



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0023112  
(43) 공개일자 2024년02월20일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C03C 10/00 (2006.01) C03B 32/02 (2006.01)  
C03C 21/00 (2006.01) C03C 3/085 (2006.01)  
C03C 3/087 (2006.01) C03C 3/093 (2006.01)  
C03C 3/097 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
C03C 10/0027 (2013.01)  
C03B 32/02 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2024-7001440
- (22) 출원일자(국제) 2022년06월16일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2024년01월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2022/033705
- (87) 국제공개번호 WO 2022/266275  
국제공개일자 2022년12월22일
- (30) 우선권주장  
63/212,139 2021년06월18일 미국(US)

- (71) 출원인  
코닝 인코포레이티드  
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트 플라자
- (72) 발명자  
쿠온, 에린  
미국, 펜실베이니아 17837, 루이스버그, 에스. 포스트리트 넘버2 39  
후, 귀양  
미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 타라 플레이스 7  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
청운특허법인

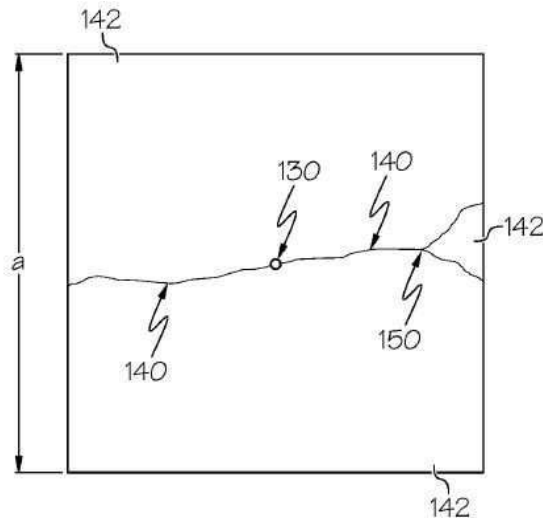
전체 청구항 수 : 총 46 항

(54) 발명의 명칭 전구체 유리 및 이로부터 형성되고 향상된 기계적 내구성을 갖는 투명 유리-세라믹 물품

(57) 요약

유리-세라믹 물품은 결정 상; 잔류 유리 상; 52 mol% 이상 70 mol% 이하의 SiO<sub>2</sub>, 14 mol% 이상 35 mol% 이하의 Li<sub>2</sub>O, 0.1 mol% 이상 35 mol% 이하의 CaO, 0.5 mol% 이상 10 mol% 이하의 ZrO<sub>2</sub>; 및 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*C03C 21/002* (2013.01)

*C03C 3/085* (2013.01)

*C03C 3/087* (2013.01)

*C03C 3/093* (2013.01)

*C03C 3/097* (2013.01)

*C03C 2203/52* (2013.01)

*C03C 2204/00* (2013.01)

(72) 발명자

**스미스, 샬린, 마리**

미국, 뉴욕 14830, 코닝, 와타우가 애비뉴 222

**휘티어, 알라나, 마리**

미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 엘름우드 레인 5

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

결정 상;

잔류 유리 상;

52 mol% 이상 70 mol% 이하의  $\text{SiO}_2$ ;

14 mol% 이상 35 mol% 이하의  $\text{Li}_2\text{O}$ ;

0.1 mol% 이상 15 mol% 이하의  $\text{CaO}$ ;

0.5 mol% 이상 10 mol% 이하의  $\text{ZrO}_2$ ; 및

0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의  $\text{P}_2\text{O}_5$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

결정 상은 리튬 디실리케이트를 포함하고, 리튬 디실리케이트는 결정 상의 총 중량을 기준으로 임의의 다른 결정 상보다 더 많은 양으로 존재하는, 유리-세라믹 물품.

#### 청구항 3

청구항 2에 있어서,

리튬 디실리케이트의 결정립은 10 nm 이상 200 nm 이하의 결정립 크기(grain size)를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

#### 청구항 4

청구항 1-3 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품은 18 mol% 이상 및 32 mol% 이하의  $\text{Li}_2\text{O}$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

#### 청구항 5

청구항 1-4 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품은 0.5 mol% 이상 및 7 mol% 이하의  $\text{ZrO}_2$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

#### 청구항 6

청구항 1-5 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품은 1 mol% 이상 4.5 mol% 이하의  $\text{P}_2\text{O}_5$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

#### 청구항 7

청구항 1-6 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹은 0 mol% 이상 7 mol% 이하의  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

#### 청구항 8

청구항 7에 있어서,

유리-세라믹 물품은 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의  $Al_2O_3$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

**청구항 9**

청구항 1-8 중 어느 한 항에 있어서,

$Al_2O_3$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0 이상 0.2 이하인, 유리-세라믹 물품.

**청구항 10**

청구항 1-9 중 어느 한 항에 있어서,

$R_2O$ 는 14 mol% 이상 40 mol% 이하이고, 여기서  $R_2O$ 는  $Li_2O$ ,  $Na_2O$  및  $K_2O$ 의 합인, 유리-세라믹 물품.

**청구항 11**

청구항 1-10 중 어느 한 항에 있어서,

$Li_2O$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0.2 이상 0.7 이하인, 유리-세라믹 물품.

**청구항 12**

청구항 1-11 중 어느 한 항에 있어서,

$R'O$ 는 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하이고, 여기서  $R'O$ 는  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $ZnO$ ,  $SrO$  및  $BaO$ 의 합인, 유리-세라믹 물품.

**청구항 13**

청구항 1-12 중 어느 한 항에 있어서,

$R'O$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0 이상 0.3 이하이며, 여기서  $R'O$ 는  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $ZnO$ ,  $SrO$  및  $BaO$ 의 합인, 유리-세라믹 물품.

**청구항 14**

청구항 1-13 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 6 mol% 이하의  $La_2O_3$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

**청구항 15**

청구항 1-14 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 F-를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

**청구항 16**

청구항 1-15 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품은:

0 mol% 초과 5 mol% 이하의  $Na_2O$ ; 및

0 mol% 이상 5 mol% 이하의  $K_2O$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

**청구항 17**

청구항 1-16 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품은:

0 mol% 이상 6 mol% 이하의  $MgO$ ;

0 mol% 이상 5 mol% 이하의  $ZnO$ ;

0 mol% 이상 6 mol% 이하의 SrO; 및

0 mol% 이상 6 mol% 이하의 BaO를 포함하는, 유리-세라믹 물품.

**청구항 18**

청구항 1-17 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품의 결정 상은 리튬 메타실리케이트, 리튬 포스페이트, 페달라이트,  $\beta$ -석영, 인회석, 또는 이들의 조합을 포함하는, 유리-세라믹 물품.

**청구항 19**

청구항 1-18 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품의 평균 투과율은 물품 두께 0.8mm에서 측정 시 400 nm 내지 800 nm의 파장 범위에 걸쳐 50% 이상 95% 이하인, 유리-세라믹 물품.

**청구항 20**

청구항 1-19 중 어느 한 항에 있어서,

이중 비틀림 방법(double torsion method)으로 측정한 유리-세라믹 물품의  $K_{Ic}$  파괴 인성은  $1.0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  이상인, 유리-세라믹 물품.

**청구항 21**

청구항 1-20 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품의 탄성 계수는 100 GPa 이상인, 유리-세라믹 물품.

**청구항 22**

52 mol% 이상 70 mol% 이하의  $\text{SiO}_2$ ;

14 mol% 이상 35 mol% 이하의  $\text{Li}_2\text{O}$ ;

0.1 mol% 이상 15 mol% 이하의  $\text{CaO}$ ;

0.5 mol% 이상 10 mol% 이하의  $\text{ZrO}_2$ ; 및

0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의  $\text{P}_2\text{O}_5$ 를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 23**

청구항 22에 있어서,

유리 조성물은 18 mol% 이상 32 mol% 이하의  $\text{Li}_2\text{O}$ 를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 24**

청구항 22 또는 청구항 23에 있어서,

유리 조성물은 0.5 mol% 이상 7 mol% 이하의  $\text{ZrO}_2$ 를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 25**

청구항 22-24 중 어느 한 항에 있어서,

유리 조성물은 1 mol% 이상 4.5 mol% 이하의  $\text{P}_2\text{O}_5$ 를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 26**

청구항 22-25 중 어느 한 항에 있어서,  
유리 조성물은 0 mol% 이상 7 mol% 이하의  $Al_2O_3$ 를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 27**

청구항 26에 있어서,  
유리 조성물은 0.5 mol% 이상 4 mol% 이하의  $Al_2O_3$ 를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 28**

청구항 22-27 중 어느 한 항에 있어서,  
 $Al_2O_3$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0 이상 0.2 이하인, 유리 조성물.

**청구항 29**

청구항 22-28 중 어느 한 항에 있어서,  
 $R_2O$ 는 14 mol% 이상 40 mol% 이하이고, 여기서  $R_2O$ 는  $Li_2O$ ,  $Na_2O$  및  $K_2O$ 의 합인, 유리 조성물.

**청구항 30**

청구항 22-29 중 어느 한 항에 있어서,  
 $Li_2O$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0.2 이상 0.7 이하인, 유리 조성물.

**청구항 31**

청구항 22-30 중 어느 한 항에 있어서,  
 $R'O$ 는 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하이고, 여기서  $R'O$ 는  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $ZnO$ ,  $SrO$  및  $BaO$ 의 합인, 유리 조성물.

**청구항 32**

청구항 22-31 중 어느 한 항에 있어서,  
 $R'O$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0 이상 0.3 이하이며, 여기서  $R'O$ 는  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $ZnO$ ,  $SrO$  및  $BaO$ 의 합인, 유리 조성물.

**청구항 33**

청구항 22-32 중 어느 한 항에 있어서,  
유리 조성물은 0 mol% 이상 6 mol% 이하의  $La_2O_3$ 를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 34**

청구항 22-33 중 어느 한 항에 있어서,  
유리 조성물은 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 F-를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 35**

청구항 22-34 중 어느 한 항에 있어서,  
유리 조성물은:  
0 mol% 초과 5 mol% 이하의  $Na_2O$ ; 및  
0 mol% 이상 5 mol% 이하의  $K_2O$ 를 포함하는, 유리 조성물.

**청구항 36**

청구항 22-35 중 어느 한 항에 있어서,

유리 조성물은:

0 mol% 이상 6 mol% 이하의 MgO;

0 mol% 이상 5 mol% 이하의 ZnO;

0 mol% 이상 6 mol% 이하의 SrO; 및

0 mol% 이상 6 mol% 이하의 BaO를 포함하는, 유리 조성물.

#### 청구항 37

유리-세라믹 물품을 형성하는 방법으로서, 상기 방법은:

오븐에서 전구체 유리 물품을 1°C/분 이상 10°C/분 이하의 속도로 핵형성 온도까지 가열하는 단계, 여기서 전구체 유리 물품은 다음을 포함하는 전구체 유리 조성물을 포함함:

52 mol% 이상 70 mol% 이하의 SiO<sub>2</sub>;

14 mol% 이상 35 mol% 이하의 Li<sub>2</sub>O;

0.1 mol% 이상 15 mol% 이하의 CaO;

0.5 mol% 이상 10 mol% 이하의 ZrO<sub>2</sub>; 및

0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>;

0.1시간 이상 8시간 이하의 기간 동안 오븐 내 핵형성 온도에서 전구체 유리 물품을 유지하여 핵형성된 결정화 가능한 유리 물품을 생성하는 단계;

오븐 내에서 핵형성된 결정화 가능한 유리 물품을 1°C/분 이상 10°C/분 이하의 속도로 결정화 온도까지 가열하는 단계;

0.25시간 이상 4시간 이하의 기간 동안 오븐 내 결정화 온도에서 핵형성된 결정화 가능한 유리 물품을 유지하여 유리-세라믹 물품을 생성하는 단계, 여기서 유리-세라믹 물품은 결정 상 및 잔류 유리 상을 포함함; 및

유리-세라믹 물품을 실온으로 냉각시키는 단계를 포함하는, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

#### 청구항 38

청구항 37에 있어서,

결정 상은 리튬 디실리케이트를 포함하고, 리튬 디실리케이트는 결정 상의 총 중량을 기준으로 임의의 다른 결정상보다 더 많은 양으로 존재하는, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

#### 청구항 39

청구항 37 또는 청구항 38에 있어서,

350°C 이상 500°C 이하의 온도에서 2시간 이상 12시간 이하의 기간 동안 이온 교환 욕에서 유리-세라믹 물품을 강화하여 이온 교환된 유리-세라믹 물품을 형성하는 단계를 더 포함하는, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

#### 청구항 40

청구항 39에 있어서,

이온 교환 욕은 KNO<sub>3</sub>를 포함하는, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

#### 청구항 41

청구항 40에 있어서,

이온 교환 욕은  $\text{NaNO}_3$ 를 포함하는, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

**청구항 42**

청구항 37-41 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품의 평균 투과율은 물품 두께 0.8 mm에서 측정 시 400 nm 내지 800 nm의 파장 범위에 걸쳐 50% 이상 95% 이하인, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

**청구항 43**

청구항 37-42 중 어느 한 항에 있어서,

이중 비틀림 방법으로 측정된 유리-세라믹 물품의  $K_{Ic}$  파괴인성은  $1.0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  이상인, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

**청구항 44**

청구항 37-43 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품의 탄성 계수는 100 GPa 이상인, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

**청구항 45**

청구항 37-44 중 어느 한 항에 있어서,

유리-세라믹 물품의 저장된 변형 에너지는  $15 \text{ J/m}^2$  이상인, 유리-세라믹 물품의 형성 방법.

**청구항 46**

소비자 전자 장치로서,

전면, 후면 및 측면을 갖는 하우징;

하우징 내에 적어도 부분적으로 제공되는 전기 구성요소로서, 전기 구성요소는 적어도 컨트롤러, 메모리 및 디스플레이를 포함하며, 디스플레이는 하우징의 전면에 또는 하우징의 전면에 인접하여 제공됨; 및

디스플레이 위에 배치되고 하우징의 일부를 형성하는 적어도 하나의, 청구항 1 내지 21 중 어느 한 항의 유리-세라믹 물품을 포함하는, 소비자 전자 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 출원은 2021년 6월 18일에 출원된 미국 가출원 번호 제63/212,139호의 이익을 주장하며, 이 출원의 내용은 그 전체가 참조로 본 명세서에 포함되고 인용된다.

[0002] 본 명세서는 전구체 유리 조성물 및 유리-세라믹 물품, 특히 전구체 유리 조성물 및 그로부터 형성된 이온 교환 가능한 유리-세라믹 물품에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 커버 유리, 유리 백플레인, 하우징 등과 같은 유리 물품은 스마트폰, 태블릿, 휴대용 미디어 플레이어, 개인용 컴퓨터 및 카메라와 같은 소비자 및 상업용 전자 장치 모두에 사용된다. 이러한 휴대용 장치의 이동 특성으로 인해 장치와 그 안에 포함된 유리 물품은 지면과 같은 단단한 표면에 우발적으로 떨어지는 경우에 특히 취약하다. 더욱이, 커버 유리와 같은 유리 물품은 유리 물품이 사용자의 손가락 및/또는 스타일러스 장치를 포함한 다양한 물체에 의해 접촉되는 것을 필요로 하는 "터치" 기능을 포함할 수 있다. 따라서, 유리 물품은 스크래치와 같은 손상 없이 우발적인 낙하 및 정기적인 접촉을 견딜 수 있을 만큼 충분히 견고해야 한다. 실제로, 유리 물품의 표면에 도입된 스크래치는 유리 물품의 강도를 감소시킬 수 있는데, 그 이유는 스크래치가 유리의 치명적인 파손을 초래하는 균열의 시작점 역할을 할 수 있기 때문이다.

[0004] 더욱이, 유리 물품의 투과율과 같은 유리 물품의 광학적 특성은 유리 물품이 휴대용 전자 장치의 커버 유리로서 통합될 때 중요한 고려 사항이 될 수 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 따라서, 유리에 비해 향상된 기계적 특성을 가지면서도 유리와 유사한 광학 특성을 갖는 대체 재료에 대한 필요성이 존재한다.

**과제의 해결 수단**

[0006] 제1 관점 A1에 따르면, 유리-세라믹 물품은 결정 상; 잔류 유리 상; 52 mol% 이상 70 mol% 이하의 SiO<sub>2</sub>; 14 mol% 이상 35 mol% 이하의 Li<sub>2</sub>O; 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하의 CaO; 0.5 mol% 이상 10 mol% 이하의 ZrO<sub>2</sub>; 및 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함한다.

[0007] 제2 관점 A2는 제1 관점 A1의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 결정 상은 리튬 디실리케이트를 포함하고, 리튬 디실리케이트는 결정 상의 총 중량을 기준으로 임의의 다른 결정 상보다 더 많은 양으로 존재한다.

[0008] 제3 관점 A3는 제2 관점 A2의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 리튬 디실리케이트의 결정립은 10 nm 이상 200 nm 이하의 결정립 크기를 포함한다.

[0009] 제4 관점 A4는 제1 관점 내지 제3 관점 A1-A3 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품은 18 mol% 이상 및 32 mol% 이하의 Li<sub>2</sub>O를 포함한다.

[0010] 제5 관점 A5는 제1 관점 내지 제4 관점 A1-A4 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품은 0.5 mol% 이상 및 7 mol% 이하의 ZrO<sub>2</sub>를 포함한다.

[0011] 제6 관점 A6는 제1 관점 내지 제5 관점 A1-A5 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품은 1 mol% 이상 4.5 mol% 이하의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함한다.

[0012] 제7 관점 A7는 제1 관점 내지 제6 관점 A1-A6 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹은 0 mol% 이상 7 mol% 이하의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함한다.

[0013] 제8 관점 A8는 제7 관점 A7에 따른 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품은 0.5 mol% 이상 및 5 mol% 이하의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함한다.

[0014] 제9 관점 A9는 제1 관점 내지 제8 관점 A1-A8 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 0 이상 0.2 이하이다.

[0015] 제10 관점 A10는 제1 관점 내지 제9 관점 A1-A9 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, R<sub>2</sub>O는 14 mol% 이상 40 mol% 이하이고, 여기서 R<sub>2</sub>O는 Li<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O 및 K<sub>2</sub>O의 합이다.

[0016] 제11 관점 A11는 제1 관점 내지 제10 관점 A1-A10 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, Li<sub>2</sub>O 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 0.2 이상 0.7 이하이다.

[0017] 제12 관점 A12는 제1 관점 내지 제11 관점 A1-A11 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, R'O는 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하이고, 여기서 R'O는 CaO, MgO, ZnO, SrO 및 BaO의 합이다.

[0018] 제13 관점 A13는 제1 관점 내지 제3 관점 A1-A12 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, R'O 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 0 이상 0.3 이하이며, 여기서 R'O는 CaO, MgO, ZnO, SrO 및 BaO의 합이다.

[0019] 제14 관점 A14는 제1 관점 내지 제13 관점 A1-A13 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 6 mol% 이하의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함한다.

[0020] 제15 관점 A15는 제1 관점 내지 제14 관점 A1-A14 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹

물품은 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 F-를 포함한다.

- [0021] 제16 관점 A16은 제1 관점 내지 제15 관점 A1-A15 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품은 0 mol% 초과 5 mol% 이하의 Na<sub>2</sub>O; 및 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 K<sub>2</sub>O를 포함한다.
- [0022] 제17 관점 A17은 제1 관점 내지 제16 관점 A1-A16 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 6 mol% 이하의 MgO; 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 ZnO; 0 mol% 이상 6 mol% 이하의 SrO; 및 0 mol% 이상 6 mol% 이하의 BaO를 포함한다.
- [0023] 제18 관점 A18은 제1 관점 내지 제17 관점 A1-A17 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품의 결정 상은 리튬 메타실리케이트, 리튬 포스페이트, 페달라이트, β-석영, 인회석, 또는 이들의 조합을 포함한다.
- [0024] 제19 관점 A19는 제1 관점 내지 제18 관점 A1-A18 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품의 평균 투과율은 물품 두께 0.8mm에서 측정 시 400 nm 내지 800 nm의 파장 범위에 걸쳐 50% 이상 95% 이하이다.
- [0025] 제20 관점 A20은 제1 관점 내지 제19 관점 A1-A19 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 이중 비틀림 방법으로 측정된 유리-세라믹 물품의 K<sub>Ic</sub> 파괴 인성은 1.0 MPa · m<sup>1/2</sup> 이상이다.
- [0026] 제21 관점 A21은 제1 관점 내지 제20 관점 A1-A20 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함하며, 유리-세라믹 물품의 탄성 계수는 100 GPa 이상이다.
- [0027] 제22 관점 A22에 따르면, 유리 조성물은 52 mol% 이상 70 mol% 이하의 SiO<sub>2</sub>; 14 mol% 이상 35 mol% 이하의 Li<sub>2</sub>O; 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하의 CaO; 0.5 mol% 이상 10 mol% 이하의 ZrO<sub>2</sub>; 및 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함할 수 있다.
- [0028] 제23 관점 A23은 제22 관점 A22에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 18 mol% 이상 32 mol% 이하의 Li<sub>2</sub>O를 포함한다.
- [0029] 제24 관점 A24는 제22 관점 A22 또는 제23 관점 A23에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 0.5 mol% 이상 7 mol% 이하의 ZrO<sub>2</sub>를 포함한다.
- [0030] 제25 관점 A25는 제22 관점 내지 제24 관점 A22-A24 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 1 mol% 이상 4.5 mol% 이하의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함한다.
- [0031] 제26 관점 A26은 제22 관점 내지 제25 관점 A22-A25 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 0 mol% 이상 7 mol% 이하의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함한다.
- [0032] 제27 관점 A27은 제26 A26에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 0.5 mol% 이상 4 mol% 이하의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함한다.
- [0033] 제28 관점 A28은 제22 관점 내지 제27 관점 A22-A27 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 0 이상 0.2 이하이다.
- [0034] 제29 관점 A29는 제22 관점 내지 제28 관점 A22-A28 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, R<sub>2</sub>O는 14 mol% 이상 40 mol% 이하이고, 여기서 R<sub>2</sub>O는 Li<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O 및 K<sub>2</sub>O의 합이다.
- [0035] 제30 관점 A30은 제22 관점 내지 제29 관점 A22-A29 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, Li<sub>2</sub>O 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 0.2 이상 0.7 이하이다.
- [0036] 제31 관점 A31은 제22 관점 내지 제30 관점 A22-A30 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, R'O는 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하이고, 여기서 R'O는 CaO, MgO, ZnO, SrO 및 BaO의 합이다.
- [0037] 제32 관점 A32는 제22 관점 내지 제31 관점 A22-A31 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, R'O 대 SiO<sub>2</sub>

의 몰비는 0 이상 0.3 이하이며, 여기서 R'0는 CaO, MgO, ZnO, SrO 및 BaO의 합이다.

