



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0029545  
(43) 공개일자 2023년03월03일

- |  |   |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/>C03C 10/00 (2006.01) A61K 6/802 (2020.01)<br/>C03C 4/00 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류<br/>C03C 10/0027 (2013.01)<br/>A61K 6/802 (2020.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2022-0104892</p> <p>(22) 출원일자 2022년08월22일<br/>심사청구일자 없음</p> <p>(30) 우선권주장<br/>21192546.6 2021년08월23일<br/>유럽특허청(EPO)(EP)</p> | <p>(71) 출원인<br/>이보클라 비바덴트 아게<br/>리히텐슈타인 산 벤데러슈트라쎄 2 (우편번호 에 프엘 9494)</p> <p>(72) 발명자<br/>리츠베르거 크리스티안<br/>스위스 9472 그랍스 슈피탈슈트라쎄 60</p> <p>(74) 대리인<br/>김진희, 김태홍</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 용이한 기계가공성을 갖는 리튬 실리케이트 유리 세라믹

(57) 요약

본 발명은 주요 결정상으로서 리튬 메타실리케이트를 갖고 30 중량% 이하의 리튬 메타실리케이트 결정을 포함하며 하기 표시된 양의 성분을 포함하는 리튬 실리케이트 유리 세라믹에 관한 것이다:

성분 중량%

SiO<sub>2</sub> 71.0 내지 82.0

Li<sub>2</sub>O 6.0 내지 14.0

Me<sup>1</sup><sub>2</sub>O 4.0 내지 15.0

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.0 내지 10.0

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.5 내지 7.0,

여기서, Me<sup>1</sup><sub>2</sub>O는 Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O 및 이들의 혼합물로부터 선택되고,

Li<sub>2</sub>O에 대한 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 2.5 내지 5.0의 범위이다.

(52) CPC특허분류  
*C03C 4/0021* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

리튬 메타실리케이트를 주요 결정상으로서 포함하고 하기 표시된 양의 성분을 포함하는 리튬 실리케이트 유리 세라믹:

성분 중량%

SiO<sub>2</sub> 71.0 내지 82.0

Li<sub>2</sub>O 6.0 내지 14.0

Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O 4.0 내지 15.0

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.0 내지 10.0

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.5 내지 7.0,

여기서, Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O는 Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O 및 이들의 혼합물로부터 선택되고,

Li<sub>2</sub>O에 대한 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 2.5 내지 5.0의 범위이다.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 73.1 내지 80.0 중량%, 바람직하게는 74.0 내지 78.0 중량%의 SiO<sub>2</sub>를 포함하는 유리 세라믹.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 7.0 내지 12.9 중량%, 바람직하게는 8.0 내지 12.0 중량%의 Li<sub>2</sub>O를 포함하는 유리 세라믹.

#### 청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서, 5.1 내지 10.0 중량%, 바람직하게는 5.5 내지 7.0 중량%의 1가 원소의 추가 산화물 Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O를 포함하고, 여기서 Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O는 Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O 및 이들의 혼합물로부터 선택되고 바람직하게는 K<sub>2</sub>O인 유리 세라믹.

#### 청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 4.0 내지 7.0 중량%, 바람직하게는 5.1 내지 6.5 중량%의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 포함하는 유리 세라믹.

#### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 1.0 내지 4.0 중량%, 바람직하게는 1.2 내지 2.6 중량%, 특히 바람직하게는 1.5 내지 2.5 중량%의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함하는 유리 세라믹.

#### 청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 하기 표시된 양의 성분 중 적어도 하나, 바람직하게는 모두를 포함하는 유리 세라믹:

성분      중량%

SiO<sub>2</sub> 73.1 내지 80.0

Li<sub>2</sub>O 7.0 내지 12.9

Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O 4.0 내지 15.0, 특히 5.1 내지 10.0

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4.0 내지 10.0

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.2 내지 2.6

Me<sup>II</sup>O 0 내지 9.0

Me<sup>III</sup><sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0 내지 8.0

Me<sup>IV</sup>O<sub>2</sub> 0 내지 10.0

Me<sup>V</sup><sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0 내지 8.0

Me<sup>VI</sup>O<sub>3</sub> 0 내지 5.0

불소 0 내지 1.0,

여기서,

Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O는 Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O 및 이들의 혼합물로부터 선택되고,

Me<sup>II</sup>O는 MgO, CaO, SrO, ZnO 및 이들의 혼합물로부터 선택되고,

Me<sup>III</sup><sub>2</sub>O<sub>3</sub>은 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 이들의 혼합물로부터 선택되고,

Me<sup>IV</sup>O<sub>2</sub>는 TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> 및 이들의 혼합물로부터 선택되고,

Me<sup>V</sup><sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 이들의 혼합물로부터 선택되고;

Me<sup>VI</sup>O<sub>3</sub>은 MoO<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub> 및 이들의 혼합물로부터 선택된다.

