도입 및 굽힘으로 인한 파손에 대한 주된 메커니즘의 개략적인 단면적 표현이다;
- 도 27b는, 본 개시에 기재된 샌드페이퍼 상에 역 볼 (inverted ball on sandpaper: IBoS) 시험을 수행하는데 사용되는 장치의 구체 예의 개략적인 단면도이다;
- 도 28은, 여기서 기재된 장치에서 IBoS 시험을 수행하는 방법에 대한 흐름도이다;
- 도 29는, 유리-계 물품용 시험 장치의 측면도이다;
- 도 30은, 도 29에 나타난 시험 장치의 일부의 측면도이다;
- 도 31은, 도 29에 나타난 시험 장치의 후방 사시도이다;
- 도 32는, 도 29에 나타난 시험 장치의 전방 사시도이다;
- 도 33은, 유리-계 물품의 시험 장치의 측면도이다;
- 도 34는, 도 29에 나타난 시험 장치의 일부의 측면도이다;
- 도 35는, 도 29에 나타난 시험 장치의 일부의 대안적인 구성의 개략도이다;
- 도 36은, 몇몇 구체 예에 따른 다양한 응력 프로파일을 나타내는 그래프이다;
- 도 37은, 몇몇 구체 예에 따른 샘플에 대한 IBoS 시험 결과를 나타내는 그래프이다;
- 도 38은, 몇몇 구체 예에 따른 샘플 및 몇몇 비교 샘플에 대한 표면 충격 임계값 시험 결과 (surface Impact Threshold Test results)를 나타내는 그래프이다;
- 도 39는, 몇몇 구체 예에 따른 샘플에 대한 에지 충격 시험 결과를 나타내는 그래프이다;
- 도 40a는, 여기에 개시된 유리-계 물품 중 어느 하나를 혼입하는 대표적인 전자 장치의 평면도이다; 및
- 도 40b는, 도 40a의 대표적인 전자 장치의 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0051] 이하 언급은, 다양한 구체 예에 대해 상세하게 이루어질 것이며, 이의 실시 예는 수반되는 실시 예 및 도면에 예시된다.

[0052] 다음의 상세한 설명에서, 동일한 도면 부호는, 도면에 나타난 여러 도를 통해 동일하거나 대응하는 부분을 나타낸다. 또한, 별도로 명시되지 않는 한, "상부", "하부", "외부", "내부" 등과 같은, 용어는, 편의의 단어이지 제한 용어로 해석되지 않는 것으로 이해된다. 부가적으로, 군 (group)이 요소의 군 및 이들의 조합 중 적어도 하나를 포함하는 것으로 기재된 경우, 상기 군은 개별적으로 또는 서로 조합하여 열거된 이들 요소의 임의의 수

를 포함하거나, 필수적으로 이루어지거나, 또는 이루어질 수 있는 것으로 이해된다. 유사하게, 군이 요소의 군 및 이들의 조합 중 적어도 하나로 이루어진 것으로 기재된 경우, 상기 군은 개별적으로 또는 서로 조합하여 열거된 이들 요소의 임의의 수로 이루어질 수 있는 것으로 이해된다. 별도의 언급이 없는 한, 열거된 경우, 값의 범위는, 상기 범위의 상한 및 하한뿐만 아니라 그들 사이의 임의의 범위를 모두 포함한다. 여기에 사용된 바와 같은, "단수" 및 "복수"는 특별히 구분없이 사용되며, 별도의 언급이 없는 한, "단수" 및 "복수" 모두 "적어도 하나" 또는 "하나 이상"을 의미한다. 또한, 본 명세서 및 도면들에 개시된 다양한 특색들은 어떤 하나 및 모두 조합하여 사용될 수 있는 것으로 이해된다.

[0053] 여기에 사용된 바와 같은, 용어 "유리-계 물품" 및 "유리-계 기관"은, 유리로 전체적으로 또는 부분적으로 만들어진 임의의 물체를 포함하는 넓은 의미로 사용된다. 유리-계 물품은, 유리 및 비-유리 물질의 적층, 유리 및 결정질 물질의 적층, 및 (비정질 상 및 결정상 상을 포함하는) 유리-세라믹을 포함한다. 별도로 명시되지 않는 한, 모든 조성물은 몰 퍼센트 (mol%)로 표현된다.

[0054] 용어 "실질적으로" 및 "약"은, 임의의 정량적인 비교, 값, 측정, 또는 기타 표현에 기인할 수 있는 내재하는 불확실성의 정도를 나타내는 것으로 여기에서 활용될 수 있는 점에 주목된다. 이들 용어는 또한 문제의 주제의 기본적인 기능에서 변화를 결과하지 않고 정량적인 표현이 명시된 기준으로부터 변할 수 있는 정도를 나타내는 것으로 여기에서 활용된다. 따라서, 예를 들어, "MgO가 실질적으로 없는" 유리-계 물품은, MgO가 유리-계 물품에 능동적으로 첨가되지 않았거나 또는 배치되지 (batched) 않았지만, 오염물로서 매우 소량으로 존재할 수 있는 물품이다.

[0055] 여기에 사용된 바와 같은, 용어 "약"은, 양, 크기, 제형, 파라미터, 및 기타 수량 및 특성이 정확하지 않고 및 정확할 필요는 없지만, 허용오차, 전환 인자 (conversion factors), 반올림, 측정 오차 및 이와 유사한 것, 및 기술분야의 당업자에게 알려진 기타 인자들을 반영하여, 원하는 대로, 대략적으로 및/또는 더 크거나 작을 수 있음을 의미한다. 용어 "약"이 범위의 값 또는 말단-점을 묘사하는데 사용되는 경우, 이러한 개시는, 언급된 특정 값 또는 말단-점을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 명세서에서 범위의 수치 값 또는 말단-점이 "약"을 열거하든 안하든, 범위의 수치 값 또는 말단-점은, 두 개의 구체 예: 하나는 "약"에 의해 변경된 것 및 다른 하나는 "약"에 의해 변경되지 않는 것을 포함하는 것으로 의도된다. 각각의 범위의 말단-점은, 다른 종점과 관련하여, 및 다른 말단-점과 독립적으로 모두 의미 있는 것으로 더욱 이해될 것이다.

[0056] 별도로 명시하지 않는 한, 모든 온도는, 섭씨 (°C)로 표현된다. 여기에 사용된 바와 같은, 용어 "연화점"은, 유리의 점도가 대략 $10^{7.6}$ poise (P)인 온도를 지칭하고, 용어 "어닐링점"은, 유리의 점도가 대략 $10^{13.2}$ poise인 온도를 지칭하며, 용어 "200 poise 온도 (T^{200P})"는, 유리의 점도가 대략 200 poise인 온도를 지칭하고, 용어 " 10^{11} poise 온도"는, 유리의 점도가 대략 10^{11} poise인 온도를 지칭하며, 용어 "35kP 온도 (T^{35kP})"는, 유리의 점도가 대략 35 kilopoise (kP)인 온도를 지칭하고, 및 "160kP 온도 (T^{160kP})"는, 유리의 점도가 대략 160 kP인 온도를 지칭한다.

[0057] 일반적으로 도면들, 특히, 도 1-3을 참조하면, 예시들은 특정 구체 예들을 설명할 목적을 위한 것이며 및 본 개시 또는 첨부된 청구범위를 제한하는 것으로 의도되지 않은 것으로 이해될 것이다. 도면은 반드시 일정한 축척이 아니며, 도면의 특정 특색 및 특정 도들은, 명료함 및 간결함을 위해 축척으로 또는 개략적으로 과장되어 나타낼 수 있다.

[0058] 여기에 사용된 바와 같은, DOC는 유리-계 물품 내에 응력이 압축으로부터 인장 응력으로 변화하는 깊이를 지칭한다. DOC에서, 응력은 양의 (압축) 응력으로부터 음의 (인장) 응력 (예를 들어, 도 1에서 130)으로 가로지르고, 따라서, 0의 응력 값을 나타낸다.

[0059] 여기에 사용된 바와 같은, 용어 "화학적 깊이", "층의 화학적 깊이" 및 "화학적 층의 깊이"는, 상호교환적으로 사용될 수 있고, 및 금속 산화물 또는 알칼리 금속 산화물의 이온 (예를 들어, 금속이온 또는 알칼리 금속이온)이, 유리-계 물품으로 확산되는 깊이 및 이온의 농도가, EPMA (Electron Probe Micro-Analysis) 또는 GD-OES (Glow Discharge-Optical Emission Spectroscopy)에 의해 결정된 것으로, 최소값에 도달하는 깊이를 지칭한다. 특히, Na^+ 이온 농도 또는 Na_2O 확산의 깊이를 평가하는 것은, EPMA 및 표면 응력 계측기 (이하 더욱 상세하게 설명됨)를 사용하여 결정될 수 있다.

[0060] 기술분야에 보통 사용된 관례에 따르면, 압축 응력은, 음의 (<0)로 표현되고 및 인장 응력은 양의 (>0) 응력으로

로 표현된다. 그러나, 본 상세한 설명 전반적으로, CS는 양의 또는 절대값 - 즉, 여기에 열거된 바와 같이, $CS = |CS|$ 로 표현된다.

[0061] 이동 전자 장치 및 터치-가능한 디스플레이용 커버 유리로 사용될 수 있는 유리-세라믹, 및 알칼리-함유 유리를 포함하는 실리케이트 유리와 같은, 유리를 포함하는 얇고, 화학적으로 강화된 유리-계 물품은, 여기에 기재된다. 유리-계 물품은, 또한 디스플레이 (또는 디스플레이 물품) (예를 들어, 계시판, 매장 (point of sale) 시스템, 컴퓨터, 네비게이션 시스템 및 이와 유사한 것), 건축용 물품 (벽, 고정장치, 패널, 창, 등), 수송용 물품 (예를 들어, 자동차 적용, 기차, 항공기, 해상 선박, 등), 가전기기 (예를 들어, 세탁기, 건조기, 식기 세척기, 냉장고 및 이와 유사한 것), 또는 약간의 내과단성을 요구하는 임의의 물품에 사용될 수 있다.

[0062] 특히, 여기서 기재된 유리-계 물품은 얇으며, 및 통상적으로 (예를 들어, 약 2mm 또는 3mm 이상의 두께를 갖는) 두꺼운 유리 물품을 열적으로 템퍼링을 통해서 오직 달성 가능한 응력 프로파일을 나타낸다. 유리-계 물품은, 이의 두께에 따라 특유의 응력 프로파일을 나타낸다. 몇몇 사례에서, 여기서 기재된 유리-계 물품은, 열적으로 템퍼링된 유리 물품보다 더 큰 표면 CS를 나타낸다. 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 유리-계 물품 내로 더 깊게 확장하는 압축 응력 층 (여기서, CS는 알려진 화학적으로 강화된 유리-계 물품보다 더 서서히 감소하고 및 증가함)을 가져서, 유리-계 물품 또는 이를 포함하는 장치가 단단한 표면 (예를 들어, 화강암) 또는 단단하고 거친 표면 (예를 들어, 아스팔트)에 낙하된 경우에서도, 상기 유리-계 물품은 실질적으로 개선된 내과 단성을 나타낸다. 하나 이상의 구체 예의 유리-계 물품은, 몇몇 알려진 화학적으로 강화된 유리 물품보다 더 큰 최대 CT 값을 나타낸다.

[0063] 칼륨이온에 의해 통상적으로 발생된 표면 스파이크 (surface spike)의 특별히 압축 응력 층의 깊이를 통상적으로 나타내는, 칼륨이온의 CS 및 침투의 깊이 ("칼륨 DOL"), 또는 화학 층의 깊이 "DOL" 또는 "화학적 DOL"은, 기술분야에 알려진 수단을 사용하여 측정된다. 여기서 사용된 바와 같이, DOC는, 여기에 기재된 화학적으로 강화된 알칼리 알루미늄노보로실리케이트 유리 물품 내의 응력이 압축으로부터 인장으로 변화하는 깊이를 의미한다. DOC는, 이온 교환 처리에 의존하는 FSM 또는 산란 광 편광기 (Scattered Light Polariscope: SCALP)에 의해 측정될 수 있다. 칼륨 이온을 유리 물품 내로 교환하여 유리 물품에서 응력이 발생하는 경우, FSM은 DOC를 측정하는데 사용된다. 나트륨 이온을 유리 물품 내로 교환하여 응력이 발생하는 경우, SCALP는 DOC를 측정하는데 사용된다. 칼륨 및 나트륨이온 모두를 유리 내로 교환하여 유리 물품에서 응력이 발생하는 경우, DOC는 SCALP에 의해 측정되는데, 이는 나트륨의 교환 깊이가 DOC를 나타내며 및 칼륨 이온의 교환 깊이가 (압축으로부터 인장으로 응력에서 변화가 아닌) 압축 응력의 크기에서 변화를 나타내는 것으로 믿어지기 때문이며; 이러한 유리 물품에서 칼륨 이온의 교환 깊이는, FSM에 의해 측정된다.

[0064] 칼륨 DOL은, 이온 교환 공정의 결과로 칼륨 침투의 깊이를 나타내기 때문에 DOC와 구별된다. 칼륨 DOL은 통상적으로 여기에 기재된 물품에 대한 DOC 미만이다. CS 및 칼륨 DOL은, Orihara Industrial Co., Ltd. (Japan)에 의해 제작된, FSM-6000과 같은, 상업적으로 이용 가능한 기구를 사용하여 표면 응력계 (FSM)에 의해 측정된다. 표면 응력 측정은, 유리의 복굴절과 관련된, 응력 광학 계수 (SOC)의 정확한 측정에 의존한다. SOC는, 결과적으로, 명칭이 "Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient"인, ASTM 표준 C770-98 (2013)에 기재된 절차 C의 개정된 버전에 따라 측정되고, 이의 전체적인 내용은 참조로 여기에 혼입된다. 상기 개정은, 시편으로서 5 내지 10mm의 두께 및 12.7mm의 직경을 갖는 유리 디스크 (glass disc)를 사용하는 단계를 포함하고, 여기서, 상기 디스크는 등방성이고 균질하며, 및 양면 연마되고 평행하게 코어 드릴링된다. 상기 개정은 또한 적용될, 최대 힘, Fmax를 계산하는 단계를 포함한다. 힘은, 20MPa 이상의 압축 응력을 생성하는데 충분해야 한다. Fmax는 다음과 같이 계산된다:

[0065] $F_{max} = 7.854 * D * h$

[0066] 여기서:

[0067] F_{max} = 뉴턴 힘이고,

[0068] D = 디스크의 직경이며,

[0069] h = 광 경로의 두께이다.

[0070] 적용된 각 힘에 대하여, 응력은 다음과 같이 계산된다:

[0071] $\sigma_{MPa} = 8F / (\pi * D * h)$

- [0072] 여기서:
- [0073] F_{max} = 뉴턴 힘이고,
- [0074] D = 디스크의 직경이며,
- [0075] h = 광 경로의 두께이다.
- [0076] 최대 CT 값은, 산란 광 편광기 (SCALP)를 사용하여 측정된다. 굴절된 근거리 장 (Refracted near-field: RNF) 방법 또는 SCALP은, 응력 프로파일을 측정하는데 사용될 수 있다. RNF 방법이 활용되는 경우, SCALP에 의해 제공되는 최대 CT 값은 활용된다. 특히, RNF에 의해 측정된 응력 프로파일은, 힘 균형을 이루고 및 SCALP 측정에 의해 제공된 최대 CT 값으로 보정된다 (calibrated). RNF 방법은, 미국 특허 제8,854,623호에서 "Systems and methods for measuring a profile characteristic of a glass sample"이란 명칭으로 기재되며, 이의 전체적인 내용은 여기에 참조로서 혼입된다. 특히, RNF 방법은, 유리-계 물품을 기준 블록 (reference block)에 인접하게 배치하는 단계, 1Hz 내지 50Hz의 속도에서 직교 편파들 (orthogonal polarizations) 사이에서 스위칭되는 편파-스위칭 광 빔 (polarization-switched light beam)을 발생하는 단계, 편파-스위칭 광 빔에서의 전력량을 측정하는 단계, 및 편파-스위칭 기준 신호를 발생하는 단계를 포함하며, 여기서, 각각의 직교 편파에서 측정된 전력량은 서로 50% 이내이다. 상기 방법은 유리 샘플 내로 다른 깊이에 대한 기준 블록 및 유리 샘플을 통해 편파-스위칭 광 빔을 전송하는 단계, 그 다음, 릴레이 광학 시스템 (relay optical system)을 사용하여, 편파-스위칭 검출기 신호를 발생하는 신호 광검출기 (signal photodetector)로 전송된 편파-스위칭 광 빔을 릴레이하는 단계를 더욱 포함한다. 상기 방법은 또한 검출기 신호를 기준 신호로 나누어 정규화된 검출기 신호를 형성하는 단계 및 상기 정규화된 검출기 신호로부터 유리 샘플의 프로파일 특징을 결정하는 단계를 포함한다. RNF 프로파일은 그 다음 매끄러워지고, 및 CT 영역에 대해 사용된다. 전술된 바와 같이, FSM 기법은, 표면 CS 및 표면 근처의 CS 영역에서 응력 프로파일의 기술기에 사용된다.
- [0077] 전술된 바와 같이, 여기에 기재된 유리-계 물품은, 이온 교환에 의해 화학적으로 강화되고 및 알려진 강화된 유리 물품에 의해 나타낸 것과 구별된 응력 프로파일을 나타낸다. 본 개시에서, 유리-계 기판은 일반적으로 강화되지 않고, 및 유리-계 물품은 일반적으로 (예를 들어, 이온 교환에 의해) 강화된 유리-계 기판을 지칭한다. 이 공정에서, 유리-계 물품의 표면에 또는 그 근처의 이온은, 동일한 원자가 또는 산화 상태를 갖는 더 큰 이온으로 대체되거나 또는 교환된다. 유리-계 물품이 알칼리 알루미늄노실리케이트 유리를 포함하는 구체 예에서, 상기 유리의 표면층에서 이온 및 더 큰 이온은, Li^+ (유리-계 물품에 존재하는 경우), Na^+ , K^+ , Rb^+ , 및 Cs^+ 와 같은, 1가 알칼리 금속 양이온이다. 선택적으로, 표면층에서 1가 양이온은, Ag^+ 또는 이와 유사한 것과 같은, 알칼리 금속 양이온 이외의 1가 양이온으로 대체될 수 있다.
- [0078] 이온 교환 공정은 통상적으로 유리-계 기판 내에 더 작은 이온과 교환될 더 큰 이온을 함유하는 용융염 욕조 (또는 둘 이상의 용융염 욕조)에 유리-계 기판을 침지시켜 수행된다. 수성 염 욕조가 또한 활용될 수 있는 점은 주목되어야 한다. 부가적으로, 욕조(들)의 조성물은, 1종을 초과하는 더 큰 이온 (예를 들어, Na^+ 및 K^+) 또는 단일의 더 큰 이온을 포함할 수 있다. 기술분야의 당업자는, 욕조 조성물 및 온도, 침지 시간, 염 욕조 (또는 욕조들)에서의 유리-계 물품의 침지의 수, 다수의 염 욕조의 사용, 부가적인 단계, 예컨대, 어닐링, 세척, 및 이와 유사한 것을 포함하지만, 이에 제한되지 않는, 이온 교환 공정에 대한 파라미터가, 일반적으로 (존재하는 임의의 결정상 및 물품의 구조를 포함하는) 유리-계 물품의 조성물 및 강화로부터 결과하는 유리-계 물품의 원하는 DOL 또는 DOC 및 CS에 의해 결정된다는 것을 인지할 것이다. 예로서, 유리-계 기판의 이온 교환은, 더 큰 알칼리 금속 이온의 질산염, 황산염, 및 염화물과 같은, 그러나 이에 제한되지 않는, 염을 함유하는 적어도 하나의 용융 욕조에 유리-계 기판의 침지에 의해 달성될 수 있다. 통상적인 질산염은, KNO_3 , $NaNO_3$, $LiNO_3$, $NaSO_4$ 및 이들의 조합을 포함한다. 용융염 욕조의 온도는, 통상적으로 약 380°C 내지 약 450°C의 범위인 반면, 침지 시간은, 유리 물품의 두께, 욕조 온도 및 유리 확산율에 의존하여 약 15분 내지 약 100시간의 범위이다. 그러나, 전술된 것과 다른 온도 및 침지 시간은 또한 사용될 수 있다.
- [0079] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 기판은, 약 370°C 내지 약 480°C의 온도를 갖는 100% $NaNO_3$ 의 용융염 욕조에 침지될 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 유리-계 기판은, 약 5% 내지 약 90%의 KNO_3 및 약 10% 내지 약 95%의 $NaNO_3$ 를 포함하는 용융 혼합 염 욕조에 침지될 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 유리-계 기판은 Na_2SO_4 및 $NaNO_3$ 를 포함하는 용융 혼합 염 욕조에 침지될 수 있으며, 더 넓은 온도 범위 (예를 들어, 약 500°C까지)를 가질 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 제1 욕조에 침지 후에, 제2 욕조에 침지될 수 있다. 제2 욕조의 침지

는, 100% KNO₃를 포함하는 용융염 욕조에서 15분 내지 8시간 동안 침지를 포함할 수 있다.

- [0080] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 기관은, 약 420℃ 미만 온도 (예를 들어, 약 400℃ 또는 약 380℃)를 갖는 NaNO₃ 및 KNO₃ (예를 들어, 49%/51%, 50%/50%, 51%/49%)를 포함하는 용융된, 혼합 염 욕조에 약 5시간 미만, 또는 심지어 약 4시간 이하 동안, 침지될 수 있다.
- [0081] 이온 교환 조건은, 그 결과로 생긴 유리-계 물품의 표면에 또는 그 근처에 응력 프로파일의 기울기를 증가시키기 위해 또는 "스파이크"를 제공하기 위해 조정될 수 있다. 이 스파이크는, 단일 욕조 또는 다중 욕조에 의해 달성될 수 있으며, 상기 욕조(들)은, 여기에 기재된 유리-계 물품에 사용된 유리 조성물의 독특한 특성에 기인하여, 단일 조성물 또는 혼합된 조성물을 갖는다.
- [0082] 도 3에 예시된 바와 같이, 하나 이상의 구체 예의 유리-계 물품 (300)은, 두께 (*t*)를 한정하는, 제1표면 (302) 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면 (304)을 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, 두께 (*t*)는, 약 3 millimeters 이하 (예를 들어, 약 0.01 millimeter 내지 약 3 millimeters, 약 0.1 millimeter 내지 약 3 millimeters, 약 0.2 millimeter 내지 약 3 millimeters, 약 0.3 millimeter 내지 약 3 millimeters, 약 0.4 millimeter 내지 약 3 millimeters, 약 0.01 millimeter 내지 약 2.5 millimeters, 약 0.01 millimeter 내지 약 2 millimeters, 약 0.01 millimeter 내지 약 1.5 millimeters, 약 0.01 millimeter 내지 약 1 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.9 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.8 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.7 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.6 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.5 millimeter, 약 0.1 millimeter 내지 약 0.5 millimeter, 또는 약 0.3 millimeter 내지 약 0.5 millimeter의 범위)일 수 있다.
- [0083] 유리-계 물품은, 제1표면 (302)으로부터 제2표면 (304)으로 (또는 두께 (*t*)의 전체 길이에 따라) 확장하는 응력 프로파일을 포함한다. 도 3에 나타난 구체 예에서, 여기서 기재된 기술에 의해 측정된 바와 같은 응력 프로파일 (312)은, 여기서 기재된 바와 같은 FSM 기술에 의해 추정된 응력 프로파일 (340)과 마찬가지로 나타낸다. x-축은 응력 값을 나타내고, 및 y-축은 유리-계 물품 내에 두께 또는 깊이를 나타낸다.
- [0084] 도 3에 예시된 바와 같이, 응력 프로파일 (312)은, (표면 CS (310)를 갖는) CS 층(315), (최대 CT (320)을 갖는) CT 층 (325), 및 응력 프로파일 (312)이 지점 (330)에서 압축에서 인장으로 바뀌는 DOC (317)을 포함한다. 상기 CT 층 (325)은 또한 연관된 깊이 또는 길이 (327) (CT 영역 또는 층)을 갖는다. 추정된 응력 프로파일 (340)은, DOC를 초과하는 DOL을 포함한다. 여기서 사용된 바와 같이, DOC 및 DOL에 대한 언급은, 하나의 표면 (제1표면 (302) 또는 제2표면 (304))으로부터의 깊이와 관련되며, 이러한 DOC 또는 DOL이 다른 표면으로부터 또한 존재할 수 있는 것으로 이해해야 한다.
- [0085] 상기 표면 CS (310)는, 약 150MPa 이상 또는 약 200MPa 이상 (예를 들어, 약 250MPa 이상, 약 300MPa 이상, 약 400MPa 이상, 약 450MPa 이상, 약 500MPa 이상, 또는 약 550MPa 이상)일 수 있다. 상기 표면 CS (310)는 약 900MPa 이하, 약 1000MPa 이하, 약 1100MPa 이하, 또는 약 1200MPa 이하일 수 있다. 여기서 제공된 표면 CS 값은, 또한 최대 CS를 포함할 수도 있다. 몇몇 구체 예에서, 표면 CS는 최대 CS 미만이다.
- [0086] 상기 최대 CT (320)는, 약 80MPa 이하, 약 75MPa 이하, 또는 약 70MPa 이하 (예를 들어, 약 60MPa 이하, 약 55MPa 이하, 50MPa 이하, 또는 약 40MPa 이하)일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 최대 CT (320)는, 약 25MPa 내지 약 80MPa (예를 들어, 약 25MPa 내지 약 75MPa, 약 25MPa 내지 약 70MPa, 약 25MPa 내지 약 65MPa, 약 45MPa 내지 약 80MPa, 약 50MPa 내지 약 80MPa, 또는 약 60MPa 내지 약 80MPa)의 범위일 수 있다.
- [0087] 최대 CT (320)는, 약 0.3 · t 내지 약 0.7 · t, 약 0.4 · t 내지 약 0.6 · t, 또는 약 0.45 · t 내지 약 0.55 · t의 범위에서 위치될 수 있다. 표면 CS (310) 및 최대 CT (320) 중 임의의 하나 이상은, 유리-계 물품의 두께에 의존할 수 있는 점에 주목해야 한다. 예를 들어, 약 0.8mm의 두께를 갖는 유리-계 물품은, 약 75MPa 이하의 최대 CT를 가질 수 있다. 유리-계 물품의 두께가 감소하는 경우, 최대 CT는 증가할 수 있다. 다시 말해서, 최대 CT는, 두께가 감소함에 따라 (또는 유리-계 물품이 얇아짐에 따라) 증가한다.
- [0088] 몇몇 구체 예에서, 표면 CS (310)에 대한 최대 CT (320)의 비는, 약 0.01 내지 약 0.2 범위 (예를 들어, 약 0.01 내지 약 0.18, 약 0.01 내지 약 0.16, 약 0.01 내지 약 0.15, 약 0.01 내지 약 0.14, 약 0.01 내지 약 0.1, 약 0.02 내지 약 0.2, 약 0.04 내지 약 0.2, 약 0.05 내지 약 0.2, 약 0.06 내지 약 0.2, 약 0.08 내지 약 0.2, 약 0.1 내지 약 0.2, 또는 약 0.12 내지 약 0.2의 범위)이다. 알려진 화학적으로 강화된 유리-계 물품에서, 표면 CS (310)의 절대값에 대한 최대 CT (320)의 비는, 0.2 이하, 또는 약 0.15 이하이다. 몇몇 구체 예

에서, 표면 CS의 절대값은, 1.5배 (또는 2배 또는 2.5배)의 최대 CT 이상일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 표면 CS의 절대값은, 약 48배까지의 최대 CT, 약 40배까지의 최대 CT, 약 20배까지의 최대 CT, 약 10배까지의 최대 CT, 또는 약 8배까지의 최대 CT일 수 있다. 표면 CS의 절대값은, 약 5배 내지 약 50배의 최대 CT일 수 있다.

[0089] 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일 (312)은, 통상적으로 표면 CS (310)이고, 및 상기 제1표면 (302) 및 제2표면 (304) 중 하나 또는 모두에서 확인될 수 있는, 최대 CS를 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, CS 층 또는 영역 (315)은, 두께의 일부를 따라 DOC (317) 및 최대 CT (320)로 확장한다. 하나 이상의 구체 예에서, DOC (317)는, 약 $0.1 \cdot t$ 이상일 수 있다. 예를 들어, DOC (317)는, 약 $0.12 \cdot t$ 이상, 약 $0.14 \cdot t$ 이상, 약 $0.15 \cdot t$ 이상, 약 $0.16 \cdot t$ 이상, $0.17 \cdot t$ 이상, $0.18 \cdot t$ 이상, $0.19 \cdot t$ 이상, $0.20 \cdot t$ 이상, 약 $0.21 \cdot t$ 이상, 또는 약 $0.25 \cdot t$ 까지일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, DOC (317)는, 화학적 깊이 (342) 미만이다. 화학적 깊이 (342)는, 약 $0.4 \cdot t$ 이상, $0.5 \cdot t$ 이상, 약 $0.55 \cdot t$ 이상, 또는 약 $0.6 \cdot t$ 이상일 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일 (312)은, 포물선-같은 형상으로 묘사될 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 인장 응력을 나타내는 유리-계 물품의 영역 또는 깊이에 따른 응력 프로파일은, 포물선-같은 형상을 나타낸다. 하나 이상의 특정 구체 예에서, 응력 프로파일 (312)은, 편평한 응력 (즉, 압축 또는 인장) 부분 또는 실질적으로 일정한 응력 (즉, 압축 또는 인장)을 나타내는 부분이 없다. 몇몇 구체 예에서, CT 영역은, 편평한 응력이 실질적으로 없거나 또는 실질적으로 일정한 응력이 없는 응력 프로파일을 나타낸다. 하나 이상의 구체 예에서, 약 $0t$ 내지 약 $0.2 \cdot t$ 및 약 $0.8 \cdot t$ 를 초과하는 (또는 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.3 \cdot t$ 및 $0.7 \cdot t$ 를 초과하는) 두께 범위에서 응력 프로파일 (312)의 모든 지점은, 약 $-0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 미만이거나 또는 약 $0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 를 초과하는 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 기울기는, 약 $-0.2\text{MPa}/\text{micrometers}$ 미만 또는 약 $0.2\text{MPa}/\text{micrometers}$ 를 초과할 수 있다. 몇몇 더 특별한 구체 예에서, 기울기는, 약 $-0.3\text{MPa}/\text{micrometers}$ 미만 또는 약 $0.3\text{MPa}/\text{micrometers}$ 를 초과할 수 있다. 더욱 특별한 구체 예에서, 기울기는 약 $-0.5\text{MPa}/\text{micrometers}$ 미만 또는 약 $0.5\text{MPa}/\text{micrometers}$ 를 초과할 수 있다. 다시 말하면, 이들 두께 범위 (즉, $0 \cdot t$ 내지 약 $0.2 \cdot t$ 및 $0.8t$ 초과, 또는 약 $0t$ 내지 약 $0.3 \cdot t$ 및 $0.7 \cdot t$ 이상)에 따른 하나 이상의 구체 예의 응력 프로파일은, 여기에 기재된 바와 같은, 기울기를 갖는 접선을 갖는 지점을 배제한다. 이론에 구애됨이 없이, 알려진 오차 함수 또는 준-선형 응력 프로파일은, (도 2에서 나타난 바와 같이, 이러한 두께 범위 (220)에 따라 편평한 또는 0 기울기의 응력 프로파일을 나타내는), 약 $-0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 초과 내지 약 $0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 미만의 범위에서 기울기를 갖는 접선을 갖는, 이들 두께 범위 (즉, 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.2 \cdot t$ 및 $0.8t$ 초과, 또는 약 $0t$ 내지 약 $0.3 \cdot t$ 및 $0.7 \cdot t$ 이상)에 따른 지점을 갖는다. 본 개시의 하나 이상의 구체 예의 유리-계 물품은, 도 3에 나타난 바와 같이, 이들 두께 범위에 따라 편평하거나 또는 0의 기울기 응력 프로파일을 갖는 이러한 응력 프로파일을 나타내지 않는다.

[0090] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 최대 기울기를 갖는 접선 및 최소 기울기를 갖는 접선을 포함하는, 약 $0.1 \cdot t$ 내지 $0.3 \cdot t$ 및 약 $0.7 \cdot t$ 내지 $0.9 \cdot t$ 의 두께 범위에서 응력 프로파일을 나타낸다. 몇몇 사례에서, 최대 기울기와 최소 기울기 사이에 차이는, 약 $3.5\text{MPa}/\text{micrometers}$ 이하, 약 $3\text{MPa}/\text{micrometers}$ 이하, 약 $2.5\text{MPa}/\text{micrometers}$ 이하, 또는 약 $2\text{MPa}/\text{micrometers}$ 이하이다. 다른 구체 예에서, 최대와 최소 기울기 사이에 차이가 상기 범위 내에 속하는 두께 범위는, 약 $0.02 \cdot t$ 까지 및 $0.980 \cdot t$ 초과, 예를 들어, 약 $0.0250 \cdot t$ 까지 및 $0.9750 \cdot t$ 초과, 또는 약 $0.0275 \cdot t$ 까지 및 $0.9725 \cdot t$ 초과, 또는 약 $0.030 \cdot t$ 까지 및 $0.970 \cdot t$ 초과, 또는 약 $0.0350 \cdot t$ 까지 및 $0.9650 \cdot t$ 초과를 포함한다.

[0091] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 유리-계 물품의 두께 (t)의 적어도 일부를 따라 또는 깊이 방향으로 확장하는 임의의 편평한 세그먼트 (flat segments)가 실질적으로 없는 응력 프로파일 (312)을 포함한다. 다시 말해서, 응력 프로파일 (312)은, 두께 (t)를 따라 실질적으로 연속적으로 증가하거나 또는 감소한다. 몇몇 구체 예에서, 응력 프로파일은, 약 10 micrometers 이상, 약 50 micrometers 이상, 또는 약 100 micrometers 이상, 또는 약 200 micrometers 이상의 길이를 갖는 깊이 방향에서 임의의 편평한 세그먼트가 실질적으로 없다. 여기에 사용된 바와 같은, 용어 "편평한"은, 편평한 세그먼트를 따라 약 $5\text{MPa}/\text{micrometer}$ 미만, 또는 약 $2\text{MPa}/\text{micrometer}$ 미만의 크기를 갖는 기울기를 지칭한다. 몇몇 구체 예에서, 깊이 방향에서 임의의 편평한 세그먼트가 실질적으로 없는 응력 프로파일의 하나 이상의 부분은, 제1표면 또는 제2표면 중 하나 또는 모두로부터 약 5 micrometers 이상 (예를 들어, 10 micrometers 이상, 또는 15 micrometers 이상)의 유리-계 물품 내에 깊이에 존재한다. 예를 들어, 상기 제1표면으로부터 약 0 micrometer 내지 약 5 micrometers 미만의 깊이에 따라, 응력 프로파일은, 선형 세그먼트를 포함할 수 있지만, 제1표면으로부터 약 5 micrometers 이상의 깊이로부터, 응력 프로파일은 편평한 세그먼트가 실질적으로 없을 수 있다. 여기서 사용된 바와 같은, "선형"은, 편평한 기울기를 갖는 선분 (line segments)뿐만 아니라 편평한 기울기를 갖지 않는 선분을 포함하는데; 후자의 예를 들

면, 표면으로부터 약 12 microns의 깊이 내에 도 6을 참조한다.

[0092] 몇몇 구체 예에서, 응력 프로파일은, 약 0t 내지 약 0.1t의 깊이에서 선형 세그먼트를 포함할 수 있고, 및 약 0.1t 내지 약 0.4t의 깊이에서 편평한 세그먼트가 실질적으로 없다. 몇몇 구체 예에서, 약 0t 내지 약 0.1t 범위의 두께로부터 응력 프로파일은, 약 20MPa/microns 내지 약 200MPa/microns의 범위에서 기울기를 가질 수 있다. 여기서 기재되는 바와 같은, 이러한 구체 예는, 육조가 둘 이상의 알칼리염을 포함하는 단일 이온-교환 공정, 또는 혼합된 알칼리염 육조 또는 다중 (예를 들어, 2 이상) 이온 교환 공정을 사용하여 형성될 수 있다.

[0093] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, CT 영역 (도 3에서 327)에 따른 응력 프로파일의 형상의 면에서 설명될 수 있다. 예를 들어, 몇몇 구체 예에서, CT 영역에 따른 응력 프로파일 (여기서 응력은 장력이다)은, 수학적식에 의해 근사값이 구해질 수 있다. 몇몇 구체 예에서, CT 영역에 따른 응력 프로파일은, 수학적식 1에 의해 근사값이 구해질 수 있다:

[0094] [수학적식 1]

[0095]
$$\text{응력}(x) = \text{MaxCT} - \left(\frac{\text{MaxCT} \cdot (n+1)}{0.5^n} \right) \cdot |(x/t) - 0.5|^n$$

[0096] 수학적식 1에서, 응력 (x)은 위치 x에서의 응력 값이다. 여기서, 응력은 정수 (positive) (장력)이다. MaxCT는, MPa로, 양의 값으로 최대 중심 장력이다. 값 x는, 0 내지 t의 범위를 갖는, micrometers 단위의 두께 (t)에 따른 위치이고; x=0은 일 표면 (도 3에서 302)이며, x=0.5t는 유리-계 물품의 중심이고, 응력 (x) = MaxT이며, 및 x=t는 대립 표면 (도 3에서 304)이다. 수학적식 1에 사용된 MaxT는, 약 50MPa 내지 약 80MPa (예를 들어, 약 60MPa 내지 약 80MPa, 약 70MPa 내지 약 80MPa, 약 50MPa 내지 약 75MPa, 약 50MPa 내지 약 70MPa, 또는 약 50MPa 내지 약 65MPa)의 범위일 수 있고, 및 n은 1.5 내지 5 (예를 들어, 2 내지 4, 2 내지 3 또는 1.8 내지 2.2)의 적합 파라미터 (fitting parameter)이며, 이에 의해 n=2는, 포물선 응력 프로파일을 제공할 수 있고, n=2에서 벗어난 지수는, 근 포물선 응력 프로파일 (near parabolic stress profiles)을 갖는 응력 프로파일을 제공한다.

[0097] 몇몇 구체 예에서, 응력 프로파일은, 열처리에 의해 변경될 수 있다. 이러한 구체 예에서, 열처리는, 임의의 이온-교환 공정 전에, 이온-교환 공정 사이에, 또는 모든 이온-교환 공정 후에 발생할 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 열처리는 표면에서 또는 그 근처에서 응력 프로파일의 기울기를 감소시킬 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 가파른 또는 더 큰 기울기가 표면에서 요구되는 경우, 열처리 후에 이온 교환 공정은, "스파이크"를 제공하거나 또는 표면에서 또는 그 근처에서 응력 프로파일의 기울기를 증가시키기 위해 활용될 수 있다.

[0098] 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일 (312) (및/또는 추정된 응력 프로파일 (340))은, 두께의 일부를 따라, 예를 들어, 약 10 micrometers, 100 micrometers, 또는 전체 두께의 두께 세그먼트를 따라, 변하는 0이 아닌 농도의 금속 산화물(들)에 기인하여 발생된다. 농도에서 변화는, 구배로서 여기에서 지칭될 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 금속 산화물의 농도는 모두 0이 아니고, 및 약 0·t 내지 약 0.3·t의 두께 범위를 따라 변한다. 몇몇 구체 예에서, 금속 산화물의 농도는 0이 아니고, 및 약 0·t 내지 약 0.35·t, 약 0·t 내지 약 0.4·t, 약 0·t 내지 약 0.45·t 또는 약 0·t 내지 약 0.48·t의 두께 범위를 따라 변한다. 금속 산화물은, 유리-계 물품에 응력을 발생시키는 것으로 설명될 수 있다. 농도에서 변화는, 전술된 두께 범위를 따라 연속적일 수 있다. 농도에서 변화는, 약 100 micrometers의 두께 세그먼트를 따라 약 0.2mol%의 금속 산화물 농도에서 변화를 포함할 수 있다. 이 변화는, 실시 예 1에서 나타난 바와 같이, 마이크로프로브 (microprobe)를 포함하는 기술분야에서 알려진 방법에 의해 측정될 수 있다. 농도가 0이 아니고, 및 두께의 일부를 따라 변화는 금속 산화물은, 유리-계 물품에서 응력을 발생시키는 것으로 설명될 수 있다.

[0099] 농도에서 변화는, 전술된 두께 범위를 따라 연속적일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 농도에서 변화는, 약 10 micrometers 내지 약 30 micrometers의 범위에서 두께 세그먼트를 따라 연속적일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 금속 산화물의 농도는, 제1표면으로부터 상기 제1표면과 제2표면 사이에 지점의 값으로 감소하고, 및 상기 값으로부터 제2표면으로 증가한다.

[0100] 금속 산화물의 농도는, 하나를 초과하는 금속 산화물 (예를 들어, Na₂O 및 K₂O의 조합)을 포함할 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 2종의 금속 산화물이 활용되고 및 이온의 반경이 서로 다른 경우, 더 큰 반경을 갖는 이온의 농도는, 얇은 깊이에서 더 작은 반경을 갖는 이온의 농도를 초과하고, 반면에 더 깊은 깊이에서, 더 작은 반경을 갖는 이온의 농도는, 더 큰 반경을 갖는 이온의 농도를 초과한다. 예를 들어, 이온 교환 공정에서 단일 Na⁻ 및 K⁻ 함유 육조가 사용되는 경우, 유리-계 물품에서 K⁺ 이온의 농도는, 더 얇은 깊이에서 Na⁺ 이온의 농도를 초과하

는 반면, Na⁺의 농도는, 더 깊은 깊이에서 K⁺ 이온의 농도를 초과한다. 이것은, 부분적으로, 이온의 크기에 기 인하여 기인한다. 이러한 유리-계 물품에서, 표면 또는 그 근처의 구역은, 표면에서 또는 그 근처에서 더 많은 양의 더 큰 이온 (즉, K⁺ 이온)으로 인해 더 큰 CS를 포함한다. 이러한 더 큰 CS는, 표면에서 또는 그 근처에서 더 가파른 기울기를 갖는 응력 프로파일 (즉, 표면에서 응력 프로파일의 스파이크)에 의해 나타낼 수 있다.