- [0038] 제33 관점 A33은 제22 관점 내지 제32 관점 A22-A32 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 0 mol% 이상 6 mol% 이하의 La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 포함한다.
- [0039] 제34 관점 A25는 제22 관점 내지 제33 관점 A22-A33 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 F-를 포함한다.
- [0040] 제35 관점 A35는 제22 관점 내지 제34 관점 A22-A34 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 0 mol% 초과 5 mol% 이하의 Na<sub>2</sub>O; 및 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 K<sub>2</sub>O를 포함한다.
- [0041] 제36 관점 A36은 제22 관점 내지 제35 관점 A22-A35 중 어느 하나에 따른 유리 조성물을 포함하며, 유리 조성물은 0 mol% 이상 6 mol% 이하의 MgO; 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 ZnO; 0 mol% 이상 6 mol% 이하의 SrO; 및 0 mol% 이상 6 mol% 이하의 BaO를 포함한다.
- [0042] 제37 관점 A37에 따르면, 유리-세라믹 물품을 형성하는 방법은 오븐에서 전구체 유리 물품을 1°C/분 이상 10°C/분 이하의 속도로 핵형성 온도까지 가열하는 단계, 여기서 전구체 유리 물품은 다음을 포함하는 전구체 유리 조성물을 포함함: 52 mol% 이상 70 mol% 이하의 SiO<sub>2</sub>; 14 mol% 이상 35 mol% 이하의 Li<sub>2</sub>O; 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하의 CaO; 0.5 mol% 이상 10 mol% 이하의 ZrO<sub>2</sub>; 및 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 0.1시간 이상 8시간 이하의 기간 동안 오븐 내 핵형성 온도에서 전구체 유리 물품을 유지하여 핵형성된 결정화 가능한 유리 물품을 생성하는 단계; 오븐 내에서 핵형성된 결정화 가능한 유리 물품을 1°C/분 이상 10°C/분 이하의 속도로 결정화 온도까지 가열하는 단계; 0.25시간 이상 4시간 이하의 기간 동안 오븐 내 결정화 온도에서 핵형성된 결정화 가능한 유리 물품을 유지하여 유리-세라믹 물품을 생성하는 단계, 여기서 유리-세라믹 물품은 결정 상 및 잔류 유리 상을 포함함; 및 유리-세라믹 물품을 실온으로 냉각시키는 단계를 포함한다.
- [0043] 제38 관점 A38은 제37 관점 A37에 따른 방법을 포함하며, 결정 상은 리튬 디실리케이트를 포함하고, 리튬 디실리케이트는 결정 상의 총 중량을 기준으로 임의의 다른 결정상보다 더 많은 양으로 존재한다.
- [0044] 제39 관점 A39는 제37 관점 A37 또는 제38 관점 A38에 따른 방법을 포함하며, 350°C 이상 500°C 이하의 온도에서 2시간 이상 12시간 이하의 기간 동안 이온 교환 욕에서 유리-세라믹 물품을 강화하여 이온 교환된 유리-세라믹 물품을 형성하는 단계를 더 포함한다.
- [0045] 제40 관점 A40은 제39 관점 A39에 따른 방법을 포함하며, 이온 교환 욕은 KNO<sub>3</sub>를 포함한다.
- [0046] 제41 관점 A41은 제37 관점 A37 또는 제38 관점 A38에 따른 방법을 포함하며, 이온 교환 욕은 NaNO<sub>3</sub>를 포함한다.
- [0047] 제42 관점 A42는 제37 관점 내지 제41 관점 A37-A41 중 어느 하나에 따른 방법을 포함하며, 유리-세라믹 물품의 평균 투과율은 물품 두께 0.8 mm에서 측정 시 400 nm 내지 800 nm의 파장 범위에 걸쳐 50% 이상 95% 이하이다.
- [0048] 제43 관점 A43은 제37 관점 내지 제42 관점 A37-A42 중 어느 하나에 따른 방법을 포함하며, 이중 비틀림 방법으로 측정된 유리-세라믹 물품의 K<sub>Ic</sub> 파괴인성은 1.0 MPa · m<sup>1/2</sup> 이상이다.
- [0049] 제44 관점 A44는 제37 관점 내지 제43 관점 A37-A43 중 어느 하나에 따른 방법을 포함하며, 유리-세라믹 물품의 탄성 계수는 100 GPa 이상이다.
- [0050] 제45 관점 A45는 제37 관점 내지 제44 관점 A37-A44 중 어느 하나에 따른 방법을 포함하며, 유리-세라믹 물품의 저장된 변형 에너지는 15 J/m<sup>2</sup> 이상이다.
- [0051] 제46 관점 A46에 따르면, 소비자 전자 장치로서,
- [0052] 전면, 후면 및 측면을 갖는 하우징;
- [0053] 하우징 내에 적어도 부분적으로 제공되는 전기 구성요소로서, 전기 구성요소는 적어도 컨트롤러, 메모리 및 디스플레이를 포함하며, 디스플레이는 하우징의 전면에 또는 하우징의 전면에 인접하여 제공됨; 및
- [0054] 디스플레이 위에 배치되고 하우징의 일부를 형성하는 적어도 하나의, 제1 관점 내지 제21 관점 A1-A21 중 어느 하나의 유리-세라믹 물품을 포함한다.

[0055] 본 명세서에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품의 추가적인 특징 및 이점은 다음의 상세한 설명에 기재될 것이며, 부분적으로는 해당 설명으로부터 당업자에게 쉽게 명백하거나 이하의 상세한 설명, 청구 범위 및 첨부된 도면을 포함하여 본 명세서에 기술된 구현 예를 실행함으로써 인식될 것이다.

[0056] 진술한 일반적인 설명과 다음의 상세한 설명은 모두 다양한 실시예를 설명하고 청구된 주제의 성격과 특징을 이해하기 위한 개요 또는 틀을 제공하도록 의도된 것으로 이해되어야 한다. 첨부된 도면은 다양한 구현 예의 추가 이해를 제공하기 위해 포함되었으며, 본 명세서에 통합되어 본 명세서의 일부를 구성한다. 도면은 본 명세서에 기술된 다양한 구현 예를 예시하고, 설명과 함께 청구된 주제의 원리 및 동작을 설명하는 역할을 한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0057] 도 1은 취성 시험(fragility test) 후의 비-취성(non-fragible) 샘플을 나타낸 것이다.
- 도 2는 취성 시험 후 취성 샘플을 나타낸 것이다.
- 도 3은 본원에 설명된 하나 이상의 구현 예에 따른 유리-세라믹 물품 중 어느 하나를 포함하는 전자 장치의 평면도이다.
- 도 4는 도 3의 전자 장치의 사시도이다.
- 도 5는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 총 투과율 백분율 및 확산 투과율 백분율(y축) 대 파장(x축)의 플롯이다.
- 도 6은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 총 투과율 백분율(y축) 대 파장(x축)의 플롯이다.
- 도 7은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 산란율 백분율(y축) 대 파장(x축)의 플롯이다.
- 도 8은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 XRD 스펙트럼(x축: 2세타; y축: 강도)의 플롯이다.
- 도 9는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 XRD 스펙트럼(x축: 2세타; y축: 강도)의 플롯이다.
- 도 10은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 주사 전자 현미경(SEM) 이미지이다.
- 도 11은 도 10의 추가 확대 SEM 이미지이다.
- 도 12는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 SEM 이미지이다.
- 도 13은 도 12의 추가 확대 SEM 이미지이다.
- 도 14는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 SEM 이미지이다.
- 도 15는 도 14의 추가 확대 SEM 이미지이다.
- 도 16은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 결정립 크기(y축) 대 핵형성 유지 시간(x축)의 플롯이다.
- 도 17은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 결정화도(y축) 대 핵형성 유지 시간(x축)의 플롯이다.
- 도 18은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 파괴 인성(y축) 대 결정화도(x축)의 플롯이다.
- 도 19는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 SEM 이미지이다.
- 도 20은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 SEM

이미지이다.

도 21은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 SEM 이미지이다;

도 22는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 투과율 백분율(y축) 대 파장(x축)의 플롯이다.

도 23은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 중심장력(y축) 대 이온 교환 시간(x축)의 플롯이다.

도 24는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 예시적인 유리-세라믹 물품의 나트륨 농도(y-축) 대 깊이(x-축)의 플롯이다.

도 25는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 중심장력(y축) 대 이온 교환 시간(x축)의 플롯이다.

도 26은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 중량 증가(y축) 대 이온 교환 시간의 제곱근(x축)의 플롯이다.

도 27은 전구체 유리 조성물로부터 제조되고 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따라 취성 시험을 받은 유리-세라믹 물품의 사진이다.

도 28은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따라 전구체 유리 조성물로 제조되고 취성 시험을 받은 유리-세라믹 물품의 사진이다.

도 29는 전구체 유리 조성물로 제조되고 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따라 취성 시험을 받은 유리-세라믹 물품의 사진이다.

도 30은 예지에서 강렬한 빛이 비추고 전구체 유리 조성물로 제조되었으며 본원에 설명된 하나 이상의 구현 예에 따라 노화 시험을 받은 유리-세라믹 물품의 광학 이미지이다.

도 31은 예지에서 강렬한 빛이 비추고 전구체 유리 조성물로 제조되었으며 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 노화 시험을 받은 유리-세라믹 물품의 광학 이미지이다.

도 32는 예지에서 강렬한 빛을 비추고 전구체 유리 조성물로 제조되었으며 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 노화 시험을 받은 유리-세라믹 물품의 광학 이미지이다.

도 33은 예지에서 강렬한 빛을 비추고 전구체 유리 조성물로 제조되었으며 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 노화 시험을 받은 유리-세라믹 물품의 광학 이미지이다.

도 34는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 SEM 이미지이다;

도 35는 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 EDS 플롯이다.

도 36은 본원에 기술된 하나 이상의 구현 예에 따른 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품의 EDS 플롯이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0058] 이제 전구체 유리 조성물 및 그로부터 형성된 개선된 기계적 내구성을 갖는 유리-세라믹 물품의 다양한 구현 예를 자세히 참조할 것이다. 구현 예에 따르면, 유리-세라믹 물품은 결정상, 잔류 유리상, 52 mol% 이상 및 70 mol% 이하의 SiO<sub>2</sub>, 14 mol% 이상 및 35 mol% 이하의 Li<sub>2</sub>O, 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하 CaO, 0.5 mol% 이상 10 mol% 이하 ZrO<sub>2</sub>; 및 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함한다. 전구체 유리 조성물의 다양한 구현 예 및 그로부터 이온 교환 가능한 유리-세라믹 물품을 형성하는 방법은 첨부된 도면을 구체적으로 참조하여 본 명세서에서 언급될 것이다.

[0059] 범위는 본 명세서에서 "약" 하나의 특정 값으로부터 및/또는 "약" 또 다른 특정 값까지로 표현될 수 있다. 이러한 범위가 표현되는 경우, 다른 구현 예는 하나의 특정 값 및/또는 다른 특정 값을 포함한다. 유사하게, 선

행사 "약"을 사용하여 값이 근사치로서 표현되는 경우, 특정 값이 또 다른 구현 예를 형성한다는 것이 이해될 것이다. 각 범위의 끝점은 다른 끝점과 관련하여 그리고 다른 끝점과 독립적으로 중요하다는 것이 추가로 이해될 것입니다.

- [0060] 본 명세서에 사용된 방향 용어(예를 들어 위, 아래, 오른쪽, 왼쪽, 앞, 뒤, 상단, 하단)는 단지 도면을 참조하여 작성된 것이며 절대적인 방향을 의미하는 것은 아니다.
- [0061] 달리 명시적으로 언급되지 않는 한, 여기에 설명된 임의의 방법은 그 단계가 특정 순서로 수행되거나 장치의 특정 방향이 요구되는 것을 요구하는 것으로 해석되지 않는다. 따라서, 방법 청구항이 그 단계에 따라야 할 순서를 실제로 기재하지 않거나, 장치 청구항이 개별 구성요소에 대한 순서나 방향을 실제로 기재하지 않거나, 청구범위나 설명에 달리 구체적으로 언급되지 않은 경우, 단계가 특정 순서로 제한되거나 장치 구성요소에 대한 특정 순서 또는 방향이 언급되지 않은 경우, 어떤 면에서도 순서나 방향을 추론할 의도는 없다. 이는 단계 배열, 작업 흐름, 구성 요소 순서 또는 구성 요소 방향과 관련된 논리 문제; 문법적 구성이나 구두점에서 파생된 단순한 의미, 및; 명세서에 설명된 구현 예의 수 또는 유형을 포함하여 해석에 대한 모든 비명시적 근거에 적용된다.
- [0062] 본 명세서에 사용된 바와 같이, 단수형 "a", "an" 및 "the"는 문맥에서 달리 명시하지 않는 한 복수형을 포함한다. 따라서, 예를 들어, "a" 구성요소에 대한 언급은 문맥상 달리 명확하게 나타내지 않는 한, 둘 이상의 그러한 구성요소를 갖는 측면을 포함한다.
- [0063] 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서 특정 구성 성분의 농도 및/또는 부재를 설명하는 데 사용되는 "실질적으로 없는"이라는 용어는 구성 성분이 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에 의도적으로 첨가되지 않는다는 것을 의미한다. 그러나, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0.1 mol% 미만의 양으로 오염물질 또는 트랩프로서 미량의 구성 성분을 함유할 수 있다.
- [0064] 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서 특정 구성 성분의 농도 및/또는 부재를 설명하기 위해 사용된 용어 "0 mol%" 및 "없음"은 구성 성분이 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에 존재하지 않음을 의미한다.
- [0065] 본 명세서에 기재된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품의 구현 예에서, 달리 명시하지 않는 한, 구성 성분(예를 들어, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등)의 농도는 산화물 기준의 mol%(mol%)로 명시된다.
- [0066] 본 명세서에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품의 구현 예에서, 달리 명시하지 않는 한, F-의 농도는 mol%(mol%)로 명시된다.
- [0067] 본 명세서에서 사용된 용어 "과괴 인성"은 K<sub>IC</sub> 값을 의미하며, ASTM STP 559, "Double Torsion Technique as a Universal Fracture Toughness Test Method"라는 제목으로 기술된 이중 비틀림 기술을 사용하여 측정되며, 그 내용은 그 전체가 참조로 본 명세서에 포함된다.
- [0068] 투과율 데이터(총 투과율 및 확산 투과율)는 PerkinElmer Inc.(미국 매사추세츠주 월섬)에서 제조한 Lambda 950 UV/Vis 분광광도계를 사용하여 측정된다. Lambda 950 장치에는 150mm 적분구가 장착되었다. 개방형 빔 기준선과 Spectralon® 기준 반사 디스크를 사용하여 데이터를 수집했다. 총 투과율(Total Tx)의 경우 샘플은 적분구 진입점에 고정된다. 확산 투과율(확산 Tx)의 경우, 측정 빛이 구를 빠져나가 광 트랩으로 들어갈 수 있도록 구 출구 포트 위의 Spectralon® 기준 반사 디스크가 제거된다. 광 트랩의 효율성을 결정하기 위해 샘플 없이 확산 부분의 제로 오프셋 측정이 이루어진다. 확산 투과율 측정을 수정하려면 다음 방정식을 사용하여 샘플 측정에서 제로 오프셋 기여도를 뺀다. 확산 Tx = 확산 측정된 - (제로 오프셋 \* (총 Tx/100)). 산란 비율은 모든 파장에 대해 다음과 같이 측정된다. (%확산 Tx / %총 Tx).
- [0069] 본원에 기술된 X선 회절(XRD) 스펙트럼은 Bruker Corporation(Billerica, MA)에서 제조한 LYNXEYE XE-T 검출기를 갖춘 D8 ENDEAVOR X선 회절 시스템으로 측정된다.
- [0070] 본원에 표시되고 설명된 주사 전자 현미경(SEM)을 사용한 전자 회절 이미지는 ZEISS GeminiSEM 500 주사 전자 현미경을 사용하여 촬영한 것이다.
- [0071] 본원에 설명된 X선 분광법(EDS)은 총 시간의 연장된 기간 동안 짧은 노출(픽셀당 8μm) 맵을 통합하여 Bruker Esprit 소프트웨어를 사용하여 수집된다. EDS 데이터는 전자 광학의 나노프로브 SEM 구성을 사용하여 수집된다.

- [0072] 본 명세서에 사용된 용어 "평균 투과율"은 정수로 매겨진 각 파장을 동일하게 가중하여 주어진 파장 범위 내에서 수행된 투과율 측정의 평균을 의미한다. 본 명세서에 기술된 구현 예에서, "평균 투과율"은 400 nm 내지 800 nm(중점 포함)의 파장 범위에 걸쳐 보고된다.
- [0073] 본 명세서에 기술된 전구체 유리 조성물로 형성된 유리-세라믹 물품을 설명하는 데 사용된 용어 "투명"은 유리-세라믹 물품이 0.8mm의 물품 두께에서 400nm 내지 800nm(중점 포함)의 파장 범위에서 빛에 대한 수직 입사에서 측정할 때 85% 이상의 평균 투과율을 가짐을 의미한다.
- [0074] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로 형성된 유리-세라믹 물품을 설명하는 데 사용된 용어 "투명 헤이즈"는 유리-세라믹 물품이 물품 두께 0.8mm에서 400nm 내지 800nm(중점 포함) 파장 범위의 빛에 대한 수직 입사에서 측정 시 50% 이상 85% 미만의 평균 투과율을 가짐을 의미한다.
- [0075] 본 명세서에 기술된 전구체 유리 조성물로 형성된 유리-세라믹 물품을 설명하는 데 사용된 용어 "반투명"은 유리-세라믹 물품이 0.8mm의 물품 두께에서 400nm 내지 800nm(중점 포함) 파장 범위의 빛에 대한 수직 입사에서 측정 시 20% 이상 및 50% 미만의 평균 투과율을 갖는다는 것을 의미한다.
- [0076] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로 형성된 유리-세라믹 물품을 설명하는 데 사용된 용어 "불투명"은 유리-세라믹 물품이 물품 두께 0.8mm에서 400nm 내지 800nm(중점 포함) 파장범위의 빛에 대한 수직 입사에서 측정할 때 20% 미만의 평균 투과율을 가짐을 의미한다.
- [0077] 본 명세서에서 사용된 용어 "융점"은 전구체 유리 조성물의 점도가 200포이즈인 온도를 의미한다.
- [0078] 본 명세서에서 사용된 용어 "연화점"은 전구체 유리 조성물의 점도가  $1 \times 10^{7.6}$  포이즈인 온도를 의미한다. 연화점은 ASTM C1351M과 유사하게 온도에 따른 무기유리의 점도를  $10^7$  내지  $10^9$  포이즈로 측정하는 평행평판점도법에 따라 측정된다.
- [0079] 본 명세서에 사용된 용어 "액상 점도"는 실투 개시 시(즉, ASTM C829-81에 따른 구배로 방법으로 측정된 액상 온도에서) 전구체 유리 조성물의 점도를 의미한다.
- [0080] 본 명세서에 사용된 용어 "액상 온도"는 ASTM C829-81에 따른 구배로 방법으로 결정된 바와 같이 전구체 유리 조성물이 실투되기 시작하는 온도를 의미한다.
- [0081] 본원에 기술된 유리-세라믹 물품의 탄성 계수(영률이라고도 함)는 기가파스칼(GPa) 단위로 제공되며 ASTM C623에 따라 측정된다.
- [0082] 본 명세서에 기술된 유리-세라믹 물품의 전단 계수는 기가파스칼(GPa) 단위로 제공되며 ASTM C623에 따라 측정된다.
- [0083] 본 명세서에 기술된 포아송 비는 ASTM C623에 따라 측정된다.
- [0084] 본 명세서에 기술된 용어 "선형 열팽창 계수" 및 "CTE"는 ASTM E228-85에 따라 25°C 내지 300°C의 온도 범위에 걸쳐 측정되고 " $\times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ "로 표현된다.
- [0085] 표면 압축 응력은 Orihara Industrial Co., Ltd.(일본)에서 제조한 FSM-6000과 같은 시판 기기와 같은 표면 응력 측정기(FSM)를 사용하여 측정된다. 표면 응력 측정은 유리-세라믹 물품의 복굴절과 관련된 응력 광학 계수(SOC) 측정에 의존한다. SOC는 "Standard Test Method for Measurement of Glass Stress-Optical Coefficient"이라는 제목의 ASTM 표준 C770-16에 설명된 절차 C(유리 디스크 방법)에 따라 측정되며, 이 내용은 전체가 참조로 본 명세서에 포함된다. 압축 깊이(DOC)는 당업계에 공지된 산란광 편광기(SCALP) 기술과 함께 FSM으로 측정된다. FSM은 칼럼 이온 교환을 위한 압축 깊이를 측정하고 SCALP는 나트륨 이온 교환을 위한 압축 깊이를 측정한다. 최대 중심 장력(CT) 값은 해당 분야에 알려진 SCALP 기술을 사용하여 측정된다. 본 명세서에서 중앙 장력(CT)에 대해 보고된 값은 달리 명시하지 않는 한 최대 중앙 장력을 나타낸다.
- [0086] "압축 깊이" 및 "DOC"라는 용어는 압축 응력이 인장 응력으로 전환되는 유리-세라믹 물품의 위치를 나타낸다.
- [0087] 본원에 설명된 저장된 변형 에너지  $\Sigma_0$ 는 다음 식(1)에 따라 계산될 수 있다.

[0088] 식(1)

$$\epsilon_0 = \frac{1-\nu}{2E} \int_{-z^*}^{+z^*} (\sigma_x^2 + \sigma_y^2) dz = \frac{1-\nu}{2E} \int_{-z^*}^{+z^*} (2\sigma^2) dz$$

[0089]

[0090] 여기서  $z^* = 0.5t - \sigma$ ,  $t$ 는 유리-세라믹 물품의 두께,  $\sigma$ 는 압축 깊이,  $\nu$ 는 푸아송 비,  $E$ 는 영률(MPa 단위),  $\sigma$ 는 인장 응력(MPa 단위)이다. 적분은 인장 영역의 두께(마이크로미터)에 대해서만 계산된다.

[0091] 본 명세서에 사용된 "취성 한계"는 유리-세라믹 물품이 취약(frangible) 거동을 나타내는 중심 장력 또는 저장된 변형 에너지를 의미한다. "취성" 또는 "취성 거동"은 유리-세라믹 물품이 충격이나 인설트(insult)를 받을 때 특정 파손 거동을 의미한다. 본원에 사용된 유리-세라믹 물품은 취성 시험 결과 시험 영역에서 다음 중 적어도 하나를 나타내는 경우 비-취성인 것으로 간주된다: (1) 최대 치수가 적어도 1mm인 4개 이하의 파편(fragments), 및/또는 (2) 분기점의 수가 균열 가지의 수 이하임. 파편, 분기점 및 균열 가지는 충격 지점을 중심으로 한 2인치 x 2인치 정사각형을 기준으로 계산된다. 따라서, 아래 설명된 절차에 따라 파손이 발생한 충격 지점을 중심으로 한 2인치 x 2인치 정사각형에 대한 시험 (1)과 (2) 중 하나 또는 둘 다를 충족하는 경우 유리-세라믹 물품은 비-취성으로 간주된다. 취성 시험에서는 충격 프로브가 유리-세라믹 물품과 접촉하게 되며 충격 프로브가 유리-세라믹 물품으로 연장되는 깊이는 연속적인 접촉 반복에서 증가한다. 충격 프로브의 깊이가 단계적으로 증가하면 충격 프로브에 의해 생성된 결함이 인장 영역에 도달하는 동시에 유리-세라믹 물품의 취성 거동을 정확하게 결정하는 데 방해가 되는 과도한 외부 힘의 적용을 방지할 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 충격 프로브의 깊이는 각 반복에서 약 5  $\mu$ m 만큼 증가할 수 있으며, 충격 프로브는 각 반복 사이에서 유리-세라믹 물품과의 접촉에서 제거된다. 시험 영역은 충격 지점을 중심으로 한 임의의 2인치 x 2인치 정사각형이다.

[0092] 도 1은 비-취성 시험 결과를 도시한다. 도 9에 도시된 바와 같이, 시험 영역은 충격점(130)을 중심으로 한 정사각형으로, 정사각형  $a$ 의 한 변의 길이는 2인치이다. 도 9에 도시된 비-취성 샘플은 3개의 단편(142), 2개의 균열 가지(140) 및 단일 분기점(150)을 포함한다. 따라서, 도 9에 도시된 비-취성 샘플은 최대 치수가 적어도 1mm인 4개 미만의 파편을 포함하며 분기점의 수가 균열 가지의 수 이하이다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 균열 분기는 충격 지점에서 시작되고 파편은 시험 영역 내에 있는 것으로 간주되며 파편의 임의의 일부가 시험 영역으로 확장된다. 코팅, 접착층 등이 여기에 설명된 유리-세라믹 물품과 함께 사용될 수 있지만, 이러한 외부 제한은 유리-세라믹 물품의 취성 또는 취성 거동을 결정하는 데 사용되지 않는다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 파손 거동에 영향을 주지 않는 필름을 취성 시험 전에 유리-세라믹 물품에 적용하여 유리-세라믹 물품에서 파편이 배출되는 것을 방지하여 시험을 수행하는 사람의 안전성을 높일 수 있다.

[0093] 취성 샘플이 도 2에 도시되어 있다. 취성 샘플에는 균열 가지(140)와 세 개의 분기점(150)이 있는 5개의 파편(142)이 포함되어 있으며 균열 가지보다 더 많은 분기점을 생성한다. 따라서, 도 2에 도시된 샘플은 4개 이하의 파편이나 균열 가지 수보다 작거나 같은 분기 수를 나타내지 않는다.