#### 청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, Li<sub>2</sub>O에 대한 SiO<sub>2</sub>의 몰비가 2.9 내지 4.6의 범위, 바람직하게는 3.3 내지 4.4의 범위인 유리 세라믹.

#### 청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 30 중량% 이하, 바람직하게는 28 중량% 이하, 특히 바람직하게는 26 중량% 이하, 더욱 바람직하게는 22 중량% 이하, 특히 10 내지 30 중량%, 바람직하게는 12 내지 28 중량%, 특히 바람직하게는 15 내지 26 중량%, 더욱 바람직하게는 18 내지 22 중량%의 리튬 메타실리케이트 결정을 포함하는 유리 세라믹.

#### 청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 리튬 메타실리케이트 결정의 평균 크기가 5 내지 80 nm 범위, 특히 10 내지 50 nm 범위, 바람직하게는 15 내지 45 nm 범위, 특히 바람직하게는 25 내지 35 nm 범위인 유리 세라믹.

#### 청구항 11

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 따른 유리 세라믹의 성분을 포함하고, 특히 리튬 메타실리케이트 결정의 형

성을 위한 핵을 포함하는 출발 유리.

**청구항 12**

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항에 있어서, 유리 세라믹 및 출발 유리는 분말, 과립, 블랭크 또는 치과용 수복물의 형태인 유리 세라믹 또는 출발 유리.

**청구항 13**

제1항 내지 제10항 또는 제12항 중 어느 한 항에 따른 유리 세라믹의 제조 방법으로서, 제11항 또는 제12항에 따른 출발 유리에 450 내지 750℃ 범위에서 적어도 1회의 열처리를 수행하는 것인 제조 방법.

**청구항 14**

제13항에 있어서,

- (a) 출발 유리를 450 내지 600℃의 온도에서 열처리하여 핵을 갖는 출발 유리를 형성하고,
- (b) 핵을 갖는 출발 유리를 550 내지 750℃의 온도에서 열처리하여 유리 세라믹을 형성하는 것인 제조 방법.

**청구항 15**

치과용 재료로서의, 바람직하게는 치과용 수복물을 코팅하기 위한, 특히 바람직하게는 치과용 수복물의 제조를 위한 제1항 내지 제10항 또는 제12항 중 어느 한 항에 따른 유리 세라믹 또는 제11항 또는 제12항에 따른 출발 유리의 용도.

**청구항 16**

제15항에 있어서, 유리 세라믹은 압착 또는 기계가공에 의해 원하는 치과용 수복물, 특히 브릿지, 인레이, 온레이, 베니어, 어버트먼트, 부분 크라운, 크라운 또는 패킷의 형상이 부여되는 것인 치과용 수복물의 제조를 위한 용도.

**청구항 17**

제15항 또는 제16항에 있어서, 유리 세라믹은 750 내지 950℃, 바람직하게는 820 내지 890℃, 특히 바람직하게는 840 내지 870℃의 온도에서, 특히 1 내지 60분, 바람직하게는 5 내지 30분, 더욱 바람직하게는 5 내지 15분, 더욱 더 바람직하게는 5 내지 10분의 지속시간 동안 열처리되는 것인 용도.