[0101] 하나 이상의 금속 산화물의 농도 구배 또는 변화는, 여기에서 기술된 바와 같이, 유리-계 기판을 화학적으로 강 화시켜 생성되며, 여기서, 유리-계 기판에서 복수의 제1 금속 이온은, 복수의 제2 금속 이온으로 교환된다. 제1 이온은, 리튬, 나트륨, 칼륨, 및 루비듐의 이온일 수 있다. 제2 금속 이온은, 제2 알칼리 금속 이온이 제1 알칼 리 금속 이온의 이온 반경을 초과하는 이온 반경을 갖는다는 전제하에서, 나트륨, 칼륨, 루비듐, 및 세슘 중 하 나의 이온일 수 있다. 제2 금속 이온은, 이의 산화물 (예를 들어, Na₂O, K₂O, Rb₂O, Cs₂O 또는 이들의 조합)로서 유리-계 기판에 존재한다.

[0102] 하나 이상의 구체 예에서, 금속 산화물 농도 구배는, CT 층 (327)을 포함하는, 유리-계 물품의 두께 (t)의 실질 적인 부분 또는 전체 두께 (t)을 통해 확장된다. 하나 이상의 구체 예에서, 금속 산화물의 농도는, CT 층 (32 7)에서 약 0.5mol% 이상이다. 몇몇 구체 예에서, 금속 산화물의 농도는, 유리-계 물품의 전체 두께에 따라 약 0.5mol% 이상 (예를 들어, 약 1mol% 이상)일 수 있고, 및 제1표면 (302) 및/또는 제2표면 (304)에서 가장 크며, 제1표면 (302)과 제2표면 (304) 사이에 지점에서 값으로 실질적으로 일정하게 감소한다. 이 지점에서, 금 속 산화물의 농도는, 전체 두께 (t)를 따라 최소한이지만; 그러나, 농도는 또한 그 지점에서 0은 아니다. 다시 말하면, 특정 금속 산화물의 0이 아닌 농도는, (여기서 기재된 바와 같은) 두께 (t)의 실질적인 부분 또는 전체 두께 (t)을 따라 확장된다. 몇몇 구체 예에서, 특정 금속 산화물의 최저 농도는, CT 층 (327)에 있다. 유리-계 물품에서 특정 금속 산화물의 총 농도는, 약 1mol% 내지 약 20mol%의 범위일 수 있다.

[0103] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 제1 금속 산화물 농도 및 제2 금속 산화물 농도를 포함하며, 상기 제1 금속 산화물 농도는, 약 0t 내지 약 0.5t의 제1 두께 범위를 따라 약 0mol% 내지 약 15mol%의 범위이고, 및 상기 제2 금속 산화물 농도는, 약 0 micrometers 내지 약 25 micrometers (또는 약 0 micrometers 내지 약 12 micrometers)의 제2 두께 범위로부터 약 0mol% 내지 약 10mol%의 범위이지만; 상기 제1 금속 산화물 및 제2 금 속 산화물 중 하나 또는 모두의 농도는, 유리-계 물품의 실질적인 부분 또는 전체 두께를 따라 0이 아니다. 유 리-계 물품은, 선택적인 제3 금속 산화물 농도를 포함할 수 있다. 상기 제1 금속 산화물은, Na₂O를 포함할 수 있는 반면, 제2 금속 산화물은 K₂O를 포함할 수 있다.

[0104] 금속 산화물의 농도는, 이러한 금속 산화물의 농도 구배를 포함하도록 변경되기 전에, 유리-계 물품에서 금속 산화물의 기준량 (baseline amount)으로부터 결정될 수 있다.

[0105] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 이들이 어떻게 파단되는지 및 이러한 파단으로부터 결과하는 파편의 면에서 설명될 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 파단시, 유리-계 물품은, (파단 전) 유리-계 물품의 제곱인 치 당 (또는 6.4516 제곱센티미터 당) 둘 이상의 파편으로 파단되고, 여기서, 사용된 샘플 크기는, 5.08cm x 5.08cm (2 인치 x 2 인치)의 정사각형이다. 몇몇 경우에서, 유리-계 물품은, 제곱인치 당 (또는 6.4516 제곱 센 티미터 당) 3 이상, 4 이상, 5 이상, 또는 10 이상 파편으로 파단되고, 여기서, 사용된 샘플 크기는, 5.08cm x 5.08cm (2 인치 x 2 인치)의 정사각형이다. 몇몇 사례에서, 파단시, 유리-계 물품은, 파편의 50% 이상이 (파단 전) 유리-계 물품의 표면적의 5% 미만, 2% 미만, 또는 1% 미만인 표면적을 갖도록 파편으로 파단된다. 몇몇 구 체 예에서, 파단시, 유리-계 물품은, 파편의 90% 이상 또는 심지어 100%가 (파단 전) 유리-계 물품의 표면적의 5% 미만, 2% 미만, 또는 1% 미만인 표면적을 갖도록 파편으로 파단된다.

[0106] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품을 화학적으로 강화 후에, 그 결과로 생긴 유리-계 물품의 응력 프로파 일 (317) (및 추정된 응력 프로파일 (340))은, 개선된 내파단성을 제공한다. 예를 들어, 몇몇 구체 예에서, 파 단시, 유리-계 물품은, 약 0.2 · t 이하 (예를 들어, 1.8 · t, 1.6 · t, 1.5 · t, 1.4 · t, 1.2 · t 또는 1.0 · t 이 하)의 평균 가장 긴 단면 치수를 갖는 파편을 포함한다.

[0107] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 0.7MPa · m^{1/2} 이상의 파괴 인성 (fracture toughness) (K_{IC})을 나 타낼 수 있다. 몇몇 경우에서, 파괴 인성은, 약 0.8MPa · m^{1/2} 이상, 또는 약 0.9MPa · m^{1/2} 이상일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 파괴 인성은, 약 0.7MPa · m^{1/2} 내지 약 1MPa · m^{1/2}의 범위일 수 있다. 본 개시에 열거된 파괴 인성 값 (K_{IC})은, Y*_m이 Bubsey, R.T. 등의, "Closed-Form Expressions for Crack-Mouth Displacement and Stress

Intensity Factors for Chevron-Notched Short Bar and Short Rod Specimens Based on Experimental Compliance Measurements," NASA Technical Memorandum 83796, pp. 1-30 (October 1992)의 방정식 5를 사용하여 계산된 것을 제외하고, Reddy, K.P.R. 등의, "Fracture Toughness Measurement of Glass and Ceramic Materials Using Chevron-Notched Specimens," J. Am. Ceram. Soc., 71 [6], C-310-C-313 (1988)에 기재된 웨브론 노치 쇼트 바 (chevron notched short bar: CNSB) 방법에 의해 측정된 값을 지칭한다.

[0108] 몇몇 구체 예에서, 기판은 또한 200g의 하중에서 비커스 경도 시험 (Vickers hardness test)에 의해 측정된 것으로, 약 500 HVN 내지 약 800 HVN의 경도를 갖는 것을 특징으로 할 수 있다.

[0109] 여기에 기재된 유리-계 물품은, 0 J/m² 초과 내지 약 20 J/m²의 범위에서 저장된 인장 에너지를 나타낼 수 있다. 몇몇 사례에서, 저장된 인장 에너지는, 약 1 J/m² 내지 약 20 J/m², 약 2 J/m² 내지 약 20 J/m², 약 3 J/m² 내지 약 20 J/m², 약 4 J/m² 내지 약 20 J/m², 약 1 J/m² 내지 약 19 J/m², 약 1 J/m² 내지 약 18 J/m², 약 1 J/m² 내지 약 16 J/m², 약 4 J/m² 내지 약 20 J/m² 또는 약 4 J/m² 내지 약 18 J/m²의 범위일 수 있다. 저장된 인장 에너지는, 하기 수학적 식 2로 계산된다:

[0110] [수학적 식 2]

[0111] 저장된 인장 에너지 (J/m²) = [(1-ν)/E] ∫ (σ²) (dt)

[0112] 여기서, ν는 푸아송 비이고, E는 영률 (MPa)이며, σ는 응력 (MPa)이고, 적분은, 오직 인장 영역의 두께 (microns)에 걸쳐서 계산된다.

[0113] 여기서 기재된 유리-계 물품은, 일반적으로 약 80GPa 미만의 영률 또는 탄성 계수 (elastic modulus)를 갖는다. 유리-계 물품의 조성물에 내재된 탄성 계수는, 이로부터 생성된 최종 유리-계 물품에, 외래적인 특성인, 원하는 높은 강성 (stiffness)을 제공할 수 있다. 명확하기 위해, 탄성 계수 측정의 특정 타입이 명시적으로 나타내지 않는 한, 여기서 기재된 탄성 계수는, 예를 들어, 전단 계수 (shear modulus), 벌크 계수, 푸아송 비 및 이와 유사한 것이라보다 물질의 영률일 것이다.

[0114] 몇몇 구체 예에서, 유리-계 물품은, 높은 정밀한 표면 매끄러움을 제공할 수 있는, 다운-인발 기술 (예를 들어, 퓨전 인발, 슬롯 인발, 및 기타 유사한 방법)을 통해 유리-계 물품의 형성을 가능하게 하는 높은 액상선 점도를 포함한다. 여기서 사용된 바와 같이, 용어 "액상선 점도"는, 액상선 온도에서 용융 유리의 점도를 지칭하고, 여기서, 용어 "액상선 온도"는, 용융 유리가 용융 온도로부터 냉각됨에 따라 결정이 처음 나타나는 온도 (또는 온도가 실온으로부터 증가됨에 따라 가장 마지막 결정이 용융되는 온도)를 지칭한다. 액상선 점도는 다음 방법에 의해 결정된다. 먼저, 유리의 액상선 온도는, 명칭이 "Standard Practice for Measurement of Liquidus Temperature of Glass by the Gradient Furnace Method"인, ASTM C829-81 (2015)에 따라 측정된다. 그 다음, 액상선 온도에서 유리의 점도는, 명칭이 "Standard Practice for Measuring Viscosity of Glass Above the Softening Point"인, ASTM C965-96(2012)에 따라 측정된다. 일반적으로, 여기에 기재된 유리-계 물품 (또는 이러한 물품을 형성하는데 사용된 조성물)은, 약 100 kilopoise (kP) 이상의 액상선 점도를 나타낸다. 더 높은 액상선 점도가 다운-인발 가공성이 요구되는 경우, 유리-계 물품 (또는 이러한 물품을 형성하는데 사용되는 조성물)은, 200kP 이상 (예를 들어, 약 600kP 이상)의 액상선 점도를 나타낸다.

[0115] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 4 N 내지 약 7 N, 약 4.5 N 내지 약 7 N, 약 5 N 내지 약 7 N, 약 4 N 내지 약 6.5 N, 약 4 N 내지 약 6 N, 또는 약 5 N 내지 약 6 N의 범위에서 누프 측면 균열 스크래치 임계값 (Knoop Lateral Cracking Scratch Threshold)을 나타낸다. 여기서 사용된 바와 같은, 누프 측면 균열 스크래치 임계값은, 누프 압입자 (indenter)를 사용하여 형성된, 미세연성 스크래치 홈 (microductile scratch groove)의 폭의 2배 이상 확장하는, (5개의 압입 사건 (indentation events) 중 3개 이상에서) 측면 균열의 시작이다. 몇몇 구체 예에서, 누프 측면 균열 스크래치 임계값은, 약 10 내지 약 16 Newtons의 범위일 수 있다. 여기서 사용된 바와 같은, 누프 측면 균열 임계값은, (5개의 스크래치 사건 중 3개에서) 측면 균열의 시작이다. 일련의 증가하는 일정한 하중 스크래치 (하중당 최소 3개이지만, 하중당 더 많은 것이 신뢰 수준을 높이는데 사용될 수 있다)는, 누프 스크래치 임계값을 확인하기 위해 수행된다. 누프 스크래치 측면 균열 임계값 시험에서, 각 하중에 대해, 유리 기판 및/또는 물품의 샘플은, 0.25mm/s의 속도로 10mm의 길이에 걸쳐 누프 압입자로 스크래치된다. 누프 스크래치 임계값 범위는, 시험편을 다음의 3가지 파손 모드 (failure modes) 중 하나와 비교하여 결정될 수 있다: 1) 홈의 폭을 2배 초과하는 지속된 측면 표면 균열이거나, 2) 손상이 홈 내에 포함되지만, 홈의 폭의 2배 미만인 측면 표면 균열이 있고 및 육안으로 가시적인 손상이 있거나, 또는 3) 홈의 폭을 2배 초

과하는 큰 표면 아래의 측면 균열의 존재 및/또는 스크래치의 정점 (vertex)에서 중앙 균열 (median crack)이 있다. 그 다음, 스크래치 임계값은, 파손이 5개의 사건 중 3개 이상으로 발생하지 않는 가장 높은 하중이다.

[0116] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 10 kgf 이상, 약 12 kgf 이상, 또는 약 15 kgf 이상의 범위에서 비커스 압입 파단 임계값을 나타낸다. 여기서 사용된 바와 같은, 압입 파단 임계값 (또는 비커스 균열 초기 임계값)은, 비커스 압입자에 의해 측정된다. 비커스 압입 파단 임계값은, 유리의 압입 내손상성의 측정이다. 이 시험은, 비커스 압입자로 지칭되는, 면들 (faces) 사이에 136°의 각을 갖는 사각-기반 피라미드형 다이아몬드 압입자의 사용을 포함한다. 비커스 압입자는, 표준 미세 경도 시험 (참조 ASTM-E384-11)에 사용된 것과 같다. 최소 5개의 시편은, 관심의 유리 타입 및/또는 계도 (pedigree)를 나타내도록 선택된다. 각 시편에 대해, 5개의 압입의 다중 세트는, 시편 표면에 도입된다. 5개의 압입의 각 세트는, 시편 에지에 5mm보다 더 가깝지 않고 및 최소 5mm 만큼 분리된 각각의 개별 압입으로, 주어진 하중에서 도입된다. 50kg/분의 압입자 로딩/언로딩의 비 (rate)는, 시험 하중 \geq 2kg에 대해 사용된다. 시험 하중 < 2kg의 경우, 5kg/분의 비는 사용된다. 목표 하중에서 10초의 정지 (즉, 유지) 시간은 활용된다. 기계는 정지 기간 동안 하중 조절을 유지한다. 적어도 12시간의 기간 후에, 압입은 500X 배율로 복합 현미경 (compound microscope)을 사용하여 반사광 (reflected light) 하에서 검사된다. 중앙/방사상 균열의 존재 유무, 또는 시편 파단은, 그 다음, 각 압입에 대해 기록된다. 이 시험에 대하여, 중앙/방사상 균열의 형성, 또는 시편 파단이 관심의 대상이므로, 측면 균열의 형성은, 임계값 거동을 나타내는 지표로 고려되지 않는 점에 주목해야 한다. 시편 임계값은, 임계값을 충족하는 50% 초과와 개별 압입을 일괄하여 다루어 가장 낮은 연속적인 압입 하중의 중간점으로 정의된다. 예를 들어, 개별 시편 내에서, 5kg 하중에서 유도된 5개의 압입 중 둘 (40%)이 임계값을 초과하고, 및 6kg 하중에서 유도된 5개의 압입 중 3개 (60%)가 임계값을 초과한 경우, 그 다음 시편 임계값은, 5 및 6kg의 중간점, 또는 5.5kg으로 정의된다. 시편 평균 임계값은, 모든 개별 시편 임계값의 산술 평균으로 정의된다. 평균과 함께, 모든 시편 중간점의 범위 (최저값으로부터 최고 값까지)는, 각 샘플에 대해 보고된다. 시험-전, 시험 및 시험-후 환경은, 유리 시편의 피로 (응력 부식) (fatigue (stress corrosion)) 거동에서 변화를 최소화하기 위해 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 및 $50 \pm 5\%$ RH로 조절된다. 미지의 조성물 또는 계도 (pedigree)를 처음 시험하는 경우, 요구된 압입 하중 및 브래킷 증분 (bracketing increment)은, "반복 탐색 (iterative search)"을 수행하여 결정된다는 점에 주목해야 한다. 샘플의 성능을 속지하게 되면, 향후 시험은, 오직 예상된 임계값 근처에서 하중을 시험한 다음, 필요에 따라, 오직 부가적인 압입 하중을 "수행하여" 간소화될 수 있다.

[0117] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 마모된 링-온-링 (AROR) 시험에 적용된 경우, 개선된 표면 강도를 나타낸다. 물질의 강도는, 파단이 발생하는 응력으로 정의된다. AROR 시험은, 평편한 유리 시편을 시험하기 위한 표면 강도 측정이며, 명칭이 "Standard Test Method for Monotonic Equibiaxial Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature"인, ASTM C1499-09(2013)는, 여기에 기재된 AROR 시험 방법론에 대한 기초로서 역할을 한다. ASTM C1499-09의 내용은, 전체적으로 여기에 참조로서 혼입된다. 하나의 구체 예에서, 유리 시편은, 명칭이 "Standard Test Methods for Strength of Glass by Flexure (Determination of Modulus of Rupture)"인, ASTM C158-02(2012)의, 명칭이 "abrasion Procedures"인, Annex A2에 기재된 방법 및 장치를 사용하여 유리 샘플에 전달되는 90 그릿의 탄화규소 (SiC) 입자로 링-온-링 시험 전에 마모된다. 특히, ASTM C158-02의 내용 및 Annex 2의 내용은, 전체적으로 여기에 참조로서 혼입된다.

[0118] 링-온-링 시험 전에, 유리-계 물품의 표면은, ASTM C158-02의 도 A2.1에 나타난 장치를 사용하여 샘플의 표면 결함 상태를 정규화 및/또는 조절하기 위해, ASTM C158-02, Annex 2에 기재된 대로 마모된다. 비록, 하기 실시예에서, 마모성 물질 (abrasive material)이 다른 하중 (예를 들어, 25psi 또는 45psi)에서 표면 (110) 상으로 샌드블라스팅될지라도 (sandblasted), 마모성 물질은, 통상적으로, 304kPa (44psi)의 공기압을 사용하여 15psi의 하중으로 유리-계 물품의 표면 (110) 상으로 샌드블라스팅된다. 기류 (air flow)가 설정된 후, 5cm²의 마모성 물질은 칼때기에 버려지고, 및 샘플은 마모성 물질의 도입 후에 5초 동안 샌드블라스팅된다.

[0119] AROR 시험의 경우, 도 4에 나타난 바와 같은 적어도 하나의 마모된 표면 (410)을 갖는 유리-계 물품은, 도 4에 또한 나타난 바와 같이, 등축 휨 강도 (equibiaxial flexural strength) (즉, 2개의 동심 링 사이에 휨이 적용된 경우 물질이 지탱할 수 있는 최대 응력)를 결정하기 위해 다른 크기의 2개의 동심 링 사이에 배치된다. AROR 구성 (400)에서, 마모된 유리-계 물품 (410)은, 직경 (D2)을 갖는 지지 링 (420)에 의해 지지된다. 힘 (F)은, 로드 셀 (load cell) (도시되지 않음)에 의해 직경 (D1)을 갖는 로딩 링 (loading ring: 430)에 의해 유리-계 물품의 표면에 가해진다.

[0120] 로딩 링 및 지지 링의 직경의 비 (D1/D2)는, 약 0.2 내지 약 0.5의 범위일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, D1/D2는 약 0.5이다. 로딩 링 및 지지 링 (130, 120)은, 지지 링 직경 (D2)의 0.5% 내에서 동심원으로 정렬되어야 한다.

시험에 사용된 로드 셀은, 선택된 범위 내에 임의의 하중에서 $\pm 1\%$ 내에서 정확해야 한다. 몇몇 구체 예에서, 시험은, $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 온도 및 $40 \pm 10\%$ 의 상대 습도에서 수행된다.

- [0121] 고정장치 (fixture) 설계의 경우, 로딩 링 (430)의 돌출 표면의 반경 (r)은, $h/2 \leq r \leq 3h/2$ 이고, 여기서, h는 유리-계 물품 (410)의 두께이다. 로딩 링 및 지지 링 (430, 420)은, 통상적으로, 경도 (HRC)가 > 40 인 강철로 제조된다. AROR 고정장치는 상업적으로 이용 가능하다.
- [0122] AROR 시험에 대하여 의도된 파손 메커니즘은, 로딩 링 (430) 내에 표면 (430a)으로부터 기원하는 유리-계 물품 (410)의 파단을 관찰하는 것이다. 이 영역의 외부 -즉, 로딩 링 (430)과 지지 링 (420) 사이 -에서 발생하는 파손은, 데이터 분석에서 생략된다. 그러나, 얇고 고강도의 유리-계 물품 (410)에 기인하여, 시편 두께 (h)의 $1/2$ 을 초과하는 큰 변위 (deflections)는, 종종 관찰된다. 따라서, 로딩 링 (430) 아래에서 기원하는 높은 퍼센트의 파손을 관찰하는 것은 드문 일이 아니다. 응력은, 각 시편에서 파손의 기원 및 (변형계 (strain gauge) 분석을 통해 수집된) 링 아래 및 내부 모두에서 응력 발달의 지식 없이 정확하게 계산될 수 없다. 따라서, AROR 시험은, 측정된 반응으로서 파손시 절정 하중 (peak load)에 초점을 맞춘다.
- [0123] 유리-계 물품의 강도는, 표면 흠들의 존재에 의존한다. 그러나, 유리의 강도가 본질적으로 통계에 근거하기 때문에, 존재하는 주어진 크기의 흠의 가능성은, 정확하게 예측될 수 없다. 따라서, 확률 분포는 일반적으로 얻어진 데이터의 통계학적 표현으로 사용될 수 있다.
- [0124] 몇몇 구체 예에서, 여기에 기재된 유리-계 물품은, 표면을 마모시키기 위해 25psi 또는 심지어 45psi의 하중을 사용하는 AROR 시험에 의해 결정된 것으로 20 kgf 이상, 및 약 30 kgf까지의 표면 또는 등가 휨 강도를 갖는다. 다른 구체 예에서, 표면 강도는, 25 kgf 이상이고, 및 또 다른 구체 예에서, 30 kgf 이상이다.
- [0125] 몇몇 구체 예에서, 여기에 기재된 유리-계 물품은, 샌드페이퍼 상에 역 볼 (IBoS) 시험에서 성능의 면에서 설명될 수 있다. 상기 IBoS 시험은, 도 27a에서 개략적으로 나타낸 바와 같이, 휴대용 또는 핸드헬드 전자 장치에 사용되는 유리-계 물품에서 통상적으로 발생하는 손상 도입 및 굽힘에 기인한 파손에 대한 지배적인 메커니즘을 모방한 동적 구성요소 수준 시험 (dynamic component level test)이다. 실제로, 손상 도입 (도 27에서 a)은, 유리-계 물품의 상부 표면에서 발생한다. 파단은, 유리-계 물품의 상부 표면에서 시작되고 및 손상은 유리-계 물품을 침투하거나 (도 7에서 b) 또는 파단은 유리-계 물품의 상부 표면에 굽힘으로부터 또는 내부 일부로부터 전파된다 (도 7에서 c). IBoS 시험은, 유리의 표면에 손상을 동시에 도입하고 및 동적 하중하에서 굽힘을 가하도록 설계된다. 몇몇 사례에서, 유리-계 물품은, 동일한 유리-계 물품이 압축 응력을 포함하지 않는 경우보다 압축 응력을 포함할 때, 개선된 낙하 성능을 나타낸다.
- [0126] IBoS 시험 장치는, 도 27b에 개략적으로 나타낸다. 장치 (500)는, 시험대 (510) 및 볼 (530)을 포함한다. 볼 (530)은, 예를 들어, 스테인리스 스틸 볼과 같은, 단단한 또는 고체 볼, 또는 이와 유사한 것이다. 하나의 구체 예에서, 볼 (530)은, 10mm의 직경을 갖는 4.2g의 스테인리스 스틸 볼이다. 상기 볼 (530)은, 미리 결정된 높이 (h)로부터 유리-계 물품 샘플 (518) 상으로 직접 낙하된다. 시험대 (510)는, 화강암 또는 이와 유사한 것과 같은, 경질의, 단단한 물질을 포함하는 고체 베이스 (solid base: 512)를 포함한다. 표면에 배치된 마모성 물질을 갖는 시트 (514)는, 마모성 물질을 갖는 표면이 위로 향하도록, 고체 베이스 (512)의 윗면 상에 놓인다. 몇몇 구체 예에서, 시트 (514)는, 30 그릿 표면을 갖는 샌드페이퍼이고, 및 다른 구체 예에서, 180 그릿 표면을 갖는 샌드페이퍼이다. 유리-계 물품 샘플 (518)은, 유리-계 물품 샘플 (518)과 시트 (514) 사이에 공기 갭 (516)이 존재하도록, 샘플 홀더 (515)에 의해 시트 (514) 위에서 제자리에 유지된다. 시트 (514)와 유리-계 물품 샘플 (518) 사이에 공기 갭 (516)은, 유리-계 물품 샘플 (518)이 볼 (530)에 의한 충격시에 시트 (514)의 마모 표면상으로 굽혀지지 않는 것을 가능하게 한다. 하나의 구체 예에서, 유리-계 물품 샘플 (518)은, 볼 충격의 지점에만 억제된 굽힘을 유지하고 및 반복성을 보장하기 위해, 모든 모서리에 걸쳐서 클램프된다. 몇몇 구체 예에서, 샘플 홀더 (514) 및 시험대 (510)는, 약 2mm까지의 샘플 두께를 수용하도록 개조된다. 에어 갭 (516)은, 약 $50\mu\text{m}$ 내지 약 $100\mu\text{m}$ 의 범위이다. 에어 갭 (516)은, 물질 강성 (stiffness) (영률, Emod)의 차이를 조정하도록 개조되지만, 또한, 샘플의 두께 및 탄성 계수를 포함한다. 접촉테이프 (520)는, 볼 (530)의 충격시 유리-계 물품 샘플 (518)의 파단의 사건에서 파편을 수집하기 위해 유리-계 물품 샘플의 윗면을 덮는데 사용될 수 있다.
- [0127] 다양한 물질은, 마모 표면으로 사용될 수 있다. 하나의 특정 구체 예에서, 마모 표면은, 탄화규소 또는 알루미늄 나 샌드페이퍼, 엔지니어링 샌드페이퍼 (engineered sandpaper), 또는 비슷한 경도 및/또는 날카로움 (sharpness)을 갖는 기술분야의 당업자에게 알려진 임의의 마모성 물질과 같은, 샌드페이퍼이다. 몇몇 구체 예에서, 30 그릿을 갖는 샌드페이퍼는, 콘크리트 또는 아스팔트보다 더 일관된 표면 지형 (topography), 및 원하는 수준의 시편 표면 손상을 생성하는 입자 크기 및 날카로움을 가짐에 따라, 사용될 수 있다.

- [0128] 하나의 관점에서, 전술된 장치 (500)를 사용하여 IBoS 시험을 수행하는 방법 (600)은, 도 28에 나타난다. 단계 (610)에서, 유리-계 물품 샘플 (도 27b에서 518)은, 이전에 기재된, 시험대 (510)에 놓이고, 샘플 홀더 (515)에 고정되어, 유리-계 물품 샘플 (518)과 마모 표면을 갖는 시트 (514) 사이에 공기 갭 (516)을 형성시킨다. 방법 (600)은, 마모 표면을 갖는 시트 (514)가 이미 시험대 (510)에 놓여 있는 것으로 가정한다. 그러나, 몇몇 구체 예에서, 상기 방법은, 마모성 물질을 갖는 표면이 위로 향하도록 시험대 (510)에 시트 (514)를 배치하는 단계를 포함할 수 있다. 몇몇 구체 예 (단계 610a)에서, 접착테이프 (520)는, 유리-계 물품 샘플 (518)을 샘플 홀더 (510)에 고정하기 전에, 유리-계 물품 샘플 (518)의 윗면에 적용된다.
- [0129] 단계 (620)에서, 미리 결정된 질량 및 크기의 고체 볼 (530)은, 볼 (530)이 윗면의 대략 중심 (즉, 중심의 1mm 이내, 또는 3mm 이내, 또는 5mm 이내, 또는 10mm 이내)에서 윗면 (또는 윗면에 부착된 접착테이프 (520))에 충격을 가하도록, 유리-계 물품 샘플 (518)의 윗면 상으로 미리 결정된 높이 (h)로부터 낙하된다. 단계 (620)에서 충격 후에, 유리-계 물품 샘플 (518)에 대한 손상의 정도는, 결정된다 (단계 630). 여기에서 전술된 바와 같이, 용어 "파단"은, 기판이 낙하되거나 또는 물체에 의해 충격을 받았을 경우, 기판의 전체 두께 및/또는 전체 표면에 걸쳐서 균열이 전파되는 것을 의미한다.
- [0130] 방법 (600)에서, 마모 표면을 갖는 시트 (518)는, 낙하 시험 표면의 다른 타입 (예를 들어, 콘크리트 또는 아스팔트)의 반복된 사용에서 관찰된 "노화 (aging)" 효과를 피하기 위해 각각의 낙하 후에 대체될 수 있다.
- [0131] 다양한 미리 결정된 낙하 높이 (h) 및 증분은, 통상적으로, 방법 (600)에서 사용된다. 시험은, 예를 들어, 시각을 위한 최소 낙하 높이 (예를 들어, 약 10-20cm)를 활용할 수 있다. 높이는, 그 다음, 연속적인 낙하를 위해 설정 증분 또는 가변 증분 만큼 증가될 수 있다. 방법 (600)에 기재된 시험은, 유리-계 물품 샘플 (518)이 파괴되거나 또는 파단시 중단된다 (단계 631). 선택적으로, 낙하 높이 (h)가 파단 없이 최대 낙하 높이 (예를 들어, 약 100cm)에 도달하면, 방법 (600)의 낙하 시험은, 또한 중단될 수 있으며, 또는 파단이 발생할 때까지, 단계 (620)는 최대 높이에서 반복될 수 있다.
- [0132] 몇몇 구체 예에서, 방법 (600)의 IBoS 시험은, 각각의 미리 결정된 높이 (h)에서 각각의 유리-계 물품 샘플 (518)에 대해 오직 한번 수행된다. 그러나, 다른 구체 예에서, 각 샘플은, 각각의 높이에서 다중 시험에 적용될 수 있다.
- [0133] 유리-계 물품 샘플 (518)의 파단이 발생하면 (도 28에서 단계 631), 방법 (600)에 따른 IBoS 시험은 종료된다 (단계 640). 미리 결정된 낙하 높이에서 볼 낙하로부터 결과하는 파단이 관찰되지 않으면 (단계 632), 낙하 높이는, 예를 들어 5, 10, 또는 20cm와 같이, 미리 결정된 증분 만큼 증가되고 (단계 634), 및 단계들 (620 및 630)은, 샘플 파단이 관찰될 때까지 (631) 또는 샘플 파단 없이 최대 시험 높이에 도달 (636)될 때까지 반복된다. 단계 (631) 또는 단계 (636)에 도달한 경우, 방법 (600)에 따른 시험은 종료된다.
- [0134] 전술된 샌드페이퍼 상에 역 볼 (IBoS) 시험에 적용된 경우, 여기에 기재된 유리-계 물품의 구체 예는, 볼이 100cm의 높이로부터 유리의 표면상으로 낙하된 경우, 약 60% 이상의 생존율을 갖는다. 예를 들어, 유리-계 물품은, 5개의 동일한 (또는 거의 동일한) 샘플 (즉, 거의 동일한 조성을 가지며, 및 강화된 경우, 여기에 기재된 바와 같은, 거의 동일한 압축 응력 및 압축의 깊이 또는 압축 응력 층을 가짐) 중 3개가, 규정된 높이 (여기서는 100cm)에서 낙하될 때 파단 없이 IBoS 낙하 시험을 견디는 경우, 주어진 높이로부터 낙하될 때 60% 생존율을 갖는 것으로 기재된다. 다른 구체 예에서, 강화된 유리-계 물품의 100cm IBoS 시험에서의 생존율은, 약 70% 이상, 다른 구체 예에서, 약 80% 이상이며, 및 또 다른 구체 예에서, 적어도 약 90% 이상이다. 다른 구체 예에서, IBoS 시험에서 100cm의 높이로부터 낙하된 강화된 유리-계 물품의 생존율은, 약 60% 이상, 다른 구체 예에서, 약 70% 이상, 또 다른 구체 예에서, 약 80% 이상, 및 다른 구체 예에서, 약 90% 이상이다. 하나 이상의 구체 예에서, IBoS 시험에서 150cm의 높이로부터 낙하된 강화된 유리-계 물품의 생존율은, 약 60% 이상, 다른 구체 예에서, 약 70% 이상, 또 다른 구체 예에서, 적어도 약 80% 이상, 및 다른 구체 예에서, 적어도 약 90% 이상이다.
- [0135] 전술된 IBoS 시험 방법 및 장치를 사용하여 미리 결정된 높이로부터 낙하된 경우 유리-계 물품의 생존율을 결정하기 위해, 비록 시험 결과의 신뢰도를 높이기 위해 더 많은 수 (예를 들어, 10, 20, 30, 등)의 샘플이 시험에 적용될 수 있을지라도, 적어도 5개의 동일한 (또는 거의 동일한) 샘플 (즉, 거의 동일한 조성을 가지며, 및 강화된 경우, 거의 동일한 압축 응력 및 압축 또는 층의 깊이를 가짐)은, 시험된다. 각 샘플은, 미리 결정된 높이 (예를 들어, 100cm 또는 150cm)로부터 한 번 낙하되거나, 또는 선택적으로, 미리 결정된 높이에 도달될 때까지 파단 없이 점차 더 높은 높이에서 낙하되며, 및 파단의 증거 (샘플의 전체 두께 및/또는 전체 표면에 걸친 균열 형성 및 전파)를 시각적으로 (즉, 육안으로) 검사한다. 샘플은, 미리 결정된 높이로부터 낙하된 후에 파단이 관찰되지 않으면, 낙하 시험을 "생존한" 것으로 간주되며, 및 샘플이 미리 결정된 높이 이하인 높이로부터 낙하된

때 파단이 관찰되면, 샘플은, "파손된 (또는 "생존하지 못한") 것으로 간주된다. 생존율은, 낙하 시험에서 생존한 샘플 모집단의 퍼센트로 결정된다. 예를 들어, 10개의 균으로부터 7개 샘플이 미리 결정된 높이로부터 낙하시 파단되지 않은 경우, 유리의 생존율은, 70%가 될 것이다.

[0136] 이하, 도 29-33을 참조하면, 취성 기판 (brittle substrate)을 선택적으로 충격 시험하기 위한 장치 (1100)의 구체 예는 나타내며; 이 장치는, 샘플의 주 표면, 및 샘플의 에지 모두에 대해 "충격 임계값 시험 (Impact Threshold Testing)"을 수행하는데 사용된다. 장치 (1100)는, 피봇 (pivot: 1106)에 부착된 보브 (bob: 1104)을 포함하는 진자 (pendulum: 1102)를 포함한다. 진자 상에 보브는, 피봇에 매달린 웨이트 (weight)이고, 암 (arm)에 의해 피봇에 연결된다. 따라서, 도면들에 나타난 보브 (1104)는, 스트링 (string) 형태, 또는 막대 또는 나타난 바와 같은 복수의 막대 형태일 수 있는, 암 (1108)에 의해 피봇 (1104)에 연결된다. 도 33에 가장 잘 나타난 바와 같이, 보브 (1104)는, 각도 β 가 0이 되도록 점선으로 나타난 평형 위치 (1105)를 갖는다. 즉, 암 (1108)은 상승 위치 (raised position)에 있지 않다.

[0137] 보브 (1104)는, 취성 기판을 수용하기 위한 베이스 (1110)를 포함한다. 도 34에 더 상세히 나타난 바와 같이, 베이스 (1110)는, 2개의 단부 (1114, 1116), 내부 표면 (1113) 및 외부 표면 (1115)을 갖는 취성 기판 (1112)을 수용한다. 베이스 (1110)는, 제1 단부 (1120) 및 제2 단부 (1122), 및 상기 제1 단부 (1120)와 제2 단부 (1122) 사이에 곡률 반경을 한정하는 만곡된 표면 (1124)을 갖는다. 베이스 (1110) 용으로 적합한 물질은, 금속이다. 만곡된 표면 (1124)은, 정점 (1125)을 갖는다.

[0138] 하나 이상의 구체 예에 따른 장치 (1100)는, 취성 기판 (1112)의 2개의 단부 (1114, 1116)를 잡아주고, 및 만곡된 표면 (1124)에 대하여 취성 기판 (1112)을 구부리기 위한 힘을 가하며, 및 취성 기판을 곡률 반경에 일치시키기 위한, 제1 고정장치 (1130) 및 제2 고정장치 (1132)를 더욱 포함한다. 취성 기판 (1112)을 굽힘으로써, 취성 기판은, 만곡된 표면 (1124)의 정점 (1125)에 일치하는 정점 (1127)을 갖는다. 하나 이상의 특정 구체 예에서, 취성 기판 (1112)의 곡률 및 만곡된 표면 (1124)은, 고정된 반경 또는 복합 반경 (compound radius)일 수 있다. 제1 고정장치 (1130) 및 제2 고정장치 (1132) 각각은, 도 34에 나타난 바와 같은 토글 클램프 (toggle clamps)와 같은, 클램프이다.

[0139] 장치 (1100)는, 기판 (1112)의 외부 표면 (1115) (또는 도 35에 나타난 바와 같은, 모서리들 (3501, 3503), 등)과 접촉하여 배치될 마모 표면을 갖는 마모 시트 (abrasive sheet)인, 거친 표면을 더욱 포함한다. 마모 시트는, 양면테이프에 의해 (이하 기재된 충격 물체 (1140)의) 충격 표면 (1150)에 부착되며, 상기 마모 시트의 마모 표면은, 기판 (1112)이 장착된 만곡된 표면 (1124)을 향하여 마주한다. 하나의 적절한 마모 시트는, Indasa Rhynowet[®] Plus Line P180 그릿 샌드페이퍼이다. 하나 이상의 구체 예에 따른 샌드페이퍼는, 25mm 정사각형 조각으로 절단되고, 상기 조각이 절단 공정 중에 구부러진다면, 샌드 페이퍼를 평평하게 한다.

[0140] 장치 (1100)는, 보브 (1104)가 평형 위치 (1105)로부터 0을 초과하는 각도 β 에서의 위치로부터 놓아주는 경우, 보브 (1104)의 만곡된 표면 (1124) (또는 만곡된 표면 (1124) 상에 장착된 기판 (1112))이 충격 물체 (1140)의 충격 표면 (1150) (또는 충격 표면 (1150) 상에 배치된 마모 시트의 마모 표면)과 접촉하도록, 위치된 충격 물체 (1140)를 더욱 포함한다. 나타난 구체 예에서, 충격 물체 (1140)는, 플랫폼 (1142)에 부착된 L-자형 브래킷이고, 상기 충격 물체 (1140)는, 나사 (1144)에 의해 플랫폼 (1142)에 부착된다. 상기 충격 물체 (1140)는 또한, 볼트, 리벳, 클램프, 등과 같은 임의의 다른 적절한 메커니즘에 의해 부착될 수 있다. 플랫폼 (1142)은, 장치 (1100)를 작업대 (work bench: 1148)의 단부에서 잡아주는, 스톱퍼 (1146)를 포함한다. 나타난 구체 예에서, 충격 물체 (1140)는 고정되며, 보브 (1104)가 충격 표면 (1150)에서 충격 물체 (1140)와 접촉하는 경우, 움직이지 않는다. 충격 표면 (1150)은, 슬롯 (1152) 내에서, 도 32에서 가장 잘 볼 수 있는 바와 같이, x-y 평면에서 이동 가능한 개별 요소 (separate element)일 수 있다. 선택적으로, 충격 표면 (1150)은, 충격 물체 (1140)에 대해 이동할 필요가 없다. 하나 이상의 구체 예에서, 취성 기판이 베이스 (1110)에 부착된 경우 및 보브 (1104)가 평형 위치 (1105)로부터 0을 초과하는 각도 β 에서의 위치로부터 놓아주는 경우, 보브 (1104) 및 베이스 (1110)는, 취성 기판 (1112)이 휴대폰 또는 태블릿 장치의 사용자에게 의해 휴대폰 또는 태블릿 장치가 지표면에 낙하될 때, 휴대폰 또는 태블릿 장치의 화학적으로 강화된 커버 유리의 굽힘 반경을 모의 실험하는 충격력 및 굽힘 반경에 적용되도록, 크기가 부여되고 형상화된다.

[0141] 하나 이상의 구체 예에서, 베이스 (1110) 상에 만곡된 표면 (1124)의 곡률 반경은, 기판이 만곡된 표면 (1124)을 중심으로 굽혀지는 경우, 100MPa의 굽힘 인장력 (tensile force)을 제공하도록 선택되며, 상기 인장력은 기판의 굽힘의 응력으로부터 결과하는 외부적으로 가해진 인장력이다. 따라서, 기판이 굽혀지는 경우, 인장력은, 취성 기판의 정점 (1125)에 있다. 하나 이상의 구체 예에 따르면, 곡률 반경은, 0.25m 내지 1.5m의 범위, 예를

들어, 0.5m 내지 1m의 범위이다.

[0142] 하나 이상의 구체 예에서, 제1 고정장치 (1130) 및 제2 고정장치 (1132)는, 휴대폰 또는 태블릿에 대한 커버 유리 길이의 간격으로 이격되어 있다. 특정 구체 예에서, 제1 고정장치 (1130) 및 제2 고정장치 (1132)는, 50mm 내지 500mm 범위의 간격으로 이격되어 있다.

[0143] 본 개시의 또 다른 관점은, 취성 시트를 충격 시험하는 방법에 관한 것으로서, 표면 충격 임계값 시험 방법은:

[0144] 접촉 표면을 갖는 취성 시트를 굽혀서 곡률 반경 및 접촉 표면에 정점을 갖는 굽힘 시트를 제공하는, 굽힘 단계; 및 진자를 사용하는 충격 물체로 정점에서 굽힘 시트에 충격을 가하는 단계를 포함한다. 구체 예에서, 굽힘 시트는 진자 보브에 부착된다. 구체 예에서, 진자 보브에 부착된 굽힘 시트는, 충격 물체가 접촉 표면의 정점과 접촉하도록 위치된다. 하나 이상의 구체 예에서, 취성 시트는 유리이고, 및 곡률 반경은, 휴대폰 또는 태블릿 장치의 사용자에 의해 휴대폰 또는 태블릿 장치가 지면에 낙하된 경우, 휴대폰 또는 태블릿 장치의 화학적으로 또는 열적으로 강화된 커버 유리의 굽힘 반경을 모방하는 범위이고, 여기서, 낙하 사건은, (접촉 표면이 지면에 일반적으로 평행한 방향에서 일반적으로 장치가 지면에 부딪치는, 결면의 제1 낙하와 대조적으로) 장치의 에지가 먼저 지면을 접촉하는 것이다. 비록 시험 결과의 신뢰도를 높이기 위해 더 많은 수 (예를 들어, 10, 20, 30, 등)의 샘플이 시험에 적용될 수 있을지라도, 유리-계 물품의 적어도 5개의 동일한 (또는 거의 동일한) 샘플 (즉, 거의 동일한 조성을 가지며, 및 강화된 경우, 거의 동일한 압축 응력 및 압축 또는 층의 깊이를 가짐)은, 시험된다.