[0094] 본원에 설명된 취성 시험에서 충격은 강화 유리 물품 내에 존재하는 내부 저장된 에너지를 방출하기에 충분한 힘으로 유리-세라믹 물품의 표면에 전달된다. 즉, 점 충격력은 강화 유리 시트의 표면에 적어도 하나의 새로운 균열을 생성하고 균열을 압축 응력층을 통해 중심 인장(CT) 하에 있는 영역으로 확장시키기에 충분하다.

[0095] 본 명세서에 사용된 용어 "결정립 크기(grain size)"는 주사전자현미경을 사용하여 측정된 결정립의 가장 큰 치수의 크기를 의미한다.

[0096] 본 명세서에 사용된 "중형비"라는 용어는 M.N. 라하만, "Ceramic Processing", CRC Press, 2007, pp.107)에 기술된 바에 따라 주사전자현미경을 사용하여 측정된 결정립의 최대 치수와 그에 직교하는 최소 치수의 평균 비율을 의미한다.

[0097] 본 명세서에 사용된 용어 "전구체 유리 조성물"은 열처리 시 전구체 유리 물품 또는 유리-세라믹 물품을 형성할 수 있는 유리 조성물을 의미한다.

[0098] 본원에 사용된 용어 "전구체 유리 물품"은 열처리 시 유리에서 결정 상의 핵형성을 유발하는 하나 이상의 핵형성제를 함유하는 유리 물품을 의미한다.

[0099] 본 명세서에 사용된 용어 "유리-세라믹 물품"은 전구체 유리 조성물로부터 형성된 유리 물품을 열처리하여 결정

상의 핵형성을 유도함으로써 형성된 물품을 의미하며, 따라서 유리-세라믹 물품은 결정 상 및 잔류 유리 상을 포함한다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 약 1% 내지 약 99%의 결정성을 갖는다.

- [0100] 104의 편의를 위해, 상세한 설명 전반에 걸쳐 "전구체 유리 조성물"이라는 용어를 사용한다. 그러나, 여기에 기술된 유리-세라믹 물품은 전구체 유리 조성물로부터 형성된 전구체 유리 물품을 열 처리함으로써 생산된다는 것이 이해되어야 한다.
- [0101] 유리-세라믹 물품은 일반적으로 균열 성장을 방해하는 결정질 결정립의 존재 및 유리-세라믹 물품의 상대적으로 높은 탄성 계수로 인해 유리로 형성된 물품에 비해 개선된 파괴 인성을 갖는다. 그러나 유리-세라믹 물품 고유의 미세 구조로 인해 원하는 투명성을 달성하는 것이 어려울 수 있다. 또한, 전구체 유리 조성물에 존재하는 알칼리 산화물은 열처리 후 결정상에 포함될 수 있으며, 이온 교환이 불가능할 수 있다.
- [0102] 진술한 문제를 완화시키는 전구체 유리 조성물 및 이로부터 형성된 유리-세라믹 물품이 여기에 개시된다. 구체적으로, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물은 상대적으로 높은 농도의  $Li_2O$ ,  $CaO$ ,  $ZrO_2$  및  $P_2O_5$ 를 포함하고 특정 열 처리를 거쳐 투명하거나 투명한 헤이즈를 특징으로 하는 리튬 디실리케이트 유리-세라믹 물품을 형성할 수 있다. 리튬 디실리케이트 나노결정은 서로 맞물린 미세구조(Interlocking microstructure)를 가지며, 이는 유리-세라믹 물품의 파괴 인성을 개선하는 데 도움이 될 수 있다. "맞물린 미세구조(Interlocking microstructure)"는 서로 맞물리고 얽혀 있는(engaged) 길쭉하고 무작위로 배향된 나노결정을 의미한다. 이러한 맞물린 구조는 균열 전파를 위한 구불구불한 경로를 생성하고 방해한다. 더욱이, 상대적으로 많은 양의 리튬 디실리케이트(예를 들어, 임의의 다른 결정 상보다 결정 상의 총 중량을 기준으로 더 많은 양으로 존재함)은 유리로만 형성된 물품에 비해 상대적으로 높은 탄성 계수를 초래할 수 있다. 유리-세라믹 물품은 잔류 유리 상에 상대적으로 높은 양의  $Li_2O$ 가 존재한다. 따라서, 잔류 유리 상은 취성 없이 비교적 높은 최대 중심 장력 및 저장된 변형 에너지를 달성하기 위해 쉽게 이온 교환될 수 있다.
- [0103] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 유리-세라믹 물품은 리튬 실리케이트 전구체 유리 조성물 및 유리-세라믹 물품으로 설명될 수 있으며  $SiO_2$  및  $Li_2O$ 를 포함한다.  $SiO_2$  및  $Li_2O$  외에도, 본원에 설명된 전구체 유리 조성물 및 유리-세라믹 물품은 원하는 리튬 디실리케이트 상을 포함하는 결정상을 달성하기 위해  $ZrO_2$  및  $P_2O_5$ 를 추가로 포함한다. 본원에 설명된 전구체 유리 조성물 및 유리-세라믹 물품은 전구체 유리 조성물의 용융 거동을 개선하기 위해  $CaO$ 를 추가로 포함한다.
- [0104]  $SiO_2$ 는 본원에 기술된 전구체 유리 조성물의 주요 유리 형성제이며 유리-세라믹 물품의 네트워크 구조를 안정화시키는 기능을 할 수 있다. 전구체 유리 조성물 중  $SiO_2$ 의 농도는 전구체 유리 조성물이 열처리되어 전구체 유리 조성물을 유리-세라믹 물품으로 전환시킬 때 리튬 디실리케이트를 포함하는 결정 상을 형성하기 위해 충분히 높아야 한다(예를 들어, 52 mol% 이상). 순수  $SiO_2$  또는 고  $SiO_2$  유리의 용융 온도가 바람직하지 않게 높기 때문에, 전구체 유리 조성물의 용융점을 제어하기 위해  $SiO_2$ 의 농도를 제한(예를 들어, 70 mol% 이하)할 수 있다. 따라서,  $SiO_2$ 의 농도를 제한하면 생성된 유리-세라믹 물품의 용융성 및 성형성을 개선하는 데 도움이 될 수 있다.
- [0105] 따라서, 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 52 mol% 이상 70 mol% 이하의  $SiO_2$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $SiO_2$ 의 농도는 52 mol% 이상, 54 mol% 이상, 또는 심지어 56 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $SiO_2$ 의 농도는 70 mol% 이하, 66 mol% 이하, 또는 심지어 62 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $SiO_2$ 의 농도는 52 mol% 이상 70 mol% 이하, 52 mol% 이상 66 mol% 이하, 52 mol% 이상 62 mol% 이하, 54 mol% 이상 70 mol% 이하, 54 mol% 이상 66 mol% 이하, 54 mol% 이상 62 mol% 이하, 56 mol% 이상 70 mol% 이하, 56 mol% 이상 66 mol% 이하, 또는 심지어 56 mol% 이상 62 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 하나로 형성된 임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다.
- [0106]  $Li_2O$ 는 리튬 디실리케이트의 구성 요소이며 이러한 원하는 상을 달성하기 위해 본원에 설명된 전구체 유리 조성물에 포함된다.  $Li_2O$ 는 또한 생성된 유리-세라믹 물품의 이온 교환성을 돕는다.  $Li_2O$ 는 전구체 유리 조성물의 연화점을 감소시켜 생성된 유리-세라믹 물품의 성형성을 증가시킨다.  $Li_2O$ 의 농도는 생성된 유리-세라믹 물품이 결정 상의 전체 중량을 기준으로 다른 결정 상에 비해 더 많은 양으로 존재하는 리튬 디실리케이트를 갖도록 충

분히 높아야 한다(예: 14 mol% 이상). 그러나,  $\text{Li}_2\text{O}$ 의 농도가 너무 높으면(예를 들어, 35 mol% 초과), 용융물의 점도가 바람직하지 않게 증가하여 생성된 전구체 유리 및 유리-세라믹 물품의 성형성이 저하될 수 있다.

[0107] 따라서, 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 14 mol% 이상 및 35 mol% 이하의  $\text{Li}_2\text{O}$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 18 mol% 이상 및 32 mol% 이하의  $\text{Li}_2\text{O}$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{Li}_2\text{O}$ 의 농도는 14 mol% 이상, 15 mol% 이상, 16 mol% 이상, 17 mol% 이상, 18 mol% 이상, 19 mol% 이상, 20 mol% 이상, 21 mol% 이상, 22 mol% 이상, 23 mol% 이상, 또는 심지어 24 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{Li}_2\text{O}$ 의 농도는 35 mol% 이하, 33 mol% 이하, 30 mol% 이하, 29 mol% 이하, 28 mol% 이하, 27 mol% 이하, 또는 심지어 26 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{Li}_2\text{O}$ 의 농도는 14 mol% 이상 35 mol% 이하, 14 mol% 이상 33 mol% 이하, 14 mol% 이상 30 mol% 이하, 14 mol% 이상 29 mol% 이하, 14 mol% 이상 28 mol% 이하, 14 mol% 이상 27 mol% 이하, 14 mol% 이상 26 mol% 이하, 15 mol% 이상 35 mol% 이하, 15 mol% 이상 33 mol% 이하, 15 mol% 이상 30 mol% 이하, 15 mol% 이상 29 mol% 이하, 15 mol% 이상 28 mol% 이하, 15 mol% 이상 27 mol% 이하, 15 mol% 이상 26 mol% 이하, 16 mol% 이상 35 mol% 이하, 16 mol% 이상 및 33 mol% 이하, 16 mol% 이상 30 mol% 이하, 16 mol% 이상 29 mol% 이하, 16 mol% 이상 28 mol% 이하, 16 mol% 이상 27 mol% 이하, 16 mol% 이상 26 mol% 이하, 17 mol% 이상 35 mol% 이하, 17 mol% 이상 33 mol% 이하, 17 mol% 이상 30 mol% 이하, 17 mol% 이상 29 mol% 이하, 17 mol% 이상 28 mol% 이하, 17 mol% 이상 27 mol% 이하, 17 mol% 이상 26 mol% 이하, 18 mol% 이상 35 mol% 이하, 18 mol% 이상 33 mol% 이하, 18 mol% 이상 30 mol% 이하, 18 mol% 이상 29 mol% 이하, 18 mol% 이상 28 mol% 이하, 18 mol% 이상 27 mol% 이하, 18 mol% 이상 26 mol% 이하, 19 mol% 이상 35 mol% 이하, 19 mol% 이상 33 mol% 이하, 19 mol% 이상 30 mol% 이하, 19 mol% 이상 29 mol% 이하, 19 mol% 이상 28 mol% 이하, 19 mol% 이상 및 27 mol% 이하, 19 mol% 이상 26 mol% 이하, 20 mol% 이상 35 mol% 이하, 20 mol% 이상 33 mol% 이하, 20 mol% 이상 30 mol% 이하, 20 mol% 이상 29 mol% 이하, 20 mol% 이상 28 mol% 이하, 20 mol% 이상 27 mol% 이하, 20 mol% 이상 26 mol% 이하, 21 mol% 이상 35 mol% 이하, 21 mol% 이상 33 mol% 이하, 21 mol% 이상 30 mol% 이하, 21 mol% 이상 29 mol% 이하, 21 mol% 이상 28 mol% 이하, 21 mol% 이상 27 mol% 이하, 21 mol% 이상 26 mol% 이하, 22 mol% 이상 35 mol% 이하, 22 mol% 이상 33 mol% 이하, 22 mol% 이상 30 mol% 이하, 22 mol% 이상 29 mol% 이하, 22 mol% 이상 28 mol% 이하, 22 mol% 이상 27 mol% 이하, 22 mol% 이상 26 mol% 이하, 23 mol% 이상 35 mol% 이하, 23 mol% 이상 33 mol% 이하, 23 mol% 이상 30 mol% 이하, 23 mol% 이상 29 mol% 이하, 23 mol% 이상 28 mol% 이하, 23 mol% 이상 27 mol% 이하, 23 mol% 이상 26 mol% 이하, 24 mol% 이상 35 mol% 이하, 24 mol% 이상 33 mol% 이하, 24 mol% 이상 30 mol% 이하, 24 mol% 이상 29 mol% 이하, 24 mol% 이상 28 mol% 이하, 24 mol% 내지 27 mol% 이하, 또는 심지어 24 mol% 이상 26 mol% 이하, 또는 임의의 이들 끝점으로부터 형성된 임의의 및 모든 하위 범위일 수 있다.

[0108] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{Li}_2\text{O}$  농도 대 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{SiO}_2$ 의 농도의 몰 비((즉,  $\text{Li}_2\text{O}$ (몰 %) 대  $\text{SiO}_2$ (mol%))는 원하는 리튬 디실리케이트를 포함하는 결정 상을 달성하기 위해 0.2 이상 0.7 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 중  $\text{Li}_2\text{O}$  대  $\text{SiO}_2$ 의 몰비는 생성된 유리-세라믹 물품은 0.2 이상, 0.3 이상, 0.35 이상, 또는 심지어 0.4 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서  $\text{Li}_2\text{O}$  대  $\text{SiO}_2$ 의 몰비는 0.7 이하, 0.6 이하, 0.5 이하, 또는 심지어 0.45 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서  $\text{Li}_2\text{O}$  대  $\text{SiO}_2$ 의 몰비는 0.2 이상 0.7 이하, 0.2 이상 0.6 이하, 0.2 이상 0.5 이하, 0.2 이상 0.45 이하, 0.3 이상 0.7 이하, 0.3 이상 0.6 이하, 0.3 이상 0.5 이하, 0.3 이상 0.45 이하, 0.35 이상 0.7 이하, 0.35 이상 및 0.6 이하, 0.35 이상 0.5 이하, 0.35 이상 0.45 이하, 0.4 이상 0.7 이하, 0.4 이상 0.6 이하, 0.4 이상 0.5 이하, 또는 심지어 0.4 이상 0.45 이하, 또는 이러한 끝점 중 어느 하나에서 형성된 임의의 및 모든 하위 범위일 수 있다.

[0109] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $\text{Li}_2\text{O}$  이외의 알칼리 금속 산화물, 예를 들어  $\text{Na}_2\text{O}$  및/또는  $\text{K}_2\text{O}$ 를 추가로 포함할 수 있다.  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 생성된 유리-세라믹 물품의 이온 교환성을 돕는 것 외에도 융점을 낮추고 생성된 유리-세라믹 물품의 성형성을 향상시킨다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 및 5 mol% 이하의  $\text{Na}_2\text{O}$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물

및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 농도는 0 mol% 이상, 0.5 mol% 이상, 또는 심지어 1 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 농도는 5 mol% 이하, 4 mol% 이하, 3 mol% 이하, 또는 심지어는 2 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 농도는 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 및 4 mol% 이하, 0 mol% 이상 3 mol% 이하, 0 mol% 이상 2 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 % 5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 4 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 3 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 2 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 및 3 mol% 이하, 또는 심지어 1 mol% 이상 및 2 mol% 이하, 또는 이러한 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 그리고 모든 서브 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $\text{Na}_2\text{O}$ 가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.

[0110]  $\text{K}_2\text{O}$ 는 이온 교환을 촉진하고, 압축 깊이를 증가시키며, 융점을 낮추어 생성된 유리-세라믹 물품의 성형성을 향상시킨다. 그러나  $\text{K}_2\text{O}$ 를 첨가하면 표면 압축 응력과 융점이 너무 낮아질 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 및 5 mol% 이하의  $\text{K}_2\text{O}$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $\text{K}_2\text{O}$ 의 농도는 0 mol% 이상, 0.5 mol% 이상, 또는 심지어 1 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $\text{K}_2\text{O}$ 의 농도는 5 mol% 이하, 4 mol% 이하, 3 mol% 이하, 또는 심지어는 2 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $\text{K}_2\text{O}$ 의 농도는 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 4 mol% 이하, 0 mol% 이상 3 mol% 이하, 0 mol% 이상 2 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 % 5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 4 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 3 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 2 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 및 3 mol% 이하, 또는 심지어 1 mol% 이상 및 2 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $\text{K}_2\text{O}$ 가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.

[0111] 본 명세서에 사용된  $\text{R}_2\text{O}$ 는 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에 존재하는  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  및  $\text{K}_2\text{O}$ 의 합 (mol%)(즉,  $\text{R}_2\text{O} = \text{Li}_2\text{O}(\text{mol}\%) + \text{Na}_2\text{O}(\text{mol}\%) + \text{K}_2\text{O}(\text{mol}\%)$ )이다.  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  및  $\text{K}_2\text{O}$ 와 같은 알칼리 산화물은 전구체 유리 조성물의 연화점 및 성형 온도를 낮추는 데 도움을 주어, 전구체 유리 조성물 내의  $\text{SiO}_2$ 의 더 많은 양으로 인한 전구체 유리 조성물의 연화점 및 성형 온도 증가를 상쇄한다. 연화점 및 성형 온도의 감소는 전구체 유리 조성물에 알칼리 산화물의 조합(예를 들어, 2개 이상의 알칼리 산화물)을 포함함으로써 더욱 감소될 수 있는데, 이러한 현상을 "혼합 알칼리 효과"라고 한다. 그러나, 알칼리 산화물의 양이 너무 많으면 전구체 유리 조성물의 평균 열팽창 계수가  $100 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ 보다 크게 증가하여 바람직하지 않을 수 있는 것으로 밝혀졌다.

[0112] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{R}_2\text{O}$ 의 농도는 14 mol% 이상 40 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{R}_2\text{O}$ 의 농도는 14 mol% 이상, 16 mol% 이상, 18 mol% 이상, 20 mol% 이상, 22 mol% 이상, 24 mol% 이상, 또는 심지어 26 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{R}_2\text{O}$ 의 농도는 40 mol% 이하, 37 mol% 이하, 35 mol% 이하, 33 mol% 이하, 또는 심지어 30 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $\text{R}_2\text{O}$ 의 농도는 14 mol% 이상 40 mol% 이하, 14 mol% 이상 37 mol% 이하, 14 mol% 이상 35 mol% 이하, 14 mol% 이상 33 mol% 이하, 14 mol% 이상 % 30 mol% 이하, 16 mol% 이상 40 mol% 이하, 16 mol% 이상 37 mol% 이하, 16 mol% 이상 35 mol% 이하, 16 mol% 이상 33 mol% 이하, 16 mol% 이상 30 mol% 이하, 18 mol% 이상 40 mol% 이하, 18 mol% 이상 37 mol% 이하, 18 mol% 이상 35 mol% 이하, 18 mol% 이상 33 mol% 이하, 18 mol% 이상 30 mol% 이하, 20 mol% 이상 40 mol% 이하, 20 mol% 이상 37 mol% 이하, 20 mol% 이상 35 mol% 이하, 20 mol% 이상 33 mol% 이하, 20 mol% 이상 30 mol% 이하, 22 mol% 이상 40 mol% 이하, 22 mol% 이상 37 mol% 이하, 22 mol% 이상 35 mol% 이하, 22 mol% 이상 33 mol% 이하, 22 mol% 이상 30 mol% 이하, 24 mol% 이상 40 mol% 이하, 24 mol% 이상 37 mol% 이하, 24 mol% 이상 35 mol% 이하, 24 mol% 이상 33 mol% 이하, 24 mol% 이상 % 30 mol% 이하, 26 mol% 이상 40 mol% 이하, 26 mol% 이상 37 mol% 이하, 26 mol% 이상 35 mol% 이하, 26 mol% 이상 33 mol% 이하, 또는 심지어 26 mol% 이상 30 mol% 이하 또는 이러한 끝점 중 임의의 하나에서 형성된 임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다.

- [0113] 여기에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 CaO를 추가로 포함한다. CaO는 전구체 유리 조성물의 점도를 낮추어 생성된 유리-세라믹 물품의 성형성, 변형점 및 영률을 향상시키고 이온 교환성을 향상시킬 수 있다. 그러나, 너무 많은 CaO가 전구체 유리 조성물에 첨가되면, 전구체 유리 조성물 내 나트륨 및 칼륨 이온의 확산도가 감소하고, 결과적으로 생성된 유리-세라믹 물품의 이온 교환 성능(즉, 이온 교환 능력)에 부정적인 영향을 미친다.
- [0114] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0.1 mol% 이상 및 15 mol% 이하의 CaO를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 CaO의 농도는 0.1 mol% 이상, 0.5 mol% 이상, 1 mol% 이상, 2 mol% 이상, 3 mol% 이상, 4 mol% 이상, 5 mol% 이상, 또는 심지어 6 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내 CaO의 농도는 15 mol% 이하, 13 mol% 이하, 10 mol% 이하, 9 mol% 이하, 8 mol% 이하, 또는 심지어 7 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 CaO의 농도는 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 13 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 10 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 9 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 8 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 7 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 15 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 13 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 10 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 9 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 8 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 7 mol% 이하, 1 mol% 이상 15 mol% 이하, 1 mol% 이상 13 mol% 이하, 1 mol% 이상 10 mol% 이하, 1 mol% 이상 9 mol% 이하, 1 mol% 이상 8 mol% 이하, 1 mol% 이상 7 mol% 이하, 2 mol% 이상 15 mol% 이하, 2 mol% 이상 13 mol% 이하, 2 mol% 이상 10 mol% 이하, 2 mol% 이상 9 mol% 이하, 2 mol% 이상 8 mol% 이하, 2 mol% 이상 7 mol% 이하, 3 mol% 이상 15 mol% 이하, 3 mol% 이상 13 mol% 이하, 3 mol% 이상 10 mol% 이하, 3 mol% 이상 9 mol% 이하, 3 mol% 이상 8 mol% 이하, 3 mol% 이상 7 mol% 이하, 4 mol% 이상 15 mol% 이하, 4 mol% 이상 13 mol% 이하, 4 mol% 이상 10 mol% 이하, 4 mol% 이상 9 mol% 이하, 4 mol% 이상 8 mol% 이하, 4 mol% 이상 7 mol% 이하, 5 mol% 이상 15 mol% 이하, 5 mol% 이상 13 mol% 이하, 5 mol% 이상 10 mol% 이하, 5 mol% 이상 9 mol% 이하, 5 mol% 이상 8 mol% 이하, 5 mol% 이상 7 mol% 이하, 6 mol% 이상 15 mol% 이하, 6 mol% 이상 13 mol% 이하, 6 mol% 이상 10 mol% 이하, 6 mol% 이상 9 mol% 이하 6 mol% 이상 8 mol% 이하, 또는 심지어 6 mol% 이상 7 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 하나로 형성된 임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다.
- [0115] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 CaO 이외의 2가 양이온 산화물, 예를 들어 MgO, ZnO, SrO 및/또는 BaO를 추가로 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 및 6 mol% 이하의 MgO를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내 MgO의 농도는 0 mol% 이상, 1 mol% 이상, 2 mol% 이상, 또는 심지어는 3 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내 MgO의 농도는 6 mol% 이하, 5 mol% 이하, 또는 심지어 4 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 MgO의 농도는 0 mol% 이상 6 mol% 이하, 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 6 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 2 mol% 이상 6 mol% 이하, 2 mol% 이상 5 mol% 이하, 2 mol% 이상 4 mol% 이하, 3 mol% 이상 6 mol% 이하, 3 mol% 이상 5 mol% 이하, 또는 심지어 3 mol% 이상 및 4 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 MgO가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.
- [0116] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 및 5 mol% 이하의 ZnO를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 ZnO의 농도는 0 mol% 이상, 1 mol% 이상, 또는 심지어 2 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내 ZnO의 농도는 5 mol% 이하, 4 mol% 이하, 또는 심지어 3 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 ZnO의 농도는 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 및 4 mol% 이하, 0 mol% 이상 3 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 3 mol% 이하, 2 mol% 이상 5 mol% 이하, 2 mol% 이상 4 mol% 이하, 2 mol% 이상 3 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 ZnO가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.
- [0117] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 및 6 mol% 이하의 SrO를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 SrO의 농도는 0 mol% 이상, 1 mol% 이상, 2 mol% 이상, 또는 심지어 3 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 SrO의 농도는 6 mol% 이하, 5 mol% 이하, 또는 심지어 4 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전

구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 SrO의 농도는 0 mol% 이상 6 mol% 이하, 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 6mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 2 mol% 이상 6 mol% 이하, 2 mol% 이상 5 mol% 이하, 2 mol% 이상 4 mol% 이하, 3 mol% 이상 6 mol% 이하, 3 mol% 이상 및 5 mol% 이하, 또는 심지어 3 mol% 이상 및 4 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 SrO가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.