[0145] 하나 이상의 구체 예에서, 마모 시트는 암 (1108)의 스윙 운동 (swinging movement)시 취성 시트의 정점과 접촉 하기 위한 위치에서 충격 표면 (1150) 상에 놓인다. 하나 이상의 구체 예에서, 마모 시트는 양면테이프를 충격 물체에 고정된다.

[0146] 또 다른 구체 예는, 취성 시트를 충격 시험하는 방법에 관한 것으로, 상기 방법은: 취성 시트 상에 접촉 표면을 노출시키기 위해 취성 시트를 진자 보브에 부착시키는 단계; 및 상기 진자 보브에 부착된 취성 시트를 갖는 상기 진자 보브를 이동시켜 상기 접촉 표면을 충격 물체와 접촉을 일으키는, 이동 단계를 포함한다. 구체 예에서, 상기 방법은, 취성 시트를 굽혀서 곡률 반경 및 접촉 표면에 정점을 갖는 굽힘 시트를 제공하는, 굽힘 단계를 포함한다. 구체 예에서, 진자 보브에 부착된 굽힘 시트는, 충격 물체가 접촉 표면의 정점과 접촉하도록 위치된다. 하나 이상의 구체 예에서, 취성 시트는 유리이고, 및 곡률 반경은, 휴대폰 또는 태블릿 장치의 사용자에 의해 휴대폰 또는 태블릿 장치가 지면에 낙하된 경우, 휴대폰 또는 태블릿 장치의 화학적으로 또는 열적으로 강화된 커버 유리의 굽힘 반경을 모방하는 범위이고, 여기서, 낙하 사건은, (접촉 표면이 지면에 일반적으로 평행한 방향에서 일반적으로 장치가 지면에 부딪치는, 결면의 제1 낙하와 대조적으로) 장치의 에지가 먼저 지면을 접촉 하는 것이다. 몇몇 구체 예에서, 취성 시트는, 정점을 충격 물체로 충격을 가하기 전에 만곡된 표면에 고정된다.

[0147] 이하, 도 29 및 도 30을 참조하면, 장치의 작동의 구체적인, 비-제한적 세부 사항 (non-limiting details)은, 다양한 시험 위치 (1202), 즉, 암 (1108)이 평형 위치 (1105)에 대해 각도 β 로 위치되는 위치, 및 진자의 운동 이 시작되는 위치를 알려줄 수 있는, 피봇 (1106) 상에 포인터 노치 (pointer notch: 1200)를 포함한다. 포인터 노치 (1200)는, 임의의 적절한 수의 시험 위치, 예를 들어 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 및 50 이상까지 증가할 수 있는, 다양한 시험 위치 (1202)로 정렬을 가능하게 한다. 장치 (1100)는, 너트 (1204)의 형태일 수 있는, 잠금장치를 더욱 포함할 수 있어, 암의 중심 길이 축에 대하여 원하는 회전 방향에서 암 (1108)을 잠그어 충격 물체 (1140)의 충격 표면 (1150)과 베이스 (1110)를 일치시킨다.

[0148] 장치 (1100)는, 하나 이상의 구체 예에 따라 실제 휴대폰 낙하 사건을 모의 실험한다. 입사 충격 에너지 (Incident impact energy), E 및 평균 충격력, \vec{F}_{avg} 은, 하기 수학적 식 3 및 3'에 의해 제공된다:

[0149] [수학적 식 3]

[0150]
$$E = mgL\{1 - \cos \beta\}$$

[0151] [수학적 식 3']

[0152]
$$|\vec{F}_{avg}| = \frac{|m\vec{v}_f - m\vec{v}_i|}{\Delta t}$$

- [0153] 여기서, m = (스윙 암 (1108), 보브 (1104), 및 베이스 (1110)를 포함하는) 진자 (1102)의 질량이고, l = 암의 길이이며, g = 자유 낙하의 가속도이고, v^f 는 초기 충격 속도 (즉, 유리가 충격 물체 (1140)의 충격 표면 (1150)에 처음 접촉하는 경우의 지점에서 속도)이며, 및 v^i 는 최종 충격 속도 (즉, 유리가 충격 물체 (1140)의 충격 표면 (1150)을 떠나는 속도, 또는 다시 말하면, 유리가 충격 물체 (1140)의 충격 표면 (1150)으로부터 처음 분리되는 경우의 지점에서 속도)이고, 및 Δt = 접촉 상호작용 시간 (즉, 유리가 충격 물체 (1140)의 충격 표면 (1150)과 접촉하는 동안의 시간)이다. 접촉 상호작용 시간은, 유리가 충격 표면 (1150)과 접촉하는 동안 프레임 (frames)의 수를 관찰하고, 및 고-속 비디오 카메라에 의해 단위 시간당 찍힌 프레임 수를 곱함으로써 고-속 비디오 카메라에 의해 측정된다. 평균 힘 방정식은, 이전에 파괴되지 않은 샘플에 대해 유용하다, 즉, 시험 전에 장치 (1100)에 로딩된 샘플은, 이전에 파괴되지 않은 샘플이다. 스윙 암의 질량 및 길이가 알려진 경우, 각도 β 를 선택된 위치로 설정하면, 충격력은 계산될 수 있고, 및 특정 높이로부터 낙하된 경우 장치에 대하여 충격을 모의 실험하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 1미터 높이에서 낙하된 경우 130g의 휴대폰 장치에 대한 기관 커버 유리에 의해 경험된 평균 힘은, 800N인 것으로 계산된다. 질량, 암 길이, 및 각도 β 를 사용하여, 이 힘은 도 29-34에 나타난 장치 (1100)를 사용하여 반복될 수 있다.
- [0154] 선택적으로, 도 35에서 나타난 바와 같이, 보브 (1104)는, 기관 (1112)의 에지가, 에지 충격 임계값 시험에 따라, 충격 물체에 의해 충격받을 수 있도록 위치가 바뀔 수 있다. 이 경우, 충격 물체 (1140)의 충격 표면 (1150)은, 상승되어 있지 않은, 단순히 보브 (1140)을 향하여 마주하는 충격 물체 (1140)의 평면 부분이다. 이 방향에서, 기관 (1112)의 모서리 (3501)는, 전술된 바와 같은 동일한 방식으로, 마모 시트가 부착된 충격 물체 (1140)과 접촉한다. 따라서, 이 방향은, 기관 에지가 견딜 수 있는 충격 에너지가 전술한 바와 유사한 방식으로 결정되도록, 전자 장치의 에지에 대해 전자 장치의 낙하를 모의실험하는 것이다. 에지 시험의 경우에, 기관 (1112)은, 오직 한 번 각 모서리에 대해 시험되고, 기관의 에지의 상부가 충격 물체 (1140)와 충격 지점이 되도록 시험된다. 모서리 (3501)는 먼저 시험되고, 그 다음 점차 더 높은 진자 높이에서, 대립 모서리 (3503)는, 시험된다. 손상 도입의 누적을 피하기 위해, 샘플의 동일한 위치에서 1회를 초과하는 충격 시험은 수행되지 않는다. 비록 시험 결과의 신뢰도를 높이기 위해 더 많은 수 (예를 들어, 10, 20, 30, 등)의 샘플이 시험에 적용될 수 있을지라도, 유리-계 물품의 적어도 5개의 동일한 (또는 거의 동일한) 샘플 (즉, 거의 동일한 조성을 가지며, 및 강화된 경우, 거의 동일한 압축 응력 및 압축 또는 층의 깊이를 가짐)은, 시험된다.
- [0155] 여기에 기재된 유리-계 물품은 투명할 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 1 millimeter 이하의 두께를 가질 수 있고 및 약 380nm 내지 약 780nm 범위의 파장에 걸쳐 약 88% 이상의 투과율을 나타낼 수 있다.
- [0156] 유리-계 물품은 또한 실질적으로 백색을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 유리-계 물품은, CIE 광원 F02 하에서, 약 88 이상의 L^* 값, 약 -3 내지 약 +3의 범위에서 a^* 값, 및 약 -6 내지 약 +6의 범위에서 b^* 값의 CIELAB 색 공간 좌표 (color space coordinates)를 나타낼 수 있다.
- [0157] 기관의 선택은, 특히 제한되지 않는다. 몇몇 실시 예에서, 유리-계 물품은, 이온 교환에 대한 높은 양이온 확산율을 갖는 것으로 설명될 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 유리 또는 유리-세라믹은, 빠른 이온-교환 능력을 갖는다, 즉, 여기서, 확산율은 $500\mu\text{m}^2/\text{hr}$ 를 초과하거나, 또는 460°C 에서 $450\mu\text{m}^2/\text{hour}$ 를 초과하는 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0158] 특정 온도에서, 확산율은 수학적 4를 사용하여 계산된다:
- [0159] [수학적 4]
- [0160] 확산율 = $\text{DOL}^2/5.6*T$
- [0161] 여기서, DOL은 이온-교환 층의 깊이이고, 및 T는 상기 DOL에 도달하는데 걸리는 IOX 시간이다.
- [0162] 유리-계 물품은, 비정질 기관, 결정질 기관 또는 이들의 조합 (예를 들어, 유리-세라믹 기관)을 포함할 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, (여기에 기재된 대로 화학적으로 강화되기 전에) 유리-계 물품 기관은, 몰 퍼센트 (mole%)로, 약 40 내지 약 80의 범위에서 SiO_2 , 약 10 내지 약 30의 범위에서 Al_2O_3 , 약 0 내지 약 10의 범위에서 B_2O_3 , 약 0 내지 약 20의 범위에서 R_2O , 및 약 0 내지 약 15의 범위에서 RO를 포함하는, 유리 조성물을 포함할 수 있다. 몇몇 사례에서, 조성물은, 약 0mol% 내지 약 5mol%의 범위에서 ZrO_2 및 약 0 내지 약 15mol%의

범위에서 P_2O_5 중 하나 또는 모두를 포함할 수 있다. TiO_2 는 약 0mol% 내지 약 2mol%로 존재할 수 있다.

- [0163] 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, mol%로, 약 45 내지 약 80, 약 45 내지 약 75, 약 45 내지 약 70, 약 45 내지 약 65, 약 45 내지 약 60, 약 45 내지 약 65, 약 45 내지 약 65, 약 50 내지 약 70, 약 55 내지 약 70, 약 60 내지 약 70, 약 70 내지 약 75, 약 70 내지 약 72, 또는 약 50 내지 약 65 범위의 양으로 SiO_2 를 포함할 수 있다.
- [0164] 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, mol%로, 약 5 내지 약 28, 약 5 내지 약 26, 약 5 내지 약 25, 약 5 내지 약 24, 약 5 내지 약 22, 약 5 내지 약 20, 약 6 내지 약 30, 약 8 내지 약 30, 약 10 내지 약 30, 약 12 내지 약 30, 약 14 내지 약 30, 약 16 내지 약 30, 약 18 내지 약 30, 약 18 내지 약 28, 또는 약 12 내지 약 15 범위의 양으로 Al_2O_3 를 포함할 수 있다.
- [0165] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은, mol%로, 약 0 내지 약 8, 약 0 내지 약 6, 약 0 내지 약 4, 약 0.1 내지 약 8, 약 0.1 내지 약 6, 약 0.1 내지 약 4, 약 1 내지 약 10, 약 2 내지 약 10, 약 4 내지 약 10, 약 2 내지 약 8, 약 0.1 내지 약 5, 또는 약 1 내지 약 3 범위의 양으로 B_2O_3 를 포함할 수 있다. 몇몇 사례에서, 유리 조성물은, 실질적으로 B_2O_3 가 없을 수 있다. 여기에 사용된 바와 같은, 유리 조성물의 성분에 관한 문구 "실질적으로 없는"은, 성분이 초기 배치 (batching) 또는 후속 이온교환 동안 유리 조성물에 능동적으로 또는 의도적으로 첨가되지는 않았지만, 불순물로서 존재할 수 있음을 의미한다. 예를 들어, 우리는, 성분이 약 0.1001 mol% 미만의 양으로 존재하는 경우, 성분이 실질적으로 없는 것으로 기재될 수 있다.
- [0166] 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, MgO , CaO 및 ZnO 와 같은, 하나 이상의 알칼리토 금속 산화물을 포함할 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 하나 이상의 알칼리토 금속 산화물의 총량은, 약 15mol%까지의 0이 아닌 양일 수 있다. 하나 이상의 특정한 구체 예에서, 알칼리토 금속 산화물 중 어느 하나의 총량은, 약 14mol%까지, 약 12mol%까지, 약 10mol%까지, 약 8mol%까지, 약 6mol%까지, 약 4mol%까지, 약 2mol%까지, 또는 약 1.5mol%까지의 0이 아닌 양일 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 하나 이상의 알칼리토 금속 산화물의 총량은, mol%로, 약 0.1 내지 10, 약 0.1 내지 8, 약 0.1 내지 6, 약 0.1 내지 5, 약 1 내지 10, 약 2 내지 10, 또는 약 2.5 내지 8의 범위일 수 있다. MgO 의 양은, 약 0mol% 내지 약 5mol% 범위 (예를 들어, 약 2mol% 내지 약 4mol%, 약 0.01 내지 약 2mol%, 또는 약 0.001 내지 약 1mol%)일 수 있다. ZnO 의 양은, 약 0 내지 약 2mol% 범위 (예를 들어, 약 1 내지 약 2mol%)일 수 있다. CaO 의 양은, 약 0mol% 내지 약 2mol%일 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은, MgO 를 포함할 수 있고, 실질적으로 CaO 및 ZnO 가 없을 수 있다. 하나의 변형에서, 유리 조성물은, CaO 또는 ZnO 중 어느 하나를 포함할 수 있고, MgO , CaO 및 ZnO 중 다른 것이 실질적으로 없을 수 있다. 하나 이상의 특정 구체 예에서, 유리 조성물은, MgO , CaO 및 ZnO 의 알칼리토 금속 산화물 중 오직 2종을 포함할 수 있고, 제3의 토 금속 산화물이 실질적으로 없을 수 있다.
- [0167] 유리 조성물 중에 알칼리 금속 산화물 R_2O 의 총량은, mol%로, 약 5 내지 약 20, 약 5 내지 약 18, 약 5 내지 약 16, 약 5 내지 약 15, 약 5 내지 약 14, 약 5 내지 약 12, 약 5 내지 약 10, 약 5 내지 약 8, 약 5 내지 약 20, 약 6 내지 약 20, 약 7 내지 약 20, 약 8 내지 약 20, 약 9 내지 약 20, 약 10 내지 약 20, 약 11 내지 약 20, 약 12 내지 약 18, 또는 약 14 내지 약 18의 범위일 수 있다.
- [0168] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은, 약 0mol% 내지 약 18mol%, 약 0mol% 내지 약 16mol%, 약 0mol% 내지 약 14mol%, 약 0mol% 내지 약 12mol%, 약 2mol% 내지 약 18mol%, 약 4mol% 내지 약 18mol%, 약 6mol% 내지 약 18mol%, 약 8mol% 내지 약 18mol%, 약 8mol% 내지 약 14mol%, 약 8mol% 내지 약 12mol%, 또는 약 10mol% 내지 약 12mol% 범위의 양으로 Na_2O 를 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 조성물은 약 4mol% 이상의 Na_2O 를 포함할 수 있다.
- [0169] 몇몇 구체 예에서, Li_2O 및 Na_2O 의 양은, 성형성과 이온교환 가능성의 균형을 이루기 위해 특정 양 또는 비로 조절된다. 예를 들어, Li_2O 양이 증가함에 따라, 액상선 점도는 감소될 수 있으며, 따라서, 몇몇 형성 방법을 사용하지 못하게 되지만; 이러한 유리 조성물은, 여기서 기재된 바와 같은, 더 깊은 DOC 수준으로 이온 교환된다. Na_2O 의 양은, 액상선 점도를 변경시킬 수 있지만, 더 깊은 DOC 수준으로 이온 교환되는 것을 억제할 수 있다.
- [0170] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은, 약 5mol% 미만, 약 4mol% 미만, 약 3mol% 미만, 약 2mol% 미만, 또는 약 1mol% 미만의 양으로 K_2O 를 포함할 수 있다. 하나 이상의 선택적인 구체 예에서, 유리 조성물은, K_2O 가, 여기

서 정의된 바와 같이, 실질적으로 없을 수 있다.

- [0171] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은, 약 0mol% 내지 약 18mol%, 약 0mol% 내지 약 15mol% 또는 약 0mol% 내지 약 10mol%, 약 0mol% 내지 약 8mol%, 약 0mol% 내지 약 6mol%, 약 0mol% 내지 약 4mol%, 또는 약 0mol% 내지 약 2mol%의 양으로 Li_2O 를 포함할 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, 약 2mol% 내지 약 10mol%, 약 4mol% 내지 약 10mol%, 약 6mol% 내지 약 10mol%, 또는 약 5mol% 내지 약 8mol%의 양으로 Li_2O 를 포함할 수 있다. 하나 이상의 선택적인 구체 예에서, 유리 조성물은, Li_2O 가, 여기서 정의된 바와 같이, 실질적으로 없을 수 있다.
- [0172] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은 Fe_2O_3 를 포함할 수 있다. 이러한 구체 예에서, Fe_2O_3 는, 약 1mol% 미만, 약 0.9mol% 미만, 약 0.8mol% 미만, 약 0.7mol% 미만, 약 0.6mol% 미만, 약 0.5mol% 미만, 약 0.4mol% 미만, 약 0.3mol% 미만, 약 0.2mol% 미만, 약 0.1mol% 미만 및 이들 사이의 모든 범위 및 서브-범위의 양으로 존재할 수 있다. 하나 이상의 선택적인 구체 예에서, 유리 조성물은, Fe_2O_3 가, 여기서 정의된 바와 같이, 실질적으로 없을 수 있다.
- [0173] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은 ZrO_2 를 포함할 수 있다. 이러한 구체 예에서, ZrO_2 는, 약 1mol% 미만, 약 0.9mol% 미만, 약 0.8mol% 미만, 약 0.7mol% 미만, 약 0.6mol% 미만, 약 0.5mol% 미만, 약 0.4mol% 미만, 약 0.3mol% 미만, 약 0.2mol% 미만, 약 0.1mol% 미만 및 이들 사이의 모든 범위 및 서브-범위의 양으로 존재할 수 있다. 하나 이상의 선택적인 구체 예에서, 유리 조성물은, ZrO_2 가, 여기서 정의된 바와 같이, 실질적으로 없을 수 있다.
- [0174] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은, 약 0mol% 내지 약 10mol%, 약 0mol% 내지 약 8mol%, 약 0mol% 내지 약 6mol%, 약 0mol% 내지 약 4mol%, 약 0.1mol% 내지 약 10mol%, 약 0.1mol% 내지 약 8mol%, 약 2mol% 내지 약 8mol%, 약 2mol% 내지 약 6mol%, 또는 약 2mol% 내지 약 4mol% 범위의 양으로 P_2O_5 를 포함할 수 있다. 몇몇 사례에서, 유리 조성물은, P_2O_5 가 실질적으로 없을 수 있다.
- [0175] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은, TiO_2 를 포함할 수 있다. 이러한 구체 예에서, TiO_2 는, 약 6mol% 미만, 약 4mol% 미만, 약 2mol% 미만, 또는 약 1mol% 미만의 양으로 존재할 수 있다. 하나 이상의 선택적인 구체 예에서, 유리 조성물은, TiO_2 가, 여기서 정의된 바와 같이, 실질적으로 없을 수 있다. 몇몇 구체 예에서, TiO_2 는, 약 0.1mol% 내지 약 6mol%, 또는 약 0.1mol% 내지 약 4mol% 범위의 양으로 존재할 수 있다.
- [0176] 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, 다양한 조성적 관계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 유리 조성물은, R_2O 의 총량 (mol%)에 대한 Li_2O 의 양 (mol%)의 비를 약 0 내지 약 1, 약 0 내지 약 0.5, 약 0 내지 약 0.4, 약 0.1 내지 약 0.5, 또는 약 0.2 내지 약 0.4의 범위로 포함할 수 있다.
- [0177] 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, R_2O 의 총량 (mol%) 대 Al_2O_3 의 양 (mol%) 사이에 차이 ($\text{R}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3$)를, 약 0 내지 약 5 (예를 들어, 약 0 내지 약 4, 약 0 내지 약 3, 약 0.1 내지 약 4, 약 0.1 내지 약 3, 약 0.1 내지 약 2, 또는 약 1 내지 약 2)의 범위에서 포함할 수 있다.
- [0178] 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, R_xO 의 총량 (mol%) 대 Al_2O_3 의 양 (mol%) 사이에 차이 ($\text{R}_x\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3$)를, 약 0 내지 약 5 (예를 들어, 약 0 내지 약 4, 약 0 내지 약 3, 약 0.1 내지 약 4, 약 0.1 내지 약 3, 약 1 내지 약 3, 또는 약 2 내지 약 3)의 범위에서 포함할 수 있다.
- [0179] 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, Al_2O_3 의 양 (mol%)에 대한 R_2O 의 총량 (mol%)의 비 ($\text{R}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$)를, 약 0 내지 약 5 (예를 들어, 약 0 내지 약 4, 약 0 내지 약 3, 약 1 내지 약 4, 약 1 내지 약 3, 또는 약 1 내지 약 2)의 범위에서 포함할 수 있다.
- [0180] 하나 이상의 구체 예에서, 유리 조성물은, 약 15mol% 초과 (예를 들어, 18mol% 초과, 약 20mol% 초과, 또는 약 23mol% 초과)의 Al_2O_3 및 Na_2O 의 조합된 양을 포함한다. Al_2O_3 및 Na_2O 의 조합된 양은, 약 30mol%, 약 32mol% 또는 약 35mol%까지를 포함할 수 있다.
- [0181] 하나 이상의 구체 예의 유리 조성물은, 약 0 내지 약 2의 범위에서 RO 의 총량 (mol%)에 대한 MgO 의 양 (mol%)의

비를 나타낼 수 있다.

- [0182] 몇몇 구체 예에서, 유리 조성물은, 핵제가 실질적으로 없을 수 있다. 통상적인 핵제의 예로는, TiO_2 , ZrO_2 및 이와 유사한 것이다. 핵제는, 유리에서 구성분인 핵제가 유리에서 결정자 (crystallite)의 형성을 개시할 수 있는 기능의 면에서 설명될 수 있다.
- [0183] 몇몇 구체 예에서, 유리 기관용으로 사용된 조성물은, Na_2SO_4 , $NaCl$, NaF , $NaBr$, K_2SO_4 , KCl , KF , KBr , 및 SnO_2 를 포함하는 군으로부터 선택된 적어도 하나의 청징제 (fining agent)를 0-2mol%로 배치될 (batched) 수 있다. 하나 이상의 구체 예에 따른 유리 조성물은, 약 0 내지 약 2, 약 0 내지 약 1, 약 0.1 내지 약 2, 약 0.1 내지 약 1, 또는 약 1 내지 약 2의 범위에서 SnO_2 를 더욱 포함할 수 있다. 여기서 개시된 유리 조성물은, As_2O_3 및/또는 Sb_2O_3 가 실질적으로 없을 수 있다.
- [0184] 하나 이상의 구체 예에서, 조성물은, 구체적으로, 62mol% 내지 75mol% SiO_2 ; 10.5mol% 내지 약 17mol% Al_2O_3 ; 5mol% 내지 약 13mol% Li_2O ; 0mol% 내지 약 4mol% ZnO ; 0mol% 내지 약 8mol% MgO ; 2mol% 내지 약 5mol% TiO_2 ; 0mol% 내지 약 4mol% B_2O_3 ; 0mol% 내지 약 5mol% Na_2O ; 0mol% 내지 약 4mol% K_2O ; 0mol% 내지 약 2mol% ZrO_2 ; 0mol% 내지 약 7mol% P_2O_5 ; 0mol% 내지 약 0.3mol% Fe_2O_3 ; 0mol% 내지 약 2mol% $MnOx$; 및 0.05mol% 내지 약 0.2mol% SnO_2 를 포함할 수 있다.
- [0185] 하나 이상의 구체 예에서, 조성물은, 67mol% 내지 약 74mol% SiO_2 ; 11mol% 내지 약 15mol% Al_2O_3 ; 5.5mol% 내지 약 9mol% Li_2O ; 0.5mol% 내지 약 2mol% ZnO ; 2mol% 내지 약 4.5mol% MgO ; 3mol% 내지 약 4.5mol% TiO_2 ; 0mol% 내지 약 2.2mol% B_2O_3 ; 0mol% 내지 약 1mol% Na_2O ; 0mol% 내지 약 1mol% K_2O ; 0mol% 내지 약 1mol% ZrO_2 ; 0mol% 내지 약 4mol% P_2O_5 ; 0mol% 내지 약 0.1mol% Fe_2O_3 ; 0mol% 내지 약 1.5mol% $MnOx$; 및 0.08mol% 내지 약 0.16mol% SnO_2 를 포함할 수 있다.
- [0186] 하나 이상의 구체 예에서, 조성물은, 70mol% 내지 75mol% SiO_2 ; 10mol% 내지 약 15mol% Al_2O_3 ; 5mol% 내지 약 13mol% Li_2O ; 0mol% 내지 약 4mol% ZnO ; 0.1mol% 내지 약 8mol% MgO ; 0mol% 내지 약 5mol% TiO_2 ; 0.1mol% 내지 약 4mol% B_2O_3 ; 0.1mol% 내지 약 5mol% Na_2O ; 0mol% 내지 약 4mol% K_2O ; 0mol% 내지 약 2mol% ZrO_2 ; 0mol% 내지 약 7mol% P_2O_5 ; 0mol% 내지 약 0.3mol% Fe_2O_3 ; 0mol% 내지 약 2mol% $MnOx$; 및 0.05mol% 내지 약 0.2mol% SnO_2 를 포함할 수 있다.
- [0187] 하나 이상의 구체 예에서, 조성물은, 52mol% 내지 약 65mol% SiO_2 ; 14mol% 내지 약 18mol% Al_2O_3 ; 5.5mol% 내지 약 7mol% Li_2O ; 1mol% 내지 약 2mol% ZnO ; 0.01mol% 내지 약 2mol% MgO ; 4mol% 내지 약 12mol% Na_2O ; 0.1mol% 내지 약 4mol% P_2O_5 ; 및 0.01mol% 내지 약 0.16mol% SnO_2 를 포함할 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 조성물은, B_2O_3 , TiO_2 , K_2O 및 ZrO_2 중 임의의 하나 이상이 실질적으로 없을 수 있다.
- [0188] 하나 이상의 구체 예에서, 조성물은 0.5mol% 이상의 P_2O_5 , Na_2O 및, 선택적으로, Li_2O 를 포함할 수 있으며, 여기서, $Li_2O(mol\%)/Na_2O(mol\%) < 1$ 이다. 부가적으로, 이들 조성물은, B_2O_3 및 K_2O 가 실질적으로 없을 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 조성물은 ZnO , MgO , 및 SnO_2 를 포함할 수 있다.
- [0189] 몇몇 구체 예에서, 조성물은: 약 58mol% 내지 약 65mol% SiO_2 ; 약 11mol% 내지 약 19mol% Al_2O_3 ; 약 0.5mol% 내지 약 3mol% P_2O_5 ; 약 6mol% 내지 약 18mol% Na_2O ; 0mol% 내지 약 6mol% MgO ; 및 0mol% 내지 약 6mol% ZnO 를 포함할 수 있다. 어떤 구체 예에서, 조성물은, 약 63mol% 내지 약 65mol% SiO_2 ; 11mol% 내지 약 17mol% Al_2O_3 ; 약 1mol% 내지 약 3mol% P_2O_5 ; 약 9mol% 내지 약 20mol% Na_2O ; 0mol% 내지 약 6mol% MgO ; 및 0mol% 내지 약 6mol% ZnO 를 포함할 수 있다.
- [0190] 몇몇 구체 예에서, 조성물은, 다음의 조성적 관계 $R_2O(mol\%)/Al_2O_3(mol\%) < 2$ 를 포함할 수 있고, 여기서, $R_2O = Li_2O + Na_2O$ 이다. 몇몇 구체 예에서, $65mol\% < SiO_2(mol\%) + P_2O_5(mol\%) < 67mol\%$ 이다. 어떤 구체 예에서,

$R_2O(\text{mol}\%) + R'O(\text{mol}\%) - Al_2O_3(\text{mol}\%) + P_2O_5(\text{mol}\%) > -3\text{mol}\%$ 이고, 여기서, $R_2O = Li_2O + Na_2O$ 이며 및 $R'O$ 는 조성물에 존재하는 이가 금속 산화물의 총량이다.

[0191] 여기서 기재된 바와 같이, 화학적으로 강화되기 전에 유리-계 물품의 다른 대표적인 조성물은, 하기 표 1A에 나타난다. 표 1B는, 표 1A에 열거된 예들에 대해 결정된 선택된 물리적 특성을 열거한다. 표 1B에 열거된 물리적 특성은: 밀도; 저온 및 고온 CTE; 변형점, 어닐링점 및 연화점; 10^{11} Poise, 35 kP, 200 kP, 액상선, 및 지르콘 파괴 온도들; 지르콘 파괴 및 액상선 점도들; 푸아송 비; 영률; 굴절률, 및 응력 광학 계수를 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 여기서 기재된 유리-계 물품 및 유리 기관은, 30ppm/°C 이하의 고온 CTE, 및/또는 70GPa 이상의 영률, 및 몇몇 구체 예에서, 최대 80GPa의 영률을 갖는다.

표 1

[표 1A] 화학적으로 강화 전에 대표적인 조성물.

조성물 (mol%)	실. 1	실. 2	실. 3	실. 4	실. 5	실. 6	실. 7
SiO ₂	63.77	64.03	63.67	63.91	64.16	63.21	63.50
Al ₂ O ₃	12.44	12.44	11.83	11.94	11.94	11.57	11.73
P ₂ O ₅	2.43	2.29	2.36	2.38	1.92	1.93	1.93
Li ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	16.80	16.81	16.88	16.78	16.80	17.63	16.85
ZnO	0.00	4.37	0.00	4.93	0.00	5.59	5.93
MgO	4.52	0.02	5.21	0.02	5.13	0.02	0.01
SnO ₂	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1.35	1.35	1.43	1.41	1.41	1.52	1.44
Li ₂ O/Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	6.45	6.46	7.89	7.40	8.07	9.74	9.14

[0192]

[표 1A 계속]

조성물 (mol%)	실. 8	실. 9	실. 10	실. 11	실. 12	실. 13	실. 14
SiO ₂	63.37	63.43	63.56	63.58	63.66	63.62	63.67
Al ₂ O ₃	11.72	12.49	12.63	12.59	12.91	12.85	12.89
P ₂ O ₅	2.00	2.32	2.46	2.46	2.43	2.45	2.47
Li ₂ O	0.00	0.00	1.42	2.87	0.00	1.42	2.92
Na ₂ O	16.84	17.16	15.45	14.04	16.89	15.48	13.92
ZnO	6.00	4.54	4.43	4.41	4.04	4.12	4.06
MgO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
SnO ₂	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1.44	1.37	1.34	1.34	1.31	1.31	1.31
Li ₂ O/Na ₂ O	0.00	0.00	0.09	0.20	0.00	0.09	0.21
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	9.14	6.90	6.22	6.29	5.62	5.72	5.57

[0194]

[표 1A 계속]

조성물 (mol%)	실. 15	실. 16	실. 17	실. 18	실. 19	실. 20	실. 21
SiO ₂	63.55	63.80	63.76	63.88	63.74	64.03	63.68
Al ₂ O ₃	12.92	12.90	12.95	13.48	13.37	13.26	13.19
P ₂ O ₅	2.35	2.34	2.37	2.31	2.34	2.29	2.46
Li ₂ O	0.00	1.47	2.94	0.00	1.48	2.94	0.00
Na ₂ O	17.97	16.36	14.85	17.20	15.96	14.37	16.84
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.77
MgO	3.17	3.08	3.09	3.08	3.08	3.06	0.02
SnO ₂	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1.39	1.38	1.37	1.28	1.30	1.31	1.28
Li ₂ O/Na ₂ O	0.00	0.09	0.20	0.00	0.09	0.20	0.00
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	5.87	5.67	5.56	4.48	4.81	4.83	4.98

[0196]

[0197] [표 1A 계속]

조성물 (mol%)	실. 22	실. 23	실. 24	실. 25	실. 26	실. 27	실. 28
SiO ₂	63.66	63.76	63.67	63.73	63.73	63.64	63.76
Al ₂ O ₃	14.15	15.31	13.87	14.82	12.93	16.62	16.59
P ₂ O ₅	2.47	2.44	2.47	2.43	2.48	2.47	2.47
Li ₂ O	1.49	2.98	1.50	2.96	0.00	2.52	4.91
Na ₂ O	15.31	13.79	15.36	13.93	16.83	14.68	12.20
ZnO	2.85	1.64	0.00	0.00	2.98	0.00	0.00
MgO	0.03	0.03	3.09	2.08	1.00	0.03	0.03
SnO ₂	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1.19	1.10	1.22	1.14	1.30	1.03	1.03
Li ₂ O/Na ₂ O	0.10	0.22	0.10	0.21	0.00	0.17	0.40
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	3.05	0.70	3.61	1.72	5.40	-1.86	-1.92

[0198]

[0199] [표 1A 계속]

조성물 (mol%)	실. 29	실. 30	실. 31	실. 32	실. 33	실. 34	실. 35
SiO ₂	63.89	63.92	63.77	63.73	63.70	63.65	63.87
Al ₂ O ₃	16.55	15.29	15.27	15.30	15.27	15.22	15.29
P ₂ O ₅	2.47	2.24	2.31	2.39	2.40	2.48	2.37
Li ₂ O	7.27	3.46	2.98	4.02	4.46	4.96	5.39
Na ₂ O	9.74	13.46	13.99	12.91	12.51	11.99	11.44
ZnO	0.00	1.56	1.61	1.57	1.58	1.63	1.57
MgO	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
SnO ₂	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1.03	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10
Li ₂ O/Na ₂ O	0.75	0.26	0.21	0.31	0.36	0.41	0.47
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	-1.98	0.97	1.01	0.84	0.90	0.91	0.76

[0200]

[0201] [표 1A 계속]

조성물 (mol%)	실. 36	실. 37	실. 38	실. 39	실. 40	실. 41	실. 42
SiO ₂	63.69	63.75	63.70	63.62	63.74	63.77	63.77
Al ₂ O ₃	15.26	15.30	15.27	15.23	15.27	15.27	15.33
P ₂ O ₅	2.45	2.42	2.45	2.46	2.47	2.46	2.44
Li ₂ O	2.96	2.98	3.94	3.98	4.93	4.93	2.91
Na ₂ O	13.50	13.46	12.54	12.57	11.49	11.50	13.94
ZnO	2.06	2.01	2.03	2.06	2.03	2.00	0.00
MgO	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	1.57
SnO ₂	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1.08	1.08	1.08	1.09	1.08	1.08	1.10
Li ₂ O/Na ₂ O	0.22	0.22	0.31	0.32	0.43	0.43	0.21
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	0.83	0.77	0.80	0.95	0.73	0.73	0.66

[0202]

[0203] [표 1A 계속]

조성물 (mol%)	실. 43	실. 44	실. 45	실. 46	실. 47	실. 48	실. 49
SiO ₂	63.69	63.81	63.65	63.71	63.62	63.65	63.62
Al ₂ O ₃	15.25	15.26	15.33	15.32	15.24	15.68	15.67
P ₂ O ₅	2.43	2.41	2.46	2.44	2.47	2.44	2.48
Li ₂ O	4.00	4.89	2.96	4.01	4.91	6.07	6.06
Na ₂ O	13.01	12.03	13.29	12.25	11.42	10.93	10.53
ZnO	0.00	0.00	2.24	2.20	2.27	1.17	1.57
MgO	1.57	1.56	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
SnO ₂	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1.12	1.11	1.06	1.06	1.07	1.08	1.06
Li ₂ O/Na ₂ O	0.31	0.41	0.22	0.33	0.43	0.56	0.58
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	0.90	0.81	0.73	0.73	0.91	0.08	0.04

[0204]

[0205] [표 1A 계속]

조성물 (mol%)	실. 50	실. 51	실. 52	실. 53	실. 54	실. 55	실. 56
SiO ₂	63.60	63.89	63.84	63.90	63.88	64.74	60.17
Al ₂ O ₃	15.65	16.09	16.47	16.87	16.97	15.25	18.58
P ₂ O ₅	2.46	2.42	2.43	2.43	2.42	0.98	1.90
Li ₂ O	6.13	6.80	7.84	8.75	9.78	5.28	5.16
Na ₂ O	10.29	9.97	8.96	7.99	6.88	12.09	12.58
ZnO	1.81	0.78	0.39	0.00	0.00	1.61	1.55
MgO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
SnO ₂	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
R ₂ O/Al ₂ O ₃	1.05	1.04	1.02	0.99	0.98	1.14	0.96
Li ₂ O/Na ₂ O	0.60	0.68	0.87	1.10	1.42	0.44	0.41
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	0.14	-0.94	-1.68	-2.54	-2.70	2.78	-1.16

[0206]

[0207] [표 1A 계속]

조성물 (mol%)	실. 57	실. 58	실. 59	실. 60	실. 61	실. 62	실. 63	실. 64
SiO ₂	58.32	63.3	63.3	63.3	63.3	63.3	63.3	63.46
Al ₂ O ₃	18.95	15.25	15.65	16.2	15.1	15.425	15.7	15.71
P ₂ O ₅	2.42	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.45
Li ₂ O	4.96	6	7	7.5	6	7	7.5	6.37
Na ₂ O	13.74	10.7	9.7	9.45	10.55	9.475	8.95	10.69
ZnO	1.56	1.2	0.8	0	2.5	2.25	2	1.15
MgO	0.02	1	1	1	0	0	0	0.06
SnO ₂	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04
R ₂ O/Al ₂ O ₃	0.99	1.10	1.07	1.05	1.10	1.07	1.05	1.09
Li ₂ O/Na ₂ O	0.36	0.56	0.72	0.79	0.57	0.74	0.84	0.6
(R ₂ O+RO)-Al ₂ O ₃ -P ₂ O ₅	-1.09	1.15	0.35	-0.75	1.45	0.80	0.25	-1.1

[0208]

[0209] [표 1B]

[0210] 표 1A에 열거된 유리의 선택적 물질적 특성.

	실. 1	실. 2	실. 3	실. 4	실. 5	실. 6	실. 7
밀도 (g/cm ³)	2.434	2.493	2.434	2.504	2.44	2.514	2.519
저온 CTE 25-300 °C (ppm/°C)	8.9	8.62	8.95	8.6	8.82	8.71	8.54
고온 CTE (ppm/°C)	17.67	19.1	17.16	21	18.12	20	20.11
변형점 (°C)	630	591	612	580	605	580	589
어닐링점 (°C)	683	641	662	628	651	629	639
10 ¹¹ 포이즈 온도 (°C)	770	725	748	710	734	711	721
연화점 (°C)	937	888	919	873	909	868	874
T ³⁵ kP (°C)				1167	1180	1158	1160
T ²⁰⁰ kP (°C)				1070	1083	1061	1064
지르콘 파괴 온도 (°C)		1205		1220	1170	1185	1205
지르콘 파괴 점도 (P)				1.56 x10 ⁴	4.15 x10 ⁴	2.29 x10 ⁴	1.74 x10 ⁴
액상선 온도 (°C)		980		990	975	990	1000
액상선 점도 (P)				1.15 x10 ⁵	2.17 x10 ⁵	9.39 x10 ⁵	7.92 x10 ⁵
푸아송 비	0.200	0.211	0.206	0.214	0.204	0.209	0.211
영률 (GPa)	69.2	68.8	69.4	68.5	69.6	68.3	69.0
589.3nm에서 굴절률	1.4976	1.5025	1.4981	1.5029	1.4992	1.5052	1.506
응력 광학 계수 (nm/nm/MPa)	2.963	3.158	3.013	3.198	2.97	3.185	3.234

[0211]

[0212] [표 1B 계속]

	실. 8	실. 9	실. 10	실. 11	실. 12	실. 13	실. 14
밀도 (g/cm ³)	2.516	2.501	2.498	2.493	2.493	2.492	2.486
저온 CTE 25-300 °C (ppm/°C)	8.35	8.67	8.87	8.49	8.65	8.71	8.49
고온 CTE (ppm/°C)	20.11	20.6	20.94		19.52	20.77	
변형점 (°C)	590	589	591	584	600	579	588
어닐링점 (°C)	641	639	640	628	652	620	630
10 ¹¹ 포이즈 온도 (°C)	726	724	720	704	738	695	704
연화점 (°C)	888	890	865	857	900	867	860
T ³⁵ kP (°C)	1170	1176	1159	1139	1197	1169	
T ²⁰⁰ kP (°C)	1073	1080	1061	1041	1099	1070	
지르콘 파괴 온도 (°C)	1195	1195	1210	1225	1195	1195	1220
지르콘 파괴 점도 (P)	2.33x10 ⁴	2.58x10 ⁴	1.60x10 ⁴	9.94x10 ³	3.63x10 ⁴	2.35x10 ⁴	
액상선 온도(°C)	1005	990	990	980	990	980	980
액상선 점도 (P)	8.69x10 ⁴	1.48E+06	9.02E+05	7.10E+05	2.19E+06	1.33E+06	
푸아송 비	0.211	0.205	0.208	0.209	0.209	0.210	0.217
영률 (GPa)	69.0	68.7	71.4	73.5	68.4	71.6	74.0
589.3nm에서 굴절률	1.506	1.5036	1.505	1.5063	1.5026	1.5041	1.5052
응력 광학 계수 (nm/mm/MPa)	3.234	3.194	3.157	3.131	3.18	3.156	3.131

[0213]

[0214] [표 1B 계속]

	실. 15	실. 16	실. 17	실. 18	실. 19	실. 20	실. 21
밀도 (g/cm ³)	2.433	2.429	2.426	2.431	2.428	2.433	2.486
저온 CTE 25-300 °C (ppm/°C)	9.15	9.16	8.83	8.97	8.97	8.79	8.45
고온 CTE (ppm/°C)	20	20	21	17.3	20		
변형점 (°C)	615	606	599	633	616	611	602
어닐링점 (°C)	662	659	653	684	670	665	653
10 ¹¹ 포이즈 온도 (°C)	747	745	741	771	758	751	739
연화점 (°C)	935	903	901	943	918	905	910
T ³⁵ kP (°C)	1182	1166	1152	1221	1185	1167	1207
T ²⁰⁰ kP (°C)	1083	1066	1051	1122	1084	1066	1108
지르콘 파괴 온도 (°C)							
지르콘 파괴 점도 (P)							
액상선 온도(°C)							
액상선 점도 (P)							
푸아송 비	0.203	0.207	0.205	0.209	0.199		0.207
영률 (GPa)	68.9	71.2	72.7	69.4	70.9		68.1
589.3nm에서 굴절률	1.4964	1.4981	1.4991	1.4965	1.4984	1.5006	1.5019
응력 광학 계수 (nm/mm/MPa)	2.994	3.022	2.982	2.979	2.99	0	3.173

[0215]

[0216] [표 1B 계속]

	실. 22	실. 23	실. 24	실. 25	실. 26	실. 27	실. 28
밀도 (g/cm ³)	2.468	2.448	2.434	2.428	2.47	2.419	2.414
저온 CTE 25-300℃ (ppm/℃)	8.6	8.23	8.91	8.25	8.66	8.52	8.17
고온 CTE (ppm/℃)	19.52		19.49				19.47
변형점 (℃)	596	595	638	616	608	640	620
어닐링점 (℃)	644	649	695	656	654	700	677
10 ¹¹ 포이즈 온도 (℃)	728	741	785	732	736	798	771
연화점 (℃)	905	922	941	925	911	978	946
T ³⁵ kP (℃)	1217	1227	1209	1215	1209	1283	1249
T ²⁰⁰ kP (℃)	1115	1125	1109	1115	1107	1184	1150
지르콘 파괴 온도 (℃)	1185	1185	1180	1185			1185
지르콘 파괴 점도 (P)	5.86E+04	6.91E+04	5.59E+04	5.72E+04			1.05E+05
액상선 온도(℃)	975	980	1080	1025			940
액상선 점도 (P)	4.14E+06	4.52E+06	3.56E+05	1.27E+06			2.92E+07
푸아송 비	0.210		0.204	0.210	0.212		0.213
영률 (GPa)	71.4		71.6	73.5	68.8		76.9
589.3nm에서 굴절률	1.502	1.5025	1.4996	1.5008	1.5006	1.4987	1.5014
응력 광학 계수 (nm/mm/MPa)	3.123	3.03	3.001	3.021	3.148	3.039	3.015

[0217]

[0218] [표 1B 계속]

	실. 29	실. 30	실. 31	실. 32	실. 33	실. 34	실. 35
밀도 (g/cm ³)	2.408	2.446	2.448	2.446	2.445	2.443	2.442
저온 CTE 25-300℃ (ppm/℃)	7.86	8.29	8.38	8.17	8.14	8.04	7.97
고온 CTE (ppm/℃)	18.57					19.71	
변형점 (℃)	610	591	595	585	580	574	577
어닐링점 (℃)	665	645	649	638	633	627	629
10 ¹¹ 포이즈 온도 (℃)	755	736	740	726	722	717	717
연화점 (℃)	924	915	919	894	894	895	890
T ³⁵ kP (℃)	1216	1223	1227	1216	1210	1203	1196
T ²⁰⁰ kP (℃)	1120	1122	1126	1114	1108	1102	1095
지르콘 파괴 온도 (℃)	1210	1175	1180	1190	1195	1210	1205
지르콘 파괴 점도 (P)	3.86E+04	7.72E+04	7.55E+04	5.29E+04	4.43E+04	3.14E+04	3.04E+04
액상선 온도(℃)	1080	990	975	975	975	975	980
액상선 점도 (P)	4.55E+05	3.28E+06	5.43E+06	3.80E+06	3.33E+06	3.02E+06	2.29E+06
푸아송 비	0.211	0.206	0.202	0.21	0.204	0.204	0.203
영률 (GPa)	75.0	73.91	73.02	74.60	74.67	75.15	75.43
589.3nm에서 굴절률	1.5053	1.503	1.5025	1.5035	1.5041	1.5046	1.5053
응력 광학 계수 (nm/mm/MPa)	3.002	3.074	3.083	3.071	3.059	3.016	3.053

[0219]

[0220] [표 1B 계속]

	실. 36	실. 37	실. 38	실. 39	실. 40	실. 41	실. 42
밀도 (g/cm ³)	2.453	2.453	2.452	2.451	2.449	2.449	2.425
저온 CTE 25-300°C (ppm/°C)	8.17	8.14	7.97	8.01	7.79	7.9	8.54
고온 CTE (ppm/°C)					20.56		
변형점 (°C)	595	595	584	587	578	584	617
어닐링점 (°C)	649	649	638	640	630	637	663
10 ¹¹ 포이즈 온도 (°C)	740	741	729	730	718	726	746
연화점 (°C)	918	921	905	907	894	901	929
T ³⁵ kP (°C)	1229	1232	1212	1219	1200	1204	1232
T ²⁰⁰ kP (°C)	1128	1131	1111	1118	1100	1103	1132
지르콘 파괴 온도 (°C)	1185		1200		1210		
지르콘 파괴 점도 (P)	7.20E+04		4.26E+04		3.00E+04		
액상선 온도(°C)	995		990		965		
액상선 점도 (P)	3.33E+06		2.51E+06		3.71E+06		
푸아송 비	0.208		0.206		0.206		
영률 (GPa)	73.70		74.67		75.50		
589.3nm에서 굴절률	1.5032		1.5042		1.5054		1.5005
응력 광학 계수 (nm/nm/MPa)	3.093		3.071		3.072		3.033

[0221]

[0222] [표 1B 계속]

	실. 43	실. 44	실. 45	실. 46	실. 47	실. 48	실. 49	실. 50
밀도 (g/cm ³)	2.424	2.422	2.455	2.454	2.454	2.434	2.439	2.443
저온 열팽창계수 25-300°C (ppm/°C)	8.48	8.34	8.03	7.88	7.76	7.87	7.71	7.63
고온 열팽창계수 (ppm/°C)								
변형점 온도 (°C)	614	594	595	586	579	580	581	579
어닐링점 온도 (°C)	659	640	649	639	630	633	633	632
10 ¹¹ 포이즈 온도 (°C)	739	722	740	729	718	722	721	721
연화점 온도 (°C)	912	899	918	909	898	892	893	895
35 kP 온도 (°C)	1216	1204		1212	1200	1203	1203	1203
200 kP 온도 (°C)	1116	1102		1113	1099	1105	1102	1103
지르콘 파괴 온도 (°C)								
지르콘 파괴 점도 (P)								
액상선 온도(°C)			985		965	1005	1010	1030
액상선 점도 (P)					4.E+06	1.78E+06	1.34E+06	8.98E+05
푸아송 비						0.211	0.21	0.213
영률 (GPa)						76.32	76.60	76.81
589.3nm에서 굴절률	1.5014	1.5026	1.5036	1.5047	1.5061	1.505	1.5059	1.5064
응력 광학 계수 (nm/nm/MPa)	2.965	2.981	3.082	3.057	3.063	3.025	3.004	3.046

[0223]

[0224] [표 1B 계속]

	실. 51	실. 52	실. 53	실. 54	실. 55	실. 56	실. 57
밀도 (g/cm ³)	2.424	2.431	2.403	2.4	2.45	2.462	2.468
저온 CTE 25-300°C (ppm/°C)	77.1	76.1	74.3	73.1	80.2	79.7	83.6
고온 CTE (ppm/°C)							
변형점 (°C)	588	599	611	612	580	611	597
어닐링점 (°C)	640	651	665	665	631	663	649
10 ¹¹ 포이즈 온도 (°C)	728	738	753	752	718	750	735
연화점 (°C)	900.4	907.5	916	912.5	892.2	915.6	899.4
T ³⁵ kP (°C)	1204	1209	1209	1202	1206	1205	1184
T ²⁰⁰ kP (°C)	1106	1113	1113	1106	1102	1111	1093
지르콘 파괴 온도 (°C)							
지르콘 파괴 점도 (P)							
액상선 온도(°C)	1060	1115	1160	1205			
액상선 점도 (P)	5.11E+05	1.90E+05	8.18E+04	3.32E+04			
푸아송 비	0.211	0.212	0.208	0.214			
영률 (GPa)	77.01	78.05	77.57	78.74			
589.3nm에서 굴절률	1.5054	1.5055	1.5059	1.5072			
응력 광학 계수 (nm/mm/MPa)	3.011	2.98	2.982	2.964			

[0225]

[0226] [표 1B 계속]

	실. 64
밀도 (g/cm ³)	2.428
CTE 25-300°C (ppm/°C)	7.8
변형점 (°C)	571
어닐링점 (°C)	622
10 ¹¹ 포이즈 온도 (°C)	
연화점 (°C)	881.4
T ³⁵ kP (°C)	
T ²⁰⁰ kP (°C)	1645
지르콘 파괴 온도 (°C)	
지르콘 파괴 점도 (P)	
액상선 온도(°C)	1000
액상선 점도 (P)	1524280
푸아송 비	0.211
영률 (GPa)	76.3
589.3nm에서 굴절률	1.51
응력 광학 계수 (nm/mm/MPa)	3.02

[0227]

[0228] 유리-계 기관이 유리-세라믹을 포함하는 경우, 결정상 (crystal phases)은 β-스포듀민, 루틸, 가나이트 (gahnite) 또는 기타 공지된 결정상 및 이들의 조합을 포함할 수 있다.

[0229] 비록 다른 구체 예가 만족되거나 또는 달리 형상화된 또는 조각된 기관을 활용할 수 있을지라도, 유리-계 물품은 실질적으로 평면일 수 있다. 몇몇 사례에서, 유리-계 물품은 3D 또는 2.5D 형상을 가질 수 있다. 유리-계 물품은, 실질적으로 광학적으로 맑고, 투명하며, 광 산란이 없을 수 있다. 유리-계 물품은, 약 1.45 내지 약 1.55의 범위에서 굴절률을 가질 수 있다. 여기서 사용된 바와 같이, 굴절률 값은 550nm의 파장과 관련되어 있다.

[0230] 부가적으로 또는 선택적으로, 유리-계 물품의 두께는, 하나 이상의 치수에 따라 일정할 수 있거나 또는 심미적 및/또는 기능적 이유로 하나 이상의 이의 치수에 따라 변할 수 있다. 예를 들어, 유리-계 물품의 에지는, 유리-계 물품의 더 중심 영역과 비교하여 더 두꺼울 수 있다. 유리-계 물품의 길이, 폭 및 두께 치수는, 물품 적용 또는 용도에 따라 또한 변할 수 있다.

[0231] 유리-계 물품은, 이것이 형성되는 방식을 특징으로 할 수 있다. 예를 들어, 유리-계 물품이 플로트-형성 가능한 (float-formable) (즉, 플로트 공정에 의해 형성된), 다운-인발 가능한, 특히, 퓨전-형성 가능하거나 (fusion-formable) 또는 슬롯-인발 가능한 (즉, 퓨전 인발 공정 또는 슬롯 인발 공정과 같은 다운 인발 공정에 의해 형성된) 것을 특징으로 할 수 있다. 특별한 구체 예에서, 유리-계 물품은 퓨전-형성 가능하다.

- [0232] 플로트-형성 가능한 유리-계 물품은, 매끄러운 표면을 특징으로 할 수 있고, 균일한 두께는 용융 금속, 통상적으로 주석의 층 (bed) 상에 용융 유리를 플로팅시켜 만들어진다. 대표 공정에서, 용융 주석 층의 표면상으로 공급된 용융 유리는, 플로팅 유리 리본을 형성한다. 유리 리본이 주석 욕조를 따라 흐름에 따라, 온도는, 유리 리본이 주석으로부터 물러 상으로 들려질 수 있는 고품의 유리-계 물품으로 고체화될 때까지, 점진적으로 감소된다. 욕조에서 떨어질 때, 유리-계 물품은, 내부 응력을 감소시키기 위해 더욱 냉각되고 및 어닐링될 수 있다. 유리-계 물품이 유리 세라믹인 경우, 플로트 공정으로부터 형성된 유리-계 물품은, 하나 이상의 결정질 상이 발생하는 세라믹화 공정에 적용될 수 있다.
- [0233] 다운-인발 공정은, 비교적 본래의 표면을 보유하는 균일한 두께를 갖는 유리-계 물품을 생산한다. 유리-계 물품의 평균 휨 강도가 표면 흠들의 양 및 크기에 의해 조절되기 때문에, 최소한의 접촉을 가진 본래의 표면은, 더 높은 초기 강도를 갖는다. 이 고강도의 유리-계 물품이 그 다음 더욱 (예를 들어, 화학적으로) 강화되는 경우, 그 결과로 생긴 강도는, 랩핑 및 연마된 표면을 갖는 유리-계 물품의 강도보다 더 높을 수 있다. 다운-인발된 유리-계 물품은, 약 2mm 미만의 두께로 인발될 수 있다. 부가적으로, 다운 인발된 유리-계 물품은, 비용이 드는 그라인딩 및 연마 없이 이의 최종 적용에 사용될 수 있는, 매우 평평하고, 매끄러운 표면을 갖는다. 유리-계 물품이 유리 세라믹인 경우, 다운 인발 공정으로부터 형성된 유리-계 물품은, 하나 이상의 결정질 상이 발생하는 세라믹화 공정에 적용될 수 있다.
- [0234] 퓨전 인발 공정은, 예를 들어, 용융 유리 원료를 수용하기 위한 채널을 갖는 인발 탱크를 사용한다. 상기 채널은, 채널의 양 측면 상에 채널의 길이를 따라 상부가 개방된 웨어 (weirs)를 갖는다. 채널이 용융 물질로 채워진 때, 용융 유리는 웨어를 범람한다. 중력에 기인하여, 용융 유리는, 두 개의 흐르는 유리 필름으로 인발 탱크의 외부 표면 아래로 흐른다. 인발 탱크의 이들 외부 표면은, 이들이 인발 탱크 아래의 에지에서 합쳐지도록 아래 및 내측으로 연장된다. 두 개의 흐르는 유리 필름은, 이 에지에서 합쳐져, 단일의 흐르는 유리-계 물품을 융합하고 형성한다. 퓨전 인발 방법은, 채널을 넘쳐 흐르는 2개의 유리 필름이 함께 융합하기 때문에, 그 결과로 생긴 유리-계 물품의 외부 표면 중 어느 것도 장치의 어떤 부분과 접촉하지 않는 장점을 제공한다. 따라서, 퓨전 인발 유리-계 물품의 표면 특성은, 이러한 접촉에 의해 영향받지 않는다. 유리-계 물품이 유리 세라믹인 경우, 퓨전 공정으로부터 형성된 유리-계 물품은, 하나 이상의 결정질 상이 발생하는 세라믹화 공정에 적용될 수 있다.
- [0235] 슬롯 인발 공정은 퓨전 인발 방법과 구별된다. 슬롯 인발 공정에서, 용융 원료 유리는 인발 탱크로 제공된다. 인발 탱크의 버텀은, 슬롯의 길이를 연장하는 노즐을 갖는 개방 슬롯 (open slot)을 갖는다. 용융 유리는 슬롯/노즐을 통해 흐르고, 연속 유리-계 물품으로서, 어닐링 영역으로 하향으로 인발된다.
- [0236] 유리-계 물품은, 표면 흠들의 영향을 제거 또는 감소시키기 위해 산 연마되거나 또는 달리 처리될 수 있다.
- [0237] 본 개시의 또 다른 관점은, 내-파단성 유리-계 물품을 형성하는 방법에 관한 것이다. 상기 방법은, 약 1 millimeter 이하의 두께를 한정하는 제1표면 및 제2표면을 갖는 유리-계 기판을 제공하는 단계 및 내-파단성 유리-계 물품을 제공하기 위해, 여기서 기재된 바와 같이, 상기 유리-계 기판에서 응력 프로파일을 발생시키는 단계를 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, 상기 응력 프로파일을 발생시키는 단계는, 상기 유리-계 기판으로 복수의 알칼리 이온을 이온 교환하는 단계를 포함하여, (여기서 기재된 바와 같이) 두께의 실질적 부분을 따라 또는 전체 두께에 따라 변하는 0이 아닌 알칼리 금속 산화물 농도를 형성한다. 일 실시 예에서, 상기 응력 프로파일을 발생시키는 단계는, 약 350°C 이상 (예를 들어, 약 350°C 내지 약 500°C)의 온도를 갖는, Na⁺, K⁺, Rb⁺, Cs⁺ 또는 이의 조합의 질화물을 포함하는 용융염 욕조에 유리-계 기판을 침지시키는 단계를 포함한다. 일 실시 예에서, 용융 욕조는, NaNO₃, KNO₃ 또는 이의 조합을 포함할 수 있고, 및 약 485°C 이하의 온도를 가질 수 있다. 또 다른 실시 예에서, 욕조는, NaNO₃ 및 KNO₃의 혼합물을 포함할 수 있고, 및 약 460°C의 온도를 갖는다. 상기 유리-계 기판은, 약 2시간 이상, 약 48시간까지 (예를 들어, 약 2시간 내지 약 10시간, 약 2시간 내지 약 8시간, 약 2시간 내지 약 6시간, 약 3시간 내지 약 10시간, 또는 약 3.5시간 내지 약 10시간)동안 욕조에서 침지될 수 있다.
- [0238] 몇몇 구체 예에서, 상기 방법은, 단일 욕조에서, 또는 하나를 초과하는 욕조에서 연속적 침지 단계를 사용하는 하나를 초과하는 단계에서, 유리-계 기판을 화학적으로 강화하는 단계 또는 이온 교환하는 단계를 포함할 수 있다. 예를 들어, 둘 이상의 욕조는, 연속적으로 사용될 수 있다. 하나 이상의 욕조의 조성물은, 동일한 욕조에서 단일 금속 (예를 들어, Ag⁺, Na⁺, K⁺, Rb⁺, 또는 Cs⁺) 또는 금속들의 조합을 포함할 수 있다. 하나를 초과하는 욕조가 활용된 경우, 욕조는 서로 같거나 또는 다른 조성물 및/또는 온도를 가질 수 있다. 각각의 이러한 욕조

에서 침지 시간은, 같을 수 있거나 또는 원하는 응력 프로파일을 제공하기 위해 변할 수 있다.

- [0239] 상기 방법의 하나 이상의 구체 예에서, 제2 욕조 또는 후속 욕조는, 더 큰 표면 CS를 발생하기 위해 활용될 수 있다. 몇몇 사례에서, 상기 방법은, 화학적 층의 깊이 및/또는 DOC에 상당한 영향 없이, 더 큰 표면 CS를 발생시키기 위해 제2 또는 후속 욕조에서 유리-계 기관을 침지시키는 단계를 포함한다. 이러한 구체 예에서, 제2 또는 후속 욕조는, 단일 금속 (예를 들어, KNO_3 또는 NaNO_3) 또는 금속들의 혼합물 (KNO_3 및 NaNO_3)을 포함할 수 있다. 제2 또는 후속 욕조의 온도는, 더 큰 표면 CS를 발생시키기 위해 조정될 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 제2 또는 후속 욕조에 유리-계 기관의 침지 시간은, 또한, 화학적 층의 깊이 및/또는 DOC에 영향 없이 더 큰 표면 CS를 발생시키도록 조정될 수 있다. 예를 들어, 제2 또는 후속 욕조에서 침지 시간은, 10시간 미만 (예를 들어, 약 8시간 이하, 약 5시간 이하, 약 4시간 이하, 약 2시간 이하, 약 1시간 이하, 약 30분 이하, 약 15분 이하, 또는 약 10분 이하)일 수 있다.
- [0240] 하나 이상의 선택적인 구체 예에서, 상기 방법은, 여기서 기재된 이온-교환 공정과 조합하여 사용될 수 있는 하나 이상의 열처리를 포함할 수 있다. 상기 열처리는, 원하는 응력 프로파일을 얻기 위해 유리-계 물품을 열처리하는 단계를 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 열처리는 약 300°C 내지 약 600°C 범위의 온도로 유리-계 기관을 어닐링하는, 템퍼링하는 또는 가열하는 단계를 포함한다. 열처리는 1분 내지 약 18시간 동안 지속될 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 열처리는 하나 이상의 이온-교환 공정 후, 또는 이온-교환 공정들 사이에 사용될 수 있다.
- [0241] 본 개시의 또 다른 관점은:
- [0242] 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하여 0.1mm 내지 2mm 범위의 두께 (t)를 한정하는 제2표면; 및
- [0243] 상기 두께 (t)를 따라 확장되는 응력 프로파일을 포함하는 유리-계 물품에 관한 것으로,
- [0244] 여기서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 을 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 $-200\text{MPa/micrometer}$ 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 200MPa/micrometer 내지 약 25MPa/micrometer 의 기울기를 갖는 접선을 포함하고,
- [0245] 여기서, 약 $0.035 \cdot t$ 내지 약 $0.965 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -15MPa/micrometer 내지 약 15MPa/micrometer 의 기울기를 갖는 접선을 포함하며,
- [0246] 여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 200MPa 내지 약 1100MPa 의 표면 CS를 포함하고, 및
- [0247] 여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 $0.1 \cdot t$ 내지 $0.25 \cdot t$ 범위의 DOC를 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-200\text{MPa/micrometer}$ 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 200MPa/micrometer 내지 약 25MPa/micrometer 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 제2 두께 범위에 대해 언급된 기울기는, 약 $0.1 \cdot t$ 내지 $0.9 \cdot t$, 또는 $0.15 \cdot t$ 내지 $0.85 \cdot t$, 또는 $0.2 \cdot t$ 내지 $0.8 \cdot t$, 또는 $0.22 \cdot t$ 내지 $0.78 \cdot t$, 또는 $0.24 \cdot t$ 내지 $0.76 \cdot t$, 또는 $0.26 \cdot t$ 내지 $0.74 \cdot t$, 또는 $0.28 \cdot t$ 내지 $0.72 \cdot t$, 또는 $0.3 \cdot t$ 내지 $0.7 \cdot t$, 또는 $0.35 \cdot t$ 내지 $0.65 \cdot t$, 또는 $0.4 \cdot t$ 내지 $0.6 \cdot t$, 또는 $0.45 \cdot t$ 내지 $0.55 \cdot t$ 의 범위에서 있을 수 있다.
- [0248] 여기서 기재된 유리-계 물품의 하나 이상의 구체 예는, 유리 표면에 향상된 스크래치 성능을 부여할 수 있는 특정 응력 프로파일을 포함한다. 부가적으로, (예를 들어, 동시에 180 그릿 샌드 페이퍼 및 30 그릿 샌드 페이퍼 모두에 대한) 낙하 성능은 저하되지 않고, 및 현장에서 사용하기에 합리적인 수준의 성능을 유지한다. 이러한 실험적인 거친 표면은, 현장 성능에 의미 있고 관련된 유리에 다양한 흠들을 도입한다. 따라서, 이들 응력 프로파일은, 본 개시의 주안점인 낙하 시험에서 우수한 내파단성 및 개선된 내스크래치성을 나타낸다. 이들 응력 프로파일은 또한 깨지기 쉽지 않다.
- [0249] 하나 이상의 구체 예에 따르면, 다중-이온 확산에 대한 응력 프로파일은, 스크래치 성능에서 놀라운 개선을 부여한다는 점에서 개시된다. 약간의 응력 프로파일은, 단일 이온교환 단계에서 얻어질 수 있고, 다른 것은 둘 이상의 이온 교환 단계를 사용하여 얻어진다. 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일은, 2개의 영역 - 응력이 유리 내부에서 압축으로부터 인장으로 변화하는 지점으로 정의되는 매우 큰 압축 깊이를 야기하는, 실질적으로 작은 기울기의 깊은 꼬리가 수반되는 더 높은 기울기의 스파이크 영역을 나타낸다.
- [0250] 얇은 유리 (즉, 0.05mm 내지 2mm 의 두께 범위)와 관련된 구체 예에서, 확산 공정은, 두께의 두 반쪽에서 깊은 프로파일이 이온-교환되지 않은 기관에서 원래의 Na 농도와 동일한 실질적으로 일정한 Na 농도의 중심 영역 없이 중간에서 연결되도록, 이온 교환 욕조로부터 유리 내로 이온 교환된 Na의 자명하지 않은 부분 (nontrivial

fraction)이 유리의 중심에 도달할 수 있을 만큼 충분히 오래 지속된다. 하나 이상의 구체 예에서, 이온 교환의 지속 기간은, 1시간 초과, 1.5시간 초과, 2시간 초과, 2.5시간 초과, 3시간 초과, 3.5시간 초과, 4시간 초과, 4.5시간 초과, 5시간 초과, 5.5시간 초과, 6시간 초과, 6.5시간 초과, 7시간 초과, 7.5시간 초과, 및 8시간 초과이다.

[0251] 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일은 깨지기 쉽지 않은 물품을 제공한다. 여기서 사용된 바와 같은, "깨지기 쉽지 않은"은, 유리가 파괴된 경우, 유리가 어느 정도 비교적 큰 파편으로 파괴되는 것을 의미한다. 대조적으로, 깨지기 쉬운 유리는, 유리 물품에 저장된 높은 탄성 에너지에 기인하여 큰 간격에서 유리 입자의 방출의 가능성으로, 및 매우 작은 파편으로 파괴된다.

[0252] 하나 이상의 구체 예의 유리-계 물품은, 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하여, 두께 (t)를 한정하는 제2표면을 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, 두께 (t)는, 약 2 millimeters 이하 (예를 들어, 약 0.01 millimeter 내지 약 2 millimeters, 약 0.1 millimeter 내지 약 2 millimeters, 약 0.2 millimeter 내지 약 2 millimeters, 약 0.3 millimeter 내지 약 2 millimeters, 약 0.4 millimeter 내지 약 2 millimeters, 약 0.01 millimeter 내지 약 1.75 millimeters, 약 0.01 millimeter 내지 약 1.5 millimeters, 약 0.01 millimeter 내지 약 1 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.9 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.8 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.7 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.6 millimeter, 약 0.01 millimeter 내지 약 0.5 millimeter, 약 0.1 millimeter 내지 약 0.5 millimeter, 또는 약 0.3 millimeter 내지 약 0.5 millimeter 범위)일 수 있다.

[0253] 하나 이상의 구체 예의 응력 프로파일은, 특정 범위 내에서 기울기를 갖는 접선을 갖는 2개의 개별 영역 - 상대적으로 가파른 기울기를 갖는 영역 및 얇은 기울기를 갖는 영역의 존재를 특색으로 한다. 일반적으로, 응력 프로파일은 두 가지 다른 방법으로 달성될 수 있다. 제1 방법은 단일 이온교환 확산을 특색으로 하고, 여기서 둘 이상의 이온은 동시에 확산된다. 제2 방법은, 둘 이상의 이온이 동시에 확산되는 둘 이상의 이온 교환 확산을 특색으로 한다. 각 방법은 특별한 장점을 갖는다. 예를 들어, 단일 이온교환 확산 단계는, 실행 및/또는 조절이 더 간단하고 더 쉬울 수 있다. 그러나, 다중 이온교환 확산 단계는, 응력 프로파일을 조정하기 위한 더 많은 자유를 허용할 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 이온 교환 기간은, 1시간 초과, 1.5시간 초과, 2시간 초과, 2.5시간 초과, 3시간 초과, 3.5시간 초과, 4시간 초과, 4.5 시간 초과, 5시간 초과, 5.5시간 초과, 6시간 초과, 6.5시간 초과, 7시간 초과, 7.5시간 초과 및 8시간 초과이다.

[0254] 하나의 단계에서 2개의 영역을 함유하는 여기서 기재된 응력 프로파일은 더 큰 K 이온이 더 느리게 확산하는 것으로 추정된다. 대조적으로, 더 작은 Na 이온은 더 빨리 확산하고, 더 깊게 침투하는 것으로 추정된다. 더 큰 K 이온은, 더 큰 비 체적 (specific volume) 변화로 인한 더 높은 응력, 그러므로 CS에서 더 얇은 스파이크를 생성하는 것으로 또한 추정된다.

[0255] 일반적으로, 큰 DOC 및 높은 CS 스파이크를 갖는 응력 프로파일은, 전-면 손상 도입으로부터 파손을 감소시켜서, 허용 가능한 과응력 파손 (overstress failures)의 속도를 유지한다. 이들 프로파일은, Li-함유 유리에서, Na 및 Li 이온의 빠른 이온-교환 상호-확산 (counter-diffusion)을 통해 빠르게 큰 압축의 깊이를 달성하는 능력을 제공하는, 개선된 결과를 달성할 수 있다. 동시에, 이들은 또한 대략 5-15 microns의 작은 깊이로 칼륨 (K)를 확산시켜 높은-압축 (스파이크) 표면층을 달성할 수 있다. 단일 이온-교환으로, 한편으로는 중간 내지 높은 스파이크의 층의 깊이 (DOL_{sp})와 함께 표면에서의 압축 응력 CS, 및 응력의 기울기가 급격하게 변화하는 깊이인, 높은-압축 표면층의 버팀에서 발생하는 무릎 응력 (knee stress) (CS_k) 사이에 균형이 있다.

[0256] 강화되지 않은 기관에서 상당한 양의 Li 및 Na 모두를 갖는 Li-함유 유리로의 시도는, 비교적 높은 CS_k를 갖는 단일-이온-교환 (SIOX, 즉, 이중 이온교환, 즉, 2개의 욕조 또는 단계들에서 동일한 기관 또는 유리-계 물품에 대해 수행되는 이온 교환을 지칭하는 "DIOX"와는 대조적으로, 단일 욕조 또는 단계에서 발생하는 이온-교환) 프로파일이, 심한 비선형 확산으로부터 결과하는 프로파일의 깊은 부분의 높은 양의 곡률 (positive curvature)로 인해 제한된 압축의 깊이 (DOC)를 갖는 경향이 있다는 점이다.

[0257] 본 개시는 CS와 CS_k 사이의 균형을 깨고, 상대적으로 높은 DOL_{sp}를 여전히 달성하면서, 높은 CS 및 상대적으로 높은 CS_k를 동시에 제공하는 조합을 달성하는 능력을 제공한다. 부가적으로, 본 발명은 프로파일의 깊은 부분의 양의 곡률의 상당한 감소를 가능하게 하고, 및 몇몇 경우에서, 심지어 압축 영역의 일부에 음의 곡률을 도입하여 DOC에서 상당한 증가를 제공한다.

- [0258] 몇몇 구체 예에서, 이온 교환의 2-단계 공정은 사용되며, 여기서, 양 단계는 NaNO_3 및 KNO_3 와 같은, Na^+ -이온 및 K^+ -이온 함유 염의 혼합물을 갖는다. 제1-단계 염 혼합물은 제2-단계 염 혼합물보다 더 높은 Na 함량을 가질 수 있다. 예를 들어, 제1-단계 혼합물은, 염 혼합물이 $\text{NaNO}_3+\text{KNO}_3$ 인 경우, 38-90wt%의 NaNO_3 를 가질 수 있다. 제1-단계 염 혼합물은, 중간 표면 농도 (예를 들어, <5mol%)로 표면 근처에서 K_2O -스파이크를 생성할 수 있어, K-스파이크의 존재에도 불구하고 상당한 CS_k 의 발달을 가능하게 한다. 제1단계는 또한 상당한 중심 장력 CT, 통상적으로 60MPa를 초과하여 발달할 수 있다.
- [0259] 제2단계는 염 혼합물에서 수행될 수 있고, 여기서, Na-함유 염은 상당히 적다 (예를 들어, 3-15wt% NaNO_3). 부가적으로, 제2단계는 제1단계보다 상당히 더 짧을 수 있거나 (몇몇 구체 예에서는 3배 이상 더 짧을 수 있거나), 또는 상당히 더 낮은 온도에서 수행될 수 있다.
- [0260] 이 공정은, 기초가 되는 유리 (base glass)가 유리에서 총 알칼리 산화물의 약 8%의 몰 함량보다 더 낮은, 매우 낮은 수준의 K_2O 를 갖는 경우, K의 비선형 확산을 이용한다. 따라서, 제2-단계 스파이크는, 제1단계와 비해 K^+ 이온에 대해 실질적으로 더 높은 유효 확산 계수를 특징으로 하여, CS_k 를 크게 희생시키지 않으면서, 짧은 제2단계로 높은-CS 스파이크의 최대 DOL이 유지되는 것을 가능하게 한다. 제2-단계 염 혼합물에서 소량의 Na는, 스파이크 동안 Na가 외부-확산 (out-diffusion)을 못하게 하는 목적을 제공하고, 따라서, 상대적으로 작은 변화의 이온 교환 온도 또는 시간으로 CS_k 가 너무 많이 변하지 않는 비교적 안정한 공정을 얻는다.
- [0261] 그 결과로 생긴 프로파일은, 제2 혼합물만을 사용하여 얻어진 CS와 유사한, 높은 CS를 갖는다. 부가적으로, 이것은 제2-단계 염 단독의 전형적인 CS_k (10MPa 초과)보다 실질적으로 더 높지만, 제1단계의 CS_k (10MPa 초과)보다 실질적으로 더 낮은, CS_k 를 갖는다. 상대적으로 높은 CT는, 유지되거나, 또는 때때로 짧은 제2단계 후에 다소 증가된다. 이 CT는, 제2단계의 염 조성물만을 사용하여 얻을 수 있는 최대 CT보다 실질적으로 더 높다. 마지막으로, 응력 프로파일은, 단독으로 사용된 경우 제1 염 혼합물 또는 제2 염 혼합물에서 가능한 최대 깊이를 초과하고, 및 종종 대략 $0.2 \cdot t$ (기판 두께의 20%)인 DOC를 가질 수 있다.
- [0262] 일상적인 사용 동안, 동일한 커버-유리 구성요소는, 전면 (외부 면), 후면 (내부 면), 및 에지에 대해 (마손 효과 (wear-and-tear effects)를 의미하는) 여러 가지의 서비스 응력 (service stresses)을 경험한다. 가장 일반적인 파손 (파단)의 원인은, 깊은 흠 (>10 μm)의 도입으로 인한 파단을 포함하며, 이의 팁 깊이 (tip depth)는 때때로 수 백 MPa의 높은 국소적 장력에 적용된 상대적으로 얇은 흠 (1-10 μm)의 과응력 (overstress) (OS)으로부터, 및 화학적인 강화로부터 이용 가능한 압축의 깊이 (DOC)를 초과할 수도 있다. 흔히, DOC보다 다소 작은 팁 깊이를 갖는 깊은 흠이 일상적인 사용 동안 커버-유리 구성요소의 작은 벤딩 (bending)에 의한 적당한 장력에 노출되는 경우, 파단은 시작될 수 있다. 그러므로, 깊은 압축 층 내부에 비교적 큰 깊이에서 압축 응력의 값 및 큰 DOC는, 화학적 강화의 유리한 파라미터 중 하나이다. 이러한 깊은 흠은, 거친 표면 또는 날카로운 물체와 접촉하는 동안 유리 내로 도입될 수 있다.
- [0263] 2-단계 공정은, 본 개시에 따른 바와 같이 적절한 방식으로 수행되는 경우, 프로파일의 깊은 부분 및 스파이크가 본질적으로 독립적으로 발달된다는 장점을 갖는다. 짧고 상대적으로 저-온의 "스파이크" 단계 동안에 프로파일의 깊은 부분의 변화는, 거의 무시할 수 있다 (통상적으로 DOL 및 깊은 부분의 응력에서 1% 미만의 변화 및 DOC에서 작은 변화).
- [0264] Li-함유 유리는, 매우 큰 DOC를 갖는 스파이크된 프로파일을 얻기 위한 약간의 유용한 속성을 제공하지만, 몇 가지 중요한 문제가 수반된다. 하나의 장점은, 유리의 연화점보다 훨씬 낮은 온도에서 상대적으로 짧은 이온 교환을 사용하여 매우 큰 DOC를 발달시키는 능력이다. K 및 Na와 각각 비교한 경우, 더 작은 Na 및 Li의 더 큰 확산율에 기인하여, 유리 내로 Li 깊이에 대해 교환될 수 있는 Na이 비슷한 깊이에 대해 Na에 대해 교환될 수 있는 K보다 훨씬 더 빠르게 교환될 수 있기 때문에, 큰 DOC는, 빠르게 달성 가능하다. 이 장점은, Li-함유 유리에서 높은 CS의 표면 스파이크의 형성이 일반적으로 대략 10 μm 의 원하는 깊이로 K^+ 이온의 내-확산 (in-diffusion)을 필요로 하기 때문에, 동시에 문제를 야기한다. Na의 확산율에 비해, Li-계 유리에서 K의 매우 작은 확산율은, 일반적으로, 순수 NaNO_3 이온 교환 또는 NaNO_3 - LiNO_3 혼합물에서 교환의 제1단계 후에 제2단계를 사용하여 명목상 순수 KNO_3 욕조에서 표면 압축 스파이크를 시행하는 단계가, 제1 이온-교환 단계 후에 얻어진 Na 이온의 구배가 스파이크-형성 (제2 이온-교환) 단계 동안 현저하게 감소하기 때문에, DOL_{sp} 를 초과하는 깊이

(예를 들어, 스파이크 깊이인, DOL_{sp} 로부터 DOC까지의 깊이)에서 압축의 수준을 크게 저하시킨다는 것을 의미한다.

[0265] 더군다나, 몇몇 상업용 Li-함유 유리는, 기초가 되는 유리 내에 상당하고 비슷한 양의 Li_2O 및 Na_2O 모두를 함유한다. 일 실시 예에서, Corning Incorporated (Corning, NY)의 하나의 상업적으로 이용 가능한 유리는, 약 6mol%의 Li_2O 및 11mol%의 Na_2O 를 함유한다. 유사하게, Corning Incorporated (Corning, NY)의 또 다른 상업적으로 이용 가능한 유리는, 약 6mol%의 Li_2O 및 약 9mol%의 Na_2O 를 함유한다. 상당한 양의 Li_2O 및 Na_2O 를 갖는 이러한 조성물의 유리가 Li를 희생시키면서 Na이 유리에 실질적으로 풍부하도록 설계된 욱조에서 이온 교환되는 경우, 그 결과로 생긴 Na 농도 프로파일은, 실질적으로 비선형 확산의 결과로서 매우 아주 큰 양의 곡률 (positive curvature)을 나타내는 경향이 있다. 결과적으로, 스파이크 깊이보다 더 큰 깊이에서 응력 프로파일의 깊은 부분은, 또한, 무릎 응력 CS_k 가 아주 큰 경우, 예컨대, 120MPa를 초과하는 경우, 상당한 양의 곡률을 갖는다. 예를 들어, 도 36에서 곡선들 (2801) (비교 예 7B) 및 (2802) (비교 예 7C)이 참조되며, 이하 더욱 상세하게 논의된다. 이러한 프로파일은, 상대적으로 작고 및 중간 깊이에서 상당한 수준의 압축 응력을 제공하지만, 압축의 깊이에 접근하는 큰 깊이에서 상대적으로 더 낮은 압축 응력을 제공하는 경향이 있다. 도 36을 참조하면, 곡선들 (2801 및 2802)은, 곡선 (2804) (실시 예 7A) 아래로 떨어진다. 부가적으로, 이들은, 또한, 스파이크 깊이 DOL_{sp} 와 DOC 사이에 영역에서 압축 응력의 곡률이 없지만 (또는 음의 곡률의 부분이 있지만) 유사한 CS_k 를 갖는 곡선에 비해 더 작은 압축의 깊이를 갖는 경향이 있다. 특히, 상당한 양의 곡률을 갖는 프로파일에서, 대부분의 압축 응력은, 표면으로부터 DOC의 약 1/3까지 상당하지만, DOC의 1/3 또는 1/2로부터 DOC까지의 영역에서 높은 것은 아니다. 예를 들어, 도 36을 참조하면, 곡선 (2801)은 50 microns (약 150 microns의 DOC의 1/3)에서 곡선 (2804)과 거의 동일한 CS를 갖지만, 100 microns (약 DOC의 2/3)까지 곡선 (2804)의 CS 아래로 떨어진 CS를 갖는다. 유사하게, 다시 도 36을 참조하면, 곡선 (2802)은, 이미 50 microns (약 1/3 DOC)까지 곡선 (2804)의 CS 아래에 있고, 75 microns (약 1/2 DOC) 및 100 microns (약 2/3 DOC)에서 곡선 (2802)의 CS 아래에서 유지되는 CS를 갖는다. 부가적으로, (곡선 (2801 및 2802)과 같은) 이러한 프로파일은, 압축 영역의 깊은 부분에서 작은 곡률을 갖는 유사한 스파이크 및 유사한 무릎 응력을 갖는 프로파일, 예를 들어, 비-강화된 조성물에서 많은 Li_2O 를 갖지만, Na_2O 가 거의 없거나 없는 유리에서 얻어질 수 있는 프로파일보다 다소 더 작은 DOC를 갖는 경향이 있다.

[0266] 화학적으로 강화된 Li-함유 커버 유리에서, 화학 강화의 하나의 이점은, DOC가 안정적 레짐 (stable regime)에 있을 때, 달성된다. DOC는, 두께의 대략 20% (DOC는 약 0.2t)에서 안정되고, 더 높은 양의 곡률을 갖는 프로파일은, 보통 다소 더 작은 값을 가지며, 반면에 더 낮은 양의 곡률을 갖는 프로파일, 또는 심지어 음의 곡률을 갖는 부분을 갖는 프로파일은, 다소 더 높은 DOC 값을 갖는 경향이 있다. 이러한 안정적-DOC 레짐에서, 현장에서 일상적인 사용 동안, 커버 유리는 모래 입자 또는 작은 돌과 같은 예리한 물체에 의해 깊은 흠이 형성될 수 있다. 강도-한계 흠 (strength-limiting flaws)은, 대부분 가장 깊은 흠이며, 0.3DOC-DOC 범위와 같은 큰 깊이에서 더 많은 압축 응력을 갖는다면, 날카로운-접촉 사건의 결과로서 파단의 가능성을 줄이는 데 유익할 수 있다. DOC가 두께에 비례하여 감소되고 및 압축 응력에 의해 억제될 필요가 있는 흠의 틱들이 점점 더 큰 부분의 DOC에 도달하기 때문에, 이것은, 1mm 이하, 예를 들어, 0.8mm 이하 또는 0.6mm 이하와 같은, 더 작은 두께에 대해 특히 중요하게 된다.