[0118] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 및 6 mol% 이하의 BaO를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내 BaO의 농도는 0 mol% 이상, 1 mol% 이상, 2 mol% 이상, 또는 심지어는 3 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내 BaO의 농도는 6 mol% 이하, 5 mol% 이하, 또는 심지어 4 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 BaO의 농도는 0 mol% 이상 6 mol% 이하, 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 6 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 2 mol% 이상 6 mol% 이하, 2 mol% 이상 5 mol% 이하, 2 mol% 이상 4 mol% 이하, 3 mol% 이상 6 mol% 이하, 3 mol% 이상 및 5 mol% 이하, 또는 심지어 3 mol% 이상 및 4 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 BaO가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.

[0119] 본 명세서에 사용된 R'O는 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에 존재하는 CaO, MgO, ZnO, SrO 및 BaO의 합(mol%)이다(즉,  $R'O = CaO(mol\%) + MgO(mol\%) + ZnO(mol\%) + SrO(mol\%) + BaO(mol\%)$ ). CaO, MgO, ZnO, SrO 및 BaO와 같은 2가 양이온 산화물은 전구체 유리 조성물의 점도를 낮추어 생성된 유리-세라믹 물품의 성형성, 변형점 및 영률을 향상시키고 이온 교환성을 향상시킬 수 있다. 그러나 너무 많은 2가 양이온 산화물이 전구체 유리 조성물에 첨가되면, 전구체 유리 조성물에서 나트륨 및 칼륨 이온의 확산도가 감소하고, 이는 차례로 생성된 유리-세라믹 물품의 이온 교환 성능(즉, 이온 교환 능력)에 부정적인 영향을 미친다.

[0120] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서 R'O의 농도는 0.1 mol% 이상 및 15 mol% 이하의 R'O일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 R'O의 농도는 0.1 mol% 이상, 0.5 mol% 이상, 1 mol% 이상, 또는 심지어 2 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서 R'O의 농도는 15 mol% 이하, 13 mol% 이하, 11 mol% 이하, 9 mol% 이하, 또는 심지어 7 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 R'O의 농도는 0.1 mol% 이상 15 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 13 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 11 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 9 mol% 이하, 0.1 mol% 이상 7 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 15 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 13 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 11 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 9 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 7 mol% 이하, 1 mol% 이상 15 mol% 이하, 1 mol% 이상 13 mol% 이하, 1 mol% 이상 11 mol% 이하, 1 mol% 이상 9 mol% 이하, 1 mol% 이상 7 mol% 이하, 2 mol% 이상 15 mol% 이하, 2 mol% 이상 13 mol% 이하, 2 mol% 이상 11 mol% 이하, 2 mol% 이상 9 mol% 이하, 또는 심지어 2 mol% 이상 7 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.

[0121] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 R'O 농도 대 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 SiO<sub>2</sub>의 농도의 몰 비(즉,  $R'O(mol\%)$  대  $SiO_2(mol\%)$ )는 전구체 유리 조성물에서 상 분리를 방지하고 투명 또는 투명한 헤이즈를 특징으로 하는 리튬 디실리케이트 유리-세라믹 물품을 생성하기 위해 0 이상 0.3 이하일 수 있다. R'O 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비가 너무 높으면(예를 들어, 0.3보다 큼), 리튬 디실리케이트의 형성이 억제될 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서 R'O 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 0 이상, 0.05 이상, 또는 심지어 0.1 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중 R'O 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 0.3 이하, 0.2 이하, 또는 심지어 0.15 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서 R'O 대 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 0 이상 0.3 이하, 0 이상 0.2 이하, 0 이상 0.15 이하, 0.05 이상 0.3 이하, 0.05 이상 0.2 이하, 0.05 이상 0.15 이하, 0.1 이상 0.3 이하, 0.1 이상 0.2 이하, 또는 0.1 이상 0.15 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나에서 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.

[0122] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 ZrO<sub>2</sub>를 추가로 포함한다. ZrO<sub>2</sub>는 리튬 디실리케이트 결정립 크기를 줄이는 데 도움이 될 수 있으며, 이는 투명하거나 투명한 헤이즈 유리-세라믹 물품의 형

성에 중요할 수 있다.  $ZrO_2$ 도  $SiO_2$ 와 마찬가지로 네트워크 형성제 역할을 하여 성형 시 실투를 줄이고 액상선 온도를 낮추어 유리의 안정성을 향상시킬 수 있다.  $ZrO_2$ 의 첨가는 또한 생성된 유리-세라믹 물품의 화학적 내구성을 향상시킬 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0.5 mol% 이상 및 10 mol% 이하의  $ZrO_2$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0.5 mol% 이상 및 7 mol% 이하의  $ZrO_2$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $ZrO_2$ 의 농도는 0.5 mol% 이상, 1 mol% 이상, 1.5 mol% 이상, 또는 심지어는 2 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $ZrO_2$ 의 농도는 10 mol% 이하, 7 mol% 이하, 5 mol% 이하, 또는 심지어는 4 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $ZrO_2$ 의 농도는 0.5 mol% 이상 10 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 및 7 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 10 mol% 이하, 1 mol% 이상 7 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 10 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 7 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 5 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 4 mol% 이하, 2 mol% 이상 10 mol% 이하, 2 mol% 이상 7 mol% 이하, 2 mol% 이상 5 mol% 이하, 또는 심지어 2 mol% 이상 및 4 mol% 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.

[0123] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $P_2O_5$ 를 추가로 포함한다.  $P_2O_5$ 는 유리 내 결정상의 벌크 핵형성을 생성하는 핵형성제 역할을 하여 전구체 유리 조성물을 유리-세라믹 물품으로 변환한다. 전구체 유리 조성물 중  $P_2O_5$ 의 농도는 결정화를 달성하기 위해 충분히 높아야 한다(즉, 0.5 mol% 이상).  $P_2O_5$ 의 농도는 성형 중 실투를 줄이고 액상선 온도를 낮추기 위해 제한될 수 있다(예: 5 mol% 이하). 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0.5 mol% 이상 및 5 mol% 이하의  $P_2O_5$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 1 mol% 이상 4.5 mol% 이하의  $P_2O_5$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $P_2O_5$ 의 농도는 0.5 mol% 이상, 1 mol% 이상, 1.5 mol% 이상, 또는 심지어는 2 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $P_2O_5$ 의 농도는 5 mol% 이하, 4.5 mol% 이하, 4 mol% 이하, 3.5 mol% 이하, 3 mol% 이하, 또는 심지어 2.5 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $P_2O_5$ 의 농도는 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 4.5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 4 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 3.5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 3 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 2.5 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4.5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 3.5 mol% 이하, 1 mol% 이상 3 mol% 이하, 1 mol% 이상 2.5 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 5 mol% 이하 mol%, 1.5 mol% 이상 4.5 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 4 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 3.5 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 3 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 2.5 mol% 이하, 2 mol% 이상 5 mol% 이하, 2 mol% 이상 4.5 mol% 이하, 2 mol% 이상 4 mol% 이하, 2 mol% 이상 3.5 mol% 이하, 2 mol% 이상 3 mol% 이하, 또는 심지어 2 mol% 이상 2.5 mol% 이하 또는 이러한 끝점 중 하나에서 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.

[0124] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $Al_2O_3$ 를 추가로 포함할 수 있다.  $SiO_2$  및  $ZrO_2$ 와 마찬가지로  $Al_2O_3$ 도 유리 네트워크를 안정화할 수 있으며 추가적으로 유리 조성물에 향상된 기계적 특성과 화학적 내구성을 제공한다.  $Al_2O_3$ 의 양은 또한 유리 조성물의 점도를 제어하기 위해 조정될 수 있다.  $Al_2O_3$ 는 생성된 유리 조성물이 원하는 파괴 인성(예를 들어,  $1.0 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  이상)을 갖도록 포함될 수 있다. 그러나,  $Al_2O_3$ 의 함량이 너무 높으면(예를 들어, 7mol% 초과) 용융액의 점도가 증가하여 유리 조성물의 성형성이 저하될 수 있으며, 리튬 디실리케이트 결정의 분율이 맞물린 구조가 형성될 수 없는 정도로 감소할 수 있다.

[0125] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 및 7 mol% 이하의  $Al_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0.5 mol% 이상 및 5 mol% 이하의  $Al_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $Al_2O_3$ 의 농도는 0 mol% 이상, 0.5 mol% 이상, 1 mol% 이상, 또는 심지어는 1.5 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $Al_2O_3$ 의 농도는 7 mol% 이하, 5 mol% 이하, 또는 심지어 3 mol% 이하일

수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $Al_2O_3$ 의 농도는 0 mol% 이상 7 mol% 이하, 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 3 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 7 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 3 mol% 이하, 1 mol% 이상 7 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 3 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 7 mol% 이하, 1.5 mol% 이상 5 mol% 이하, 또는 심지어 1.5 mol% 이상 및 3 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $Al_2O_3$ 가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.

[0126] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $Al_2O_3$  농도 대 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $SiO_2$ 의 농도의 몰 비(즉,  $Al_2O_3$ (mol%) 대  $SiO_2$  (mol%))은 원하는 리튬 디실리케이트를 포함하는 결정상을 달성하기 위해 0 이상 0.2 이하일 수 있다. 구체 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서  $Al_2O_3$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0 이상 또는 심지어 0.01 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서  $Al_2O_3$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0.2 이하, 0.1 이하, 또는 심지어 0.05 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서  $Al_2O_3$  대  $SiO_2$ 의 몰비는 0 이상 0.2 이하, 0 이상 0.1 이하, 0 이상 0.05 이하, 0.01 이상 0.2 이하, 0.01 이상 0.1 이하, 심지어는 0.01 이상 0.05 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.

[0127] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $La_2O_3$ 를 추가로 포함할 수 있다.  $La_2O_3$ 는 잔류 유리상으로 분할되어 굴절률을 증가시킬 수 있으며, 이는 투명하거나 투명한 헤이즈 유리-세라믹 물품을 생성하기 위해 결정상과 더 나은 굴절률 일치를 가져올 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 및 6 mol% 이하의  $La_2O_3$ 를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $La_2O_3$ 의 농도는 0 mol% 이상, 0.5 mol% 이상, 1 mol% 이상, 또는 심지어 2 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내  $La_2O_3$ 의 농도는 6 mol% 이하, 5 mol% 이하, 4 mol% 이하, 또는 심지어는 3 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 중  $La_2O_3$ 의 농도는 0 mol% 이상 6 mol% 이하, 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 4 mol% 이하, 0 mol% 이상 3 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 6 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 4 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 3 mol% 이하, 1 mol% 이상 6 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 3 mol% 이하, 2 mol% 이상 6 mol% 이하, 2 mol% 이상 5 mol% 이하, 2 mol% 이상 4 mol% 이하, 또는 심지어 2 mol% 이상 및 3 mol% 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $La_2O_3$ 가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.

[0128] 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 F-를 추가로 포함할 수 있다. 구현 예에서, F-는 플루오르인회석(fluorapatite)을 생성할 수 있으며, 이는 생물의학 응용에 중요할 수 있다. 구현 예에서, F-는 전구체 유리 조성물에서 핵형성제로서 기능할 수 있다. 구현 예에서, F-는 불화칼슘의 형태로 전구체 유리 조성물에 도입될 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 0 mol% 이상 5 mol% 이하의 F-를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내 F-의 농도는 0 mol% 이상, 0.5 mol% 이상, 1 mol% 이상, 또는 심지어 2 mol% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에서 F-의 농도는 5 mol% 이하, 4 mol% 이하, 또는 심지어 3 mol% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품 내 F-의 농도는 0 mol% 이상 5 mol% 이하, 0 mol% 이상 4 mol% 이하, 0 mol% 이상 3 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 5 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 4 mol% 이하, 0.5 mol% 이상 3 mol% 이하, 1 mol% 이상 5 mol% 이하, 1 mol% 이상 4 mol% 이하, 1 mol% 이상 3 mol% 이하, 2 mol% 이상 5 mol% 이하, 2 mol% 이상 4 mol% 이하, 또는 심지어 2 mol% 이상 3 mol% 이하, 또는 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 F-가 실질적으로 없거나 없을 수 있다.

[0129] 구현 예에서, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $MoO_3$ ,  $WO_3$ ,  $Y_2O_3$ ,  $CdO$ ,  $As_2O_3$ ,  $Sb_2O_3$  및 황산염과 같은 황계 화합물, 할로젠 및 이들의 조합과 같은 트랩프 재료를 추가로 포함할 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품은 개별 트랩프 재료, 트랩프 재료의 조합, 또는 모든 트랩프 재료가 실질적으로 없거나 없을 수 있다. 예를 들어, 구현 예에서, 전구체 유리 조성

물 및 생성된 유리-세라믹 물품에는  $TiO_2$ ,  $MnO$ ,  $MoO_3$ ,  $WO_3$ ,  $Y_2O_3$ ,  $CdO$ ,  $As_2O_3$ ,  $Sb_2O_3$  및 황산염과 같은 황계 화합물, 할로젠 또는 이들의 조합이 실질적으로 없거나 없을 수 있다.

- [0130] 구현 예에서, 황균 성분, 화학적 청정제, 또는 기타 추가 성분이 전구체 유리 조성물 및 생성된 유리-세라믹 물품에 포함될 수 있다.
- [0131] 구현 예에서, 전구체 유리 조성물의 액상선 온도는  $900^{\circ}C$  이상,  $950^{\circ}C$  이상, 또는 심지어  $1000^{\circ}C$  이상일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물의 액상선 온도는  $1200^{\circ}C$  이하,  $1150^{\circ}C$  이하 또는 심지어  $1100^{\circ}C$  이하일 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 조성물의 액상 온도는  $900^{\circ}C$  이상  $1200^{\circ}C$  이하,  $900^{\circ}C$  이상  $1150^{\circ}C$  이하,  $900^{\circ}C$  이상  $1100^{\circ}C$  이하,  $950^{\circ}C$  이상  $1200^{\circ}C$  이하,  $950^{\circ}C$  이상  $1150^{\circ}C$  이하  $^{\circ}C$ ,  $950^{\circ}C$  이상  $1100^{\circ}C$  이하,  $1000^{\circ}C$  이상  $1200^{\circ}C$  이하,  $1000^{\circ}C$  이상  $1150^{\circ}C$  이하,  $1000^{\circ}C$  이상  $1100^{\circ}C$  이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.
- [0132] 본 명세서에 기술된 전구체 유리 물품 또는 그로부터 형성된 유리-세라믹 물품은 임의의 적합한 두께일 수 있으며, 이는 유리-세라믹 물품의 특정 용도에 따라 달라질 수 있다. 구현 예에서, 전구체 유리 물품 및 그로부터 형성된 유리-세라믹 물품은  $250\ \mu m$  이상  $6\ mm$  이하,  $250\ \mu m$  이상  $4\ mm$  이하,  $250\ \mu m$  이상  $2mm$  이하,  $250\ \mu m$  이상  $1mm$  이하,  $250\ \mu m$  이상  $750\ \mu m$  이하,  $250\ \mu m$  이상  $500\ \mu m$  이하,  $500\ \mu m$  이상  $6mm$  이하,  $500\ \mu m$  이상  $4mm$  이하,  $500\ \mu m$  이상  $2mm$  이하,  $500\ \mu m$  이상  $1mm$  이하,  $500\ \mu m$  이상  $750\ \mu m$  이하,  $750\ \mu m$  이상  $6mm$  이하,  $750\ \mu m$  이상  $4mm$  이하,  $750\ \mu m$  이상  $2mm$  이하,  $750\ \mu m$  이상  $1mm$  이하,  $1mm$  이상  $6mm$  이하,  $1mm$  이상  $4mm$  이하,  $1mm$  이상  $2mm$  이하,  $2mm$  이상  $6mm$  이하,  $2mm$  이상  $4mm$  이하, 심지어  $4mm$  이하  $6mm$  이상 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위의 두께를 가질 수 있다.
- [0133] 위에서 논의된 바와 같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로부터 형성된 유리-세라믹 물품은 유리-세라믹 물품이 손상에 더 저항할 수 있도록 증가된 파괴 인성을 가질 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 이중 비틀림 방법으로 측정된  $K_{Ic}$  파괴 인성이  $1.0\ MPa \cdot m^{1/2}$  이상일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 이중 비틀림 방법으로 측정된  $K_{Ic}$  파괴 인성이  $1.0\ MPa \cdot m^{1/2}$  이상,  $1.1\ MPa \cdot m^{1/2}$  이상, 또는 심지어  $1.2\ MPa \cdot m^{1/2}$  이상일 수 있다.
- [0134] 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 탄성 계수는  $100\ GPa$  이상일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 탄성 계수는  $100\ GPa$  이상 또는 심지어  $110\ GPa$  이상일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 탄성 계수는  $125\ GPa$  이하 또는 심지어  $115\ GPa$  이하일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 탄성 계수는  $100\ GPa$  이상  $125\ GPa$  이하,  $100\ GPa$  이상  $115\ GPa$  이하,  $110\ GPa$  이상  $125\ GPa$  이하, 또는 심지어  $110\ GPa$  이상  $115\ GPa$  이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.
- [0135] 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 전단 계수는  $30\ GPa$  이상 또는 심지어  $40\ GPa$  이상일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 전단 계수는  $55\ GPa$  이하 또는 심지어  $50\ GPa$  이하일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 전단 계수는  $30\ GPa$  이상  $55\ GPa$  이하,  $30\ GPa$  이상  $50\ GPa$  이하,  $40\ GPa$  이상  $55\ GPa$  이하, 또는  $40\ GPa$  이상  $50\ GPa$  이하, 또는 이러한 끝점 중 하나에서 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.
- [0136] 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 평균 투과율은  $0.8mm$ 의 물품 두께에서 측정 시  $400nm$  내지  $800nm$ 의 파장 범위에 걸쳐 빛의  $50\%$  이상  $95\%$  이하일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 평균 투과율은  $0.8mm$ 의 물품 두께에서 측정된 바에 따라  $400nm$  내지  $800nm$ 의 파장 범위에 걸쳐 빛의  $50\%$  이상,  $60\%$  이상,  $70\%$  이상, 또는 심지어  $80\%$  이상일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 평균 투과율은 물품 두께  $0.8mm$ 에서 측정 시  $400\ nm$  내지  $800\ nm$ 의 파장 범위에 걸쳐 빛의  $95\%$  이하 또는 심지어  $90\%$  이하일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 평균 투과율은  $0.8mm$ 의 물품 두께에서 측정했을 때  $400nm$  내지  $800nm$ 의 파장 범위에 걸쳐 빛의  $50\%$  이상  $95\%$  이하,  $50\%$  이상  $90\%$  이하,  $60\%$  이상  $95\%$  이하,  $60\%$  이상  $90\%$  이하,  $70\%$  이상  $95\%$  이하,  $70\%$  이상  $90\%$  이하,  $80\%$  이상  $95\%$  이하, 또는 심지어  $80\%$  이상  $90\%$  이하, 또는 이들 끝점 중 어느 하나로부터 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 투명하거나 투명한 헤이즈일 수 있다.
- [0137] 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 푸아송 비는  $0.20$  이상 또는 심지어  $0.22$  이상일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품의 푸아송 비는  $0.25$  이하 또는 심지어  $0.23$  이하일 수 있다. 구현예에서, 유리-세라믹 물품의 푸아송 비는  $0.20$  이상  $0.25$  이하,  $0.20$  이상  $0.23$  이하,  $0.22$  이상  $0.25$  이하,  $0.22$  이상  $0.23$  이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.

- [0138] 구현 예에서, 본원에 설명된 유리-세라믹 물품은 물품을 강화하기 위해 이온 교환 가능하다. 일반적인 이온 교환 공정에서, 유리-세라믹 물품의 더 작은 금속 이온은 유리-세라믹 물품의 외부 표면에 가까운 층 내에서 동일한 원자가의 더 큰 금속 이온으로 대체되거나 "교환"된다. 더 작은 이온을 더 큰 이온으로 대체하면 유리-세라믹 물품의 층 내에 압축 응력이 생성된다. 구현 예에서, 금속 이온은 1가 금속 이온(예를 들어, Li+, Na+, K+ 등)이고, 이온 교환은 유리-세라믹 물품의 더 작은 금속 이온을 대체할 더 큰 금속 이온의 적어도 하나의 용융염을 포함하는 욕조에 유리-세라믹 물품을 침지함으로써 달성된다. 대안적으로, Ag+, Tl+, Cu+ 등과 같은 다른 1가 이온이 1가 이온으로 교환될 수 있다. 이온 교환 공정 또는 유리-세라믹 물품을 강화하는 데 사용되는 공정에는 침지 사이에 선택적인 세척 및/또는 어닐링 단계를 포함하는 동일하거나 다른 조성물의 단일 욕조 또는 다중 욕조에 담그는 것이 포함될 수 있지만 이에 국한되지는 않는다.
- [0139] 유리-세라믹 물품에 노출 시, 이온 교환 용액(예: KNO<sub>3</sub> 및/또는 NaNO<sub>3</sub> 용융염 욕조)은 구현 예에 따라 350°C 이상 500°C 이하, 360°C 이상 450°C 이하, 370°C 이상 440°C 이하, 360°C 이상 420°C 이하, 370°C 이상 400°C 이하, 375°C 이상 475°C 이하, 400°C 이상 500°C 이하, 410°C 이상 490°C, 420°C 이상 480°C 이하, 430°C 이상 470°C 이하, 또는 심지어 440°C 이상 460°C 이하, 또는 전술한 값 사이의 임의의 모든 하위 범위의 온도일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 2시간 이상 24시간 이하, 2시간 이상 12시간 이하, 2시간 이상 6시간 이하, 8시간 이상 24시간 이하, 6시간 이상 24시간 이하, 6시간 이상 12시간 이하, 8시간 이상 24시간 이하, 또는 심지어 8시간 이상 12시간 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나에서 형성된 임의의 모든 하위 범위의 기간 동안 이온 교환 용액에 노출될 수 있다.
- [0140] 생성된 압축 응력층은 2시간의 이온 교환 시간에 유리-세라믹 물품의 표면에서 100 $\mu$ m 이상의 깊이("압축 깊이" 또는 "DOC"라고도 함)를 가질 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 10 $\mu$ m 이상, 20 $\mu$ m 이상, 30 $\mu$ m 이상, 40 $\mu$ m 이상, 50 $\mu$ m 이상, 60 $\mu$ m 이상, 70 $\mu$ m 이상, 80 $\mu$ m 이상, 90 $\mu$ m 이상, 또는 100 $\mu$ m 이상의 압축 깊이를 달성하기 위해 이온 교환될 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 두께 "t"를 갖고 이온 교환되어 0.25t 이상, 0.27t 이상, 또는 심지어 0.30t 이상의 압축 깊이를 달성할 수 있다.
- [0141] 이 표면 압축층의 개발은 비이온 교환된 재료에 비해 더 나은 내균열성과 더 높은 굽힘 강도를 달성하는 데 유리하다. 표면 압축층은 유리-세라믹 물품의 바디(즉, 표면 압축을 포함하지 않는 영역)로 교환된 이온의 농도와 비교하여 유리-세라믹 물품으로 교환된 이온의 농도가 더 높다.
- [0142] 구현 예에서, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로 제조된 유리-세라믹 물품은 이온 교환 강화 후 표면 압축 응력이 80MPa 이상, 100MPa 이상, 또는 심지어 250MPa 이상일 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 이온 교환 강화 후 1 GPa 이하, 750 MPa 이하, 또는 심지어 500 MPa 이하의 표면 압축 응력을 가질 수 있다. 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 이온 교환 강화 후 80 MPa 이상 1 GPa 이하, 80 MPa 이상 750 MPa 이하, 80MPa 이상 500MPa 이하, 100MPa 이상 1GPa 이하, 100MPa 이상 750MPa 이하, 100MPa 이상 500MPa 이하, 250MPa 이상 1GPa 이하, 250MPa 이상 750MPa 이하, 또는 250MPa 이상 500MPa 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위의 표면 압축 응력을 가질 수 있다.
- [0143] 구현 예에서, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로 제조된 유리-세라믹 물품은 이온 교환 강화 후 50MPa 이상, 75MPa 이상, 100MPa 이상 또는 100MPa 이상, 또는 심지어 125MPa 이상의 중심 장력을 가질 수 있다. 구현 예에서, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로 제조된 유리-세라믹 물품은 이온 교환 강화 후 300 MPa 이하, 250 MPa 이하, 또는 심지어 200 MPa 이하의 중심 장력을 가질 수 있다. 구현 예에서, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로 제조된 유리-세라믹 물품은 이온 교환 강화 후 50 MPa 이상 300 MPa 이하, 50 MPa 이상 250MPa 이하, 50MPa 이상 200MPa 이하, 75MPa 이상 300MPa 이하, 57MPa 이상 250MPa 이하, 57MPa 이상 200MPa 이하, 100MPa 이상 300MPa 이하, 100MPa 이상 250MPa 이하, 100MPa 이상 200MPa 이하, 125MPa 이상 300MPa 이하, 125MPa 이상 250MPa 이하, 125 MPa 이상 200 MPa 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위의 중심 장력을 가질 수 있다.
- [0144] 구현 예에서, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로 제조된 유리-세라믹 물품은 이온 교환 강화 후 15 J/m<sup>2</sup> 이상, 30 J/m<sup>2</sup> 이상, 40 J/m<sup>2</sup> 이상, 50 J/m<sup>2</sup> 이상, 60 J/m<sup>2</sup> 이상, 70 J/m<sup>2</sup> 이상, 80 J/m<sup>2</sup> 이상, 90 J/m<sup>2</sup> 이상 또는 100 J/m<sup>2</sup> 이상의 저장된 변형 에너지를 가질 수 있다.
- [0145] 구현 예에서, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로부터 제조된 유리-세라믹 물품은 상대적으로 높은 최대 중심 장력 및 저장된 변형 에너지를 달성하는 동시에 파손 시 유리의 파편이 튀어 나오는 위험을 제한하는 유리-세라믹 물품의 취성 한계 미만을 유지하기 위해 높은 파괴 인성과 높은 탄성 계수를 갖도록 형성된다.