[0267] 본 개시는, (몇몇 구체 예에서, 압축-응력 프로파일의 깊은 부분의 감소된 양의 곡률의 결과로서) 큰 깊이인 0.3DOC-DOC에서 상당한 스파이크 DOL, 상당한 스파이크 CS, 깊은 DOC, 상당한 CS_k , 및 상당한 압축 응력의 동시 달성을 가능하게 하는 특정 이중-이온-교환 공정을 제시한다.

[0268] 몇몇 구체 예는, 우수한 깊이의 스파이크 및 높은 CS의 동시 달성의 이점의 결과로서, 내스크래치성의 개선을 포함하면서, 우수한 내파단성을 위한 원하는 수준의 CS_k 를 달성할 수 있다.

[0269] 몇몇 구체 예에서, 리튬 함유 유리의 두-단계 (이상) 이온 교환에 의해 얻어진 응력 프로파일은, Na 및 K-함유 염의 혼합 욱조에서 단일-단계 이온교환, 또는 종래의 두-단계 이온교환에 의해 동일한 유리에서 얻을 수 있는 프로파일에 비해 상당한 이점을 갖는다.

[0270] 100% $NaNO_3$ 에서 상대적으로 긴 단계 후에 $NaNO_3$ 및 KNO_3 의 혼합물에서 더 짧은 제2단계로 DIOX를 사용하여 얻은 응력 프로파일은, DIOX의 제2단계와 동일한 염 혼합물을 사용하는 SIOX 공정과 비교한 경우, 더 높은 CS_k 와 감

소된 DOL_{sp} 사이에 균형을 주로 제공한다. 우수한 DIOX 프로파일은, 이온 교환의 제1단계 및 제2단계 모두가 KNO_3 및 $NaNO_3$ 의 혼합물에서 수행되는 경우 얻어지지만, (65% Na로 제1단계; 40% Na로 제2단계를 갖는) DIOX과 달리, 제2-단계 육조는, 제1-단계 육조의 Na:K의 몰 비보다 실질적으로 더 작은 (예를 들어, 3-10배 더 작은) Na:K의 몰 비를 갖는다.

- [0271] 몇몇 구체 예에 따른, Li-함유 유리 내에 응력 프로파일은, 두-단계 이온교환에 의해 얻어지며, 여기서, 이온 교환의 모든 단계는, Na-함유 염 및 K-함유 염 모두를 포함하는 육조에서 완성되고, 여기서, 제1 육조에서 Na 이온 대 K 이온의 비는, 유리 조성물에서 Na:Li 비에 의존하여, 제2 육조에서 Na 이온 대 K 이온의 비보다 2.5 배 이상, 예를 들어, 3배 이상, 또는 5배 또는 8배 이상 높지만, 800배 이하, 예를 들어, 600, 500, 또는 400배 이하이다. 더군다나, 몇몇 구체 예에서, 제2 염은, 유리 조성물에 의존하여, Na 대 K의 비가 0.03 이상, 예를 들어, 0.04 이상, 또는 0.047 이상, 및 몇몇 경우에서, 0.06 또는 0.07 이상이고, 0.4, 또는 0.35, 또는 0.30, 또는 0.21, 0.16, 또는 0.13 이하이다. 일반적으로, 유리에서 Li보다 실질적으로 더 많은 Na를 갖는 조성물은, 육조에서 Na:K의 더 높은 비, 예를 들어, 제2 육조에서 0.21 및 0.16을 허용할 것이다.
- [0272] 몇몇 구체 예에서, 제2단계의 유효 확산 시간은, 제1단계의 확산 시간의 $1/20$ 내지 $1/2$, 예를 들어, $1/20$ 내지 $1/3$ 또는 $1/20$ 내지 $1/4$ 이다.
- [0273] 여기에 기재된 DIOX 공정의 몇몇 특색은, 다음과 같다.
- [0274] 몇몇 구체 예에서, 제2단계의 저-Na 조성물로 얻어진 높은 표면 CS 와 매우 유사한 높은 표면 CS 는, 고-Na 제1단계 육조로 정상적으로 생성되는 표면 CS 보다 실질적으로 더 높다. 예를 들어, 비교 예 7B의 70Na/30K 육조에 의해 생성된 높은 표면 CS 를 갖는 곡선 (2801)을 참조하고, 실시 예 7A, 곡선 (2804)과 비교한다. DIOX 프로파일의 표면 CS 는, 600MPa 이상, 예를 들어, 650MPa 이상, 700MPa 이상, 750MPa 이상, 800MPa 이상, 또는 850MPa 이상일 수 있다.
- [0275] 몇몇 구체 예에서, DOL_{sp} 는, 제1단계의 DOL_{sp} 와 비슷하고, 제2단계만으로 얻어지는 DOL_{sp} 보다 상당히 더 크다 (종종 2배 정도, 심지어 그 이상). 이것은, 오직 제2단계가 염 육조에서 KNO_3 를 갖고, 및 이온 교환을 통한 스파이크 형성을 위해 K 이온을 제공하는 경우 얻어지는 DOL_{sp} 와 비교할 때, DOL_{sp} 가 상대적으로 크다는 것을 의미한다. 몇몇 구체 예에서, 여기서 개시된 DIOX 공정으로 달성된 DOL_{sp} 는: 5 내지 16 microns의 범위이고, 및 두께가 1 내지 1.3 mm인 경우, 두께의 0.5 내지 1.5%를 나타내며; 두께가 0.8 내지 1mm인 경우, 두께의 0.6 내지 2%의 범위이고; 두께가 0.65 내지 0.8mm인 경우, 0.7 내지 2.5%의 범위이며; 두께가 0.5 내지 0.65mm인 경우, 0.9 내지 3%의 범위이고; 및 두께가 0.3 내지 0.5mm인 경우 1 내지 3%의 범위이다.
- [0276] 몇몇 구체 예에서, 비교적 높은 CS_k 는, 제2-단계 육조 단독의 조성물의 전형적인 CS_k 보다 실질적으로 높고, 및 제1-단계 CS_k 보다 낮다. 예를 들어, 실시 예 7A에서, 제1-단계 CS_k 는 약 160MPa이고, DIOX CS_k 는 125MPa인 반면, 제2단계의 조성물을 갖는 육조인, 7wt% $NaNO_3$ + 93wt% KNO_3 는, 안정한 DOC가 도달되는 경우, CS_k 를 75MPa 아래로 생성할 것이다.
- [0277] 몇몇 구체 예에서, 제1-단계 염에서 단일-단계 이온교환에 의해 얻을 수 있는 DOC보다 더 높은, 높은 DOC는 달성된다. 예를 들어, 0.8mm 샘플의 경우, 실시 예 7A의 DIOX DOC는, 약 160 μ m, 또는 두께의 20%이다.
- [0278] 몇몇 구체 예에서, 약 1.5 DOL_{sp} 내지 DOC의 깊이 범위에서 압축-응력 프로파일에서 양의 곡률의 최소화 또는 심지어 제거는 달성된다. 특히, 상기 깊이 범위에서 곡률은, 바람직하게는, 본 발명의 DIOX 프로파일과 동일한 CS_k 를 가지며, 및 기관의 중간에 중심이 있는 힘-균형 포물선 프로파일 (force-balanced parabolic profile)의 곡률을 초과하지 않는다. 이 비교의 목적을 위해, 부호 규약 (sign convention)은 취해지고, 여기서 압축 응력은 양수이고, 인장 응력은 음수인 점이 유의된다. 또한, 품질 관리의 목적 동안, 스파이크된 멱-법칙 프로파일 (spiked power-law profile)로서 프로파일의 단순화된 표현이 추정될 수 있음을 유의해야 한다. 스파이크된 포물선 프로파일의 깊은 부분은, 2의 파워 계수 (power coefficient)를 갖는 포물선으로 맞춰진다. 몇몇 구체 예에서, 파워 계수는, CT 영역, 또는 프로파일의 깊은 영역의 형상에 대해 1 내지 3, 또는 1.7 내지 2.6의 범위일 수 있다. 본 발명의 DIOX 프로파일은, DOL_{sp} 와 DOC 사이에 영역에서 동일한 깊이 범위에 걸쳐, 깊이= DOL_{sp} 에서 동일한 응력을 갖는 포물선 프로파일의 곡률을 초과하지 않는 곡률을 보여준다.
- [0279] 몇몇 구체 예들에서, DOC/3 내지 DOC의 깊이 범위에서 상대적으로 높은 압축은, 달성될 수 있다. 특히, DIOX 프

로파일은, 이 깊이 범위에서 제1-단계 프로파일과 유사하거나 또는 더 높은 압축을 갖는다. 예를 들어, 약 50 내지 150 microns의 범위에서 곡선들 (2802 및 2803)과 도 36에서 곡선 (2804)을 비교하면, 이 범위에서 더 높은 CS를 나타낸다. 이 더 높은 CS는, 약 1.5DOL_{sp}와 DOC 사이에 깊이 범위에서 프로파일의 양의 곡률 감소 또는 제거 및 힘 균형 (force balance)의 조합된 효과의 결과이다.

[0280] 몇몇 구체 예에서, 통상적으로 제1-단계 CT의 ±3MPa 내에서, 및 통상적으로 증가의 총 이온-교환 시간 동안 단지 단계 2 염 조성물로 얻어질 CT보다 5-15MPa 더 높은, 상대적으로 높은 CT는 달성될 수 있다. 도 36에서 나타낸, 실시 예 7에서, DIOX 프로파일 (곡선 (2804))은, 1단계의, 곡선 (2801) 프로파일 (70% Na, 4시간, 380°C)의 CT와 거의 같은, 약 70MPa의 CT를 갖는 반면, 4hr+40min의 DIOX 총 시간과 비슷한 시간 동안 제2-단계 육조 (7% Na)에서 이온 교환은, 50-55MPa 범위의 CT를 결과할 것이다. DIOX 프로파일의 높은 CT는, 압축 존 (compression zone)에 도입된 흡에 의해 시작된 과단에 대한 유리 물품의 내성을 제공하는 것을 돕는, 압축 존에서 높은 응력-깊이 적분 (stress-depth integral)을 나타낸다.

[0281] 몇몇 구체 예에서, 유사한 깊은 부분 및 유사하게 높은 CS_k를 갖지만, 실질적으로 더 낮은 표면 CS 또는 더 낮은 DOL_{sp}를 갖는 다른 내-과단성 프로파일과 비교하여 더 우수한 내스크래치성은 달성된다. 예를 들어, DIOX 프로파일 곡선 (2804)과 125MPa에서 유사한 CS_k, 유사한 DOC, 및 DOL_{sp}를 갖는 40% NaNO₃ 및 60% KNO₃를 갖는 육조에서 제조된 도 36의 곡선 (2802) SIOX 프로파일을 비교하면, 곡선 (2802)의 표면 CS는, 약 250MPa 만큼 더 낮다 (550-570MPa 대 곡선 (2804) DIOX 프로파일에 대해 800-820MPa).

[0282] 몇몇 구체 예에서, DIOX 프로파일 및 이를 만드는 방법은, 유리 물품의 주변 구역, 특히, 유리 물품의 두께가 에지를 향하여 점진적으로 감소하는 경우 ("2.5D 커버 유리")에 최상의 강화를 제공한다. 전통적인 ("2D") 커버 유리의 경우, 유리 물품의 두께는, 유리 시트의 가장자리까지 본질적으로 일정하거나, 또는 에지가 모따기된 경우 에지 팁의 0.3t 미만 내에서 일정하며, 여기서 t는 시트의 두께이다. 여기에 기재된 구체 예에 따른 프로파일은, 에지 주변의 어떤 지점으로부터 측정된 압축의 깊이가 시트의 내부에 큰 압축의 깊이와 유사하기 때문에, 종래 기술의 프로파일과 비교한 경우, 이 타입의 에지의 우수한 강화를 제공한다. 좀 더 의미 있게는, 시트의 두께가, 에지로부터 보통 1-3mm, 또는 에지로부터 0.3t 이상의 거리이지만, 대부분 에지로부터 0.5t 이상, 또는 1.0t 이상의 거리로부터 감소하기 시작하여, 에지를 향해 점진적으로 감소하는, 2.5D 커버 유리의 경우, (예를 들어, 에지 접촉을 형성하는) 유리 물품의 주변부에서 시작된 흡이 종래의 프로파일과 비교하여 압축-응력 분포에 의해 저지되거나 또는 방향을 바꾸는 것이 평소보다 실질적으로 가능하다는 관점에서는, 에지의 주된 강화이다. 이 균열 저지 효과는, 전자 장치가 실수로 떨어진 경우, 에지에 대해 접촉 사건이 대부분 발생하기 때문에, 이렇게 에지를 강화하는 것은, 실제 일상 사용에서 내과단성에 상당한 개선을 위해 이로온 주된 장점이 있다.

[0283] 따라서, 약 0·t 내지 0.020·t 및 0.98·t를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 하나 이상의 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 200MPa/micrometer 내지 약 25MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 상기 제1 두께 범위는, 약 0·t 내지 약 0.020·t, 0.025·t, 0.0275·t, 0.030·t, 또는 0.035·t, 및 0.98·t를 초과, 0.975·t, 0.9725·t, 0.97·t, 또는 0.965·t를 초과하는 범위일 수 있다. 상기 기울기는, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 200MPa/micrometer 내지 약 25MPa/micrometer의 범위일 수 있다. 또 다른 구체 예에서, 상기 기울기는, 약 -200, -190, -180, -170, -160, -150 또는 -140MPa/micrometer 내지 약 -25, -27, -30, -31, -32, -33, -34 또는 -35MPa/micrometer; 또는 약 25, 27, 30, 31, 32, 33, 34, 또는 35MPa/micrometer 내지 약 140, 150, 160, 170, 180, 190 또는 200MPa/micrometer의 범위일 수 있다. 따라서, 예를 들어, 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 하나 이상의 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 몇몇 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -140MPa/micrometer 내지 약 -35MPa/micrometer 또는 약 35MPa/micrometers 내지 약 140MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

[0284] 상기 기울기 범위는, 제1 두께 범위의 어느 하나와 조합될 수 있다. 따라서, 예를 들어, 약 0·t 내지 0.025·t 및 0.975·t를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 하나 이상의 구체 예에서, 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 약 0·t 내지 0.025·t 및 0.975·t를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 또 다른 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든

지점은, 약 $-170\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $-30\text{MPa}/\mu\text{m}$ 또는 약 $30\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $170\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.025 \cdot t$ 및 $0.975 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 또 다른 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 $-140\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $-35\text{MPa}/\mu\text{m}$ 또는 약 $35\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $140\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

[0285] 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.035 \cdot t$ 및 $0.965 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 몇몇 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 $-200\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $-25\text{MPa}/\mu\text{m}$ 또는 약 $25\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $200\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.035 \cdot t$ 및 $0.965 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 또 다른 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 $-170\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $-30\text{MPa}/\mu\text{m}$ 또는 약 $30\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $170\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.035 \cdot t$ 및 $0.965 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의, 여전히 또 다른 구체 예에서, 적어도 하나의 지점, 및 다른 구체 예에서, 모든 지점은, 약 $-140\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $-35\text{MPa}/\mu\text{m}$ 또는 약 $35\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $140\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 제1 두께 범위가 더 짧아질수록, 제1 두께 내에 지점들에서 접선의 기울기는, 더 가파르게 될 수 있다.

[0286] 이 관점의 하나 이상의 구체 예에서, 약 $0.035 \cdot t$ 및 $0.965 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-15\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $15\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 즉, $0.035 \cdot t$ 내지 $0.965 \cdot t$ 의 범위에 따라, 기울기는 음수가 되고, 0에 가까워지며, 그 다음 양수가 되어, 멱-법칙 함수(power-law function)에 가까워진다. 여기서 사용된 바와 같은, "멱-법칙 함수"는, 응력이 깊이 또는 두께에 지수적으로 비례하는 곡선을 지칭한다. 하나 이상의 구체 예에서, 지수는 약 1.2 내지 약 3.2의 범위이다. 또 다른 구체 예에서, 지수는 약 1.2 내지 약 2.8의 범위이다. 몇몇 구체 예에서, 제2 두께 범위에 대해 주목되는 기울기는, 약 $0.1 \cdot t$ 내지 $0.9 \cdot t$, 또는 $0.15 \cdot t$ 내지 $0.85 \cdot t$, 또는 $0.2 \cdot t$ 내지 $0.8 \cdot t$, 또는 $0.22 \cdot t$ 내지 $0.78 \cdot t$, 또는 $0.24 \cdot t$ 내지 $0.76 \cdot t$, 또는 $0.26 \cdot t$ 내지 $0.74 \cdot t$, 또는 $0.28 \cdot t$ 내지 $0.72 \cdot t$, 또는 $0.3 \cdot t$ 내지 $0.7 \cdot t$, 또는 $0.35 \cdot t$ 내지 $0.65 \cdot t$, 또는 $0.4 \cdot t$ 내지 $0.6 \cdot t$, 또는 $0.45 \cdot t$ 내지 $0.55 \cdot t$ 의 범위일 수 있다.

[0287] 제2 두께 범위에서 지점은, 또한 기울기를 갖는 접선을 포함하는 것으로 설명될 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 접선의 기울기는, 약 -15 , -10 , -5 , -4 , -3 , -2 또는 $-1\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 10 또는 $15\text{MPa}/\mu\text{m}$ 이다. 몇몇 구체 예에서, 제2 두께 범위에 대한 주목되는 기울기는, 약 $0.1 \cdot t$ 내지 $0.9 \cdot t$, 또는 $0.15 \cdot t$ 내지 $0.85 \cdot t$, 또는 $0.2 \cdot t$ 내지 $0.8 \cdot t$, 또는 $0.22 \cdot t$ 내지 $0.78 \cdot t$, 또는 $0.24 \cdot t$ 내지 $0.76 \cdot t$, 또는 $0.26 \cdot t$ 내지 $0.74 \cdot t$, 또는 $0.28 \cdot t$ 내지 $0.72 \cdot t$, 또는 $0.3 \cdot t$ 내지 $0.7 \cdot t$, 또는 $0.35 \cdot t$ 내지 $0.65 \cdot t$, 또는 $0.4 \cdot t$ 내지 $0.6 \cdot t$, 또는 $0.45 \cdot t$ 내지 $0.55 \cdot t$ 의 범위일 수 있다.

[0288] 상기 기울기 범위는 제2 두께 범위 중 어느 하나와 조합될 수 있다. 따라서, 예를 들어, 하나 이상의 구체 예에서, 약 $0.035 \cdot t$ 및 $0.965 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-2\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $2\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 약 $0.025 \cdot t$ 및 $0.975 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-15\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $15\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 또 다른 구체 예에서, 약 $0.025 \cdot t$ 및 $0.975 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점들은, 약 $-2\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $2\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다. 하나 이상의 구체 예에서, 약 $0.02 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-15\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $15\text{MPa}/\mu\text{m}$, 또는 약 $-2\text{MPa}/\mu\text{m}$ 내지 약 $2\text{MPa}/\mu\text{m}$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

[0289] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 200MPa 내지 약 1100MPa 의 표면 CS를 포함한다. 또 다른 구체 예에서, 상기 표면 CS는, 약 300 , 350 , 400 , 450 , 500 , 550 , 600 , 610 , 620 , 650 , 700 , 750 초과, 및/또는 약 650 , 700 , 750 , 800 , 850 , 900 , 950 , 1000 또는 1100 미만이다.

[0290] 이 관점의 하나 이상의 구체 예에서 기재된 유리-계 물품은, 약 $0.1 \cdot t$ 내지 $0.25 \cdot t$, 또는 $0.3 \cdot t$ 범위의 DOC를 포함하는 응력 프로파일을 포함한다.

[0291] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 $0.5\text{mol}\%$ P_2O_5 및 $10\text{mol}\%$ P_2O_5 사이를 포함하는 조성물을 포함한다.

- [0292] 이 관점의 유리-계 물품의 응력 프로파일은, 단일 이온교환 단계를 통해 또는 둘 이상의 이온 교환 단계를 사용하여 얻어질 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 이온 교환 단계(들)는, 이전 관점에서 전술된 특색 중 어느 하나를 포함하거나 또는 혼입할 수 있다. 하나 이상의 구체 예에서, 제1 두께 범위는, 칼륨-함유 염에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0293] Li-함유 유리에 대한 단일-단계 이온-교환 공정에 관한 하나 이상의 구체 예에서, 주요 조절 파라미터는, 스파이크 CS의 상대적 크기 및 프로파일의 깊은 부분에서의 응력을 유도하는, Na 및 K 사이에 육조 농도비인 것으로 생각된다. 상기 상대적 크기에 미치는 영향이 적은 2차 파라미터는, 이온 교환 시간 및 온도이며, 이들 모두는, 프로파일에서 전체 응력 및 스파이크의 깊이에 대한 요건에 의해 영향을 받을 수 있다. 따라서, 하나 이상의 구체 예에 따르면, 여기에 기재된 응력 프로파일을 달성하기 위한 지속 기간 동안 Na 및 K 사이에 농도비를 변화시키는 것을 포함하는 단일 이온-교환 단계를 포함하는 방법은 제공된다.
- [0294] 둘 이상의 이온 교환 단계를 갖는 화학적 강화에 관련된 하나 이상의 구체 예에서, 이들 둘 이상 단계의 다른 Na/K 비 및 다른 상대 시간을 사용하여 프로파일 형상을 더욱 조정하는 것은 가능하다. 몇몇 구체 예에서, 프로파일의 꼬리 영역에 대하여 다양한 파워 계수는, $KNO_3/NaNO_3$ 비 및 이온 교환 시간을 조정하여 달성될 수 있다. 본 개시에 제공된 실험적 프로파일은, 프로파일의 깊은 영역의 형상에 대해 1 내지 3, 또는 1.7 내지 2.6의 범위에 속하는 파워 계수를 가질 수 있다. 더 낮은 파워 계수를 갖는 프로파일은, 일반적으로, 깊은 영역에서, 통상적으로 1MPa/micrometer 아래의 더 작은 기울기를 갖는 것으로 생각된다. 따라서, 하나 이상의 구체 예에 따르면, 여기에 기재된 응력 프로파일을 달성하기 위해 지속기간 동안 Na와 K 사이에 농도비를 변화시키는 것을 포함하는 둘 이상의 이온 교환 단계를 포함하는 방법은 제공된다.
- [0295] 본 개시의 또 다른 관점은, 중심 평면을 포함하는 유리-계 물품에 관한 것으로, 여기서, 상기 중심 평면은, 약 2 내지 약 20mol%의 Li_2O ; 0.1mm 내지 2mm의 범위에서 두께 (t)를 한정하는 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면; 및 상기 두께 (t)를 따라 확장되는 응력 프로파일을 포함하며, 여기서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함하고, 여기서, 응력 프로파일은, 약 200MPa 내지 약 1100MPa의 표면 CS를 포함하며, 및 여기서, 응력 프로파일은 약 $0.05 \cdot t$ 내지 $0.25 \cdot t$ 범위의 DOC를 포함한다. 전술된, 특히 전술한 관점과 관련된, 구체 예 중 어느 하나는, 이 관점에 적용될 수 있다. 다른 구체 예에서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0296] 하나 이상의 구체 예에서, 제1 두께 범위는 K-함유 염에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0297] 하나 이상의 구체 예에서, 제2 두께 범위는 Na- 또는 K-함유 염에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0298] 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일은, 단일 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0299] 하나 이상의 구체 예에서, 응력 프로파일은, 둘 이상의 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0300] 하나 이상의 구체 예에서, 표면 CS는 약 690MPa 내지 950MPa의 범위이다.
- [0301] 하나 이상의 구체 예에서, 상기 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 제곱 지수를 갖는 멱-법칙 프로파일을 형성하고, 여기서, 상기 제곱 지수는 약 1.2 내지 3.2이다. 몇몇 구체 예에서, 상기 제곱 지수는 약 1.3 내지 2.8이다.
- [0302] 하나 이상의 구체 예에서, 유리-계 물품은, 약 0.5mol% P_2O_5 내지 약 10mol% P_2O_5 를 포함하는 조성물을 포함한다.
- [0303] 하나 이상의 구체 예에서, 중심-평면은 약 0.5mol% 내지 약 20mol%의 Na_2O 를 포함하는 조성물을 더욱 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 중심-평면은, 약 2mol% 내지 약 10mol%의 Li_2O 를 포함하는 조성물을 더욱 포함한다. 몇몇 구체 예에서, 유리 물품의 중심 평면에서 Na_2O 의 농도는, 약 5mol% 내지 16mol%이다. 몇몇 구체 예에서, 유리 물품의 중심 평면에서 Na_2O 의 농도는, 약 10mol% 내지 15mol%이다. 몇몇 구체 예에서, 유리 물품의 중심 평면에서 Li_2O 의 농도는, 약 3mol% 내지 10mol%이다.

[0304] 여기에 기재된 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리-계 물품은, 특히 Li-계를 포함하는 유리-계 물품에 대해, 낙하 성능에 불이익 없이 개선된 수준의 내스크래치성을 제공한다. 여기에 기재된 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리-계 물품은, 30 그릿 및 180 그릿 샌드페이퍼 모두에서 입증된 바와 같이, 우수한 낙하 성능을 제공한다. 여기에 기재된 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리-계 물품은, 잘 깨지지 않은 처방을 제공하고, 및 유리의 파괴는, 아주 크면서 준-균일하다. 여기에 기재된 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리-계 물품은, 이온 교환 공정에 사용된 온도 및 조성물에 대해 허용 가능한 수준의 유리 형상 뒤틀림을 제공한다. 여기에 기재된 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리-계 물품은, 제조 공정에서 추가된 복잡성 없이 시행될 수 있는 응력 프로파일을 포함한다.

[0305] 하나 이상의 구체 예에서, 본 개시에 따른 유리에서 농도 프로파일은, 선형 확산 근사치 (linear diffusion approximation)를 사용하여 계산될 수 있는 상보 오차 함수-기반 프로파일 (complementary error function-based profiles)과 다르다는 것이 관찰되었다. 따라서, 여기에 기재된 하나 이상의 구체 예에 따른 유리는, 선형 확산 근사치를 사용하여 계산될 수 있는 상보 오차 함수-기반 프로파일을 나타내지 않는다.

[0306] 하나 이상의 구체 예에 따르면, 하나 이상의 구체 예에 따른 유리에서 Na/Li, K/(Na+Li) 역-확산 (counter-diffusion)을 설명하는데 사용될 수 있는 상호 확산율은, Li, Na, 및 K의 국지 농도 (local concentration)에 의존한다. 화학적으로 강화된 Li-함유 유리는 문헌에 기재되어 있다. 그러나, 문헌에 기재된 이러한 유리는, 응력 프로파일의 곡률에 대한 농도-의존 확산율의 영향을 간과하고, 및 이러한 유리는 선형 확산 근사치와 일치하는 프로파일 (즉, 2개의 세그먼트 프로파일의 호-형상 (erfc-shaped)의 얇은 및 깊은 분기 (branch))을 나타내어, 본 개시의 하나 이상의 구체 예의 유리 와 문헌에서의 유리와는 구별된다. 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따라 기재된 유리 와 문헌에서의 유리와의 또 다른 차이점은, 알려진 강화된 기관에서 강화 이온 종 (예를 들어, Na⁺ 또는 K⁺ 또는 이의 조합)의 확산이, 기관의 더 깊은 깊이, 또는 몇몇 경우에서, 기관의 중심 (즉, 약 0.4t 내지 약 0.6t의 범위)로 확장되지 않는다는 점이다. 게다가, 문헌은, 여기에 기재된 응력 프로파일을 결과하는 이온 교환 조건, 기관 두께, 및 유리 확산율의 조합을 개시하지 않는다. 특히, 문헌은 더 두꺼운 기관 (예를 들면, 2.5mm를 초과하는 두께를 갖는 기관)을 기재하고 있다. 특히, 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리 와 문헌에서 기재된 유리와의 이러한 차이는, 프로파일의 전체 형상에서 차이, 좀 더 구체적으로는, 하나 이상의 구체 예에 따른 역-법칙 근사치를 결과한다.

[0307] 실시 예

[0308] 다양한 구체 예는, 하기의 실시 예에 의해 더욱 명확해질 것이다. 실시 예에서, 강화되기 전에, 실시 예들은, "기관"으로 지칭된다. 강화에 적용된 후에, 실시 예들은, "물품" 또는 "유리-계 물품"으로 지칭된다.

[0309] 실시 예 1

[0310] 실시 예 1A-1G는, 약 63.46mol% SiO₂, 15.71mol% Al₂O₃, 6.37mol% Li₂O, 10.69mol% Na₂O, 0.06mol% MgO, 1.15mol% ZnO, 2.45mol% P₂O₅, 및 0.04mol% SnO₂의 공칭 조성물 (nominal composition)을 갖는 유리 기관을 포함한다. 유리 기관은 0.8mm의 두께를 갖는다. 실시 예 1A-1G의 유리 기관은, 표 2에 제공된 조건에 따라, 약 390°C의 온도를 가지며 및 100% NaNO₃를 포함하는 용융염 욕조에서 이온 교환된다. 그 결과로 생긴 유리-계 물품은, 도 5에서 이온 교환 시간의 함수에 따라 플롯된, 최대 CT 값을 나타낸다.

표 2

[0311] 실시 예 1A-1G에 대한 이온 교환 조건.

실시 예	욕조에 침지된 시간 (hours)	최대 CT
1A	0.5	30
1B	1	42
1C	1.5	52
1D	2	56
1E	3.75	67
1F	8	63
1G	16	55

[0312] 실시 예 1E에 대한 응력 프로파일은, 명칭이 "Systems and methods for measuring a profile characteristic

of a glass sample"인 미국 특허 제8,854,623호에 기재된 바와 같은, 굴절된 근접-장 (RNF) 측정법을 사용하여 측정되며, 상기 특허의 전체적인 내용은 참조로서 여기에 혼입된다. 도 6은, 실시 예 1E의 유리-계 물품의 표면으로부터 유리-계 물품 내로 확장되는 깊이의 함수에 따라 측정된 응력을 나타낸다. 특정 깊이에서 응력은, 무릎 응력을 포함하여, 표 3에 나타낸다. 도 6에서, 양수는 압축 응력에 대해 사용되고, 및 음수는 인장 응력을 가리킨다. 이 동일한 규칙 (압축 응력은 y 축 상에 양의 값으로 표시되고, 및 인장 응력은 y 축 상에 음의 값으로 표시됨)은, 도 1-3, 23, 및 36에 대해 또한 사용된다. 그러나, 나머지 도면들에서, 압축 응력은 y 축 상에 음의 값으로 표시되고 및 인장 응력은 y 축 상에 양의 값으로 표시된다.

표 3

실시 예 1E의 특정 깊이에서 응력.

[0313]

깊이 (micrometers)	응력 (MPa)
12 ("무릎")	161
50	95
100	36
150	0

[0314] 실시 예 2

[0315] 실시 예 2A는, 실시 예 1과 동일한 조성물 및 0.8mm의 두께를 갖는 유리 기판을 포함한다. 유리 기판은 51% KNO₃ 및 49% NaNO₃를 포함하고, 및 약 380°C의 온도를 갖는 단일 용융염 욕조에서 3.75시간 동안 이온교환된다. 그 결과로 생긴 유리-계 물품은, 표 4에 기재된 바와 같은 응력 프로파일을 나타낸다.

표 4

실시 예 2A의 응력 프로파일.

[0316]

표면 압축 응력	500MPa
갈륨에 대한 층의 깊이	12 micrometers
갈륨의 DOL에서 응력	161MPa
최대 CT	70MPa
DOC	150 micrometers

[0317] 실시 예 2A에 따른 유리-계 물품은, 여기에 기재된 대로 AROR 시험에 적용된다. 한 세트의 유리-계 물품은, 5psi의 하중 또는 압력을 사용하여 마모되고, 제2세트의 유리-계 물품은, 25psi의 하중 또는 압력을 사용하여 마모되며, 및 제3세트의 유리-계 물품은, 45psi의 하중 또는 압력을 사용하여 마모된다. AROR 데이터는 도 7에 나타낸다. 도 7에 나타낸 바와 같이, 실시 예 2A에 따른 모든 유리-계 물품은, 약 20kgf를 초과하는 파손에 대한 평균 하중을 나타낸다.

[0318] 실시 예 2A에 따른 유리-계 물품은, 동일한 휴대폰 장치상으로 새로이 장착된다. 상기 휴대폰 장치는, 180 그릿 샌드페이퍼 상으로 20 centimeters에서 시작하는 증분 높이로부터 낙하된다. 유리-계 물품이 한 높이 (예를 들어, 20cm)로부터 낙하되어 생존한다면 (즉, 파손되지 않는다면), 상기 휴대폰은, 다시 더 높은 높이 (예를 들어, 30cm, 40cm, 50cm, 등)로부터 225cm의 높이까지 낙하된다. 생존한 유리-계 물품은, 그 다음 (동일한 휴대폰 장치에서) 30 그릿 샌드페이퍼 상으로 낙하된다. 유리-계 물품이 180 그릿 샌드페이퍼 및 30 그릿 샌드페이퍼 모두에 대해 파손된 높이는, 도 8에 플롯된다. 도 8에 나타낸 바와 같이, 실시 예 2A의 2개의 유리-계 물품을 제외한 모든 물품은, 약 225cm의 높이까지 180 그릿 샌드페이퍼 상으로 낙하되어 생존한다 (약 216cm의 평균 생존 낙하 높이를 제곱함). 30 그릿 샌드페이퍼 상으로 평균 생존 낙하 높이는 66cm이고, 몇몇은 100cm를 넘는 낙하 높이에서 생존한다.

[0319] 실시 예 2A에 따른 유리-계 물품은, 약 480 mHz 내지 약 3000 mHz의 주파수 범위에 걸쳐 약 6.9 내지 약 7.05의 유전율 (dielectric constant)을 나타낸다. 실시 예 2A에 따른 유리-계 물품은, 약 480 mHz 내지 약 3000 mHz의 주파수 범위에 걸쳐 약 0.012 내지 약 0.015 범위의 유전 손실 탄젠트 (dielectric loss tangent)를 나타낸다.

[0320] 실시 예 2A에 따른 유리-계 물품의 굴절률은, 약 380nm 내지 약 1550nm의 범위에 걸쳐 약 1.158 내지 약 1.49의

범위이고, 및 약 380nm 내지 약 800nm의 파장 범위에 걸쳐 약 1.518 내지 약 1.497의 범위이다.

[0321] 실시 예 2A에 따른 유리-계 물품은, 표 5에 나타낸 바와 같은 다양한 화학 처리에 적용된다. 유리-계 물품의 화학적 내구성은 비교 예 2E, 2F 및 2G와 비교된다. 비교 예 2E는, 64.3mol% SiO₂, 7.02mol% B₂O₃, 14mol% Al₂O₃, 14mol% Na₂O, 0.5mol% K₂O, 0.03mol% Fe₂O₃, 및 0.1mol% SnO₂의 공칭 조성을 갖는 유리 기판이다. 비교 예 2F는, 64.75mol% SiO₂, 5mol% B₂O₃, 14mol% Al₂O₃, 13.75mol% Na₂O, 2.4mol% MgO, 및 0.08mol% SnO₂의 공칭 조성을 갖는 유리 기판이다. 비교 예 2G는, 57.5mol% SiO₂, 16.5mol% Al₂O₃, 16.71mol% Na₂O, 2.8mol% MgO 및 0.05mol% SnO₂의 공칭 조성을 갖는 유리 기판을 포함한다.

표 5

[0322] 실시 예 2A의 화학적 내구성.

화학적 처리	중량 손실 (mg/cm ²)			
	비교 예 2E	비교 예 2F	비교 예 2G	실시 예 2A
5% w/w HCl, 95°C, 24시간	29.3	6.7	50	5.77
5% w/w NaOH, 95°C, 6시간	2.8	2.4	5.8	2.68
10% HF, 실온, 20분	20.8	18.1	37.4	24.03
10% 중불화암모늄 (ABF), 실온, 20분	2	2.7	3.2	0.98

[0323] 실시 예 3

[0324] 실시 예 3A는, 실시 예 1과 동일한 조성물 및 0.8mm의 두께를 갖는 유리 기판을 포함한다. 비교 예 3B는 비교 예 2G와 동일한 조성물 및 0.8mm의 두께를 갖는 유리 기판을 포함한다. 실시 예 3A의 유리 기판은, 표 6에 기재된 바와 같이, 단일 욕조를 사용하는 단일 단계에서 화학적으로 강화된다. 비교 예 3B의 유리 기판은, 표 6에 기재된 바와 같이, 2-단계 공정으로 이온 교환된다.

표 6

[0325] 실시 예 3A 및 비교 예 3B에 대한 이온 교환 조건.

		실시 예 3A	비교 예 3B
1 st 단계	용융염 욕조 조성물	49% NaNO ₃ /51% KNO ₃	49% NaNO ₃ /51% KNO ₃
	욕조 온도	380°C	460°C
	침지 시간	3.75시간	14시간
2 nd 단계	용융염 욕조 조성물	-	99.5% KNO ₃ /0.5% NaNO ₃
	욕조 온도	-	390°C
	침지 시간	-	0.25시간
그 결과로 생긴 유리 물품의 특성	표면 CS	500MPa	825MPa
	갈륨의 DOL	12 micrometers	10 micrometers
	갈륨의 DOL에서 응력	160MPa	220MPa
	DOC	150 micrometers	100 micrometers

[0326] 실시 예 3A 및 비교 예 3B에 따른 유리-계 물품은, 동일한 휴대폰 장치상으로 새로이 장착된다. 상기 휴대폰 장치는 30 그릿 샌드페이퍼 상으로 20 centimeters에서 시작하는 증분 높이로부터 낙하된다. 유리-계 물품이 30 그릿 샌드페이퍼에 대해 파손된 높이는, 도 9에 플롯된다. 도 9에 나타낸 바와 같이, 실시 예 3A의 유리-계 물품은, 비교 예 3B의 평균 생존 낙하 높이 (즉, 38cm)를 2배를 초과 (즉, 91cm)하는 평균 생존 낙하 높이를 나타낸다.

[0327] 실시 예 3A 및 비교 예 3B에 따른 유리-계 물품은, 25psi의 하중 또는 압력을 사용하여, 여기에 기재된 바와 같이, AROR 시험에 적용된다. 실시 예 3A의 유리-계 기판은, 도 10에 나타낸 바와 같이, 약 30kgf의 파손에 대한 평균 하중을 나타내는 반면에, 비교 예 3B의 유리-계 기판은, 약 27kgf의 파손에 대한 평균 하중을 나타낸다. 마모 하중 또는 압력이 45psi로 증가된 경우, 실시 예 3A 및 비교 예 3B에 대한 파손에 대한 평균 하중에서 차이는 증가한다. 구체적으로, 45psi 하중 또는 압력하에서, 실시 예 3A는, 도 11에 나타낸 바와 같이, 약

25.9kgf의 파손에 대한 평균 하중을 나타내는 반면, 비교 예 3B는 약 19.6kgf의 파손에 대한 평균 하중을 나타낸다.

[0328] 실시 예 4

[0329] 57.5mol% SiO₂, 16.5mol% Al₂O₃, 16.7mol% Na₂O, 2.5mol% MgO, 및 6.5mol% P₂O₅의 공칭 조성물을 가지며, 및 약 0.4mm, 0.55mm, 또는 1mm의 두께를 갖는 유리 기관은, 화학적 강화에 적용된다. 화학적 강화의 조건 및 두께는 표 7에 나타낸다.

표 7

[0330] 실시 예 4A-4D에 대한 두께 및 화학적 강화 조건.

실시 예	두께	욕조 조성물	욕조 온도
4A	0.4mm	80% KNO ₃ , 20% NaNO ₃	430℃
4B	0.55mm	80% KNO ₃ , 20% NaNO ₃	430℃
4C	0.55mm	90% KNO ₃ , 10% NaNO ₃	430℃
4D	1.0mm	70% KNO ₃ , 30% NaNO ₃	430℃

[0331] 실시 예 4A는, 4시간, 8시간, 16시간, 32시간, 64시간 및 128시간 (실시 예 4A-1 내지 4A-6) 동안, 표 7에 나타낸 바와 같이, 용융염 욕조에 침지된다. 실시 예 4B는, 4시간, 8시간, 16시간, 32시간, 64시간 및 128시간 (실시 예 4B-1 내지 4B-6) 동안, 표 7에 나타낸 바와 같이, 용융염 욕조에 침지된다. 실시 예 4C는, 1시간, 2시간, 4시간, 8시간, 16시간 및 32시간 (실시 예 4C-1 내지 4C-6) 동안, 표 7에 나타낸 바와 같이, 용융염 욕조에 침지된다. 실시 예 4D는, 4시간, 8시간, 16시간, 32시간, 64시간 및 128시간 (실시 예 4D-1 내지 4D-6) 동안, 표 7에 나타낸 바와 같이, 용융염 욕조에 침지된다. 실시 예 4A-1 내지 4A-6, 실시 예 4B-1 내지 4B-6, 실시 예 4C-1 내지 4C-6, 및 실시 예 4D-1 내지 4D-6의 응력 프로파일은, 도 12, 14, 16 및 18에, 각각, 나타낸다. 도 12, 14, 16 및 18에서, 유리 물품의 깊이 또는 두께는, x-축 상에 플롯되고 및 응력은 y-축 상에 플롯된다. 양의 응력 값은 CT 값이며 및 음의 응력 값은 CS 값이다.

[0332] 실시 예 4A-1 내지 4A-6, 실시 예 4B-1 내지 4B-6, 실시 예 4C-1 내지 4C-6 및 실시 예 4D-1 내지 4D-6에 대한 용융염 욕소에서 침지된 시간의 함수에 따른 CT 및 DOC 값은, 각각, 도 13, 15, 17 및 19에 나타낸다.

[0333] 실시 예 5

[0334] 표 8에 나타낸 공칭 조성물을 가지며 및 약 0.8mm의 두께를 각각 갖는 유리 기관들은, NaNO₃ 및 NaSO₄의 혼합물을 포함하는 용융염 욕조 및 500℃의 온도에서 15분 (비교 예 5A) 및 16시간 (실시 예 5B) 동안 화학적 강화에 적용된다.

표 8

[0335] 화학적 강화 전에, 실시 예 5의 유리 기관의 조성물.