- [0146] 구현 예에서, 유리-세라믹 물품을 만드는 공정에는 하나 이상의 미리 선택된 온도에서 하나 이상의 미리 선택된 시간 동안 오븐에서 전구체 유리 조성물로부터 형성된 전구체 유리 물품을 열처리하여 유리 균질화 및 하나 이상의 결정 상(예를 들어, 하나 이상의 조성물, 양, 형태, 크기 또는 크기 분포 등을 갖는)의 결정화(즉, 핵형성 및 성장)를 유도하는 단계를 포함한다. 구현 예에서, 열처리는 (i) 오븐에서 전구체 유리 물품을 1°C/min 이상 10°C/min 이하의 속도로 핵형성 온도까지 가열하는 단계; (ii) 0.1시간 이상 8시간 이하의 기간 동안 오븐 내 핵형성 온도에서 전구체 유리 물품을 유지하여 핵형성된 결정화 가능한 유리를 생성하는 단계; (iii) 오븐에서 핵형성된 결정화 가능한 유리 물품을 1°C/분 이상 10°C/분 이하의 속도로 결정화 온도까지 가열하는 단계; (iv) 0.1시간 이상 8시간 이하의 기간 동안 오븐 내 결정화 온도에서 핵형성된 결정화 가능한 유리 물품을 유지하여 유리-세라믹 물품을 제조하는 단계; 및 (v) 유리-세라믹 물품을 실온으로 냉각시키는 단계를 포함한다.
- [0147] 구현 예에서, 전구체 유리 물품은 상대적으로 낮은 온도(예를 들어, 650°C 이하의 핵형성 온도 및 800°C 이하의 결정화 온도)에서 열 처리되어 투명하거나 투명한 헤이즈 유리-세라믹 물품을 생성할 수 있다. 이론에 얽매이기를 바라지는 않지만, 저온 열처리는 리튬 디실리케이트 결정립 크기를 제한하여 투명하거나 투명한 헤이즈 유리-세라믹 물품을 얻는 데 도움이 되는 것으로 여겨진다. 특히 결정립 크기는 이온 확산으로 인해 온도에 따라 증가한다. 온도가 낮을수록 성장 속도가 감소할 수 있다.
- [0148] 구현 예에서, 핵형성 온도는 450°C 이상, 500°C 이상, 또는 심지어 525°C 이상일 수 있다. 구현 예에서, 핵형성 온도는 650°C 이하, 600°C 이하, 또는 심지어 575°C 이하일 수 있다. 구현 예에서, 핵형성 온도는 450°C 이상 650°C 이하, 450°C 이상 600°C 이하, 450°C 이상 575°C 이하, 500°C 이상 650°C 이하, 500°C 이상 600°C 이하, 500°C 이상 575°C 이하, 525°C 이상 650°C 이하, 525°C 이상 600°C 이하, 또는 심지어 525°C 이상 575°C 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.
- [0149] 구현 예에서, 결정화 온도는 550°C 이상 또는 심지어 600°C 이상일 수 있다. 구현 예에서, 결정화 온도는 800°C 이하 또는 심지어 700°C 이하일 수 있다. 구현 예에서, 결정화 온도는 550°C 이상 800°C 이하, 550°C 이상 700°C 이하, 600°C 이상 800°C 이하, 또는 심지어 600°C 이상 및 700°C 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위일 수 있다.
- [0150] 본원에서 사용되는 가열 속도, 핵형성 온도 및 결정화 온도는 전구체 유리 조성물 또는 전구체 유리 물품이 열처리되는 오븐의 가열 속도 및 온도를 의미한다.
- [0151] 전구체 유리 조성물 이외에, 결정화 온도까지 가열하고 결정화 온도에서 온도를 유지하는 열처리 단계의 온도-시간적 프로파일은 다음과 같은 원하는 속성 중 하나 이상을 생성하도록 신중하게 규정된다: 유리-세라믹 물품의 결정 상, 하나 이상의 주요 결정상 및/또는 하나 이상의 부 결정상 및 잔류 유리상의 비율, 하나 이상의 지배적인(predominate) 결정상 및/또는 하나 이상의 부 결정상 및 잔류 유리상의 결정상 어셈블리, 및 하나 이상의 주요 결정상 및/또는 하나 이상의 부 결정상 사이의 결정립 크기 또는 결정립 크기 분포, 이는 결과적으로 생성된 유리-세라믹 물품의 최종 무결성, 품질, 색상 및/또는 불투명도에 영향을 미칠 수 있다.
- [0152] 본원에 설명된 유리-세라믹 물품은 결정상 및 잔류 유리상을 포함한다. 구현 예에서, 결정상은 리튬 디실리케이트를 포함할 수 있다. 리튬 디실리케이트(Li<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)는 {Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>} 사면체 배열의 주름진 시트를 기반으로 한 사방정계 결정이다. 결정은 일반적으로 뚜렷한 벽개면(pronounced cleavage planes)이 있는 판형 또는 라스형 모양입니다. 리튬 디실리케이트를 기반으로 한 유리-세라믹 물품은 불규칙하게 배열된 맞물린 결정의 미세 구조로 인해 높은 바디 강도와 파괴 인성을 비롯한 매우 바람직한 기계적 특성을 제공한다- 결정 구조는 이들 결정 주위의 구불구불한 통로를 통해 재료를 통해 균열이 전파되도록 한다.
- [0153] 구현 예에서, 리튬 디실리케이트는 유리-세라믹 물품 내 결정상의 총 중량을 기준으로 임의의 다른 결정상에 비해 더 많은 양으로 존재한다. 구현 예에서, 결정상의 총 중량을 기준으로 결정상의 리튬 디실리케이트의 총량은 30 중량% 이상, 40 중량% 이상, 50 중량% 이상, 60 중량% 이상, 또는 심지어 70 중량% 이상일 수 있다. 구현 예에서, 결정상의 총 중량을 기준으로 결정상 내 리튬 디실리케이트의 총량은 99 중량% 이하, 90 중량% 이하, 또는 심지어는 80 중량% 이하일 수 있다. 구현 예에서, 결정상의 총 중량을 기준으로 결정상 내 리튬 디실리케이트의 총량은 30 중량% 이상 99 중량% 이하, 30 중량% 이상 90 중량% 이하, 30 중량% 이상 80 중량% 이하, 40 중량% 이상 99 중량% 이하, 40 중량% 이상 90 중량% 이하, 40 중량% 이상 80 중량% 이하, 50 중량% 이상 99 중량% 이하, 50 중량% 이상 90 중량% 이하, 50 중량% 이상 80 중량% 이하, 60 중량% 이상 99 중량% 이하, 60 중량% 이상 90 중량% 이하, 60 중량% 이상 80 중량% 이하, 70 중량% 이상 99 중량% 이하, 70 중량% 이상 90 중량% 이하, 또는 심지어 70 중량% 이상 및 80 중량% 이하, 또는 이들 끝점 중 어느 하나로부터 형성된

임의의 그리고 모든 하위 범위일 수 있다.

- [0154] 구현 예에서, 리튬 디실리케이트에 더하여, 유리-세라믹 물품의 결정 상은 리튬 메타실리케이트, 리튬 포스페이트, 페탈라이트,  $\beta$ -석영, 인회석, 또는 이들의 조합을 더 포함할 수 있다.
- [0155] 구현 예에서, 본원에 기술된 전구체 유리 물품은 상대적으로 작은 리튬 디실리케이트 결정립을 갖는 유리-세라믹 물품을 얻기 위해 특정 열 처리를 받을 수 있으며, 이는 투명하거나 투명한 헤이즈 유리-세라믹 물품을 생성할 수 있다. 구현 예에서, 결정상의 리튬 디실리케이트 결정립은 10 nm 이상, 25 nm 이상, 또는 심지어 50 nm 이상의 결정립 크기를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 결정상의 리튬 디실리케이트 결정립은 200 nm 이하, 150 nm 이하, 또는 심지어 100 nm 이하의 결정립 크기를 포함할 수 있다. 구현 예에서, 결정상의 리튬 디실리케이트 결정립은 10 nm 이상 200 nm 이하, 10 nm 이상 150 nm 이하, 10nm 이상 100nm 이하, 25nm 이상 200nm 이하, 25nm 이상 150nm 이하, 25nm 이상 100 nm 이하, 50 nm 이상 200 nm 이하, 50 nm 이상 150 nm 이하, 또는 50 nm 이상 100 nm 이하, 또는 이러한 끝점 중 하나로 형성된 임의의 모든 하위 범위의 결정립 크기를 포함할 수 있다.
- [0156] 구현 예에서, 결정상의 리튬 디실리케이트 결정립은 2:1 이상, 5:1 이상, 10:1 이상, 20:1 이상, 또는 25:1 이상의 중형비를 포함할 수 있다.
- [0157] 구현 예에서, 유리-세라믹 물품은 유리-세라믹 물품의 중량을 기준으로 50 중량% 이상의 결정상(즉, 중량%) 및 50 중량% 이하의 잔류 유리상, 60 중량% 이상의 결정상 및 40 중량% 이하의 잔류 유리상, 70 중량% 이상의 결정상 및 30 중량% 이하 잔류 유리상, 80중량% 이상의 결정상 및 20중량% 이하의 잔류 유리상, 또는 심지어 90중량% 이상의 결정상 및 10중량% 이하, 또는 XRD 스펙트럼의 Rietveld 분석에 따라 결정된 이들 끝점 중 임의의 것으로부터 형성된 임의의 모든 하위 범위를 포함할 수 있다.
- [0158] 유리-세라믹 물품은 시트로 제공될 수 있으며, 이후 프레스, 블로잉, 굽힘, 새김, 진공 성형 또는 기타 수단에 의해 균일한 두께의 곡선 또는 구부러진 조각으로 개질될 수 있다.
- [0159] 본원에 설명된 유리-세라믹 물품은 예를 들어 LCD 및 LED 디스플레이, 컴퓨터 모니터 및 현금 자동 입출금기(ATM)를 포함하는 소비자 또는 상업용 전자 장치의 커버 유리 또는 유리 백플레인 적용; 예를 들어 휴대폰, 개인용 미디어 플레이어, 시계 및 태블릿 컴퓨터를 포함한 휴대용 전자 장치용 터치 스크린 또는 터치 센서 적용; 예를 들어 반도체 웨이퍼를 포함하는 집적 회로 적용; 광전지 적용; 건축용 유리 적용; 자동차 또는 차량용 유리 적용; 또는 상업용 또는 가전제품 용도를 포함하는 다양한 적용에 사용될 수 있다. 구현 예에서, 소비자 전자 장치(예: 스마트폰, 태블릿 컴퓨터, 시계, 개인용 컴퓨터, 울트라북, 텔레비전 및 카메라), 건축용 유리 및/또는 자동차 유리는 본원에 설명된 유리 물품을 포함할 수 있다.
- [0160] 본원에 개시된 임의의 유리-세라믹 물품을 포함하는 예시적인 전자 장치가 도 3 및 도 4에 도시되어 있다. 구체적으로, 도 3 및 도 4는 전면(204), 후면(206) 및 측면(108)을 갖는 하우징(202); 적어도 부분적으로 하우징 내부에 있거나 전체적으로 하우징 내에 있고, 하우징의 전면에 또는 그 전면에 인접하여 적어도 컨트롤러, 메모리 및 디스플레이(210)를 포함하는 전기 부품(미도시); 및 디스플레이 위에 있도록 하우징의 전면에 또는 그 위에 있는 커버 기관(212)을 포함하는 소비자 전자 장치(200)를 도시한다. 구현 예에서, 커버 기관(212)과 하우징(202) 중 적어도 하나의 적어도 일부는 본원에 개시된 임의의 유리-세라믹 물품을 포함할 수 있다.
- [0161] 실시 예
- [0162] 다양한 구현 예를 보다 쉽게 이해할 수 있도록, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물 및 유리-세라믹 물품의 다양한 구현 예를 설명하기 위해 의도된 다음 실시 예를 참조한다.
- [0163] 표 1은 예시적인 유리 조성물과 비교용 전구체 유리 조성물(mol% 기준), 그리고 전구체 유리 조성물의 액상선 온도를 보여준다.

표 1

Example	1	2	3	4	5	6
$SiO_2$	60.0	60.9	60.3	59.7	59.1	58.5
$Al_2O_3$	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
$Li_2O$	26.0	24.4	25.1	25.9	26.6	27.3
$Na_2O$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
$K_2O$	-	-	-	-	-	-
$CaO$	5.5	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3
$MgO$	-	-	-	-	-	-
$ZrO_2$	3.4	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4
$P_2O_5$	2.2	2.1	2.2	2.1	2.1	2.1
F-	-	-	-	-	-	-
$Al_2O_3/SiO_2$	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
$Li_2O/SiO_2$	0.43	0.40	0.42	0.43	0.45	0.47
$R_2O$	27.0	25.4	26.1	26.9	27.6	28.3
$R'O$	5.5	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3
$R'O/SiO_2$	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Liquidus temp. (°C)	1080	1100	1075	1075	-	-

[0164]

[0165] 표 1 이어서

<i>Example</i>	7	8	9	10	11	12
<i>SiO<sub>2</sub></i>	60.6	60.6	60.3	60.9	60.6	60.3
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
<i>Li<sub>2</sub>O</i>	26.3	26.3	26.2	26.4	26.3	26.2
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0
<i>K<sub>2</sub>O</i>	-	-	-	-	-	-
<i>CaO</i>	5.6	5.6	5.5	5.6	5.6	5.5
<i>MgO</i>	-	-	-	-	-	-
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	2.5	3.0	3.5	2.5	2.5	2.5
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
<i>F-</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub></i>	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<i>Li<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub></i>	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
<i>R<sub>2</sub>O</i>	27.3	27.3	27.2	27.4	27.8	28.2
<i>R'O</i>	5.6	5.6	5.5	5.6	5.6	5.5
<i>R'O/SiO<sub>2</sub></i>	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
<i>Liquidus temp. (°C)</i>	985	980	1075	980	-	-

[0166]

[0167] 표 1 이어서

<i>Example</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	59.8	60.3	59.8	60.6	60.0	59.5
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	1.5	2.0	2.9	2.0	2.0	1.9
<i>Li<sub>2</sub>O</i>	25.9	26.2	25.9	26.3	26.0	25.8
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	2.9	1.5	1.5	1.0	2.0	2.9
<i>K<sub>2</sub>O</i>	-	-	-	-	-	-
<i>CaO</i>	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.5
<i>MgO</i>	-	-	-	-	-	-
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	2.4	2.5	2.4	2.5	2.5	2.4
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
<i>F-</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub></i>	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.03
<i>Li<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub></i>	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
<i>R<sub>2</sub>O</i>	28.8	27.7	27.4	27.3	28.0	28.7
<i>R'O</i>	5.5	5.5	5.5	5.6	5.5	5.5
<i>R'O/SiO<sub>2</sub></i>	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
<i>Liquidus temp. (°C)</i>	-	-	-	975	985	965

[0168]

[0169] 표 1 이어서

<i>Example</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	60.0	60.3	60.6	60.9	61.1	60.9
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
<i>Li<sub>2</sub>O</i>	26.0	26.1	26.3	26.4	24.5	24.4
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
<i>K<sub>2</sub>O</i>	-	-	-	-	-	-
<i>CaO</i>	5.5	5.5	5.6	5.6	6.6	6.6
<i>MgO</i>	-	-	-	-	-	-
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	3.9	3.5	3.0	2.5	1.0	1.0
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	2.2	2.2	2.2	2.2	1.7	2.0
<i>F-</i>	-	-	-	-	1.60	1.60
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub></i>	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<i>Li<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub></i>	0.43	0.43	0.43	0.43	0.40	0.40
<i>R<sub>2</sub>O</i>	27.0	27.1	27.3	27.4	26.5	26.4
<i>R'O</i>	5.5	5.5	5.6	5.6	6.6	6.6
<i>R'O/SiO<sub>2</sub></i>	0.09	0.09	0.09	0.09	0.11	0.11
<i>Liquidus temp. (°C)</i>	1100	1040	985	1160	-	-

[0170]

[0171] 표 1 이어서

<i>Example</i>	25	26	27	28	29	30
<i>SiO<sub>2</sub></i>	60.7	61.9	60.6	60.3	60.9	60.9
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	1.5	1.5	2.0	2.5	1.5	1.5
<i>Li<sub>2</sub>O</i>	24.4	24.8	24.3	24.2	24.4	24.4
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0
<i>K<sub>2</sub>O</i>	-	-	-	-	-	-
<i>CaO</i>	6.6	6.7	6.5	6.5	6.6	6.6
<i>MgO</i>	-	-	-	-	-	-
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	1.0	1.0	1.0	1.0	3.5	3.5
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	2.3	2.0	2.0	2.0	2.2	2.1
<i>F-</i>	1.60	-	1.60	1.60	-	-
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub></i>	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02
<i>Li<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub></i>	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
<i>R<sub>2</sub>O</i>	26.4	26.8	26.3	26.2	25.4	25.4
<i>R'O</i>	6.6	6.7	6.5	6.5	6.6	6.6
<i>R'O/SiO<sub>2</sub></i>	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
<i>Liquidus temp. (°C)</i>	-	-	-	-	-	-

[0172]

[0173] 표 1 이어서

<i>Example</i>	<i>31</i>	<i>32</i>	<i>33</i>	<i>34</i>	<i>35</i>	<i>36</i>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	60.3	59.7	59.3	59.0	58.5	57.4
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
<i>Li<sub>2</sub>O</i>	25.1	25.9	23.8	23.6	23.4	23.0
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	1.0	1.0	1.9	1.9	1.9	1.9
<i>K<sub>2</sub>O</i>	-	-	-	-	-	-
<i>CaO</i>	6.5	6.4	6.4	6.4	7.7	9.4
<i>MgO</i>	-	-	-	-	-	-
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	3.5	3.4	3.4	3.9	3.3	3.3
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2
<i>F-</i>	-	-	1.60	1.50	1.50	1.50
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub></i>	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
<i>Li<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub></i>	0.42	0.43	0.40	0.40	0.40	0.40
<i>R<sub>2</sub>O</i>	26.1	26.9	25.7	25.5	25.3	24.9
<i>R'O</i>	6.5	6.4	6.4	6.4	7.7	9.4
<i>R'O/SiO<sub>2</sub></i>	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.16
<i>Liquidus temp. (°C)</i>	-	-	-	-	-	-

[0174]

[0175] 표 1 이어서

<i>Example</i>	37	38	39	40	41	42
<i>SiO<sub>2</sub></i>	59.7	59.3	58.2	62.0	59.8	59.8
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0.7	1.9	1.9	1.9	2.0	2.4
<i>Li<sub>2</sub>O</i>	23.9	23.8	23.3	23.0	24.0	24.0
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	2.0	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0
<i>K<sub>2</sub>O</i>	-	-	-	-	-	-
<i>CaO</i>	6.4	6.4	9.5	6.2	6.5	6.5
<i>MgO</i>	-	-	-	-	-	-
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	3.4	2.9	1.4	1.4	2.0	1.5
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3
<i>F-</i>	1.60	1.60	1.50	1.50	1.60	1.60
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub></i>	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
<i>Li<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub></i>	0.40	0.40	0.40	0.37	0.40	0.40
<i>R<sub>2</sub>O</i>	25.9	25.7	25.2	24.9	26.0	26.0
<i>R'O</i>	6.4	6.4	9.5	6.2	6.5	6.5
<i>R'O/SiO<sub>2</sub></i>	0.11	0.11	0.16	0.10	0.11	0.11
<i>Liquidus temp. (°C)</i>	-	-	-	-	-	-

[0176]

[0177] 표 1 이어서

<i>Example</i>	43	44	45	46	47	48
<i>SiO<sub>2</sub></i>	59.6	59.0	59.7	62.7	64.0	59.0
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	2.9	3.9	2.4	1.5	1.6	1.4
<i>Li<sub>2</sub>O</i>	23.9	23.6	23.9	25.2	25.8	23.7
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	1.9	1.9	2.0	2.1	2.1	1.9
<i>K<sub>2</sub>O</i>	-	-	-	-	-	-
<i>CaO</i>	6.4	6.4	6.5	4.1	2.1	6.3
<i>MgO</i>	-	-	-	-	-	3.2
<i>ZrO<sub>2</sub></i>	1.5	1.4	1.5	1.0	1.0	1.0
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	2.2	2.2	2.4	1.7	1.8	1.9
<i>F-</i>	1.60	1.50	1.60	1.60	1.70	1.50
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub></i>	0.05	0.07	0.04	0.02	0.03	0.02
<i>Li<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub></i>	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
<i>R<sub>2</sub>O</i>	25.8	25.5	25.9	27.3	27.9	25.6
<i>R'O</i>	6.4	6.4	6.5	4.1	2.1	9.5
<i>R'O/SiO<sub>2</sub></i>	0.11	0.11	0.11	0.07	0.03	0.16
<i>Liquidus temp. (°C)</i>	-	-	-	-	-	-

[0178]

[0179] 표 1 이어서

<i>Example</i>	<i>Comparative 1</i>
$SiO_2$	71.0
$Al_2O_3$	4.3
$Li_2O$	21.8
$Na_2O$	0.1
$K_2O$	-
$CaO$	-
$MgO$	-
$ZrO_2$	2
$P_2O_5$	0.8
F-	0
$Al_2O_3/SiO_2$	0.06
$Li_2O/SiO_2$	0.31
$R_2O$	21.9
$R'O$	0
$R'O/SiO_2$	0
<i>Liquidus temp. (°C)</i>	-

[0180]

[0181] 실시예 A - 열 처리

[0182] 표 2는 예시적인 유리-세라믹 물품을 얻기 위한 열처리 일정과 유리-세라믹 물품의 각각의 특성을 보여준다. 0.8 mm의 두께를 갖는 예시 유리-세라믹 물품 E1-E50은 표 1에 나열된 예시 전구체 유리 조성물 1-48로부터 형성되었다.

표 2

실시예	E1	E2	E3	E4	E5
전구체 유리 조성물	1	2	3	4	5
액형성 유지	540 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr
결정화 유지	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	680 °C for 1 hr
외관	투명	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명	투명
Phase assemblage	리튬 디실리케이트,	리튬 디실리케이트,	리튬 디실리케이트,	리튬 디실리케이트,	리튬 디실리케이트,
	리튬 포스페이트	리튬 포스페이트	리튬 포스페이트	리튬 포스페이트	리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	-	-	108.7	110.2	-
전단 모듈러스(Gpa)	-	-	44.4	44.9	-
푸아송 비	-	-	0.22	0.23	-
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	-	1.21	1.13	-

[0183]

[0184] 표 2 이어서

실시예	E6	E7	E8	E9	E10
전구체 유리 조성물	6	7	8	9	10
핵형성 유지	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr
결정화 유지	680 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr
외관	투명	투명	투명	투명	투명
상 어셈블리	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	-	110.3	111.4	110	111.2
전단 모듈러스(Gpa)	-	45	45.4	45.1	45.4
푸아송 비	-	0.23	0.23	0.22	0.22
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	1.19	1.19	1.17	1.27

[0185]

표 2 이어서

실시예	E11	E12	E13	E14	E15
전구체 유리 조성물	11	12	13	14	15
핵형성 유지	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr
결정화 유지	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr
외관	투명	투명	투명 헤이즈	투명	투명
상 어셈블리	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이 트, 페달라이트, 리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	110.7	110.5	-	109.8	-
전단 모듈러스(Gpa)	45	44.9	-	44.7	-
푸아송 비	0.23	0.23	-	0.23	-
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	-	-	-	-

[0186]

[0187] 표 2 이어서

실시예	E16	E17	E18	E19	E20
전구체 유리 조성물	16	17	18	19	20
핵형성 유지	540 °C for 4 hr	540 °C for 4 hr	540 °C for 4 hr	540 °C for 4 hr	540 °C for 4 hr
결정화 유지	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr
외관	투명	투명	투명	투명 헤이즈	투명
상 어셈블리	리튬 디실리케이트, 리튬 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, 리튬 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, 리튬 리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	-	-	-	-	-
전단 모듈러스(Gpa)	-	-	-	-	-
푸아송 비	-	-	-	-	-
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	-	-	-	-

[0188]

[0189] 표 2 이어서

실시예	E21	E22	E23	E24	E25
전구체 유리 조성물	21	22	23	24	25
핵형성 유지	540 °C for 4 hr	540 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr
결정화 유지	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	635 °C for 4 hr	635 °C for 4 hr	635 °C for 4 hr
외관	투명	투명	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명
상 어셈블리	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, 리튬 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, F-인회석	리튬 디실리케이트, F-인회석	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석
탄성 계수 (Gpa)	-	-	113	112.5	111.7
전단 모듈러스(Gpa)	-	-	46.3	46	45.7
푸아송 비	-	-	0.22	0.22	0.22
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	-	-	-	1.35

[0190]

[0191] 표 2 이어서

실시예	E26	E27	E28	E29	E30
전구체 유리 조성물	26	27	28	29	30
핵형성 유지	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr
결정화 유지	635 °C for 4 hr	635 °C for 4 hr	635 °C for 4 hr	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr
외관	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명 헤이즈
상 어셈블리	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	-	-	-	-	-
전단 모듈러스(Gpa)	-	-	-	-	-
푸아송 비	-	-	-	-	-
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	-	-	-	-

[0192]

[0193] 표 2 이어서

실시예	E31	E32	E33	E34	E35
전구체 유리 조성물	31	32	33	34	35
핵형성 유지	560 °C for 4 hr	560 °C for 4 hr	545 °C for 4 hr	545 °C for 4 hr	545 °C for 4 hr
결정화 유지	690 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr	640 °C for 1 hr	640 °C for 1 hr	640 °C for 1 hr
외관	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명	투명
상 어셈블리	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	108.7	110.2	-	-	-
전단 모듈러스(Gpa)	44.4	44.9	-	-	-
푸아송 비	0.224	0.228	-	-	-
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	1.21	1.13	-	-	-

[0194]

[0195] 표 2 이어서

실시예	E36	E37	E38	E39	E40
전구체 유리 조성물	36	37	38	39	40
핵형성 유지	545 °C for 4 hr	545 °C for 4 hr	545 °C for 4 hr	545 °C for 4 hr	545 °C for 4 hr
결정화 유지	640 °C for 1 hr	640 °C for 1 hr	680 °C for 1 hr	680 °C for 1 hr	680 °C for 1 hr
외관	투명 헤이즈	투명	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명 헤이즈
상 어셈블리	리튬 디실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	-	-	-	-	-
전단 모듈러스(Gpa)	-	-	-	-	-
푸아송 비	-	-	-	-	-
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	-	-	-	-

[0196]

[0197] 표 2 이어서

실시예	E41	E42	E43	E44	E45
전구체 유리 조성물	41	42	43	44	45
핵형성 유지	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr
결정화 유지	630 °C for 4 hr	630 °C for 4 hr	630 °C for 4 hr	630 °C for 4 hr	630 °C for 4 hr
외관	투명	투명	투명 헤이즈	투명 헤이즈	투명
상 어셈블리	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트, 페달라이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	-	-	-	-	-
전단 모듈러스(Gpa)	-	-	-	-	-
푸아송 비	-	-	-	-	-
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	-	-	-	-

[0198]

[0199] 표 2 이어서

실시예	E46	E47	E48	E49	E50
전구체 유리 조성물	46	47	48	15	4
핵형성 유지	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	525 °C for 4 hr	540 °C for 4 hr	590 °C for 4 hr
결정화 유지	600 °C for 1 hr	600 °C for 1 hr	600 °C for 1 hr	670 °C for 1 hr	690 °C for 1 hr
외관	투명	투명 헤이즈	투명 헤이즈	-	-
상어샘블리	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 메타실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, F-인회석, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 페달라이트, 리튬 메타실리케이트, 리튬 포스페이트	리튬 디실리케이트, 리튬 포스페이트
탄성 계수 (Gpa)	-	-	-	-	-
전단 모듈러스(Gpa)	-	-	-	-	-
푸아송 비	-	-	-	-	-
$K_{Ic}$ (CN) (MPa·m <sup>1/2</sup> )	-	-	-	-	-

[0200]

[0201]

표 1의 예시적인 전구체 유리 조성물 및 표 2의 유리-세라믹 물품에 의해 표시된 바와 같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물은 특정 열 처리를 거쳐 개선된 파괴 인성 및 탄성 계수를 갖는 투명하거나 투명한 헤이즈를 형성할 수 있다.

[0202]

이제 도 5를 참조하면, 실시 예 전구체 유리 조성물 4를 560°C에서 4시간 동안 핵형성 유지하고 690°C에서 1시간 동안 결정화 유지함으로써 형성된 표 2에 도시된 실시 예 유리-세라믹 물품 E4의 평균 총 투과율은 400 nm 내지 800 nm의 파장 범위에 걸쳐 90%를 가지며, 이는 실시 예 전구체 유리 조성물 4의 특정 열처리가 투명한 유리-세라믹 물품을 초래했음을 나타낸다. 이제 도 6을 참조하면, 실시 예 전구체 유리 조성물 31을 560°C에서 4시간 동안 핵형성 유지하고 690°C에서 1시간 동안 결정화 유지함으로써 형성된 표 2에 도시된 예시 유리-세라믹 물품 E31의 평균 총 투과율은 400 nm 내지 800 nm의 파장 범위에 걸쳐 90%를 가지며, 이는 실시 예 전구체 유리 조성물 31의 특정 열 처리로 인해 투명한 헤이즈 유리-세라믹 물품이 생성되었음을 나타낸다. 도 5 및 도 6에 표시된 바와 같이, 비교적 낮은 온도(예를 들어, 560°C에서 핵형성 유지 및 690°C에서 결정화 유지)에서 본원에 기술된 전구체 유리 조성물을 열 처리하면 투명하거나 투명한 헤이즈 유리-세라믹 물품이 생성된다.

[0203]

도 5를 다시 참조하면, 실시 예 유리-세라믹 물품 E4는 400nm 내지 800nm의 파장 범위에 걸쳐 0.18의 평균 확산 투과율을 가졌다. 이제 도 7을 참조하면, 실시 예 유리-세라믹 물품 E4는 400nm 내지 800nm의 파장 범위에 걸쳐 0.13의 평균 산란비를 가졌다. 도 5 및 도 7에 표시된 바와 같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물은 특정 열 처리를 거쳐 상대적으로 낮은 확산 투과율 및 산란 비율을 갖는 유리-세라믹 물품을 형성할 수 있으며, 이는 빛의 산란이 적음을 의미한다. 이론에 얽매이기를 바라지는 않지만, 상대적으로 낮은 확산 투과율 및 산란 비율은 결정상의 굴절률의 유사성 및/또는 리튬 디실리케이트 입자의 더 작은 입자 크기에 기인할 수 있다.

[0204]

이제 도 8을 참조하면, 실시 예 전구체 유리 조성물 15를 540°C에서 4시간 동안 핵형성 유지하고 670°C에서 1시간 동안 결정화 유지함으로써 형성된 실시 예 유리-세라믹 물품 E49는 가장 많은 양으로 존재하는 리튬 디실리케이트를 가졌고 또한 페달라이트, 메타실리케이트, 리튬 포스페이트가 포함되어 있다. 도 8에 도시된 바와 같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물은 특정 열 처리를 거쳐 리튬 디실리케이트를 포함하는 유리-세라믹 물품을 얻을 수 있다.

[0205]

이제 도 9를 참조하면, 실시 예 전구체 유리 조성물 4를 590°C에서 4시간 동안 핵형성 유지하고 690°C에서 1시간 동안 결정화 유지함으로써 형성된 실시 예 유리-세라믹 물품 E50은 리튬 디실리케이트가 가장 높은 양으로 존재했고 또한 리튬 포스페이트가 포함되어 있다. 이제 도 10 및 도 11을 참조하면, 실시 예 유리-세라믹 물품 E50은 50 내지 100nm 범위의 입자 크기를 갖는 리튬 디실리케이트 결정립을 포함했다. 도 8-11에 표시된 바와

같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물은 특정 열 처리를 거쳐 리튬 디실리케이트를 포함하고 상대적으로 작은 리튬 디실리케이트 결정립 크기를 갖는 유리-세라믹 물품을 얻을 수 있으며, 이는 투명하거나 투명한 헤이즈 유리-세라믹 물품을 생성할 수 있다.

- [0206] 실시 예 B: 핵형성 유지
- [0207] 이제 도 12 및 도 13을 참조하면, 실시 예 전구체 유리 조성물 23을 550°C에서 1시간 동안 핵형성 유지함으로써 형성된 실시 예 유리-세라믹 물품 E51은 30 내지 50 nm 범위의 리튬 디실리케이트 결정립 크기를 가졌다. 이제 도 14 및 도 15를 참조하면, 실시 예 전구체 유리 조성물 23을 550°C에서 8시간 동안 핵형성 유지 상태로 두어 형성된 실시 예 유리-세라믹 물품 E52는 50 내지 200 nm 범위의 리튬 디실리케이트 결정립 크기를 가졌다.
- [0208] 이제 도 16 및 도 17을 참조하면, 전구체 유리 조성물 23을 각각 550°C에서 0.5시간, 2시간, 4시간 및 8시간 동안 핵형성 유지시켜 유리-세라믹 물품을 형성하였다. 도 16에 도시된 바와 같이, 리튬 디실리케이트 결정립 크기는 더 긴 핵형성 유지 시간에 의해 크게 변경되지 않았다. 도 17에 도시된 바와 같이, 유리-세라믹 물품의 결정화도는 핵형성 유지 시간이 길어질수록 크게 증가했다. 도 18에 도시된 바와 같이, 유리-세라믹 물품의 결정화도에 따라 파괴인성이 증가하였다.
- [0209] 도 12-18에 표시된 바와 같이, 비교적 낮은 핵형성 온도에서 본 명세서에 기술된 전구체 유리 조성물을 핵형성 유지시키는 것은 리튬 디실리케이트 결정립 크기를 증가시키지 않고 생성된 유리-세라믹 물품의 결정화도를 증가시키고 따라서 파괴 인성을 감소시킬 수 있으며, 이는 유리-세라믹 물품의 투과율을 감소시킬 수 있다.
- [0210] 실시 예 C: 결정화 유지
- [0211] 유리-세라믹 물품 E53, E54 및 E55는 전구체 유리 조성물 23을 각각 550°C에서 4시간 동안 핵 생성 유지 및 600°C, 750°C 및 850°C에서 각각 5분 동안 결정화 유지하여 형성했다. 이제 도 19-21을 참조하면, 결정화 온도가 증가함에 따라 리튬 디실리케이트 결정립 크기의 증가와 맞물린(interlocking) 미세구조가 관찰되었다. 이제 도 22를 참조하면, 생성된 유리-세라믹 물품의 투과율은 결정화 유지 온도가 증가함에 따라 감소한다.
- [0212] 도 19-22에 표시된 바와 같이, 본 명세서에 기술된 전구체 유리 조성물을 상대적으로 낮은 결정화 온도에서 결정화 유지시키면 상대적으로 증가된 투과율을 갖는 유리-세라믹 물품이 생성되며, 이는 상대적으로 더 작은 리튬 디실리케이트 결정립 크기에 기인할 수 있다.
- [0213] 실시 예 C: 이온 교환 및 최대 중심 장력
- [0214] 표 2에 나타난 바와 같이, 실시 예 전구체 유리 조성물 4를 560°C에서 4시간 동안 핵형성 유지하고 690°C에서 1시간 동안 결정화 유지함으로써 실시 예 유리-세라믹 물품 E4를 형성하였다. 비교 유리-세라믹 물품 C1은 실시 예 유리-세라믹 물품 E4를 형성하는데 사용된 것과 동일한 열 처리를 비교 전구체 유리 조성물 1에 적용하여 형성되었다.
- [0215] 이제 도 23을 참조하면, 실시 예 유리-세라믹 물품 E4 및 비교용 유리-세라믹 물품 C1은 각각 470°C의 100% NaNO<sub>3</sub> 욕에서 4시간, 7시간, 16시간, 24시간 및 32시간 동안 이온 교환되었다. 이제 도 23을 참조하면, 실시 예 유리-세라믹 물품 E4는 비교용 유리-세라믹 물품 C1보다 더 높은 최대 중심 장력을 달성했다.
- [0216] 이제 도 24를 참조하면, 실시 예 유리-세라믹 물품 E4 및 비교용 유리-세라믹 물품 C1은 각각 60% KNO<sub>3</sub>/40% NaNO<sub>3</sub> + 0.12% LiNO<sub>3</sub> 용융염 욕조에서 4시간, 7시간, 16시간 및 24시간 동안 이온 교환되었다. 16시간 동안 이온 교환 실시 예 유리-세라믹 물품 E4는 나트륨 이온 교환된 물품의 거의 포물선 프로파일로 초래되었다. 이제 도 25를 참조하면, 실시 예 유리-세라믹 물품 E4는 비교용 유리-세라믹 물품 C1보다 더 높은 최대 중심 장력을 달성했다. 도 26에 도시된 바와 같이, 실시 예 유리-세라믹 물품 E4는 중량이 증가했으며, 이는 이온 교환에 사용할 수 있는 잔류 유리상에 Li<sub>2</sub>O가 더 많이 있음을 나타낸다. 잔류 유리상에 Li<sub>2</sub>O가 추가되면 중심 장력이 높아질 수 있다.
- [0217] 도 23 및 도 25에 표시된 바와 같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물은 비교적 더 높은 최대 중심 장력을 달성하기 위해 특정 이온 교환 조건에 적용될 수 있다. 이론에 얽매이기를 원하지 않지만, 도 26에 도시된 중량 증가 데이터에 의해 입증되는 바와 같이, 이온 교환을 위해 잔류 유리상에 상대적으로 더 많은 양의 Li<sub>2</sub>O가 존재하며, 최대 중심 장력이 증가하는 것으로 믿어진다.
- [0218] 도 26에 도시된 바와 같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로부터 형성된 유리-세라믹 물품은 유리-세라믹

물품에 존재하는 상대적으로 더 많은 양의 Li 이온이 이온 교환욕에 존재하는 Na 이온으로 대체되는 결과를 가져오며, 이는 상대적으로 더 높은 최대 중심 장력을 초래한다. 이론에 얽매이고자 하는 것은 아니지만, 본원에 기술된 유리-세라믹 물품은 쉽게 이온 교환될 수 있는 잔류 유리 상에 존재하는 Li<sub>2</sub>O의 함량이 상대적으로 높다.

[0219] 실시 예 D: 이온 교환 및 저장된 변형 에너지

[0220] 표 3은 실시 예 이온 교환 유리-세라믹 물품을 달성하기 위한 이온 교환 조건과 이온 교환된 유리-세라믹 물품의 각각의 특성을 보여준다. 표 1에 나열된 실시 예 전구체 유리 조성물 4를 갖는 실시 예 유리-세라믹 물품 E56-E64를 형성하고 540°C에서 4시간 동안 핵형성 유지 및 670°C에서 1시간 동안 결정화 유지를 실시했다.

표 3

실시예	E56	E57	E58	E59	E60
염 옥 조성물	60% KNO <sub>3</sub> /40% NaNO <sub>3</sub> + 0.12% LiNO <sub>3</sub>	60% KNO <sub>3</sub> /40% NaNO <sub>3</sub> + 0.12% LiNO <sub>3</sub>	60% KNO <sub>3</sub> /40% NaNO <sub>3</sub> + 0.12% LiNO <sub>3</sub>	60% KNO <sub>3</sub> /40% NaNO <sub>3</sub> + 0.12% LiNO <sub>3</sub>	100% NaNO <sub>3</sub>
이온 교환 스케줄	500 °C for 4 hr	500 °C for 7 hr	500 °C for 16 hr	500 °C for 24 hr	470 °C for 4 hr
최대 중심 장력 (MPa)	90.4	156.9	193.4	196.6	84.7
SSE (J/m <sup>2</sup> )	16.55	33.67	48.89	52.77	16.04

[0221]

[0222] 표 3 이어서

실시예	E61	E62	E63	E64
염 옥 조성물	100% NaNO <sub>3</sub>	100% NaNO <sub>3</sub>	100% NaNO <sub>3</sub>	100% NaNO <sub>3</sub>
이온 교환 스케줄	470 °C for 7 hr	470 °C for 16 hr	470 °C for 24 hr	470 °C for 32 hr
최대 중심 장력 (MPa)	116.2	164.8	199.2	267
SSE (J/m <sup>2</sup> )	25.14	46.39	64.55	90.87

[0223]

[0224] 표 3의 유리-세라믹 물품에 표시된 바와 같이, 본원에 설명된 전구체 유리 조성물로부터 형성된 유리-세라믹 물품은 특정 이온 교환 조건에 적용되어 높은 최대 중심 장력 및 높은 저장 변형 에너지를 달성할 수 있다.

[0225] 이제 도 27-29를 참조하면, 실시 예 유리-세라믹 물품 E57, E58 및 E59에 취성 시험을 실시했다. 도 27 및 도 28에 도시된 바와 같이, 최대 중심 장력이 156.9 MPa이고 저장 변형 에너지가 33.67 J/m<sup>2</sup>인 실시 예 유리-세라믹 물품 E57과 최대 중심 장력이 193.4 MPa이고 저장된 변형 에너지는 48.89 J/m<sup>2</sup>인 실시 예 유리-세라믹 물품 E58에서 다량의 균열(즉, 다이싱)이 관찰되지 않았다. 도 29에 도시된 바와 같이, 최대 중심 장력이 267 MPa이고 저장 변형 에너지가 90.87 J/m<sup>2</sup>인 실시 예 유리-세라믹 물품 E64에서 다량의 균열(즉, 다이싱)이 관찰되었다. 도 27-29에 표시된 바와 같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로부터 형성된 유리-세라믹 물품은 특정 이온 교환 전도를 거쳐 취약성 한계 미만을 유지하면서 상대적으로 높은 파괴 인성 및 높은 탄성 계수와 관련된 상대적으로 높은 중심 장력 및 상대적으로 높은 저장 변형 에너지를 달성할 수 있다. 이론에 얽매이기를 바라지는 않지만, 리튬 디실리케이트 결정상의 결정 구조는 본원에 설명된 유리-세라믹 물품이 취성 없이 상대적으로 높은 중심 장력, 파괴 인성 및 탄성 계수를 달성할 수 있게 하는 것으로 여겨진다.

[0226] 실시 예 E: 이온 교환 및 노화

[0227] 실시 예 유리-세라믹 물품 E65-E68은 실시 예 전구체 유리 조성물 4를 640°C에서 4시간 동안 핵형성 유지하고, 770°C에서 4시간 동안 핵형성 유지함으로써 형성되었다. 실시 예 유리-세라믹 물품 E66 및 E68은 60% KNO<sub>3</sub>/40% NaNO<sub>3</sub> + 0.12% LiNO<sub>3</sub> 용융염 욕에서 24시간 동안 이온 교환되었다. 실시 예 유리-세라믹 물품 E65 및 E67은 이온 교환되지 않았다. 실시 예 유리-세라믹 물품은 85 °C 및 85% 습도 챔버에서 가속 노화 테스트를 거쳤다.

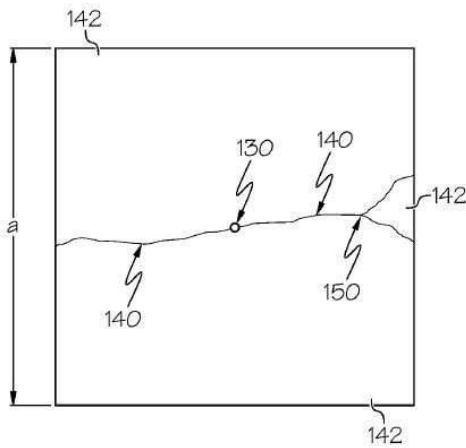
실시 예 유리-세라믹 물품 E65 및 E66은 72시간 동안 노화되었고, 실시 예 유리-세라믹 물품 E69 및 E70은 500시간 동안 노화되었다.

[0228] 이제 도 30-33을 참조하면, 이온 교환된 유리-세라믹 물품 E66 및 E68을 포함하여 노화 후 실시 예 유리-세라믹 물품 중 어느 것에서도 부식이 관찰되지 않았다. 이제 도 34-36을 참조하면, NaCl은 이온 교환되고 노화된 유리-세라믹 물품 E68에서 주요 상으로 확인되었다. 이론에 얽매이고 싶지는 않지만, Na<sub>2</sub>O가 아닌 NaCl이 물의 불순물로 인한 오염으로 인해 주요 상인 것으로 믿어진다. 도 30-36에 표시된 바와 같이, 본원에 기술된 전구체 유리 조성물로부터 형성된 유리-세라믹 물품은 이온 교환될 수 있으며 물품 표면의 높은 수준의 Na<sub>2</sub>O에서도 부식을 겪지 않을 수 있다.

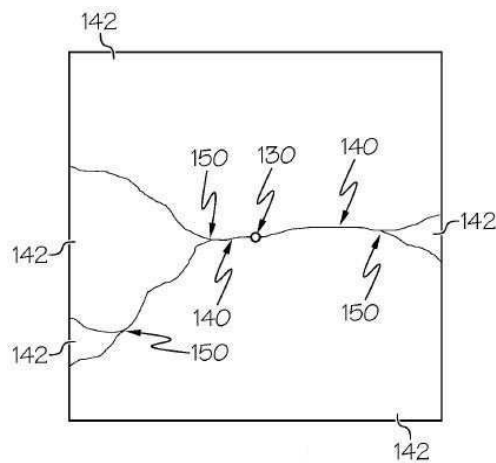
[0229] 청구된 주제의 정신과 범위를 벗어나지 않고 본 명세서에 설명된 구현 예에 대해 다양한 수정 및 변형이 이루어질 수 있다는 것이 당업자에게 명백할 것이다. 따라서, 명세서는 본 명세서에 설명된 다양한 구현 예의 수정 및 변형을 포함하도록 의도되며, 그러한 수정 및 변형은 첨부된 청구범위 및 그 균등물의 범위 내에 속한다.