실시 예 ⇒ 산화물 [mole%]	5
SiO ₂	69.2
Al ₂ O ₃	12.6
B ₂ O ₃	1.8
Li ₂ O	7.7
Na ₂ O	0.4
MgO	2.9
ZnO	1.7
TiO ₂	3.5
SnO ₂	0.1

$[\text{Li}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}+\text{MgO}+\text{ZnO}+\text{K}_2\text{O}]$	$\frac{12.7}{14.4} = 0.88$
$[\text{Al}_2\text{O}_3+\text{B}_2\text{O}_3]$	
$[\text{TiO}_2+\text{SnO}_2]$	$\frac{2.6}{71} = 0.051$
$[\text{SiO}_2+\text{B}_2\text{O}_3]$	

[0336] 실시 예 5A 및 5B의 유리-계 물질의 응력 프로파일은, 도 20에 나타난다. 도 20에 나타난 바와 같이, 비교 예 5A는, 알려진 응력 프로파일을 나타내는 반면, 실시 예 5B는 본 개시의 하나 이상의 구체 예들에 따른 응력 프로파일을 나타낸다. 실시 예 5A 및 5B의 유리-계 물질의 저장된 인장 에너지는, 측정된 SCALP 응력 프로파일 데이터 및 상기 수학적 2를 사용하여 계산된다. 계산된 저장된 인장 에너지는, 도 21에 나타난 바와 같이, 측정된 CT (MPa)의 함수에 따라 플롯된다.

[0337] 도 21에 나타난 바와 같이, 비교 예 5A는, (동일한 CT 값에 대해) 실시 예 5B보다 주어진 CT 값에 대해 훨씬 더 큰 저장된 인장 에너지 값을 나타낸다. 이 도면에서, CT는 샘플에서 최대 CT이다. 구체적으로, 약 55MPa의 CT에서, 비교 예 5A는, 약 12J/m²의 저장된 인장 에너지를 나타내는 반면, 실시 예 5B는, 약 9J/m²의 저장된 인장 에너지를 나타낸다. 비교 예 5A 및 실시 예 5B는, 파단되었고, 실시 예 5B는, 상당히 많은 수의 조각으로 파단된 비교 예 5A보다, 더 적은 조각으로 파단된다. 따라서, 이론에 구애됨이 없이, 저장된 인장 에너지를 조절하는 것이, 파쇄 패턴 (fragmentation patterns) 또는 파단으로부터 결과하는 파편의 수를 조절하거나 또는 예측하는 방법을 제공할 수 있는 것으로 믿어진다. 이들 실시 예에서, CT는, 동일한 육조 온도 및 조성물을 사용하지만, 샘플을 더 긴 기간 동안 이온 교환 육조에 유지시켜 변화된다. 도 21에서, 지점 0,0은, 실험하지는 않았지만, 기술분야의 당업자는 그러한 경우를 예상할 것이다, 즉, CT가 0일 때, 저장된 인장 에너지는 0이 될 것이다.

[0338] 표 8에 나타난 바와 같은 공칭 조성물을 가지며 및 각각 약 1mm의 두께를 갖는 유리 기판은, 430℃의 온도 및 NaNO₃를 포함하는 용융염 육조에서 4시간 (비교 예 5C) 및 61.5시간 (실시 예 5D) 동안 화학적 강화에 적용된다. 비교 예 5C는, 알려진 응력 프로파일을 나타내는 반면, 실시 예 5D는 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 응력 프로파일을 나타낸다. 실시 예 5C 및 5D의 저장된 인장 에너지는, 실시 예 5A-5B에서 사용된 동일한 방법을 사용하여 계산되고 및 도 22에 나타난 바와 같이, 측정된 CT (MPa)의 함수에 따라 플롯된다.

[0339] 도 22에 나타난 바와 같이, 비교 예 5C는, (동일한 CT 값에 대해) 실시 예 5D보다 정해진 CT 값 (다시, 도 21에서와 같이, 이들은 최대 CT 값이며, 및 다시 상기 값들은, 동일한 이온 교환 육조 온도 및 조성물을 사용하지만, 더 긴 기간을 사용하여 변화됨)에 대해 훨씬 더 큰 저장된 인장 에너지 값을 나타낸다. 비교 예 5C 및 실시 예 5D는 파단되었고, 및 실시 예 5D는, 상당히 많은 수의 조각으로 파단된, 비교 예 5C보다 더 적은 조각으로 파단된다.

[0340] 실시 예 6

[0341] 실시 예 6A-6D는, 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따르며 및 기초가 되는 유리 내에 약 10mol% Na₂O 및 6mol% Li₂O를 갖는 유리 기판을 포함한다. 예를 들어, 공칭 조성물은, 약 63.46mol% SiO₂, 15.71mol% Al₂O₃, 6.37mol% Li₂O, 10.69mol% Na₂O, 0.06mol% MgO, 1.15mol% ZnO, 2.45mol% P₂O₅, 및 0.04mol% SnO₂를 갖는다. 유리 기판의 두께는 0.8mm이다. 실시 예 6A-6D의 유리 기판은, 표 9에 제공된 조건을 포함하는 용융염 육조에서 이온 교환되며, 여기서, "SIOX"는 단일 이온교환을 지칭하고, 및 "DIOX"는 이중 이온교환을 지칭한다.

[0342] 응력 프로파일에 대한 다른 시험들은, 유리 기판에서 실행되었다. 유리 기판은 기초가 되는 유리에서 Na 및 Li를 함유하는 조성물을 갖는다. Li에 대해 주로 Na 및 K와 같은, 하나 이상의 이온을 동시에 교환하는 것은 가능하다. 통상적으로, 유리의 조성물에서 Na와 같은 단지 하나의 자유 이온 (free ion)을 갖는 유리에서, 유리의 중심을 향하여 긴 꼬리 및 이의 표면에 스파이크를 갖는 프로파일을 달성하기 위해 다른 KNO₃/NaNO₃ 혼합물을 이용하는 2-단계 IOX 공정은 필요하다.

표 9

[0343] 실시 예 6에 대한 IOX 조건 및 그 결과로 생긴 특성.

파라미터	6A. SIOX 3.75 h/380℃ 51%K/49%Na	6B. SIOX 3.00 h/390℃ 80%K/20%Na	6C. SIOX 7.50 h/390℃ 80%K/20%Na	6D. DIOX 단계 1 3.60h/380℃ 15%K/85%Na	6D. DIOX 단계 2 0.50h/390℃ 95%K/5%Na
파워 계수	2.6	2.0	1.7	-	~2.2
CS 범위	>465	600-750	570-720	320-400 전통적인 FSM	780-950
무릎 응력 범위	127-160	80-110	60-90	-	115-150
DOL 스파이크 범위	11-12.4	12-15	20-24	9.5-11.2 전통적인 FSM	7.3-8.7

[0344] 표 9는 또한 다른 이온 교환 처방에 대하여 인접한 외부 표면에서 응력에 대한 측정법 (point-by point method) 이외에 프리즘 커플러 측정법 (FSM 기구)을 통한 파라미터 및 측정된 값을 나타낸다. 표 9에 표시된 파라미터는, 프로파일의 깊은 영역의 파워 계수, 표면 압축 응력 (CS), 스파이크가 깊은 꼬리에 연결되는 무릎에서 응력, 및 무릎이 발생하는 스파이크의 층의 깊이를 포함한다. 실시 예 6A-D로부터 알 수 있듯이, 스파이크의 DOL은, 약 $.01 \cdot t$ 내지 약 $.035 \cdot t$ (예를 들어, 약 $.015 \cdot t$, $.02 \cdot t$, $.025 \cdot t$, $.30 \cdot t$, 또는 $.35 \cdot t$, 및 이들 사이의 어느 하나 및 모든 서브범위), 즉, 800 micron 두께 샘플의 약 7.3 microns 내지 약 24 microns일 수 있다. 스파이크 DOL은 일반적으로 칼륨 DOL에 상응한다. Li-함유 유리에서, 단일 IOX 확산으로도, 응력 프로파일에서 스파이크 및 꼬리를 생성한다. 이것은, 다른 양의 Li, Na 및 K를 함유하는 유리가 다른 확산 속도에서 동시에 교환된다는 사실에 기인하는 것으로 생각된다. 실제 깊은 응력 프로파일과 맥-법칙 근사치 사이에 사소한 국소 편차, 뿐만 아니라 지점-대-지점 응력 프로파일 측정에서의 정밀한 한도 (precision limitations)에 기인하여, 모델 스파이크된 파워 프로파일의 무릎 응력과 스파이크의 버팀에서 실제 응력 사이에서 10-15MPa까지의 차이는 가능하다.

[0345] 도 23은, TE 및 TM 편광 (polarization)에서 측정 굴절률 계측법 (point by point refractive index metrology)을 통해 측정된 응력 프로파일을 나타낸다. 표면에서 응력은, 측정 기법의 해상도 한계로 인하여 상부 5 microns에서 불충분하게 표시되었음이 주목된다. 실제로 표면 응력 값들은, 여기에 나타난 것보다 더 높으며, 및 프리즘-커플링 기술에 의해 개별적으로 측정된다. 좀 더 완전한 범위의 속성은 표 9에 나타낸다. 단일 이온교환 (SIOX) 확산조차도, Li-함유 유리가 K 및 Na 모두 갖는 육조에 침지된 경우, 응력 프로파일에서 스파이크 및 꼬리를 생성한다는 점이 주목된다. 임의의 특정 이온에 구속되는 것을 원하지는 않지만, 이 스파이크 및 꼬리는, 유리가 다른 확산 속도에서 동시에 교환되는 다른 양의 Li, Na 및 K를 함유한다는 사실에 기인하는 것으로 생각된다.

[0346] 응력 프로파일의 실시 예들은, 도 23에서 관찰될 수 있다. 도면으로부터 알 수 있는 바와 같이, 실시 예 6A의 경우, 스파이크 영역은, 칼륨의 비선형 확산에 의해 얻어지는 반면, 프로파일의 꼬리는, Na 및 Li의 비-선형 확산에 의해 얻어진다. 이온 교환 육조 유래의 Na가 두께의 중심에 도달하지 않는 짧은 확산 시간에 대해서조차도, 이 경우에서 프로파일의 꼬리는, 실질적인 선형 확산에 오직 적용 가능한 상보 오차 함수에 의해 설명되지 않을 것이다.

[0347] 다시 도 23에서, TE 및 TM 편광에서 측정 굴절률 계측법을 통해 시험된 다양한 응력 프로파일에 대해 측정된 응력 프로파일을 관찰할 수 있다. 여기서, 표면에서 응력은, 스파이크 프로파일의 높은 기울기와 조합된 측정법의 제한된 해상도로 인해 불충분하게 표시된다. 실제로 표면 응력 값은, 이 도면에서 나타난 것보다 더 높을 수 있으며, 및 프리즘-커플링 (FSM-6000)을 사용하여 얻어진 모드 스펙트럼의 분석을 사용하여 개별적으로 측정된다. 단일 이온교환 확산이, 동시에 하나를 초과하는 이온의 확산으로 인해 응력 프로파일에서 스파이크 및 꼬리를 생성한다는 점에서 주목된다.

[0348] 도 24는, 기초가 되는 유리에서 약 10mol%의 Na₂O 및 6mol%의 Li₂O를 가지며 및 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리에서 3.75시간 동안 380℃에서 51wt% K/49wt% Na의 처방을 사용하여 확산된 K, Na 및 Li에 대해 측정된 정규화된 마이크로프로브 데이터 (6A)를 나타낸다. 도면에서 알 수 있듯이, 칼륨 확산은, 유리 표면 근처로 제한되어, 응력 프로파일에서 표면 피크를 생성한다. 그러나, Na 프로파일은, 유리의 중심까지, 매우 깊게 침투한다. 중심에서 Na 농도가 중심에서 만나는 내-확산된 Na의 두 개의 프로파일의 결과로서 실질적인 방식으로 증가하기 시작하면, Na 프로파일의 형상은, 맥-법칙에 적당히 잘 가까워질 가능성이 있고, 및 이 조건이 층

족되기 전의 형상과 실질적으로 다르다. 부가적으로, 압축의 깊이는, 안정되어, 부가적인 확산 시간에 대하여 매우 작게 변한다.

[0349] 도 24에서, 오직 Na 및 Li를 원래 함유하는 유리에서 3.75시간 동안 380°C에서 51wt% K/49wt% Na의 처방 (실시 예 6A)을 사용하는 이온 교환 확산 이후는, 제공된다. 칼륨이 응력 프로파일에서 표면 피크 (스파이크)를 발생하는 근-표면 영역에서 오직 확산되는 것을 알 수 있다. 그러나, Na 및 Li는, 유리의 중심에서 상대적으로 깊게 교환되어, 두께에 걸쳐서 실질적으로 만곡된 응력 프로파일을 발생한다. 본 발명자들은, 원하는 곡률의 프로파일이 얻어질 수 있고, 및 떡-법칙 모델을 사용하여 정량화될 수 있는, 이온 교환의 레짐을 얻었다.

[0350] 도 25는, 도면의 상부로부터 하부로 선형적으로 증가하는 0 Newtons 내지 4 Newtons의 램프 모드 (ramp mode)에 서 원뿔 각 (cone angle)으로 76.5도의 각도에서 30 micron 반경을 갖는 다이아몬드 팁으로 6A-6D에 대해 램프 된 스크래치 시험의 실시 예를 나타낸다.

[0351] 하기 표 10은, 도 25에 예시된 바와 같은 램프 스크래치 시험에 대해 광학 현미경으로 평가된 대로의 균열에 대하여 스크래치의 퍼센트를 나타낸다.

표 10

실시 예	30 μ m 코노구형 스크래치 (Conospherical Scratch) (0-4N 램프) # 균열을 나타내는 스크래치/스크래치의 총 #; (균열을 나타내는 스크래치%)
	6A
6B	1/3 (33%)
6C	2/4 (50%)
6D	1/3 (33%)

[0353] 표 11-18은, 현미경 평가를 통한 여러 검사에서 스크래치의 심각도의 순위를 나타낸다.

표 11

폭 (microns) = 스크래치 특성 문자
0-5 = A
6-10 = B
11-20 = C
21-40 = D
41-60 = E
61-80 = F

[0355]

표 12

램프된 스크래치 20micron 팁 76도			스코어	스코어
	6A	기준 유리	6A	기준 유리
시작	5	3	A	A
2N	10	9	B	B
4N	17	27	C	D
어디에서든 최대 폭	28	28	D	D

[0356]

표 13

NO ETC로 램프된 스크래치 30micron 팁 76도										
	6A	6B	6C	6D	기준 유리	6A	6B	6C	6D	기준 유리
시작	1	1	1	1	1	A	A	A	A	A
2N	5	5	5	5	5	A	A	A	A	A
4N	12	6	6	9	15	C	B	B	B	C
어디에서든 최대 폭	12	8	8	9	17	C	B	B	B	C

표 14

[0357]

ETC로 램프된 스크래치 30micron 팁 76도										
	6A	6B	6C	6D	기준 유리	6A	6B	6C	6D	기준 유리
시작	1	1	1	1	1	A	A	A	A	A
2N	4	4	4	4	5	A	A	A	A	A
4N	10	13	8	7	11	B	C	B	B	C
어디에서든 최대 폭	12	13	11	9	12	C	C	C	B	C

표 15

[0358]

ETC로 램프된 스크래치 50micron 팁 76도			스코어	스코어
	6A	기준 유리	6A	기준 유리
시작	6	6	A	A
2N	6	6	A	A
4N	6	6	A	A
어디에서든 최대 폭	6	6	A	A

표 16

[0359]

ETC로 램프된 스크래치 110도 0-2N										
	6A	6B	6C	6D	기준 유리	6A	6B	6C	6D	기준 유리
시작	15	16	14	12	16	C	C	C	C	C
1N	30	38	26	42	26	D	D	D	E	D
2N	53	100	83	36	55	E	F	F	D	E
어디에서든 최대 폭	193	193	83	166	55	F	F	F	F	E

표 17

[0360]

ETC로 램프된 스크래치 136도 0-2N										
	6A	6B	6C	6D	기준 유리	6A	6B	6C	6D	기준 유리
시작	10	26	25	3	10	B	D	D	A	B
1N	80	103	86	86	116	F	F	F	F	F
2N	93	74	56	226	133	F	F	E	F	F
어디에서든 최대 폭	198	123	132	226	200	F	F	F	F	F

표 18

[0361]

ETC로 램프된 스크래치 150도 0-2N										
	6A	6B	6C	6D	기준 유리	6A	6B	6C	6D	기준 유리
시작	12	12	12	11	11	C	C	C	C	C
1N	27	18	23	28	31	D	C	D	D	D
2N	27	28	23	30	31	D	D	D	D	D
어디에서든 최대 폭	27	28	24	30	31	D	D	D	D	D

[0362]

다른 응력 프로파일은, 특정 조건하에서 다른 수준의 스크래치 민감성 (susceptibility)을 나타낸다. 도 25에서, 30 micron 반경 및 76.5도의 지지-원뿔 각을 갖는 다이아몬드 팁으로 램프된 스크래치 시험의 하나의 실시 예는 주어진다. 적용된 스크래치 힘 (scratch force)은, 0 Newtons 내지 4 Newtons의 범위에 걸쳐 선형적으로 램핑된다. 여기서, 표 9의 실시 예 6A 처방과 비교하여, 스파이크 CS를 증가시키도록 변형된 실시 예 6B-6D 처방이, 더 좁고 및 덜 가시적인 스크래치 결함으로서 관찰 가능한 스크래치 성능에서 개선을 제공하는 것을 관찰할 수 있다. 각 처방에 대해 제시된 이미지는, 해당 처방에 대해 수행된 5개의 심각한 시도이다. 광학 현미

경으로 스크래치 성능의 관찰은, 스크래치 과정에서 발생된 폭에 의해 심각도를 구분할 경우, 몇 가지 잠재적인 경향을 드러낸다. 부가적으로, 균열을 나타내는 스크래치의 퍼센트는, 표 11-18에 나타난 바와 같이, 약간의 차이를 나타낸다. 무릎 응력은, 변경된 처방에서 표면 CS와 함께 변화된다는 점에서 주목된다. 임의의 특정 이론에 구속되는 것을 원하지는 않지만, 이 대표 스크래치 시험은, 표면에서 응력, 무릎의 위치, 및 무릎에서 응력, 및 가능한 프로파일의 지수의 조합이, 특정 타입의 스크래치 사진, 및 스크래치의 가시성에서 역할을 할 수 있음을 나타낸다. 다양한 스크래치 시험은, 도 23에 나타난 프로파일에 대해 시도되었고, 및 더 높은 CS를 위해 변형된 실시 예 6B-D는, 실시 예 6A와 비교했을 때, 스크래칭에 대한 평균보다 우수한 성능을 나타낸다.

[0363] 도 26은, 57.5mol% SiO₂, 16.5mol% Al₂O₃, 16.5mol% Na₂O, 2.8mol% MgO, 6.5mol% P₂O₅, 및 0.05mol% SnO₂의 공칭 값 (nominal value)을 갖는 기준 유리와 비교한 실시 예 6A-D에서 다른 조건으로부터 30 그릿 샌드페이퍼에서 샘플의 낙하 성능을 나타낸다. 실시 예 6A-D는 유사한 성능을 가지며 및 기준 유리와 비교하여 낙하 성능에서 개선되었음을 알 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 바람직한 응력 프로파일은, 거친 표면에 면-낙하 (face-drop)시에 내파단성이 있다. 도 26에서는, 최근에 시장에 출시된 제품의 커버 유리 중에서 이 시험에 대해 가장 내-파단성 프로파일을 가진 기준 유리와 비교한 본 발명의 유리에서 다른 조건으로부터 30 그릿의 샌드페이퍼 상에 샘플의 제어된 낙하 시험이 나타낸다. 큰 압축의 깊이 DOC>130 μ m 가진 모든 시험된 프로파일은, 이 시험에서 비슷한 성능을 나타내며, 및 기준 유리와 비교하여 낙하 성능에서 실질적인 개선이 있음을 알 수 있다. 이것은, 우리로 하여금, 스파이크 및 큰 DOC를 갖는 이러한 비선형-확산 곡선 프로파일이, 낙하 성능에서 상당한 개선, 및 몇몇 사례에서, 개선된 내스크래치성을 제공할 수 있음을 믿게 한다.

[0364] 실시 예 7

[0365] 실시 예 7A 및 비교 예 7B-7D는, NaNO₃ 및 KNO₃의 3개의 다른 혼합물을 사용하여, 64mol% SiO₂, 15mol% Al₂O₃, 2.4mol% B₂O₃, 9.2mol% Na₂O, 5.9mol% Li₂O, 1.2mol% ZnO, 2.5mol% P₂O₅, 0.05mol% SnO₂의 공칭 조성물을 가지며, 및 0.8mm의 두께를 갖는, 본 개시의 하나 이상의 구체 예에 따른 유리 기관을 포함한다. 실시 예 7A-7D의 유리 기관은, 표 19에 제공된 조건을 포함하는 용융염 욕조에서 이온 교환되며, 그 결과로 생긴 특성은 또한 표 19에 열거된다.

표 19

실시 예 7에 대한 IOX 조건 및 그 결과로 생긴 특성.

[0366]

파라미터	7A. DIOX 단계 1 4.0h, 380°C 70%Na/30%K	7A. DIOX 단계 2 40min, 380°C 7%Na/93%K	7B. SIOX 4.0h, 380°C 70%Na/30%K	7C. SIOX 3.5h, 390°C 40%Na/60%K	7D. SIOX 3.6 h, 390°C 28%Na/72%K
Na:K 몰 비	2.28	0.09	2.78	0.79	0.46
표면 CS	400MPa	800MPa	400MPa	550-570MPa	-
CS _k	160MPa	125MPa	160MPa	125MPa	다른 것보다 더 작음
DOL _{sp}	9.4 microns	8.7 microns	9.4 microns	8.7 microns	다른 것보다 더 큼
DOC	-	160 microns	160 microns	160 microns	대략 다른 것과 동일
CT	70MPa	50-55MPa	70MPa	-	-
도 36에서 곡선	-	2804	2801	2802	2803

[0367] 도 36은, 3개의 응력 프로파일, 즉, 비교 예 7B-D에 상응하고 및 RNF (굴절된 근거리-장 스캔)에 의해 측정된, 곡선들 (2801, 2802 및 2803)을 나타낸다. RNF의 제한된 해상도에 기인하여, 스파이크의 표면 CS는, 완전히 표시되지 않는다 (스파이크는, RNF 프로파일에서 둥글게 되고 및 실제 CS보다 더 낮은 최대 응력을 갖는다). 염 혼합물은, 70wt%, 40wt% 및 28wt%의 NaNO₃를 갖고, 질량의 나머지는 KNO₃이며, 염 오염물의 영향을 제거하기 위해 0.5wt% 이하의 규산을 갖는다. 이것은 각각 2.78, 0.79, 및 0.46의 염에서 Na:K 몰 비에 상응한다. 모든 3개의 프로파일은, 390°C에서 약 3.5 시간 이온교환 (곡선 2802), 또는 380°C에서 약 4시간 이온교환 (곡선 2801 및 2803)에 의해 얻어진, 안정한 DOC, 및 높은 CT의 레짐을 유도하는 이온-교환 조건을 사용하여 얻어진다. 도면으로부터 알 수 있듯이, Na:K 몰 비를 줄이면, 스파이크의 표면 CS에서 상당히 증가로 이어지지만, 이것은, 스파이크의 바닥에서 응력 CS_k의 상당한 손실, 그러므로, 스파이크를 넘어서는 압축 응력 구역의 상당한 손실

(표면으로부터 DOC까지, 특히 스파이크의 바닥으로부터 DOC까지의 압축 응력의 깊이 적분)을 희생시켜 달성된다. 도 36에서 제1 SIOX 프로파일 (70% NaNO₃, 곡선 2801)과 같은 응력 프로파일을 갖는 커버 유리를 구비한 휴대폰은, 거친 표면에 낙하된 경우, 심한 손상 도입 유래의 파단에 대한 양호한 내성을 가질 것이지만, (예를 들어, 이의 에지가 떨어지거나 또는 무딘 물체에 부딪친 경우) 상대적으로 낮은 표면 CS 때문에 에지 주변 또는 뒷면에 대한 얇은 흠들의 과응력에 인한 파손을 갖는 경향이 있을 수 있다. 제3 응력 프로파일 (28% NaNO₃, 곡선 2803)을 갖는 응력 프로파일을 갖는 커버 유리를 갖는 휴대폰은, 얇은 흠들의 상당한 과응력으로 인한 파단에 대한 우수한 내성을 가질 것이지만, 날카로운 접촉으로 인한 심한 손상 도입 유래의 파단에 대해서는 덜한 내성을 가질 것이다. 중간 프로파일 (40wt% NaNO₃, 곡선 2802)은, 파단의 2개의 주된 모드들 사이에서 절충안을 나타낼 것이다. 그러나, 제3 프로파일 (28% NaNO₃, 곡선 2803)보다 더 높은 CS를 갖는 스파이크를 갖는 것이 이로운 것이지만, 동시에, (예를 들어, 제1 프로파일, 곡선 2801, 70% NaNO₃와 유사한) 전체 압축 존에 걸쳐 유사한 압축 적분을 갖는다. >0.3 DOC의 깊이에서 압축 응력을 증가시키고, 및 DOC를 더욱 증가시키는 것이 더욱 이로운 것이다. 여기에 개시된 몇몇 구체 예에 따라 생성된, 곡선 (2804)은, 이들 목표를 달성한다.

[0368] 도 36은, 64mol% SiO₂, 15mol% Al₂O₃, 2.4mol% B₂O₃, 9.2mol% Na₂O, 5.9mol% Li₂O, 1.2mol% ZnO, 2.5mol% P₂O₅, 0.05mol% SnO₂의 공칭 조성물을 갖는 동일한 0.8mm-두께의 Corning Incorporated 유리에 대해, 3개의 SIOX 프로파일 (비교 예 7B-7D의 곡선들 (2801-2803))과 함께, 본 발명의 몇몇 구체 예에 따른 DIOX 응력 프로파일 (실시 예 7A의 곡선 2804)을 나타낸다. DIOX 프로파일은, 70wt% NaNO₃ 및 30wt% KNO₃ (Na:K 비가 2.78)를 갖는 염에서 380°C에서 4시간 동안 이온 교환하는 제1단계, 및 7wt% NaNO₃ 및 93wt% KNO₃ (Na:K 비가 약 0.09)를 갖는 염에서 380°C에서 40분 동안 이온 교환하는 제2단계에 의해 얻어진다. 알 수 있는 바와 같이, 제2 욕조에서 Na:K 비는, 제1 욕조에서보다 약 31배 낮고, 및 제2-욕조 유효 이온교환 시간은, 제1-단계 이온-교환 시간보다 약 6배 짧다. 제1단계는, K 농축 (enrichment)으로 인한 표면 스파이크를 발달시켜, 약 400MPa의 표면 CS 및 약 9.4 μ m의 DOL_{sp}를 갖는다. 제2단계는, 스파이크의 CS를 약 800MPa로 증가시키며, 및 또한 약 8.7 μ m의 유효 DOL_{sp}를 결과한다. 이 특정 실시 예에서 DOL_{sp}의 명백한 감소는, 단계 1 이후에 거의 선형 형상으로부터 단계 2 이후에 양의 곡률을 갖는 다소 만곡된 형상으로, 스파이크의 형상에서 변화로부터 유래하는 결과물인 점이 주목된다. 두 경우에서 DOL_{sp}가 선형 스파이크를 가정하여 계산되기 때문에, DOL_{sp}는, 단계 2 이후에 다소 더 작은 것으로 나타난다. 이는, 단계 2 동안 발생된 스파이크의 고-압축 부분이, 단계 1 이후에 스파이크의 원래 깊이보다 다소 더 얇다는 것을 주로 의미한다. 다른 실시 예들에서, 특히, 제2단계의 유효 확산 시간이 제1단계의 시간보다 단지 3-5배 더 짧은 경우, 및 단계 1로부터 단계 2로의 CS 변화가 덜 확연한 경우의, 더 얇은 유리 (예를 들어, 0.5mm)에서, 단계 2 이후에 유효 DOL_{sp}는, 유사하고 및 종종 제1-단계 DOL_{sp}의 것보다 약간 크다.

[0369] 샘플은 실시 예 7A에 따라 제조되고, 및 누프 스크래치 임계값 (Knoop Scratch Threshold: KST)은, 전술된 바와 같이 측정된다. KST는 10 초과 및 16 미만이다.

[0370] 더욱이, IBoS 시험은, 4.2g의 중량 및 10mm의 직경을 갖는 스테인레스 스틸 볼 및 30 그릿 비-적층된 샌드페이퍼로, 샘플에 대해 수행된다. IBoS 시험의 결과는, 도 37에 나타낸다. 특히, 생존한 평균 낙하 높이는 76cm이다. 60% (5개 중 3개)의 샘플은, 80cm가 넘는 낙하 높이에서 생존한다. 좀 더 구체적으로는, 강화된 유리 물품은, 유리의 표면과 샌드페이퍼 사이에 100 μ m의 공기 갭이 있는, 유리의 표면 위에 위치된 30 그릿 샌드페이퍼 상으로, 10mm의 직경을 갖는 4.2g의 스테인레스 스틸 볼로 약 80cm의 높이로부터 IBoS 시험에 적용된 경우, 적어도 60%의 생존율을 가지며, 여기서, 생존율은, 적어도 5개의 샘플을 시험한 결과이다.

[0371] 충격 임계값 시험은, 그 다음, 도 29 내지 35에 나타낸 바와 같은 장치로, 즉, 샘플의 주 표면뿐만 아니라, 그 에지 모두에 대해 수행된다. 결과는, 면 충격에 대해서는 도 38에서, 및 에지 충격에 대해서는 도 39에 나타낸다.

[0372] 좀 더 구체적으로는, 면 충격 시험의 경우, 180 그릿 샌드페이퍼는 사용되고, 및 등근 면으로 마감된 에지를 갖는 110mm x 56mm x 0.8mm 기관은, 도 34에 따라 0.4m 굽힘 반경으로 놓인다. 도 38에서 알 수 있는 바와 같이, 실시 예 7에 따른 샘플은, 200N 이상의 충격력, 예를 들어, 250N 이상, 300N 이상, 350N 이상, 400N 이상, 450N 이상, 500N 이상, 550N 이상, 600N 이상, 650N 이상, 700N 이상, 750N 이상, 800N 이상, 및 심지어 850N 이상의 충격력을 견딜 수 있다. 실제로, 실시 예 7A의 샘플은, 851N의 가장 높은 충격 하중에 도달하고, 파괴되지 않았다.

- [0373] 실시 예 7A의 샘플의 결과는, 도 38의 "비교"로 표시된 또 다른 유리와 비교되지만, 반드시 비교 예 7B-D와 비교되는 것은 아니다. 특히, 비교 샘플 세트는, 동일한 조성물 (약 65mol% SiO₂, 약 8mol% Al₂O₃, 약 12mol% Na₂O, 약 4mol% K₂O, 약 0.3mol% CaO, 약 10mol% MgO, 및 약 0.5mol% ZrO₂의 공칭 조성물) 및 두께 (0.8mm)의 상업적으로 이용 가능한 알칼리 알루미늄실리케이트 유리 (Asahi Glass Company에 의해 제작된, Dragontrail® Glass)로 이루어진다. 비교 샘플 세트의 유리는, 층의 압축 깊이 (DOL)가 24 μ m이고 및 표면 압축 응력 (CS)이 804MPa가 되도록 이온 교환된다. 대조적으로, 비교 세트에서 샘플은, 단지 약 152N의 평균 충격력에 도달하였으며, 200N 이상의 충격력에서 10개 중 3개 (또는 30%)의 샘플만이 생존했다. 따라서, 본 개시에 따른, 특히 실시 예 7에 따라 강화된 유리는, 낙하가 발생할 가능성이 있는, 이동 장치에 사용하는데 매우 적합하다.
- [0374] 다음으로, 실시 예 7A에 따른 샘플은, 유리 에지가 날카로운 접촉에 의해 충격받을 때, 생존력을 평가하기 위해 도 35의 구성으로 시험된다. 그 결과는 도 39에 나타낸다. 실시 예 7A의 유리에 대해 표시된 화살표는, 유리 파단의 시작이 관찰된 경우, 충격력 (N) 또는 충격 에너지 (J)를 강조하는 것으로, 더 높은 값은 개선된 성능으로 해석된다. 실시 예 7A의 샘플의 경우에서, 시험된 모든 샘플은, 1.28J 조건에서 생존했으나, 그 다음 모두 1.58J에서 파단된다. 이 플롯을 발생하는데 사용된 모든 샘플은, 이온 교환되고, 2.5D 기하학 구조를 가지며; 중심에서 ~0.8mm 두께 및 에지에서 ~0.3mm를 갖는다. 따라서, 몇몇 구체 예에 따르면, 실시 예 7A에 따라 제조된 유리-계 물품은, 400N 이상 (예를 들어, 450N)의 에지 충격력, 또는 1.28J 이상의 충격 에너지를 견딜 수 있다.
- [0375] 기술분야의 당업자에게는, 본 개시의 사상 또는 범주를 벗어나지 않고, 다양한 변경 및 변화가 이루어질 수 있음이 명백할 것이다.
- [0376] 예를 들어, 여기에 개시된 유리-계 물품은, 디스플레이를 갖는 물품 (또는 디스플레이 물품) (예를 들어, 휴대폰, 테블릿, 컴퓨터, 네비게이션 시스템, 착용 식 장치 (예를 들어, 시계) 및 이와 유사한 것), 건축용 물품, 수송용 물품 (예를 들어, 자동차, 기차, 항공기, 해상 선박, 등), 가전기구 물품, 또는 약간의 투명성, 내-스크래치성, 내마모성 또는 이들의 조합으로부터 이로울 수 있는 임의의 물품과 같은 또 다른 물품으로 혼입될 수 있다. 여기에 개시된 유리-계 물품 중 어느 하나를 혼입하는 대표적인 물품은, 도 40a 및 도 40b에 나타낸다. 구체적으로, 도 40a 및 도 40b는, 전면 (4104), 후면 (4106), 및 측면 (4108)을 갖는 하우징 (4102); 상기 하우징 내부에 적어도 부분적으로 또는 전체에 있고 및 적어도 컨트롤러, 메모리, 및 상기 하우징의 전면에 또는 그에 인접하여 디스플레이 (4110)를 포함하는 전기 구성요소들 (미도시); 및 디스플레이 위에 있도록 하우징의 전면에 또는 그 위에 커버 기판 (4112)을 포함하는 소비자 전자 장치 (4100)를 나타낸다. 몇몇 구체 예에서, 커버 기판 (4112)은, 여기에 개시된 유리-계 물품 중 어느 하나를 포함할 수 있다. 몇몇 구체 예에서, 하우징 또는 커버 유리의 일부 중 적어도 하나는, 여기에 개시된 유리-계 물품을 포함한다.
- [0377] 부가적으로, 예를 들어, 다양한 특색들은 다음의 대표적인 구체 예들에 따라 조합될 수 있다.
- [0378] 구체 예 1. 유리-계 물품으로서, 상기 유리-계 물품은:
- [0379] 0.1mm 내지 2mm 범위의 두께 (t)를 한정하는 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면; 및
- [0380] 상기 두께 (t)를 따라 확장되는 응력 프로파일을 포함하며,
- [0381] 여기서, 약 0·t 내지 0.020·t 및 0.98·t를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함하고,
- [0382] 여기서, 약 0.035·t 내지 0.965·t 미만의 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -15MPa/micrometer 내지 약 15MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함하며,
- [0383] 여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 200MPa 내지 약 1100MPa의 표면 CS를 포함하고, 및
- [0384] 여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 0.1 t 내지 0.25·t 범위의 DOC를 포함한다.
- [0385] 구체 예 2. 구체 예 1의 유리-계 물품에서, 상기 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -2MPa/micrometer 내지 약 2MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0386] 구체 예 3. 구체 예 1의 유리-계 물품에서, 상기 제2 두께 범위는, 0.025·t 내지 0.035·t, 및 0.965·t 내지 0.975·t로 확장되고, 및 상기 제2 두께 범위의 확장에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -15MPa/micrometer

내지 약 15MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.

- [0387] 구체 예 4. 구체 예 3의 유리-계 물품에서, 상기 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -2MPa/micrometer 내지 약 2MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0388] 구체 예 5. 구체 예 1 또는 구체 예 3의 유리-계 물품에서, 상기 제2 두께 범위는, $0.02 \cdot t$ 내지 $0.025 \cdot t$ 및 $0.975 \cdot t$ 내지 $0.98 \cdot t$ 로 더욱 확장되고, 상기 더욱 확장된 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -15MPa/micrometer 내지 약 15MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0389] 구체 예 6. 구체 예 5의 유리-계 물품에서, 상기 더욱 확장된 제2 두께 범위에서 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 -2MPa/micrometer 내지 약 2MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0390] 구체 예 7. 구체 예 1-6 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 제2 두께 범위에서 응력 프로파일은, 제곱 지수를 갖는 멱-법칙 프로파일을 형성하고, 여기서, 상기 제곱 지수는 약 1.2 내지 3.2이다.
- [0391] 구체 예 8. 구체 예 7의 유리-계 물품에서, 상기 제곱 지수는 약 1.3 내지 2.8이다.
- [0392] 구체 예 9. 구체 예 1-8 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 표면 CS는, 약 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 610, 620MPa 내지 약 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000 또는 1100MPa이다.
- [0393] 구체 예 10. 구체 예 1-9 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0394] 구체 예 11. 구체 예 10의 유리-계 물품에서, 상기 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -140MPa/micrometer 내지 약 -35MPa/micrometer 또는 약 35MPa/micrometer 내지 약 140MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0395] 구체 예 12. 구체 예 1의 유리-계 물품에서, 상기 제1 두께 범위는, 약 $0.02 \cdot t$ 내지 $0.025 \cdot t$ 및 $0.975 \cdot t$ 초과 내지 $0.98 \cdot t$ 로 확장되고, 및 상기 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0396] 구체 예 13. 구체 예 12의 유리-계 물품에서, 상기 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0397] 구체 예 14. 구체 예 13의 유리-계 물품에서, 상기 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -140MPa/micrometer 내지 약 -35MPa/micrometer 또는 약 35MPa/micrometer 내지 약 140MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0398] 구체 예 15. 구체 예 1 또는 구체 예 12-14 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 제1 두께 범위는, $0.025 \cdot t$ 내지 $0.035 \cdot t$ 및 $0.965 \cdot t$ 초과 내지 $0.975 \cdot t$ 로 더욱 확장되고, 및 상기 더욱 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -200MPa/micrometer 내지 약 -25MPa/micrometer 또는 약 25MPa/micrometer 내지 약 200MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0399] 구체 예 16. 구체 예 15의 유리-계 물품에서, 상기 더욱 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -170MPa/micrometer 내지 약 -30MPa/micrometer 또는 약 30MPa/micrometer 내지 약 170MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0400] 구체 예 17. 구체 예 16의 유리-계 물품에서, 상기 더욱 확장된 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 -140MPa/micrometer 내지 약 -35MPa/micrometer 또는 약 35MPa/micrometer 내지 약 140MPa/micrometer의 기울기를 갖는 접선을 포함한다.
- [0401] 구체 예 18. 구체 예 1-17 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 제1 두께 범위는, 칼륨-함유 염에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0402] 구체 예 19. 구체 예 1-18 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 제2 두께 범위는, Na-함유 염에서 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0403] 구체 예 20. 구체 예 1-19 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 응력 프로파일은, 단일 이온-교환 단계를 사

용하여 얻어진다.

- [0404] 구체 예 21. 구체 예 1-19 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 응력 프로파일은, 둘 이상의 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0405] 구체 예 22. 구체 예 1-21 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 표면 CS는, 약 690MPa 내지 950MPa이다.
- [0406] 구체 예 23. 구체 예 1-22 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 유리-계 물품은, 약 0.5mol% 내지 약 10mol%의 P_2O_5 를 포함하는 조성물을 포함한다.
- [0407] 구체 예 24. 유리-계 물품으로서, 상기 유리-계 물품은:
- [0408] 약 2 내지 약 20mol%의 Li_2O 를 포함하는, 중심 평면; 및
- [0409] 두께 (t)를 따라 확장되는 응력 프로파일을 포함하며,
- [0410] 여기서, 약 $0 \cdot t$ 내지 $0.020 \cdot t$ 및 $0.98 \cdot t$ 를 초과하는 제1 두께 범위에서 응력 프로파일의 적어도 하나의 지점은, 약 $-200MPa/micrometer$ 내지 약 $-25MPa/micrometer$ 또는 약 $25MPa/micrometer$ 내지 약 $200MPa/micrometer$ 의 기울기를 갖는 접선을 포함하고,
- [0411] 여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 200MPa 내지 약 1100MPa의 표면 CS를 포함하며, 및
- [0412] 여기서, 상기 응력 프로파일은, 약 $0.05 \cdot t$ 내지 $0.25 \cdot t$ 범위의 DOC를 포함한다.
- [0413] 구체 예 25. 구체 예 24의 유리-계 물품에서, 상기 제1 두께 범위는 칼륨-함유 염에서의 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0414] 구체 예 26. 구체 예 24의 유리-계 물품에서, 상기 제2 두께 범위는, Na- 또는 K-함유 염의 이온 교환에 의해 얻어진다.
- [0415] 구체 예 27. 구체 예 24-26 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 응력 프로파일은, 단일 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0416] 구체 예 28. 구체 예 24-26 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 응력 프로파일은, 둘 이상의 이온-교환 단계를 사용하여 얻어진다.
- [0417] 구체 예 29. 구체 예 24-28 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 표면 CS는, 약 690MPa 내지 950MPa의 범위이다.
- [0418] 구체 예 30. 구체 예 24-29 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 제2 두께 범위에서 응력 프로파일은, 제공 지수를 갖는 딱-법칙 프로파일을 형성하고, 상기 제공 지수는 약 1.2 내지 3.4이다.
- [0419] 구체 예 31. 구체 예 30의 유리-계 물품에서, 상기 제공 지수는, 약 1.3 내지 2.8이다.
- [0420] 구체 예 32. 구체 예 24-31 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 유리-계 물품은, 약 0.5mol% 내지 약 10mol%의 P_2O_5 를 포함하는 조성물을 포함한다.
- [0421] 구체 예 33. 구체 예 24-32 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 중심-평면은, 약 0.5mol% 내지 약 20mol%의 Na_2O 를 포함하는 조성물을 더욱 포함한다.
- [0422] 구체 예 34. 구체 예 24-33 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 중심-평면은 약 2mol% 내지 약 10mol%의 Li_2O 를 포함하는 조성물을 더욱 포함한다.
- [0423] 구체 예 35. 구체 예 33 또는 구체 예 34의 유리-계 물품에서, 상기 유리 물품의 중심 평면에서 Na_2O 농도는, 약 5mol% 내지 약 16mol%이다.
- [0424] 구체 예 36. 구체 예 33 또는 구체 예 34의 유리-계 물품에서, 상기 유리 물품의 중심 평면에서 Na_2O 의 농도는, 약 10mol% 내지 15mol%이다.
- [0425] 구체 예 37. 구체 예 36의 유리-계 물품에서, 상기 유리 물품의 중심 평면에서 Li_2O 의 농도는, 약 3mol% 내지 10mol%이다.

- [0426] 구체 예 38. 구체 예 24-37 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 응력 프로파일은, $0 \cdot t$ 내지 $0.3 \cdot t$ 의 두께에 걸쳐, 최소 기울기를 포함하는 접선 및 최대 기울기를 포함하는 접선을 더욱 포함하며, 상기 최대 기울기와 최소 기울기 사이에 차이는, micrometers당 3.5MPa 이하이다.
- [0427] 구체 예 39. 구체 예 24-38 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.3 \cdot t$ 및 $0.7 \cdot t$ 를 초과하는 두께 사이에 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 미만이거나, 또는 약 $0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 를 초과하는 접선을 포함한다.
- [0428] 구체 예 40. 구체 예 24-39 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 유리-계 물품은, 제1 두께 범위에 걸쳐 확장되는 칼륨 DOL을 더욱 포함한다.
- [0429] 구체 예 41. 구체 예 24-40 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 유리-계 물품은, 0.1mm 내지 2mm 범위의 두께 (t)를 한정하는, 제1표면 및 상기 제1표면에 대립하는 제2표면을 더욱 포함한다.
- [0430] 구체 예 42. 구체 예 1-23 중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 응력 프로파일은, $0 \cdot t$ 내지 $0.3 \cdot t$ 의 두께에 걸쳐, 최소 기울기를 포함하는 접선 및 최대 기울기를 포함하는 접선을 더욱 포함하며, 상기 최대 기울기와 최소 기울기 사이에 차이는, micrometers당 3.5MPa 이하이다.
- [0431] 구체 예 43. 구체 예 1-23, 또는 42중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 약 $0 \cdot t$ 내지 약 $0.3 \cdot t$ 및 약 $0.7 \cdot t$ 를 초과하는 두께 사이에 응력 프로파일의 모든 지점은, 약 $-0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 미만이거나, 또는 약 $0.1\text{MPa}/\text{micrometer}$ 를 초과하는 접선을 포함한다.
- [0432] 구체 예 44. 구체 예 1-23, 또는 42-43중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 유리-계 물품은, 상기 제1 두께 범위에 걸쳐 확장되는 칼륨 DOL을 더욱 포함한다.
- [0433] 구체 예 45. 구체 예 1-23, 또는 41-44중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 유리-계 물품은, 상기 제1표면으로부터 상기 제1표면과 제2표면 사이에 지점에서의 값으로 감소하고 및 상기 값으로부터 상기 제2표면으로 증가하는 금속 산화물의 농도를 더욱 포함한다.
- [0434] 구체 예 46. 제1 주 표면, 제2 주 표면, 상기 제1 및 제2 주 표면 사이에서 수직으로 확장되는 평균 두께 t , 및 상기 제1 및 제2 주 표면 사이에서 확장되는 에지를 포함하는 유리-계 기판을 화학적으로 강화시키는 방법으로 서, 상기 방법은:
- [0435] 상기 유리-계 기판을 나트륨 및 칼륨 이온의 혼합물을 포함하는 제1 욕조에서 제1시간의 기간 동안 유지시켜 제1 IOX 단계를 수행하는 단계;
- [0436] 상기 제1 IOX 단계 후에, 상기 유리-계 기판에, CS 영역 및 CT 영역을 갖는 응력 프로파일을 형성하기 위해, 상기 유리-계 기판을 나트륨 및 칼륨 이온의 혼합물을 포함하는 제2 욕조에서 제2시간의 기간 동안 유지시켜 제2 IOX 단계를 수행하는 단계를 포함하고;
- [0437] 상기 제2 욕조는, 제1 욕조의 Na:K 몰 비보다 3-10배 작은 Na:K의 몰 비를 갖는다.
- [0438] 구체 예 47. 구체 예 46의 방법에서, 상기 이온교환의 단계들 모두는, Na-함유 염 및 K-함유 염 모두를 포함하는 욕조에서 완성되고, 여기서, 상기 제1 욕조에서 Na 이온 대 K 이온의 비는, (i) 제2 욕조에서 Na 이온 대 K 이온의 비보다 2.5배 이상 높거나; (ii) 3배 이상 높거나; (iii) 5배 이상 높거나; 또는 (iv) 8배 이상 높은 것 중 하나; 및 (i) 800배 이하로 높거나; (ii) 600배 이하로 높거나; (iii) 500배 이하로 높거나; 및 (iv) 400배 이하로 높은 것 중 하나이다.
- [0439] 구체 예 48. 구체 예 46-47중 어느 하나의 방법에서, 상기 제2 욕조는, (i) 0.03 이상; (ii) 0.04 이상; (iii) 0.047 이상; (iv) 0.06 이상; 및 (v) 0.07 이상 중 하나, 및 (i) 0.4 이하; (ii) 0.35 이하; (ii) 0.30 이하; (iii) 0.21 이하; (iv) 0.16 이하; 또는 (v) 0.13 이하 중 하나인, K에 대한 Na의 몰 비를 갖는다.
- [0440] 구체 예 49. 구체 예 46-48중 어느 하나의 방법에서, 상기 제2 IOX 단계의 유효 확산 시간은, 상기 제1단계의 $1/20$ 내지 $1/2$, (ii) 상기 제1단계의 $1/20$ 내지 $1/3$; 및 (iii) 상기 제1단계의 $1/20$ 내지 $1/4$ 중 하나이다.
- [0441] 구체 예 50. 구체 예 46-49중 어느 하나의 방법에서, 상기 제2 IOX 단계 후에 상기 유리-계 기판의 표면 CS는, (i) 600MPa 이상, (ii) 650MPa 이상; (iii) 700MPa 이상; (iv) 750MPa 이상; (v) 800MPa 이상; (vi) 850MPa 이상 중 하나이다.
- [0442] 구체 예 51. 구체 예 46-50중 어느 하나의 방법에서, DOL_{sp} 는: (i) 두께가 1 내지 1.3mm일 때, 두께의 0.5 내지

1.5%이고; (ii) 두께가 0.8 내지 1mm일 때, 두께의 0.6 내지 2%이며; (iii) 두께가 0.65 내지 0.8mm일 때, 두께의 0.7 내지 2.5%이고; (iv) 두께가 0.5 내지 0.65mm인 경우, 두께의 0.9 내지 3%이며; 및 (v) 두께가 0.3 내지 0.5mm인 경우, 두께의 1 내지 3%이다.

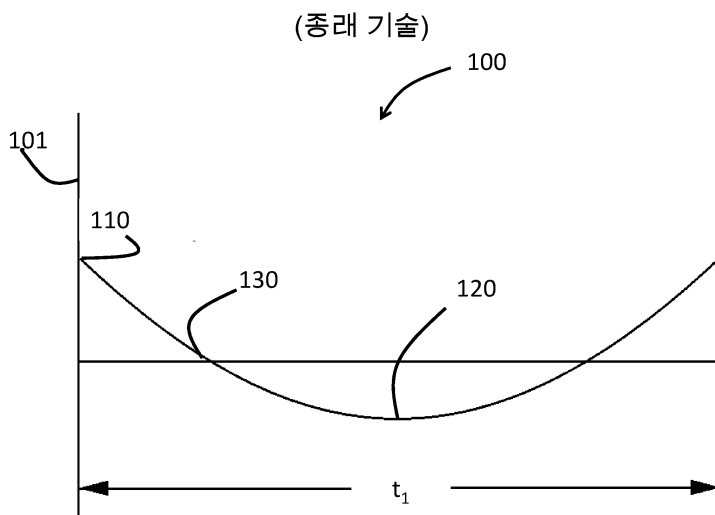
- [0443] 구체 예 52. 구체 예 46-51중 어느 하나의 방법에서, DOC는, (i) 0.1t 이상; (ii) 0.15t 이상; (iii) 0.2t 이상 중 하나이다.
- [0444] 구체 예 53. 구체 예 46-52중 어느 하나의 방법에서, 상기 CT 영역에서 응력 프로파일은, 제곱 지수를 갖는 멱-법칙 프로파일을 포함하며, 여기서, 상기 제곱 지수는, 약 1 내지 3.4, (ii) 1.2 내지 3.0; 및 (iii) 1.7 내지 2.6 중 하나이다.
- [0445] 구체 예 54. 구체 예 46-53중 어느 하나의 방법에서, 상기 강화된 유리-계 기관의 누프 스크래치 임계값은 10N을 초과한다.
- [0446] 구체 예 55. 구체 예 54의 방법에서, 상기 강화된 유리-계 기관의 누프 스크래치 임계값은 16N 미만이다.
- [0447] 구체 예 56. 구체 예 46-55중 어느 하나의 방법에서, 상기 강화된 유리-계 기관은, 샌드페이퍼와 유리의 표면 사이에 100 μ m의 에어 갭이 있도록, 상기 유리의 표면 위에 위치된 30 그릿 샌드페이퍼 상으로 약 80cm의 높이로부터 10mm의 직경을 갖는 4.2g의 스테인레스 스틸 볼을 이용하는 역 볼 낙하 시험에 적용된 경우, 적어도 60% 생존율을 가지며, 여기서, 상기 생존율은, 적어도 5개의 샘플에 대한 시험에 기초한다.
- [0448] 구체 예 57. 구체 예 46-56중 어느 하나의 방법에서, 상기 강화된 유리-계 기관은, 180 그릿 연마제를 이용하는 표면 충격 임계값 시험에 따라 (i) 200N 이상; (ii) 250N 이상; (iii) 300N 이상; (iv) 350N 이상; (v) 400N 이상; (vi) 450N 이상; (vii) 500N 이상; (viii) 550N 이상; (ix) 600N 이상; (x) 650N 이상; (xi) 700N 이상; (xii) 750N 이상; (xiii) 800N 이상; (xiv) 850N 이상 중 하나의 힘으로 제1 및 제2 주 표면 중 하나에 충격을 가했을 때, (i) 60% 이상; (ii) 70% 이상; (iii) 80% 이상; (iv) 90% 이상; (v) 100% 이하 중 하나의 생존율을 갖는다.
- [0449] 구체 예 58. 구체 예 57의 방법에서, 상기 강화된 유리-계 기관은, 180 그릿 연마제를 이용하는 표면 충격 임계값 시험에 따라 900N 이하의 힘으로 제1 및 제2 주 표면 중 하나에 충격을 가했을 때, 100% 이하의 생존율을 갖는다.
- [0450] 구체 예 59. 구체 예 46-56중 어느 하나의 방법에서, 상기 강화된 유리-계 기관은: (i) 300N 초과; (ii) 400N 이상; (iii) 450N 이상의 에지-충격, 또는 (i) 0.68J 초과; (ii) 0.97 J 이상; (iii) 1.28J 이상의 에지-충격을 견딜 수 있다.
- [0451] 구체 예 60. 구체 예 59의 방법에서, 상기 강화된 유리-계 기관은, 500N 미만의 에지-충격, 또는 1.58J 미만의 에지-충격을 견딜 수 있다.
- [0452] 구체 예 61. 구체 예 1-45중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 강화된 유리-계 기관의 누프 스크래치 임계값은 10N을 초과한다.
- [0453] 구체 예 62. 구체 예 61의 유리-계 물품에서, 상기 강화된 유리-계 기관의 누프 스크래치 임계값은 16N 미만이다.
- [0454] 구체 예 63. 구체 예 1-45중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 강화된 유리-계 기관은, 샌드페이퍼와 유리의 표면 사이에 100 μ m의 에어 갭이 있도록, 상기 유리의 표면 위에 위치된 30 그릿 샌드페이퍼 상으로 약 80cm의 높이로부터 10mm의 직경을 갖는 4.2g의 스테인레스 스틸 볼을 이용하는 역 볼 낙하 시험에 적용된 경우, 적어도 60% 생존율을 가지며, 여기서, 상기 생존율은, 적어도 5개의 샘플에 대한 시험에 기초한다.
- [0455] 구체 예 64. 구체 예 1-45중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 강화된 유리-계 기관은, 180 그릿 연마제를 이용하는 표면 충격 임계값 시험에 따라, (i) 200N 이상; (ii) 250N 이상; (iii) 300N 이상; (iv) 350N 이상; (v) 400N 이상; (vi) 450N 이상; (vii) 500N 이상; (viii) 550N 이상; (ix) 600N 이상; (x) 650N 이상; (xi) 700N 이상; (xii) 750N 이상; (xiii) 800N 이상; (xiv) 850N 이상 중 하나의 힘으로 제1 및 제2 주 표면 중 하나에 충격을 가했을 때, (i) 60% 이상; (ii) 70% 이상; (iii) 80% 이상; (iv) 90% 이상; (v) 100% 이하 중 하나의 생존율을 갖는다.
- [0456] 구체 예 65. 구체 예 64의 유리-계 물품에서, 상기 강화된 유리-계 기관은, 180 그릿 연마제를 이용하는 표면 충격 임계값 시험에 따라 900N 이하의 힘으로 제1 및 제2 주 표면 중 하나에 충격을 가했을 때, 100% 이하의 생

존율을 갖는다.

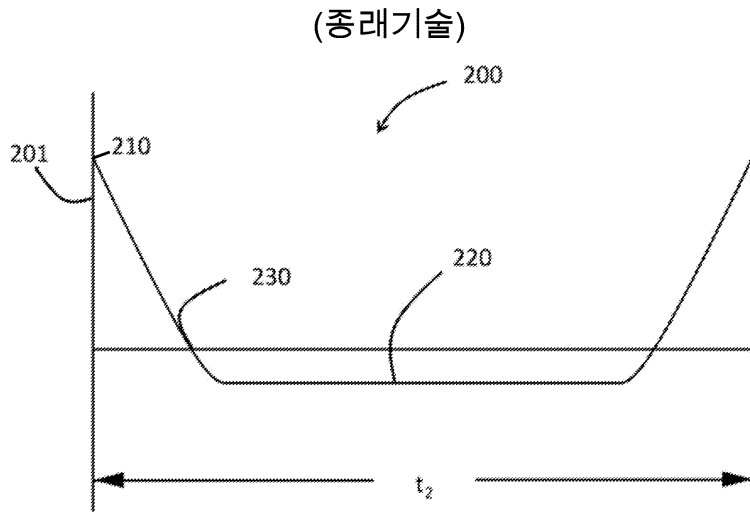
- [0457] 구체 예 66. 구체 예 1-45중 어느 하나의 유리-계 물품에서, 상기 강화된 유리-계 기관은: (i) 300N 초과; (ii) 400N 이상; (iii) 450N 이상의 에지-충격, 또는 (i) 0.68J 초과; (ii) 0.97 J 이상; (iii) 1.28J 이상의 에지-충격을 견딜 수 있다.
- [0458] 구체 예 67. 구체 예 66의 유리-계 물품에서, 상기 강화된 유리-계 기관은, 500 N 미만의 에지-충격 또는 1.58 J 미만의 에지-충격을 견딜 수 있다.
- [0459] 구체 예 68. 소비자용 전자 물품으로서, 상기 소비자용 전자 물품은:
- [0460] 전면, 배면 및 측면을 갖는 하우징;
- [0461] 상기 하우징 내에 적어도 부분적으로 제공되고, 적어도 컨트롤러, 메모리, 및 상기 하우징의 전면 또는 인접하게 제공되는 디스플레이를 포함하는 전기 부품; 및
- [0462] 상기 디스플레이 위에 배치된 커버 기관을 포함하며,
- [0463] 여기서, 상기 하우징 또는 상기 커버 기관의 일부 중 적어도 하나는, 구체 예 1-45, 또는 61-67 중 어느 하나의 유리-계 물품을 포함한다.