**도면**

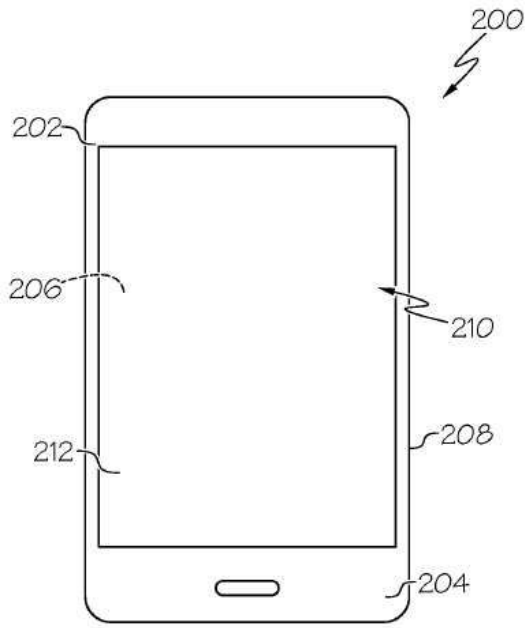
**도면1**



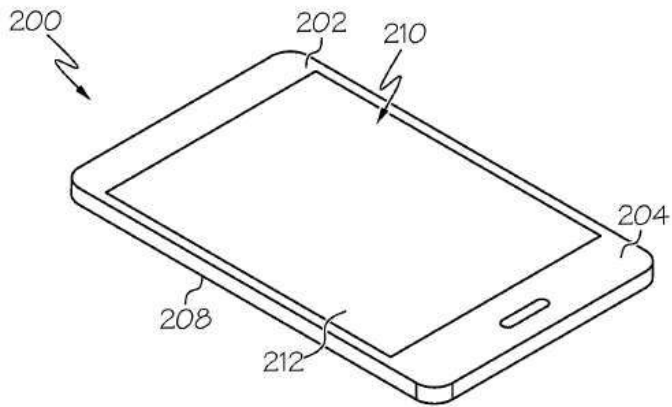
**도면2**



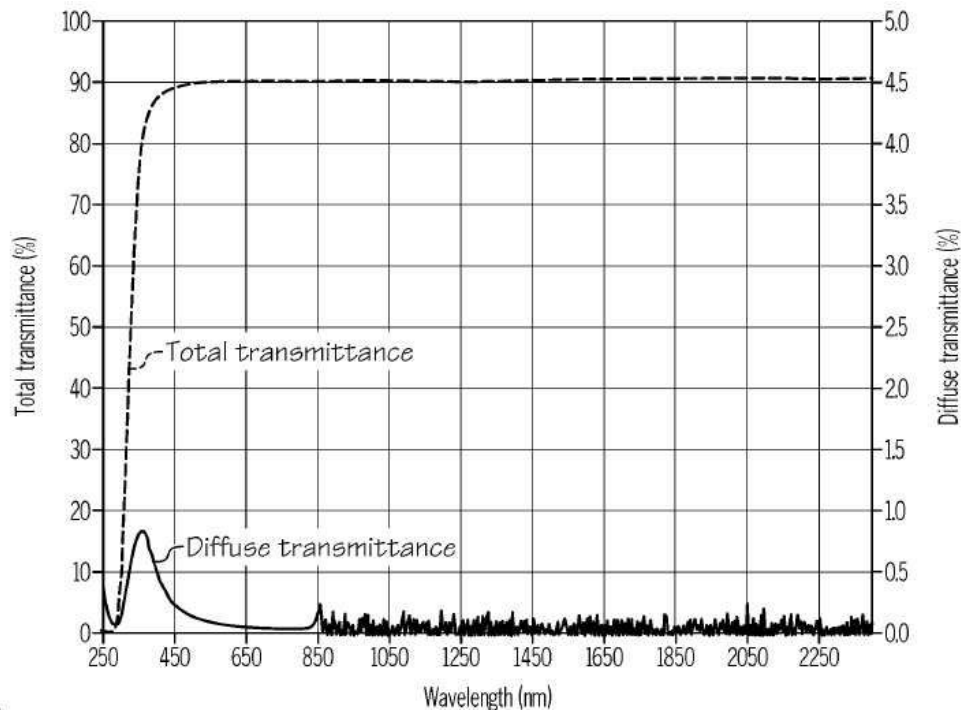
도면3



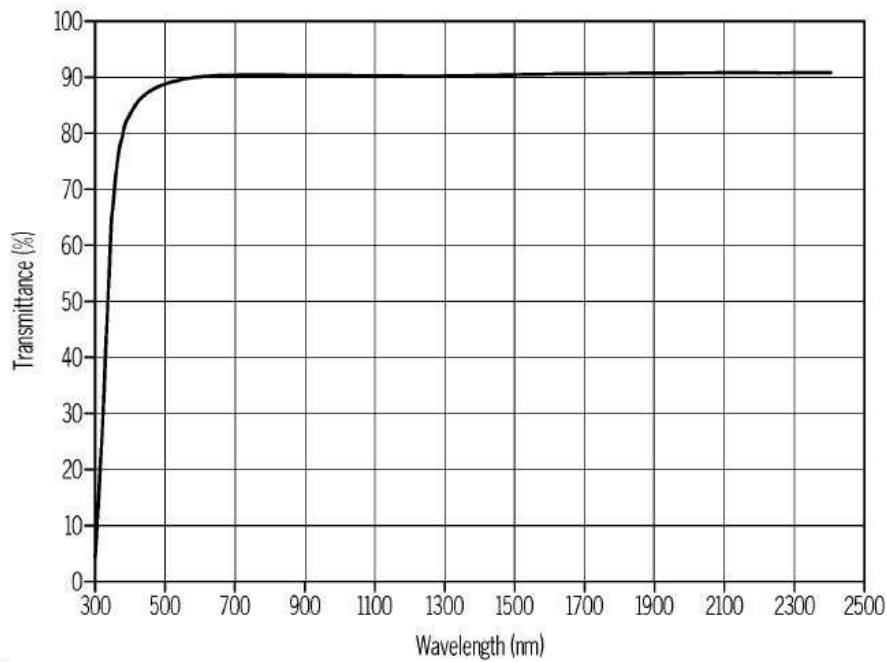
도면4



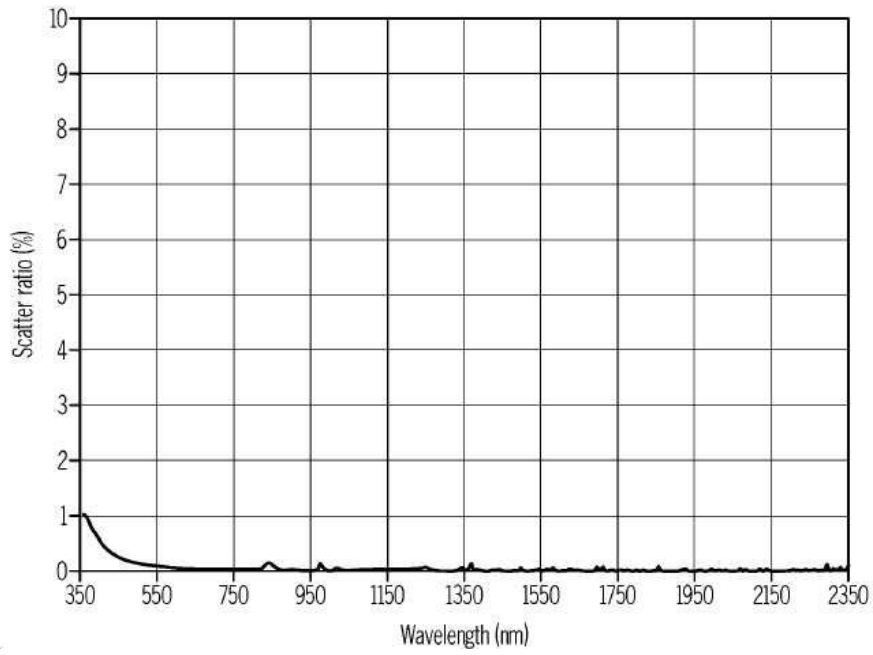
도면5



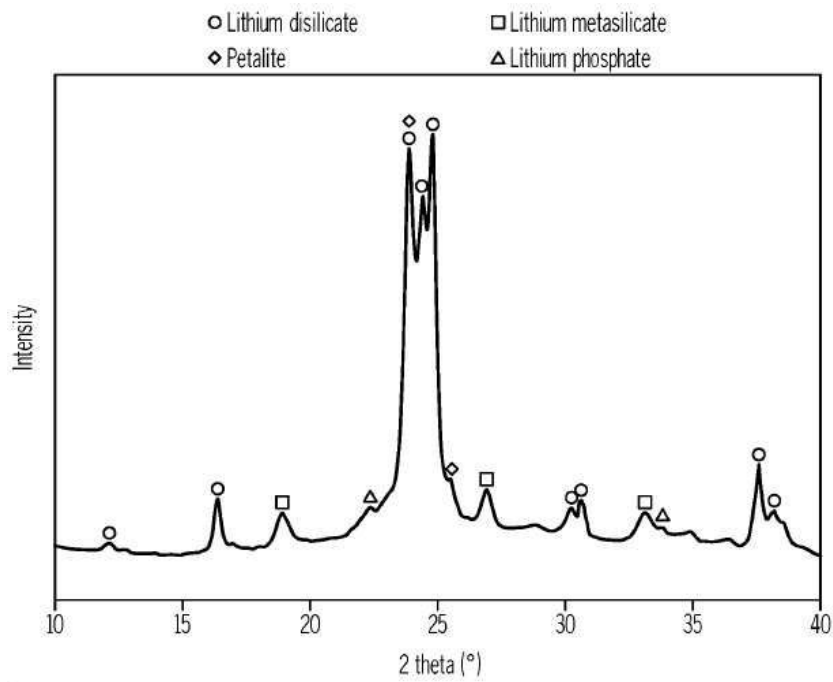
도면6



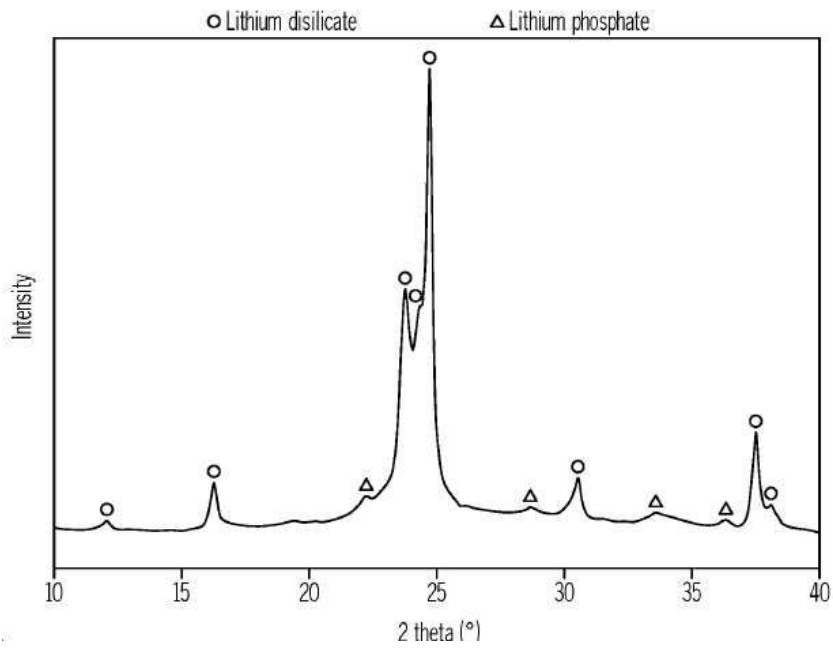
도면7



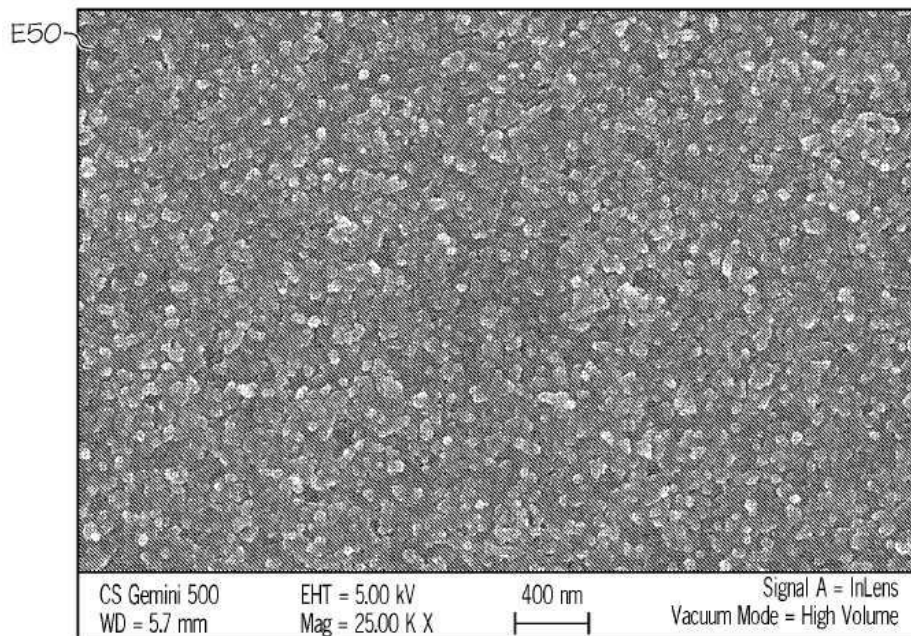
도면8



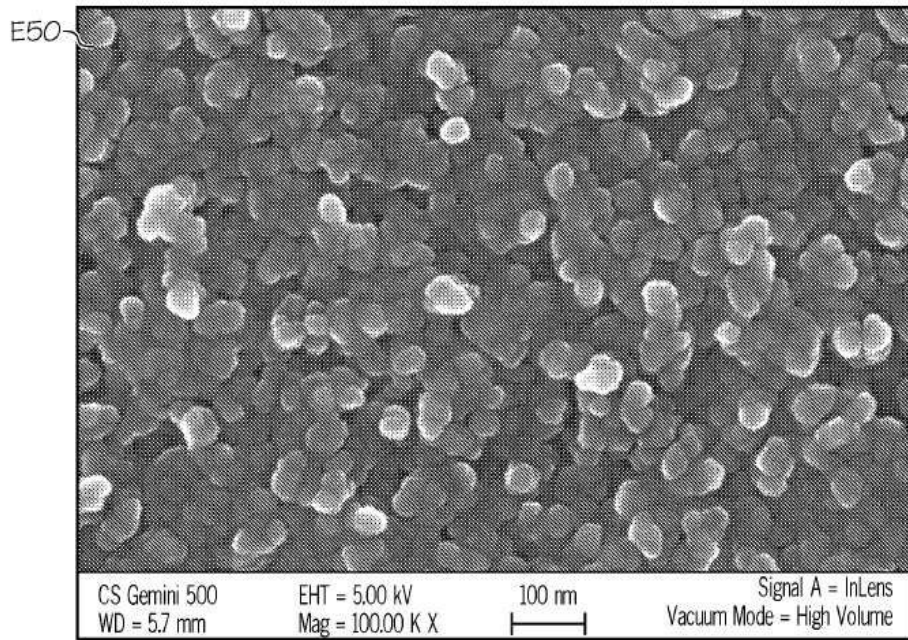
도면9



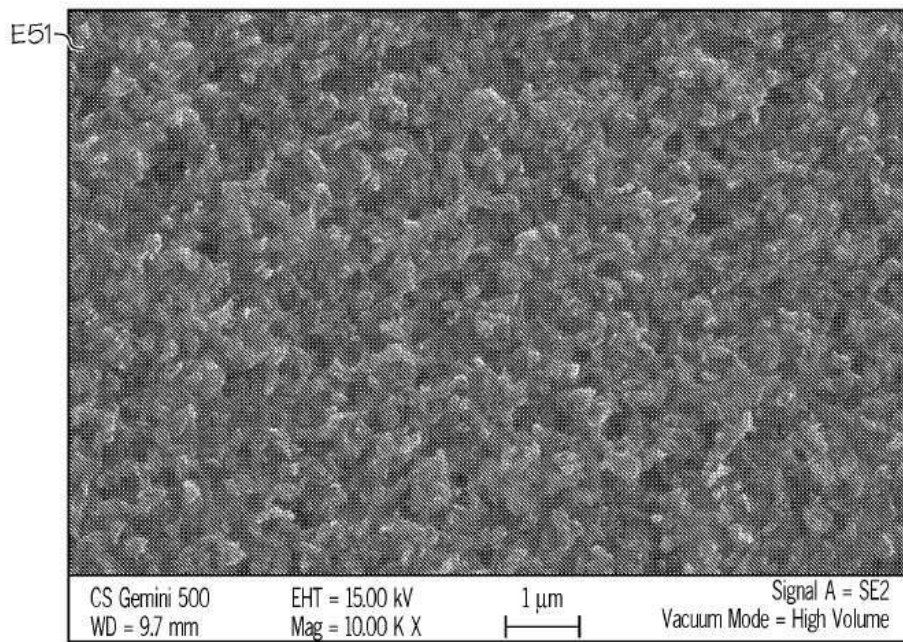
도면10



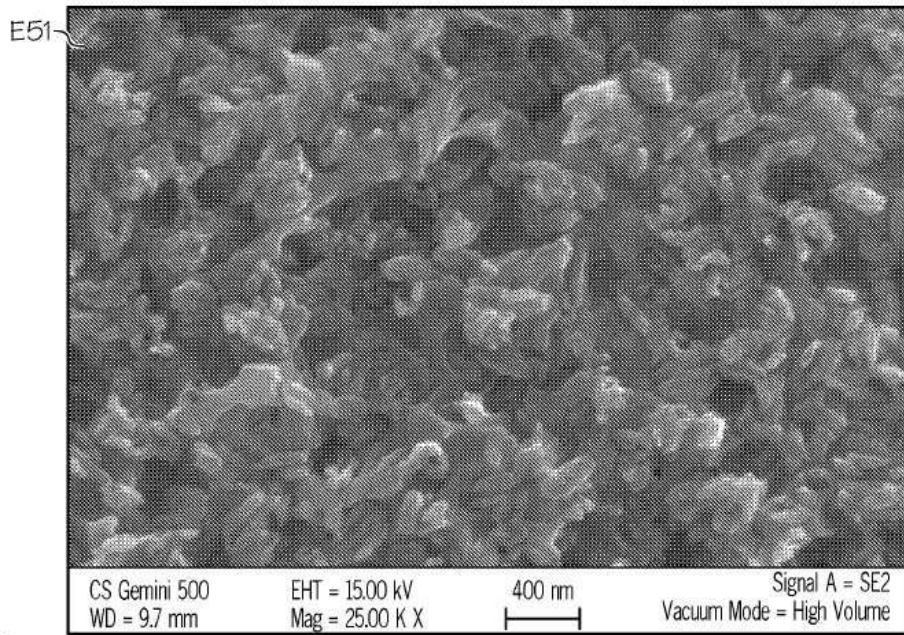
도면11



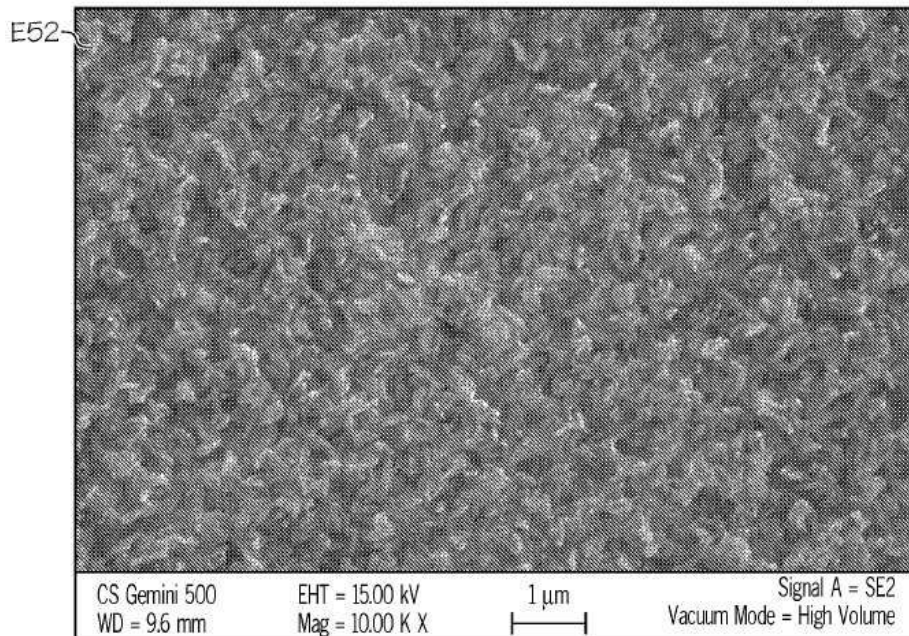
도면12



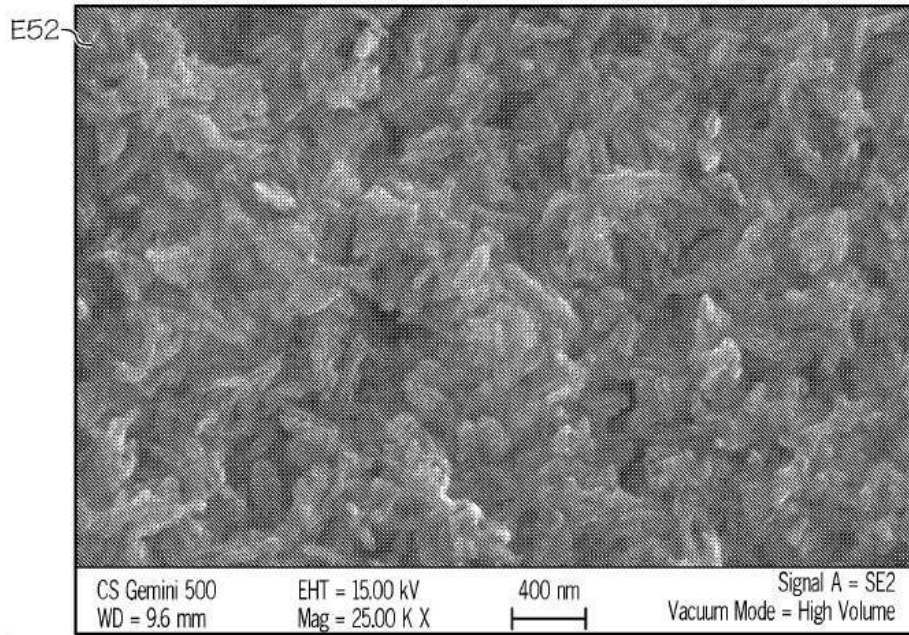
도면13



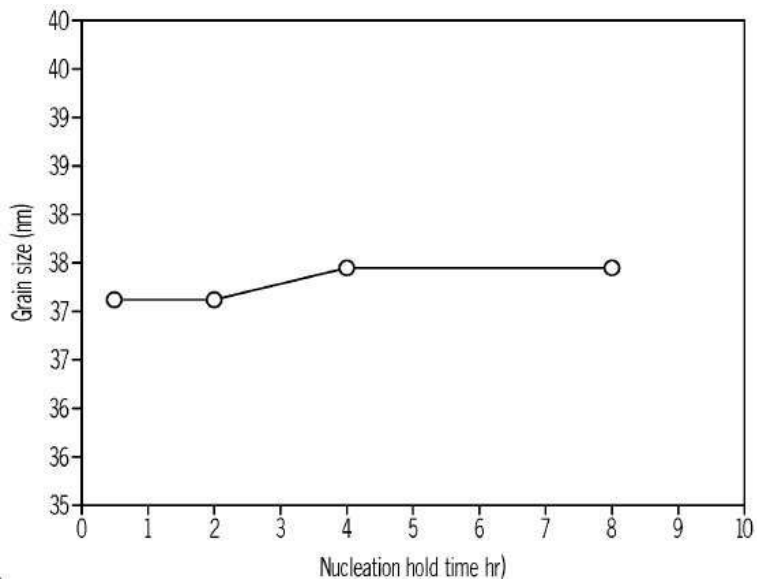
도면14



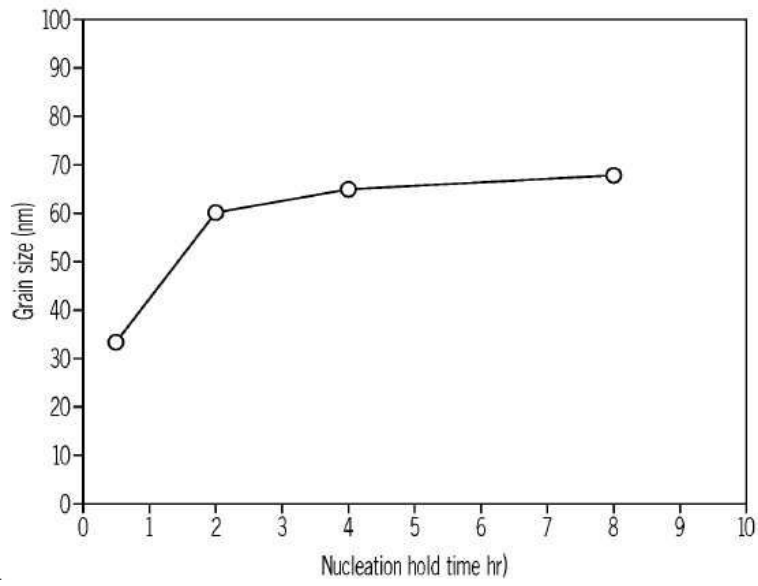
도면15



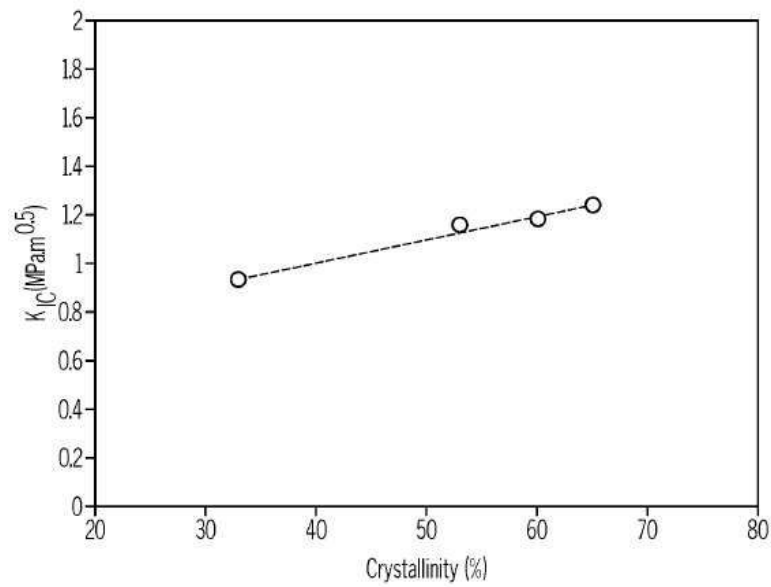
도면16



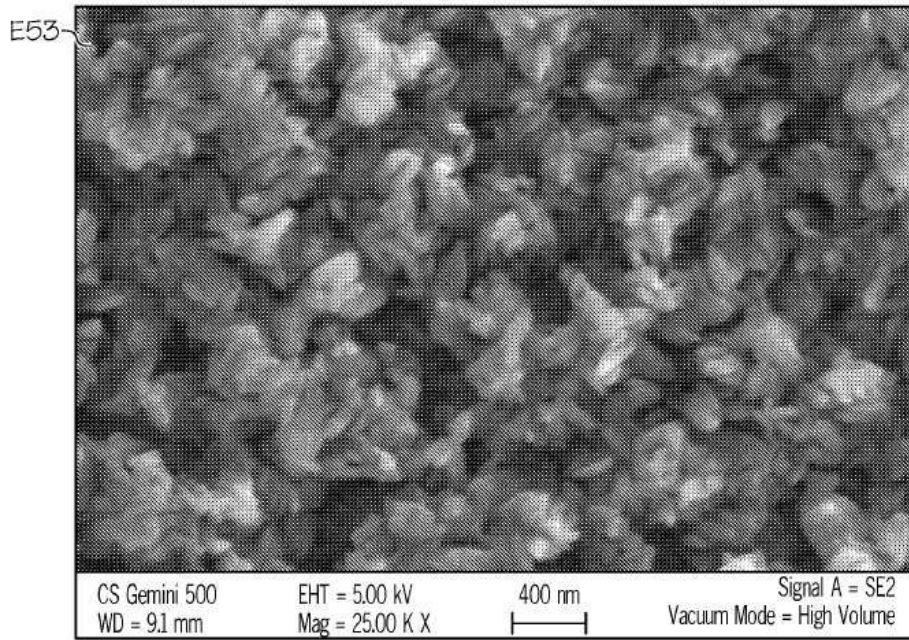