도면

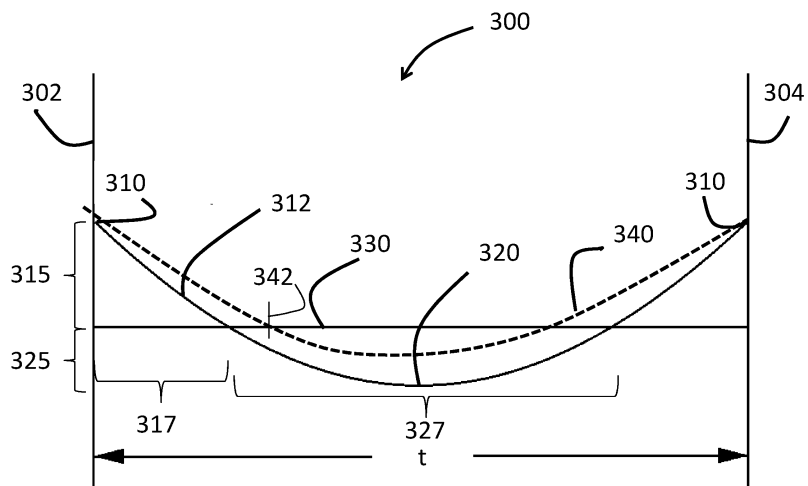
도면1



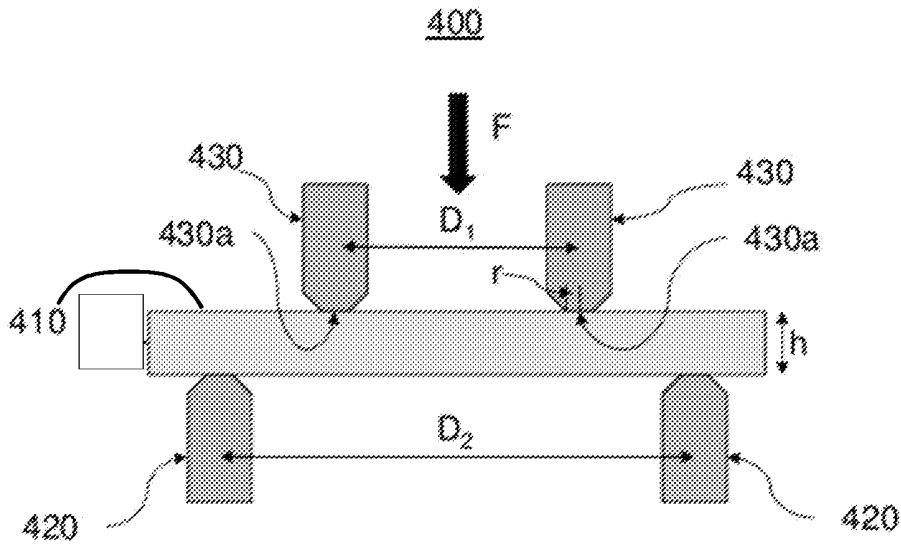
도면2



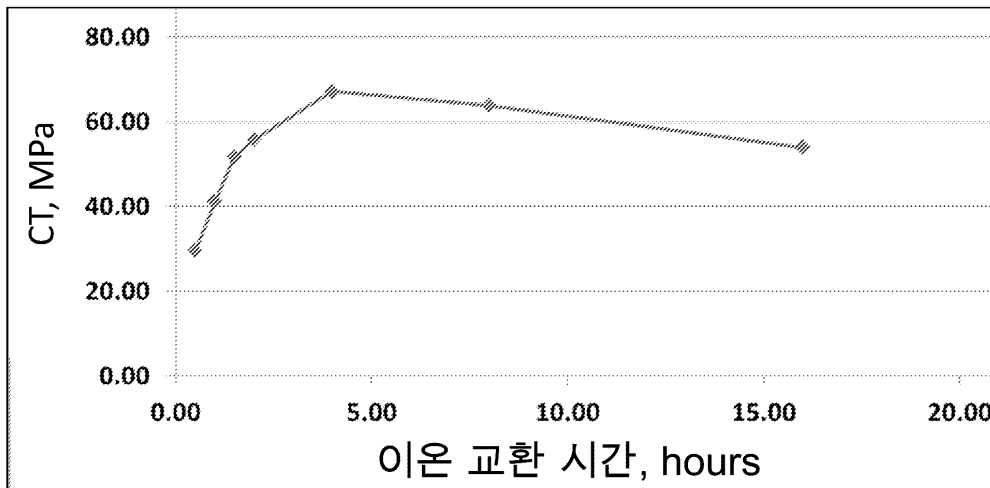
도면3



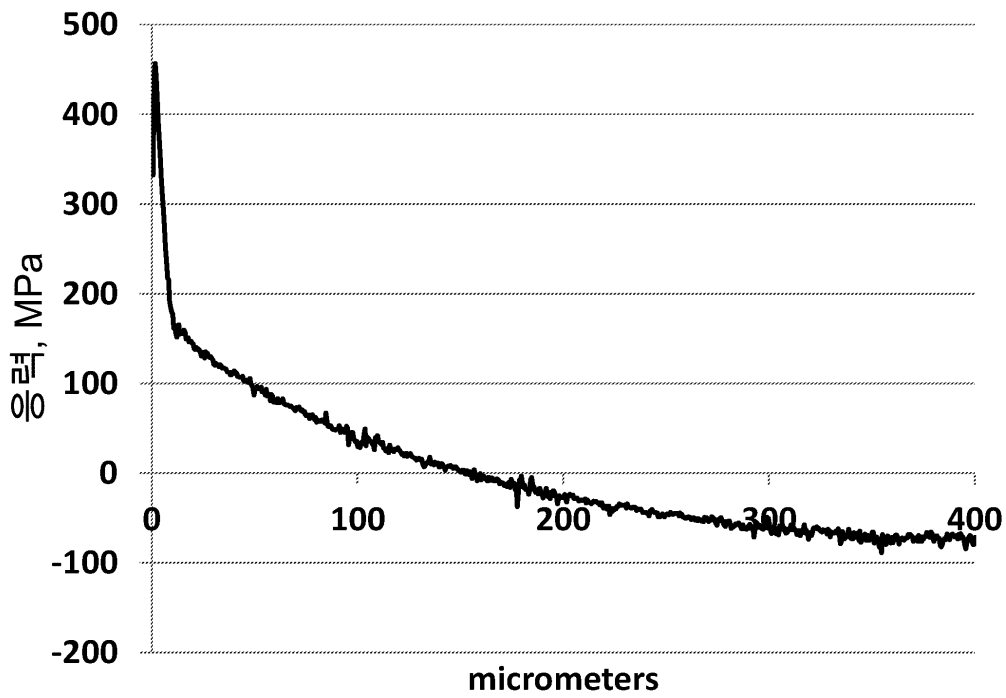
도면4



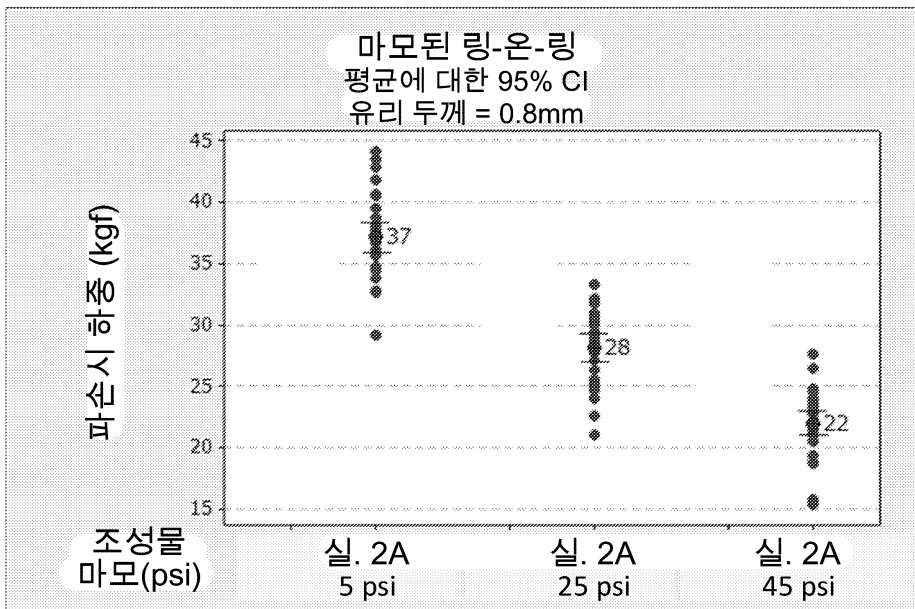
도면5



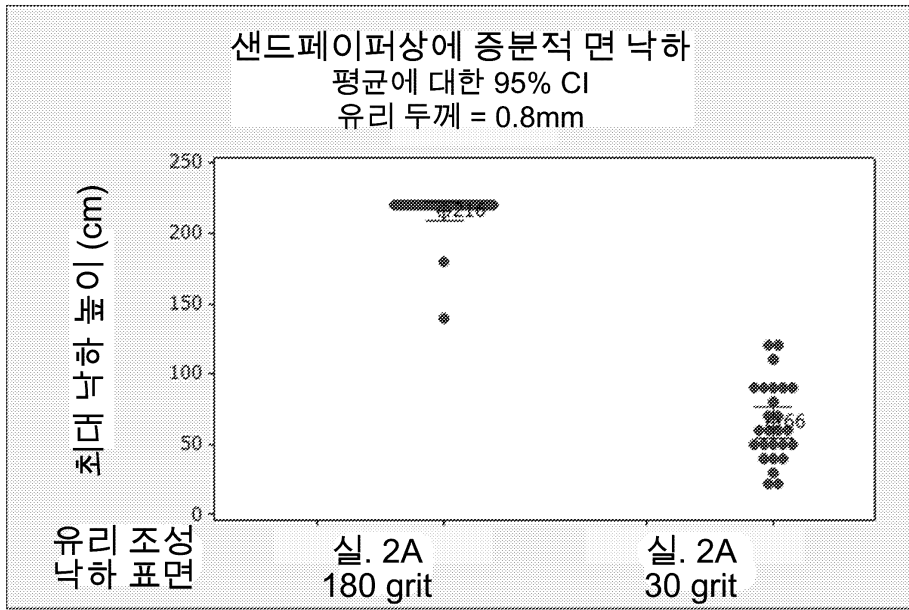
도면6



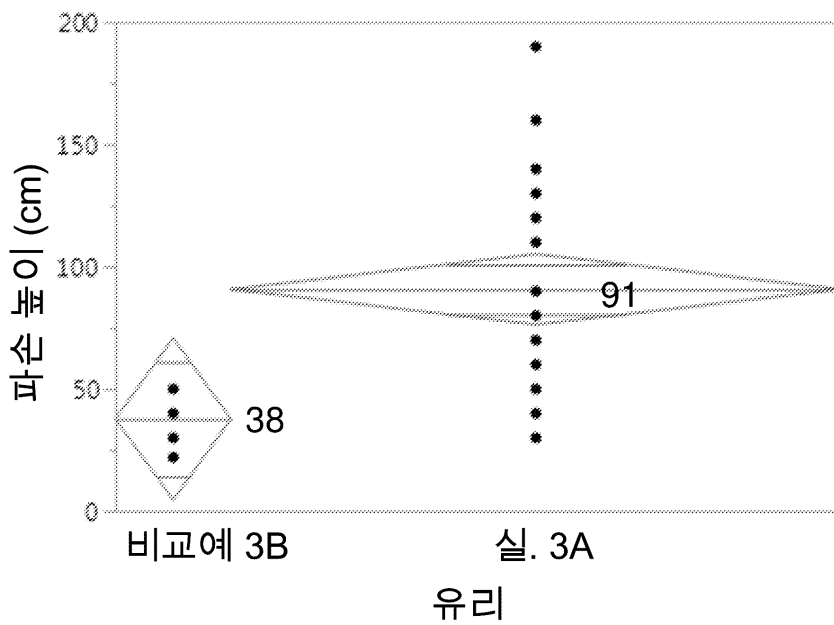
도면7



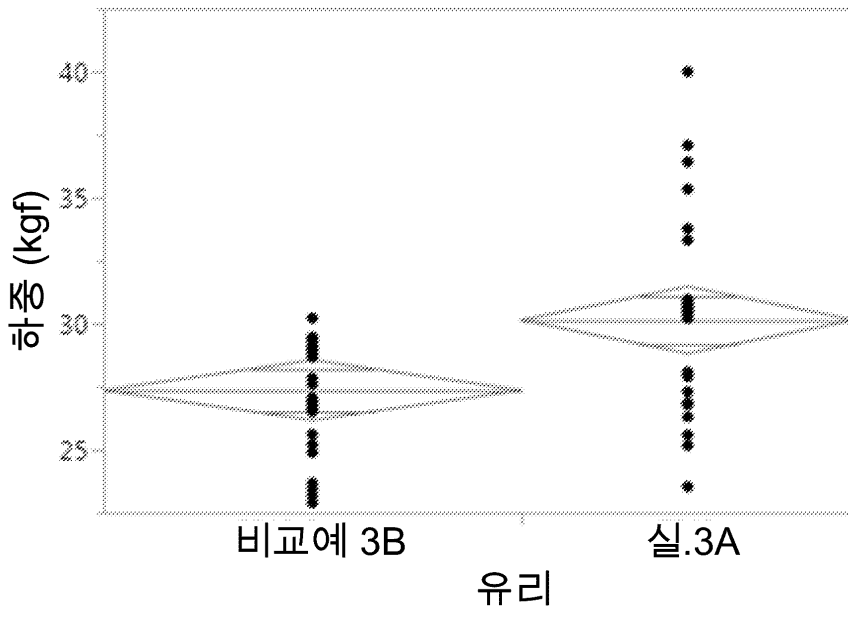
도면8



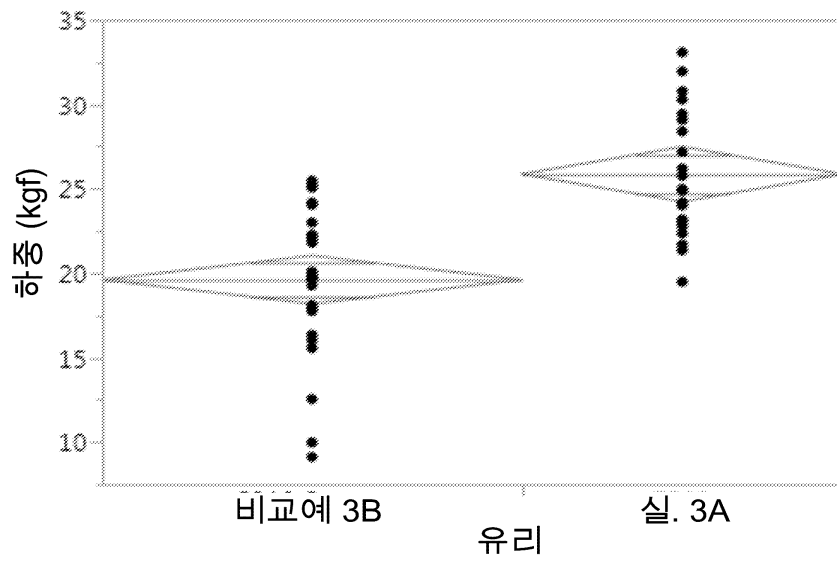
도면9



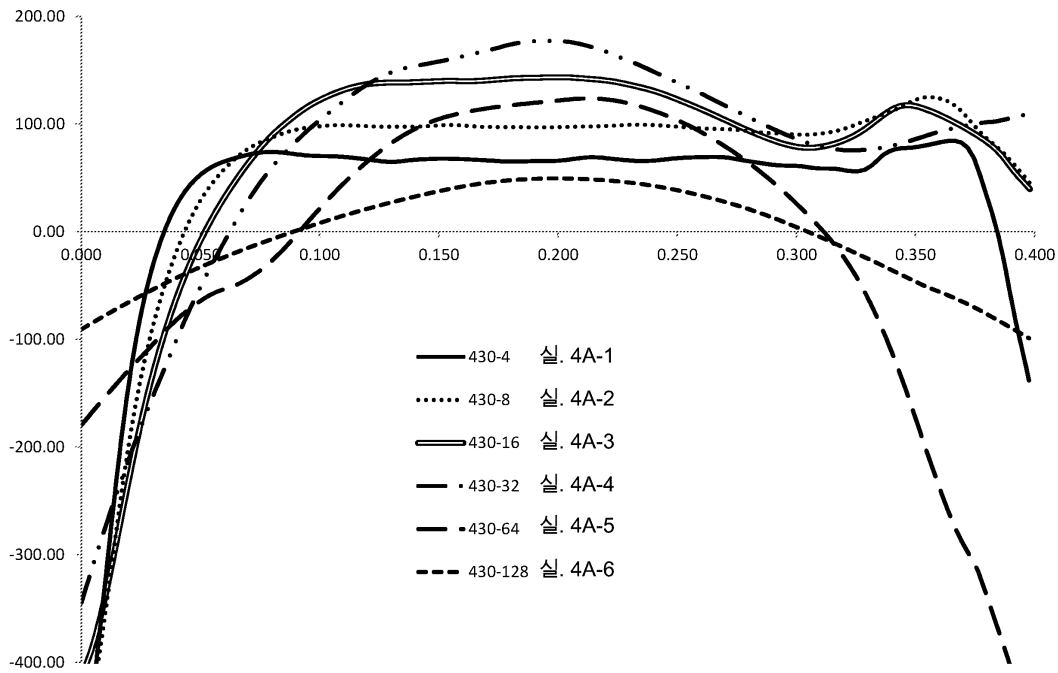
도면10



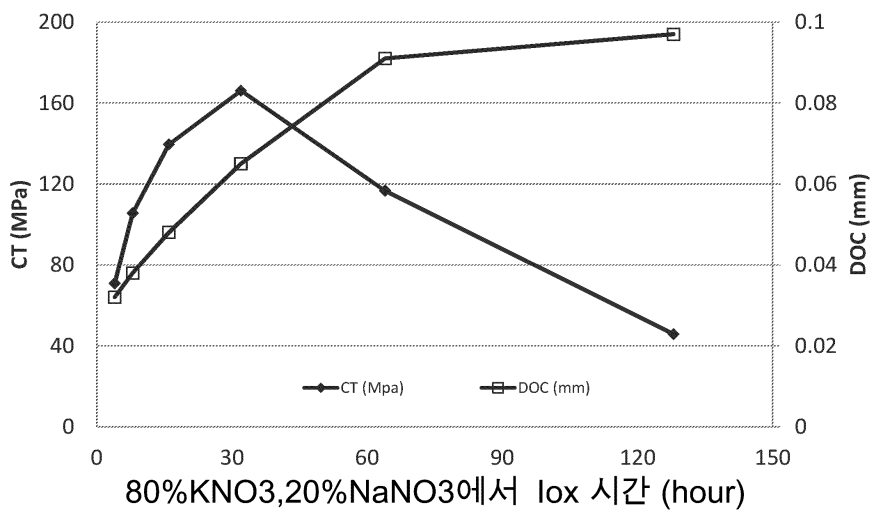
도면11



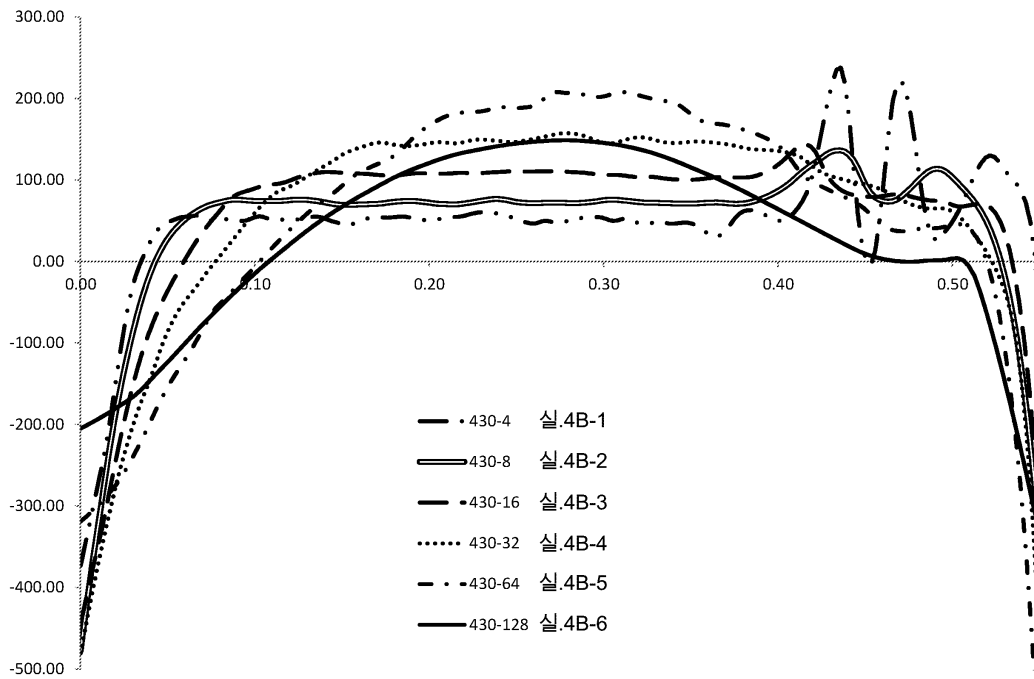
도면12



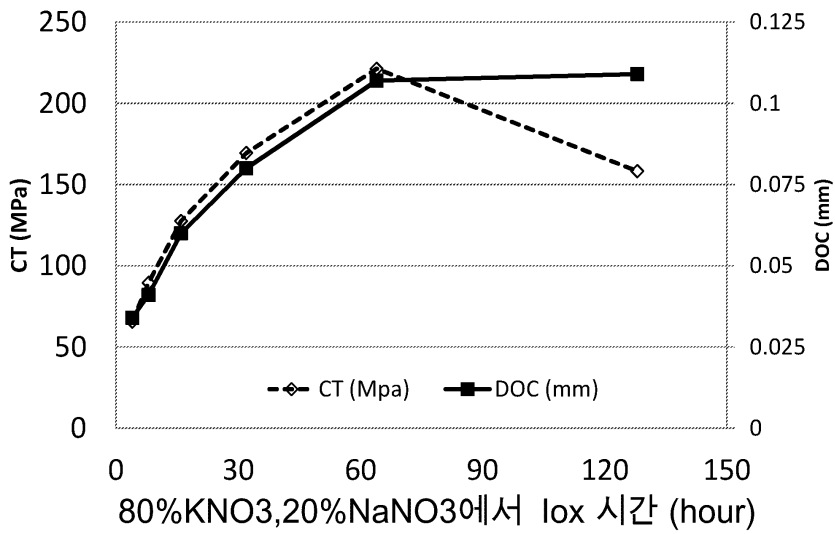
도면13



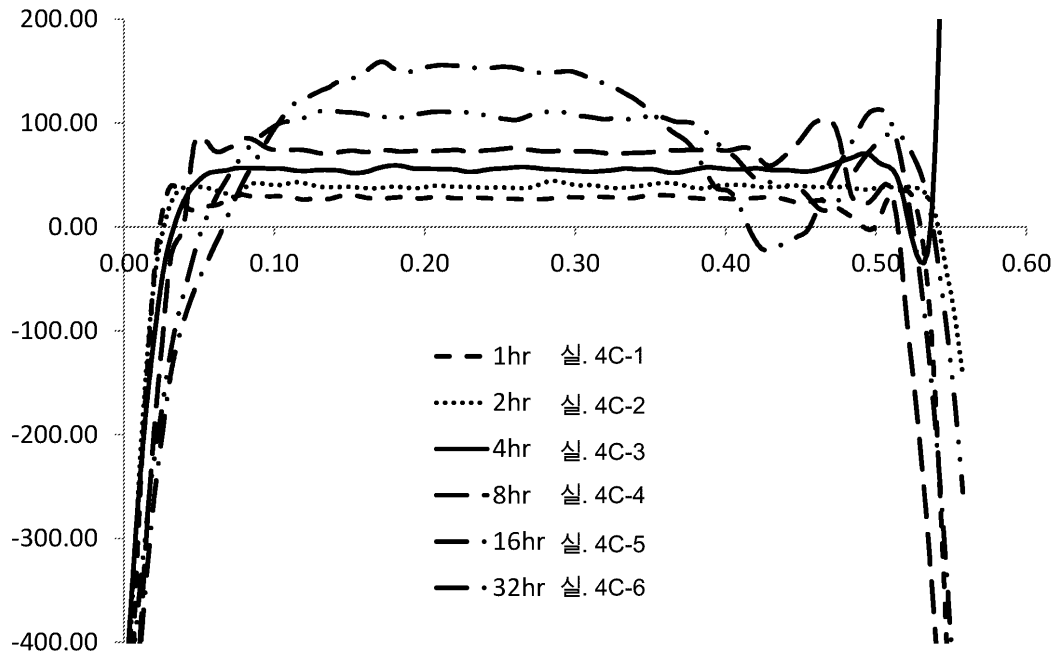
도면14



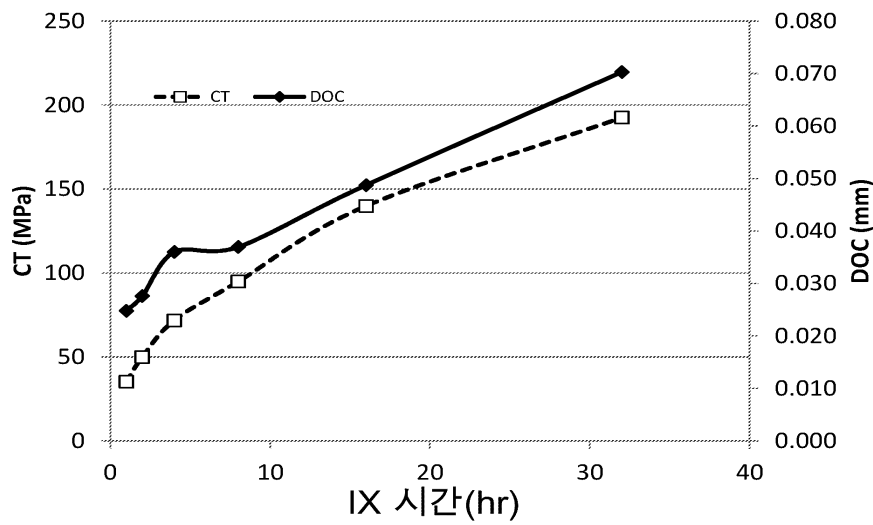
도면15



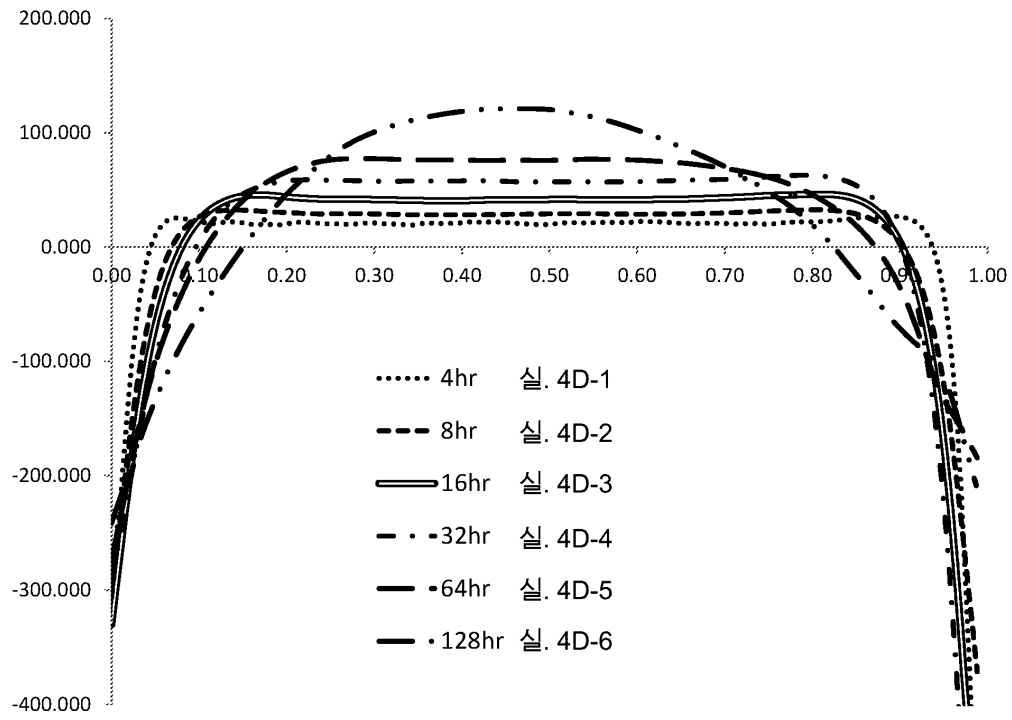
도면16



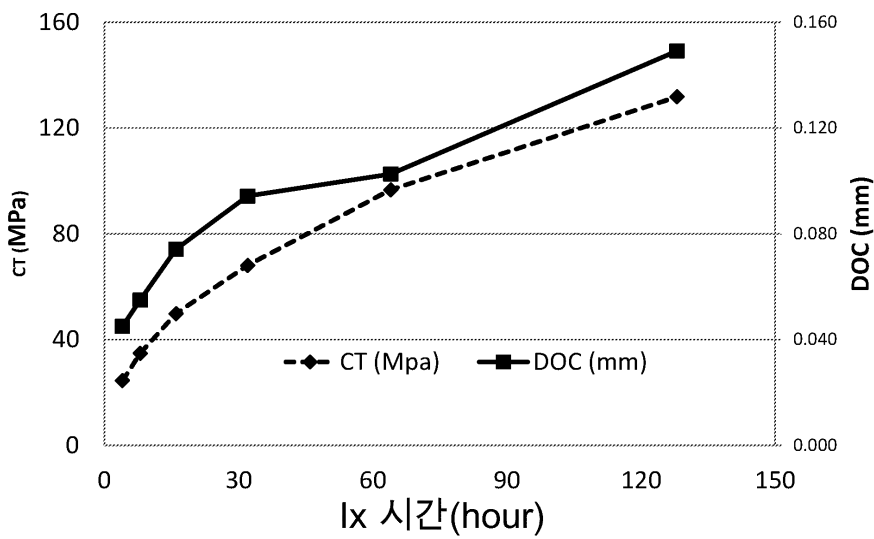
도면17



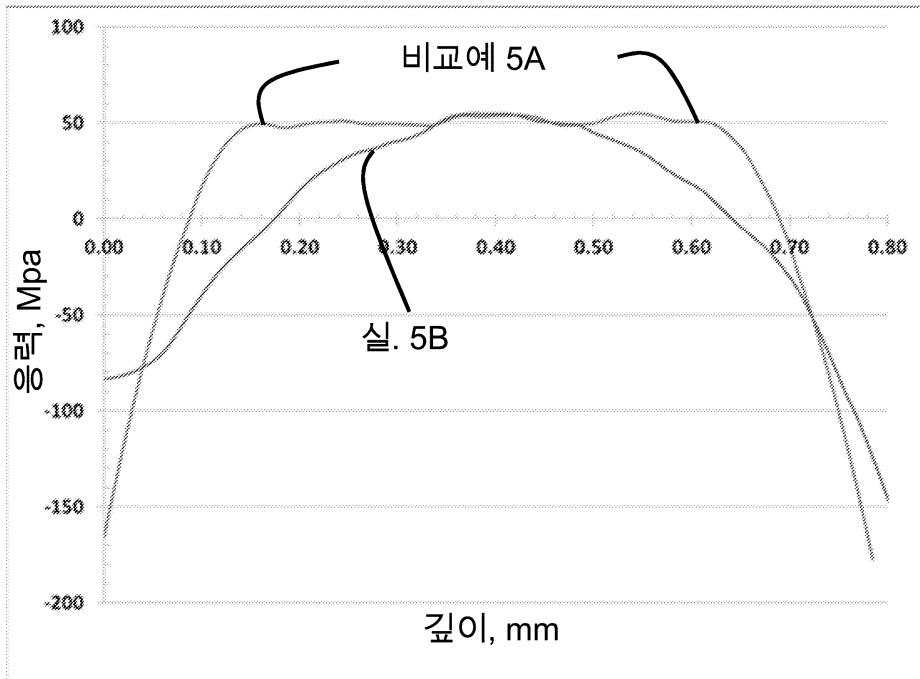
도면18



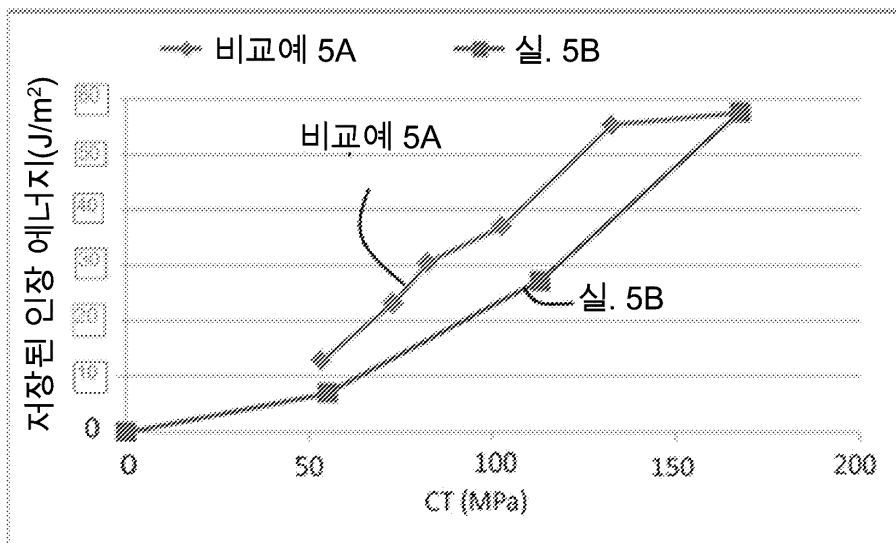
도면19



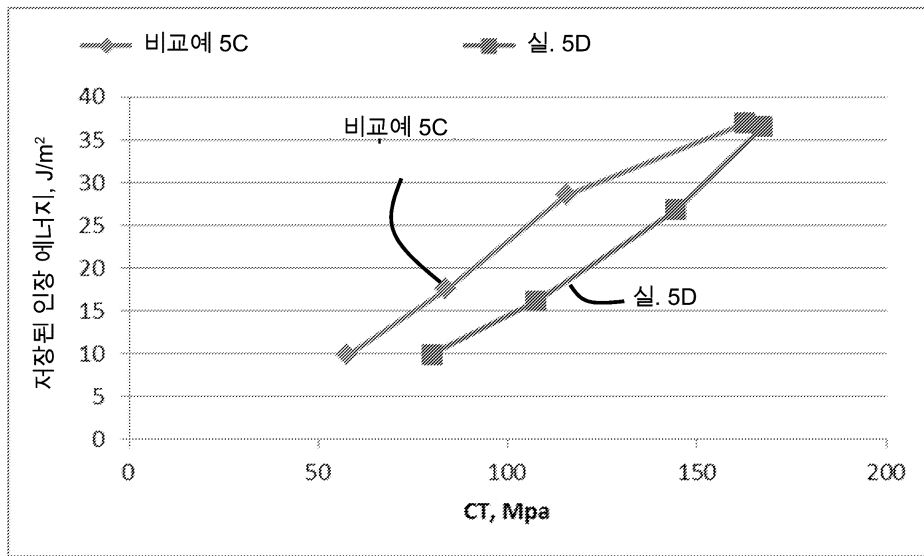
도면20



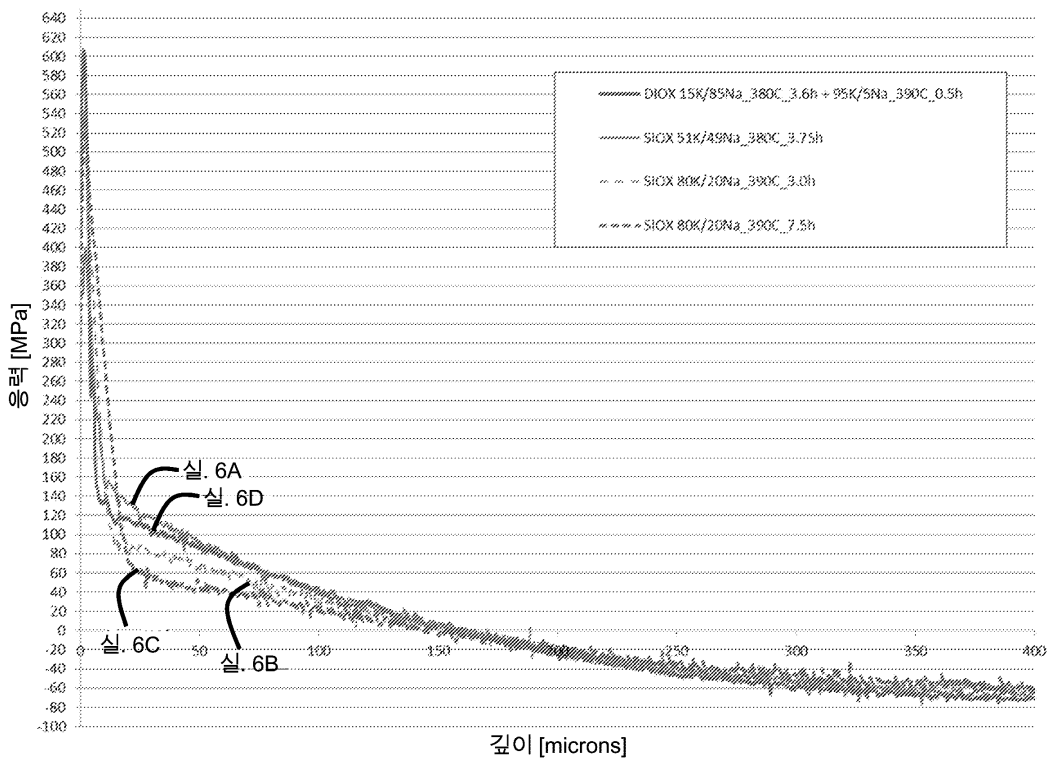
도면21



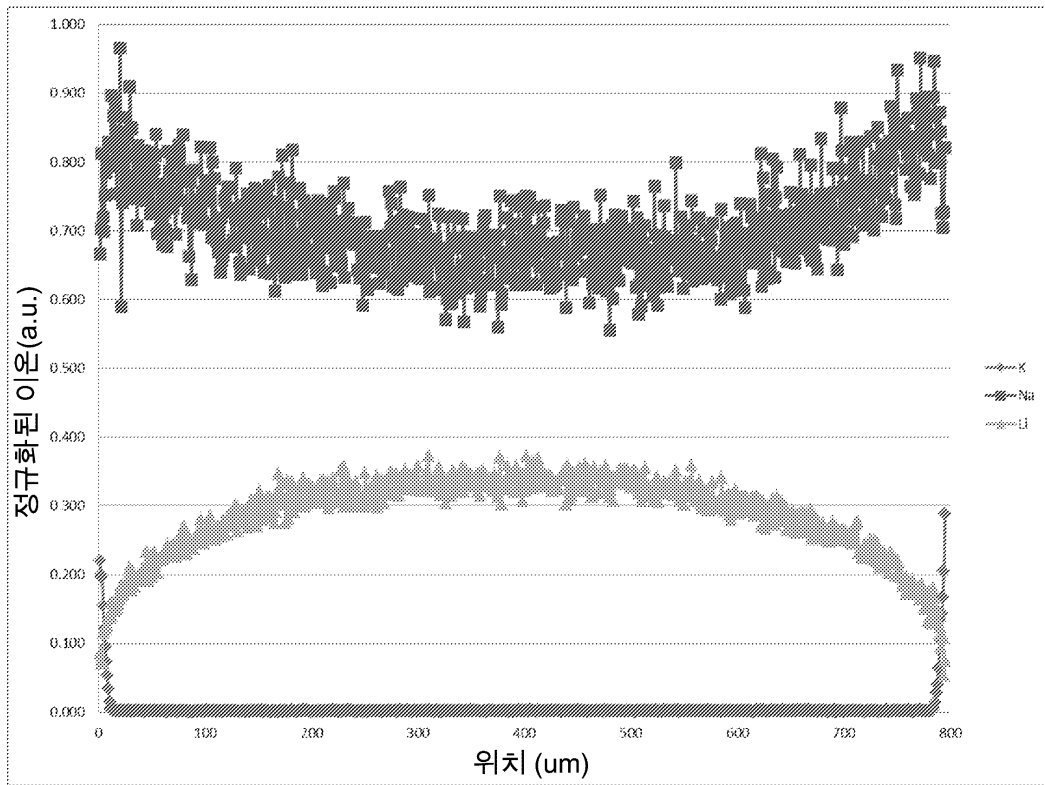
도면22



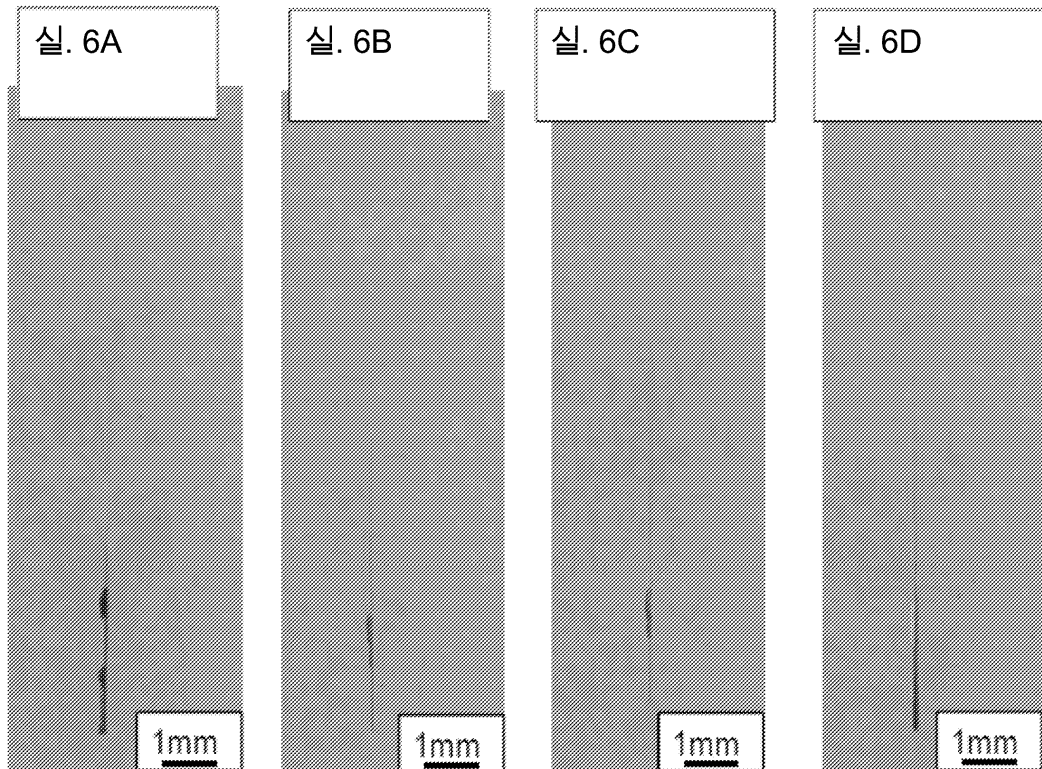
도면23



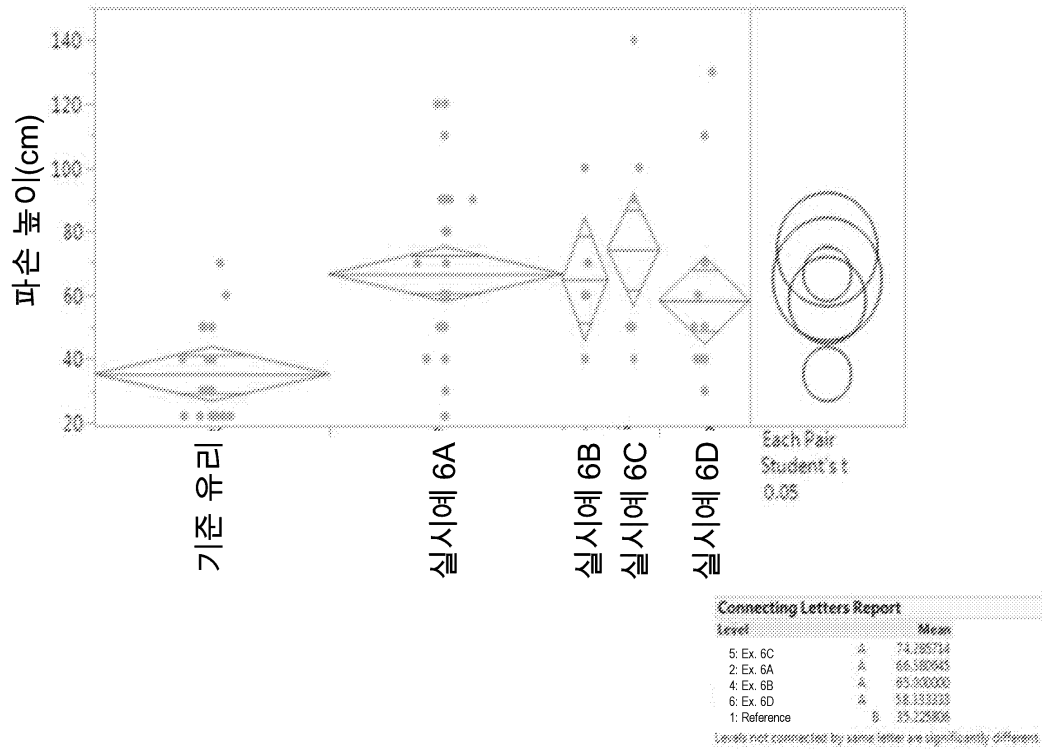
도면24



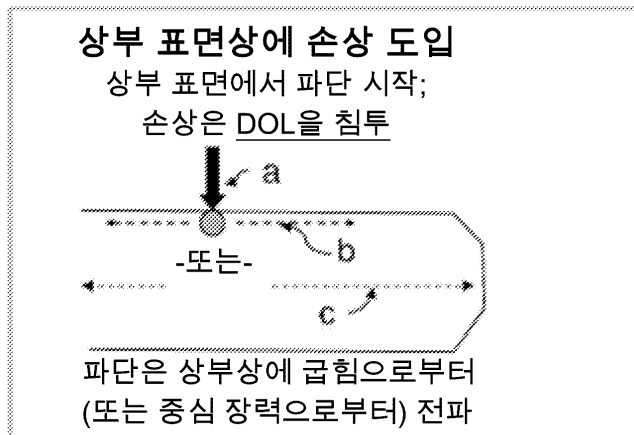
도면25



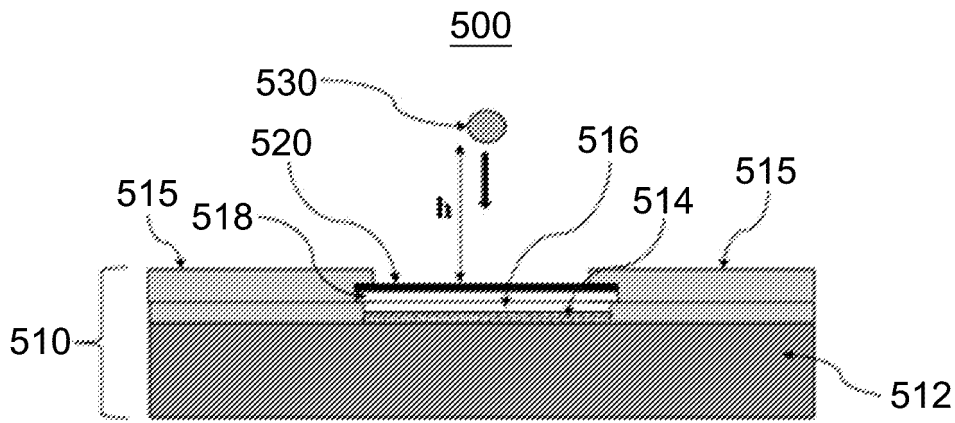
도면26



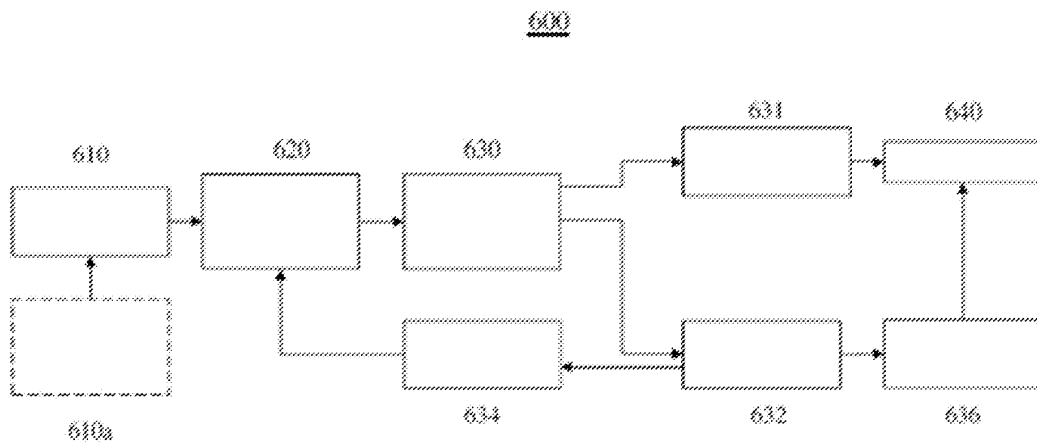
도면27a



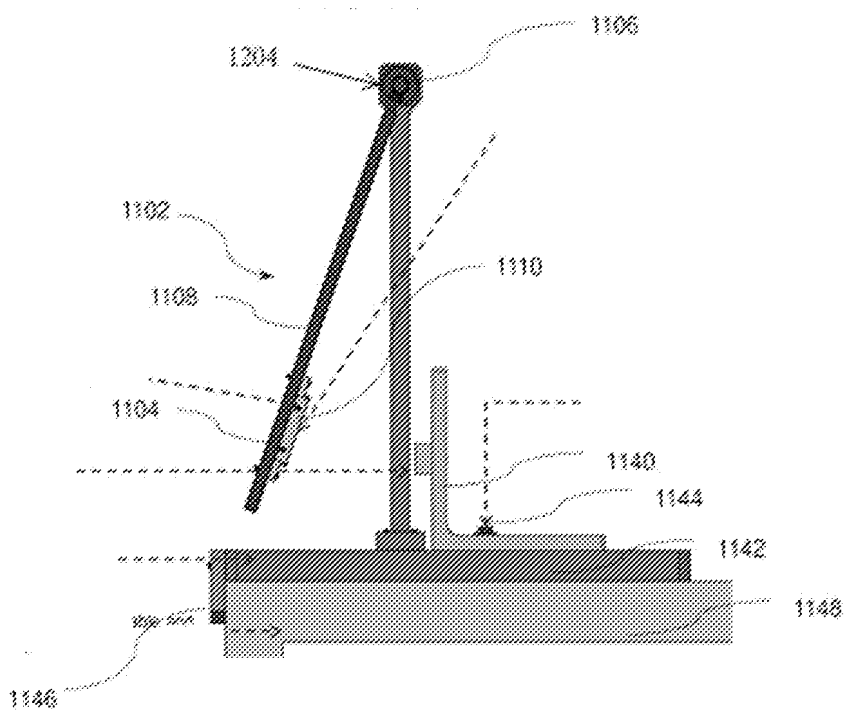
도면27b



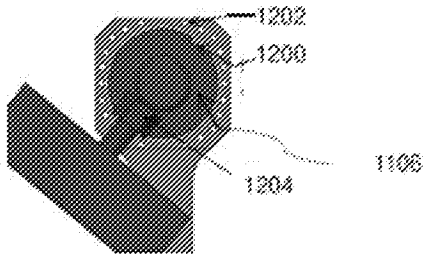
도면28



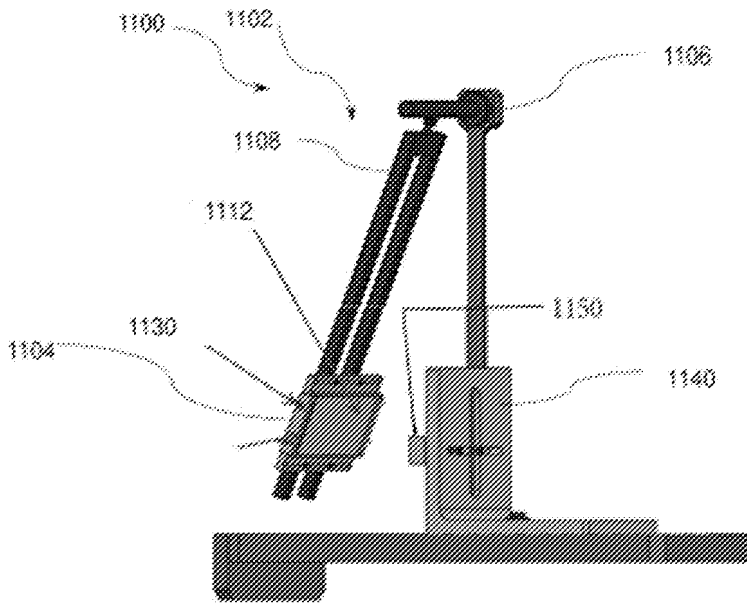
도면29



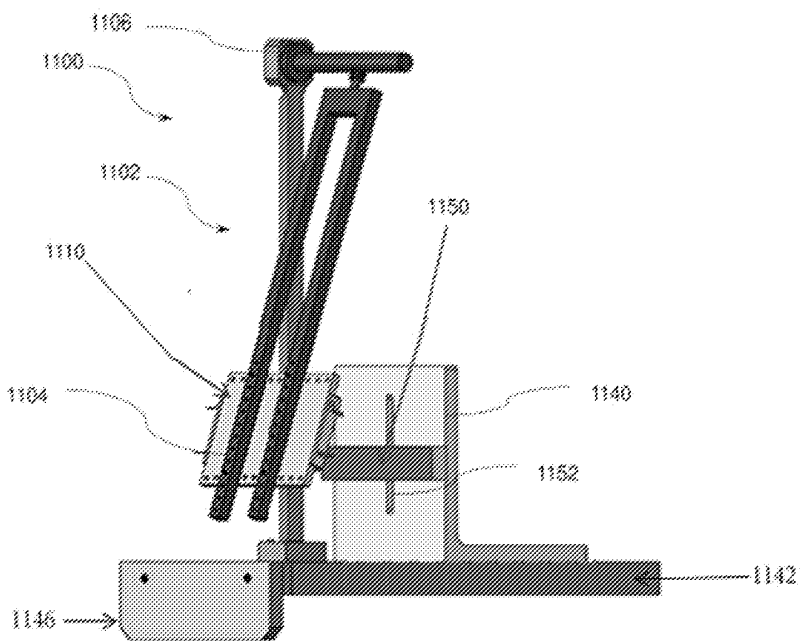
도면30



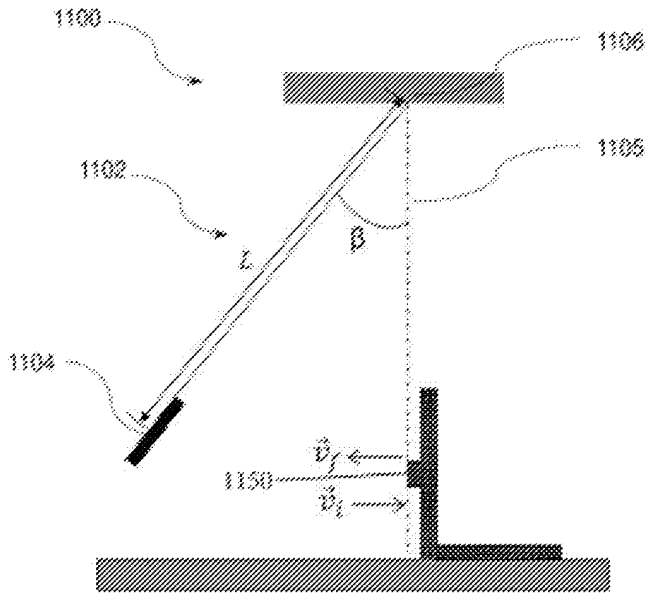
도면31



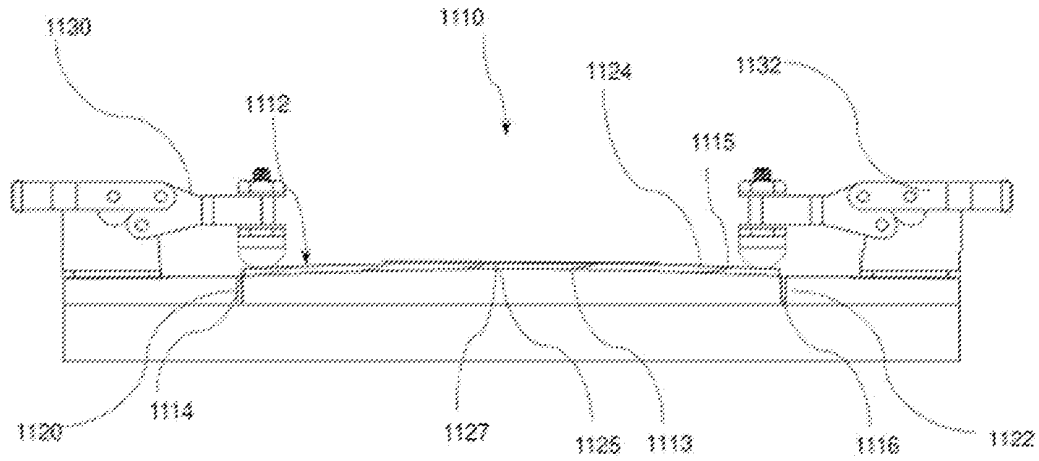
도면32



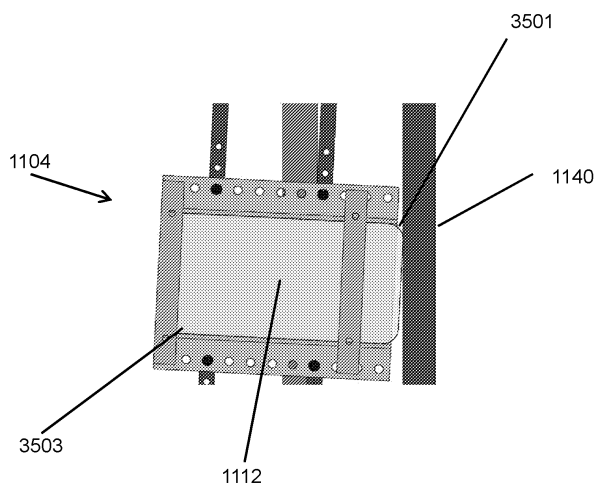
도면33



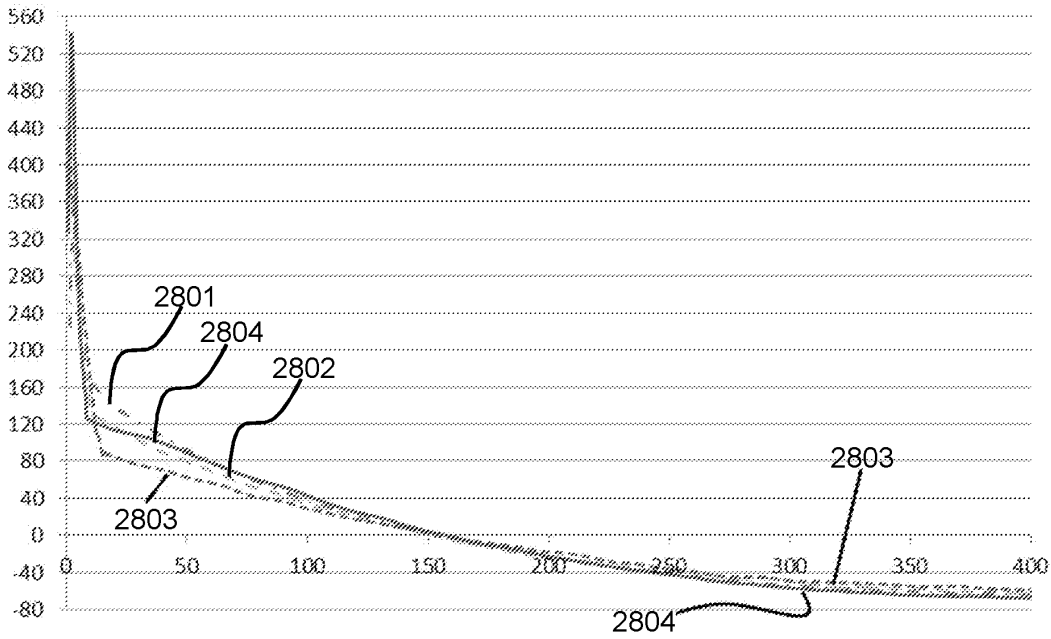
도면34



도면35

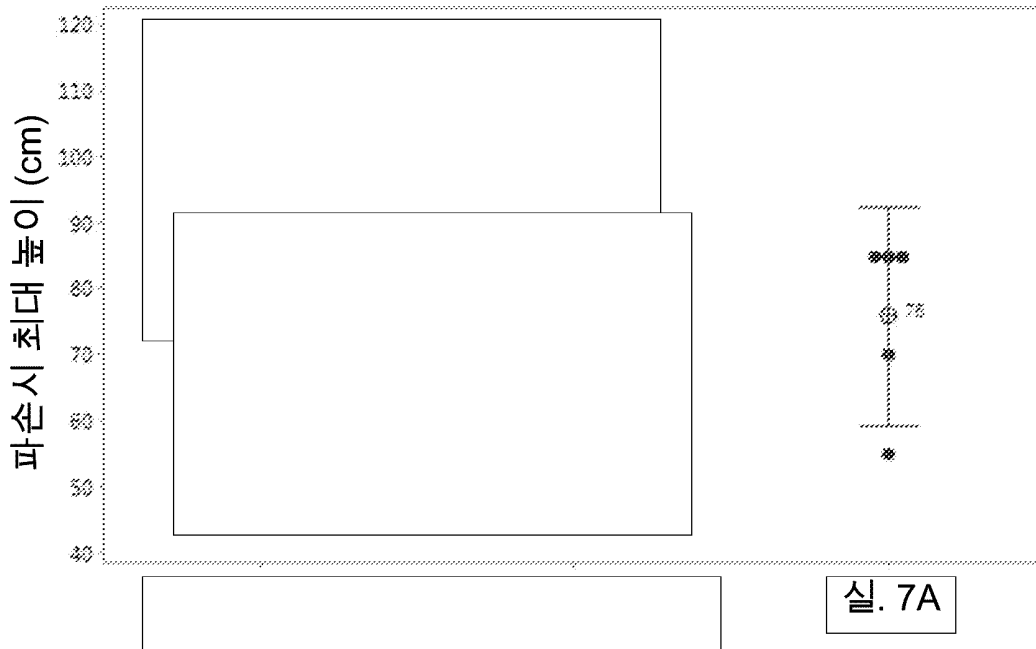


도면36



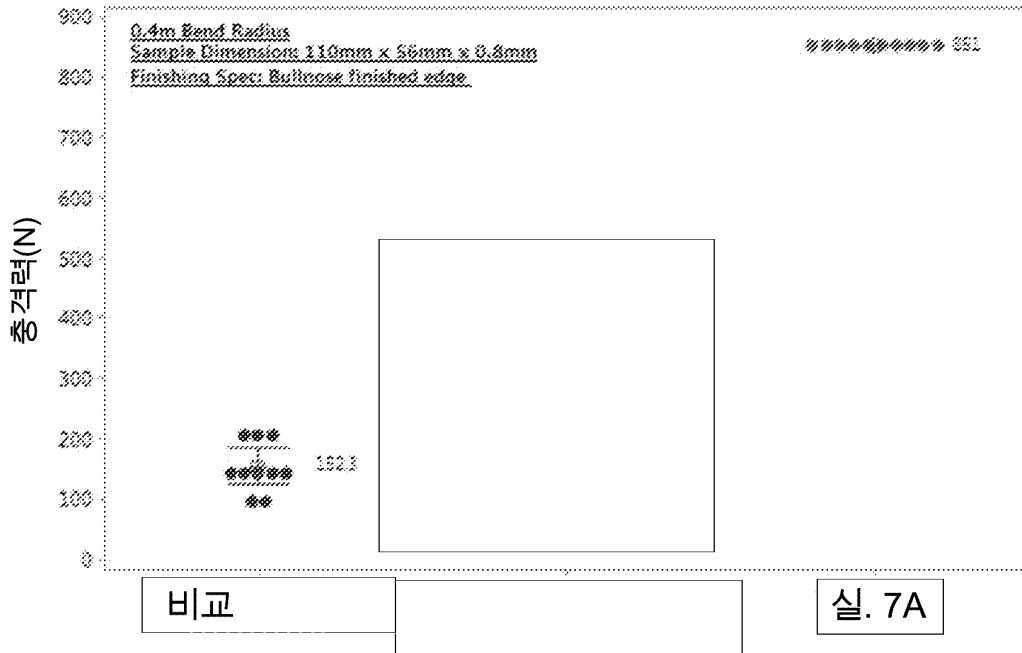
도면37

IBoS - 30 grit (비- 적층)
 평균에 대한 95% CI

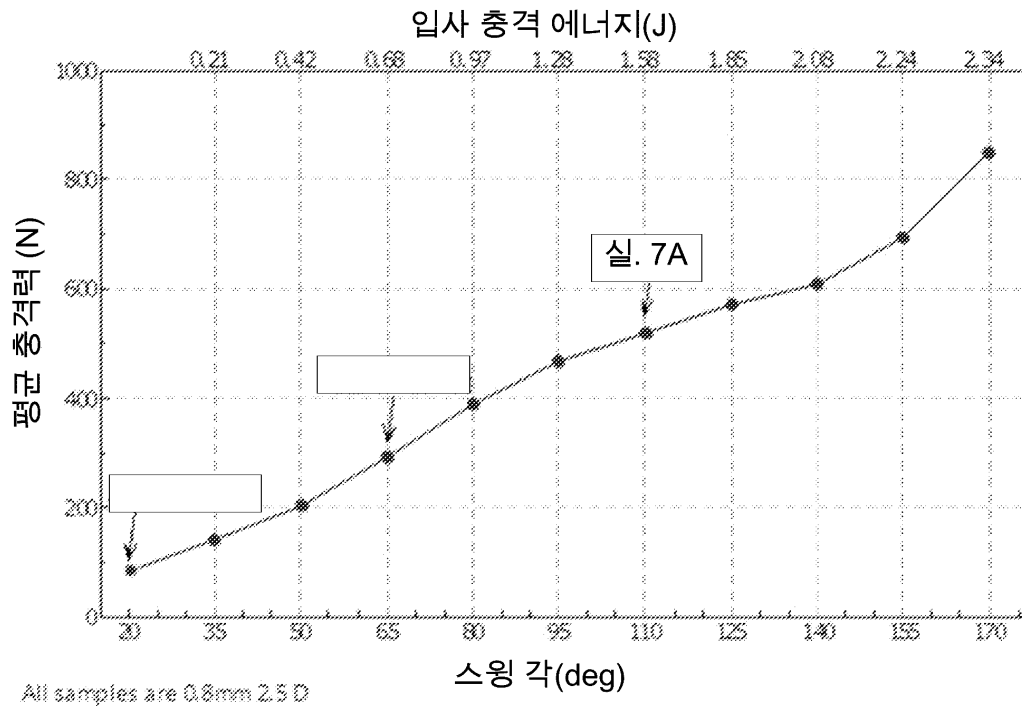


도면38

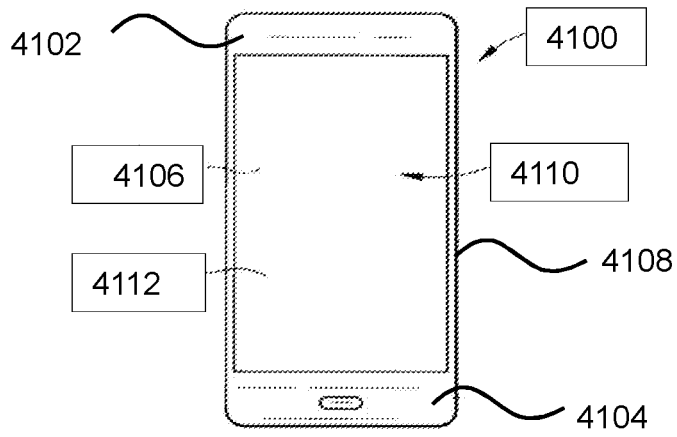
표면 충격 시험 - 180 Grit
 평균에 대한 95% CI



도면39



도면40a



도면40b