도면17



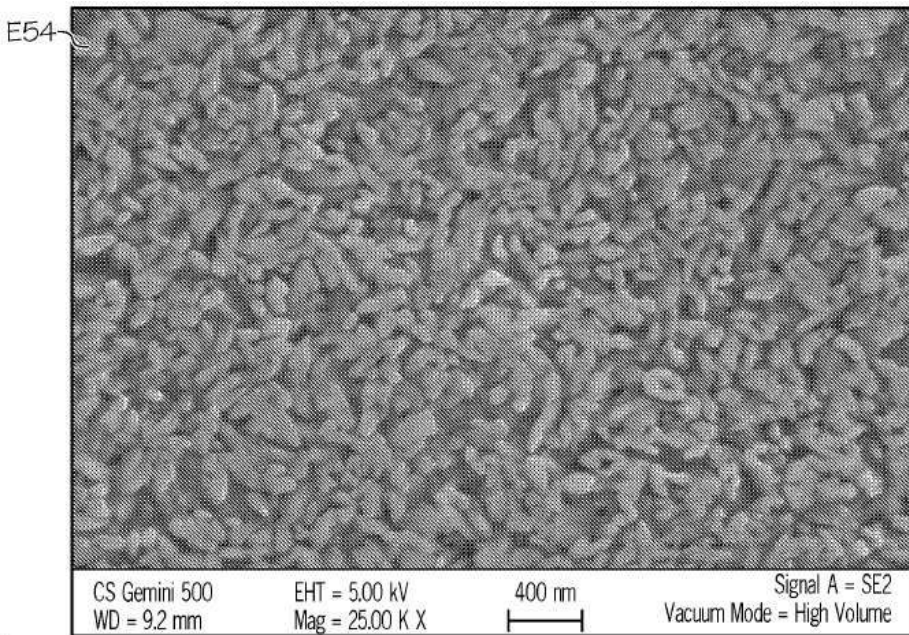
도면18



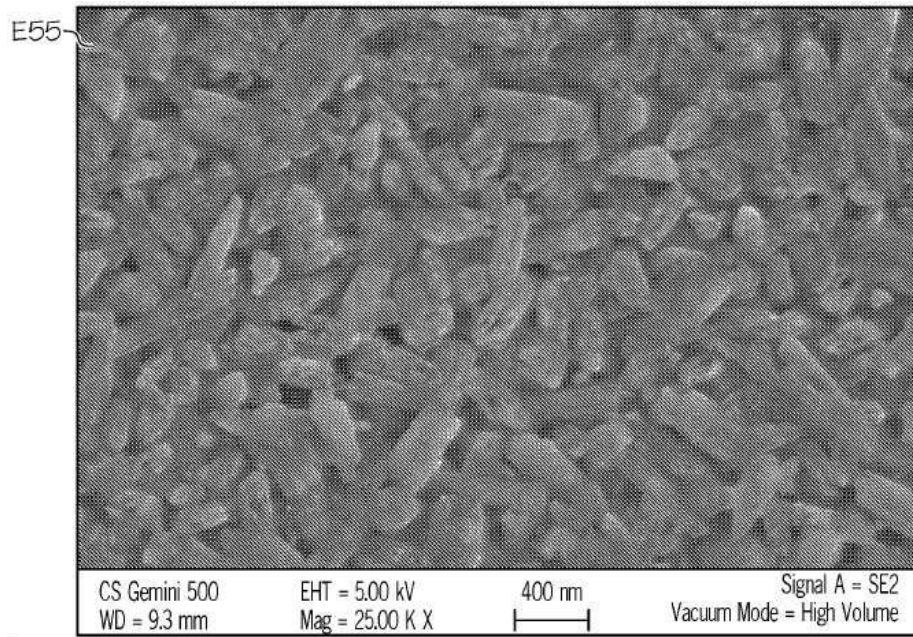
도면19



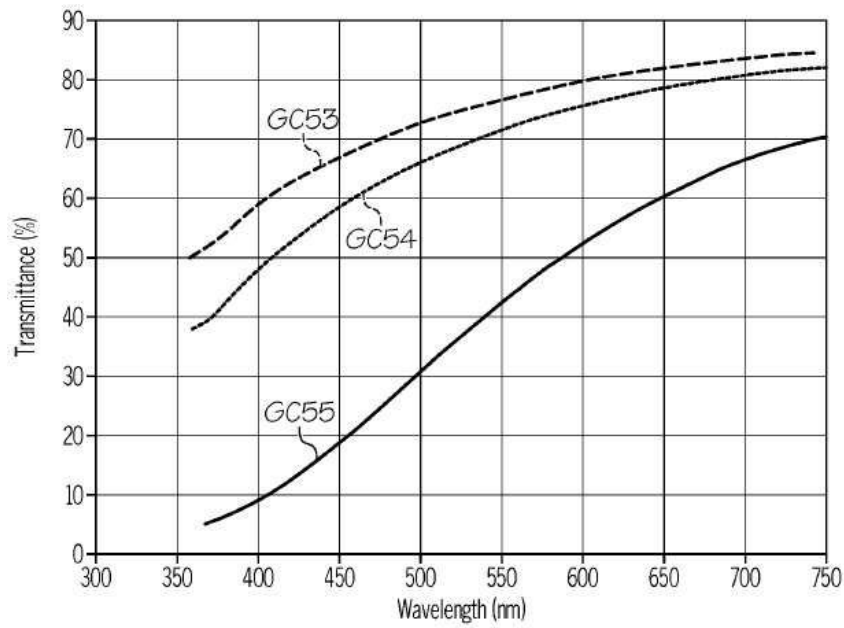
도면20



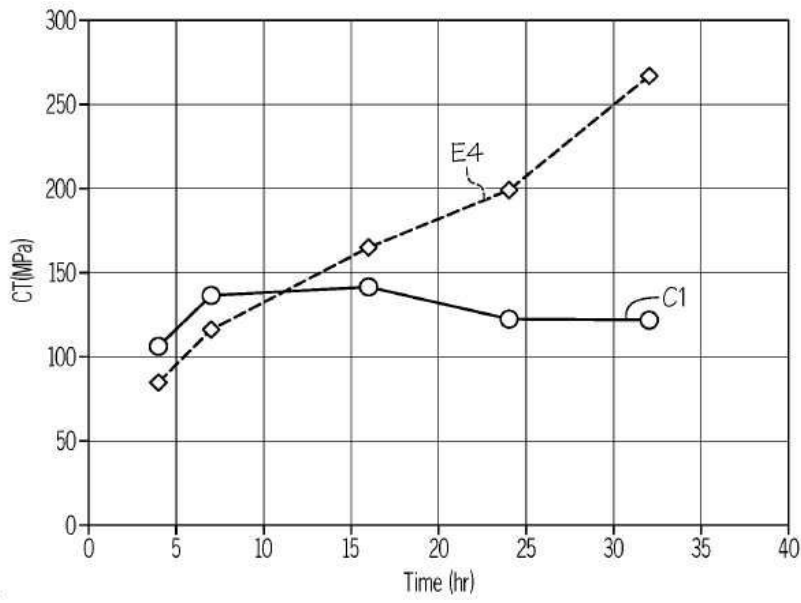
도면21



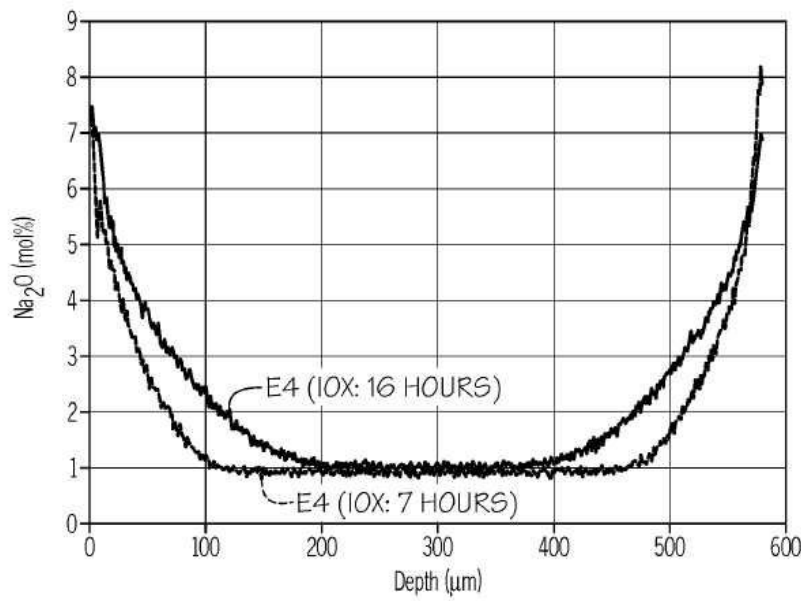
도면22



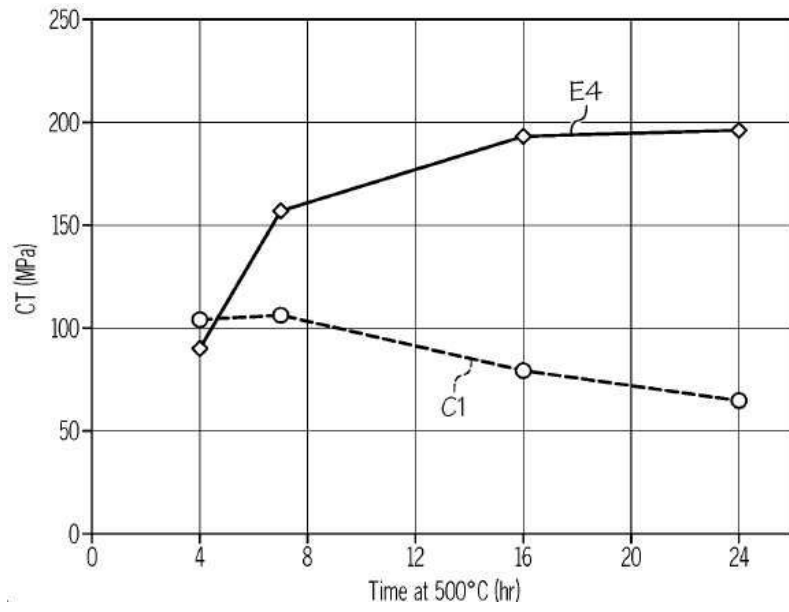
도면23



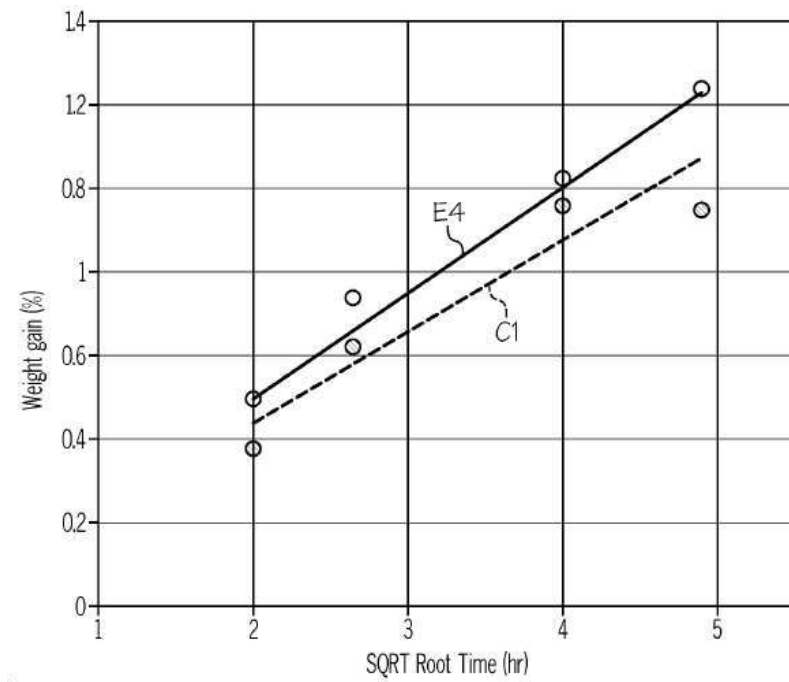
도면24



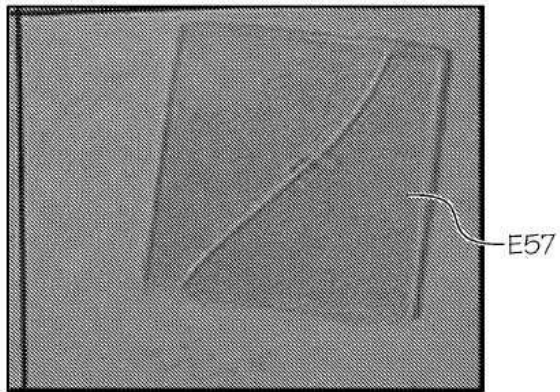
도면25



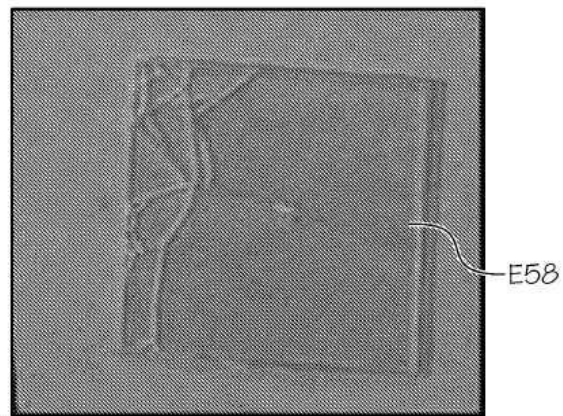
도면26



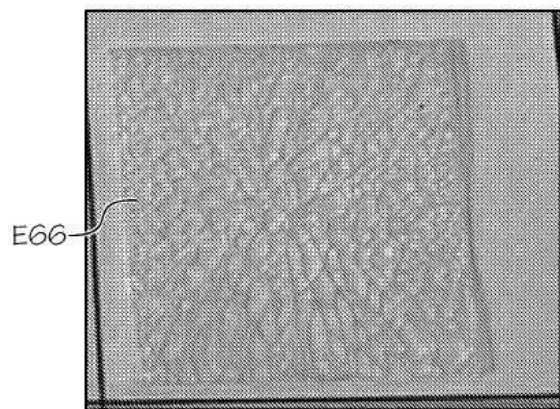
도면27



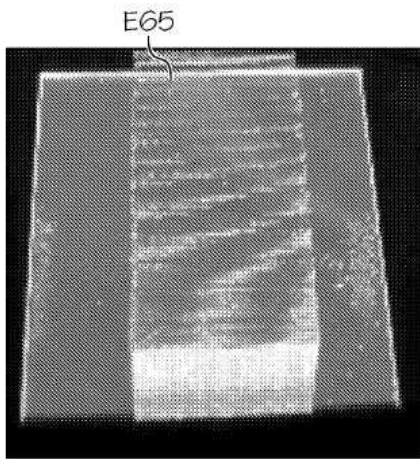
도면28



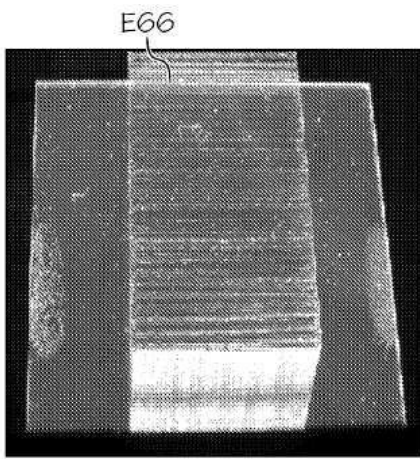
도면29



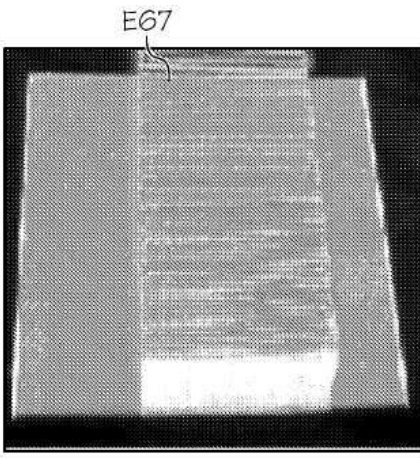
도면30



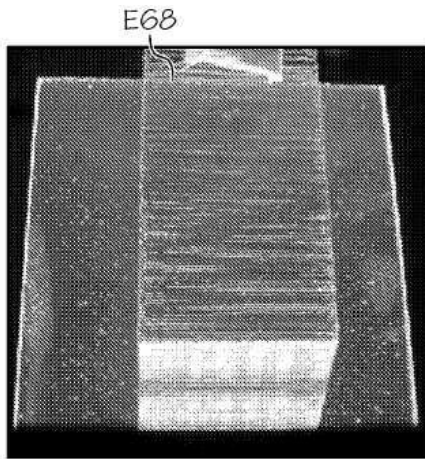
도면31



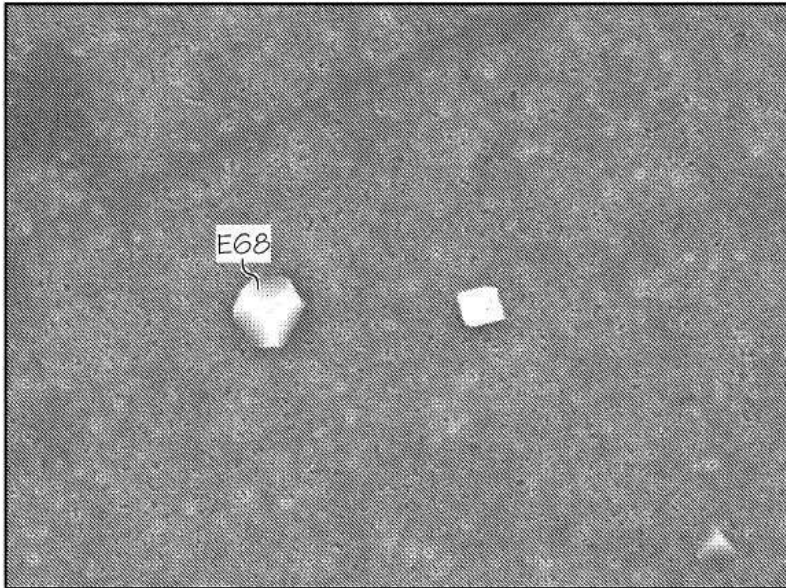
도면32



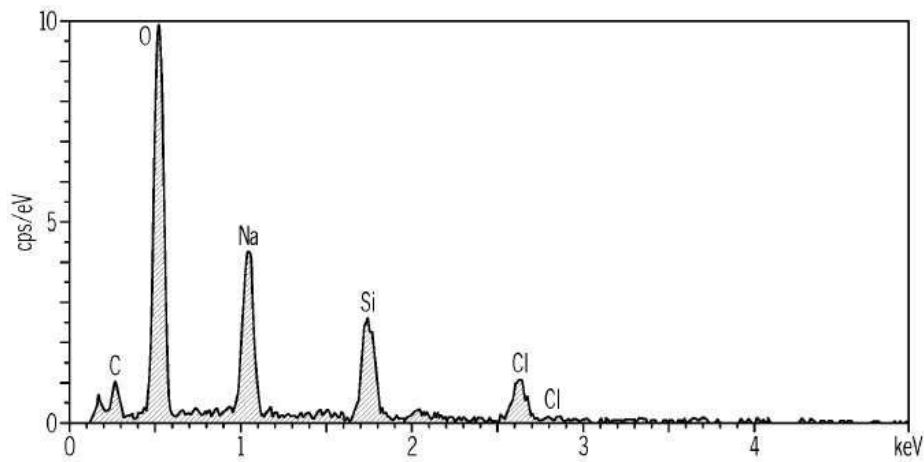
도면33



도면34



도면35



도면36