**청구항 18**

치과용 수복물, 특히 브릿지, 인레이, 온레이, 베니어, 어버트먼트, 부분 크라운, 크라운 또는 패킷의 제조 방법으로서, 제1항 내지 제10항 또는 제12항 중 어느 한 항에 따른 유리 세라믹 또는 제11항 또는 제12항에 따른 출발 유리가, 특히 CAD/CAM 공정에서, 압착 또는 기계가공에 의해 원하는 치과용 수복물의 형상이 부여되는 것인 제조 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 특히 치과에서 사용하기에 적합한, 특히 치과용 수복물의 제조에 적합한 리튬 실리케이트 유리 세라믹, 및 이 유리 세라믹의 제조를 위한 진구체에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 리튬 실리케이트 유리 세라믹은 일반적으로 매우 우수한 기계적 특성을 특징으로 하기 때문에, 치과 분야, 주로 치과용 크라운 및 소형 치과용 브릿지의 제작에 한동안 사용되어 왔다.

[0003] WO 95/32678 A2는 점성 상태에서 압착에 의해 치과용 수복물로 가공되는 리튬 디실리케이트 유리 세라믹을 기술하고 있다. 그러나 변형 가능한 도가니의 사용이 필수이므로 가공이 매우 복잡하다.

[0004] EP 0 827 941 A1 및 EP 0 916 625 A1은 압착 또는 기계가공에 의해 원하는 치과용 수복물의 형상을 부여할 수

있는 리튬 디실리케이트 유리 세라믹을 개시하고 있다.

[0005] EP 1 505 041 A1 및 EP 1 688 398 A1은 리튬 디실리케이트 유리 세라믹의 치과용 수복물을 생산하는 공정을 기술하고 있다. 이 공정에서, 리튬 메타실리케이트를 주요 결정상으로 갖는 유리 세라믹이 먼저 전구체로 생산되며, 이는 예를 들어 CAD/CAM 공정을 통해 기계가공될 수 있다. 그리고나서 이 전구체는 원하는 고강도 리튬 디실리케이트 유리 세라믹을 형성하기 위해 추가로 열처리된다.

[0006] 기존의 리튬 디실리케이트 유리 세라믹의 기계가공은 고강도로 인해 어렵고 이에 따라 사용되는 도구의 마모가 자주 발생한다. 리튬 메타실리케이트 유리 세라믹의 기계가공은 기본적으로 더 쉽고 공구 마모가 적을 수 있다. 그러나, 공지된 리튬 메타실리케이트 유리 세라믹은 단지 예를 들어 일반적인 CAD/CAM 기계의 그라인딩 도구에 의해서 비교적 느리게 기계가공될 수 있다. 이것은 단일 치료 세션(소위, 체어사이드 치료)에서 치과용 수복물을 갖는 환자의 빈번한 바람직한 제공에 대해 특히 문제가 된다.

**발명의 내용**

[0007] 따라서, 공지된 리튬 메타실리케이트 유리 세라믹보다 더 빠르게 기계가공될 수 있고 후속적으로 높은 내화학성 및 우수한 광학 특성도 나타내는 고강도 치과용품으로 전환될 수 있는 리튬 실리케이트 유리 세라믹이 필요하다.

[0008] 이 문제는 청구항 1 내지 10 및 12에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹에 의해 해결된다. 본 발명의 청구 대상은 또한 청구항 11 및 12에 따른 출발 유리, 청구항 13 및 14에 따른 방법, 청구항 15 내지 17에 따른 용도, 그리고 청구항 18에 따른 방법이다.

[0009] 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹은 주요 결정상으로서 리튬 메타실리케이트를 갖고 하기 표시된 양의 성분을 포함하는 것을 특징으로 한다:

[0010] 성분 중량%

[0011] SiO<sub>2</sub> 71.0 내지 82.0

[0012] Li<sub>2</sub>O 6.0 내지 14.0

[0013] Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O 4.0 내지 15.0

[0014] Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.0 내지 10.0

[0015] P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.5 내지 7.0,

[0016] 여기서, Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O는 Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O 및 이들의 혼합물로부터 선택되고,

[0017] Li<sub>2</sub>O에 대한 SiO<sub>2</sub>의 몰비는 2.5 내지 5.0의 범위이다.

[0018] 놀랍게도, 본 발명에 따른 유리 세라믹은 특히 치과용 수복물 재료에 요구되는 매우 바람직한 기계적 및 광학적 특성의 조합을 포함하는 것으로 나타났다. 이 유리 세라믹은 강도와 인성이 낮아 복잡한 치과용 수복물의 형상으로도 쉽게 짧은 시간에 기계가공이 가능하나, 이러한 기계가공 후 열처리를 통해 우수한 기계적 특성, 우수한 광학 특성 및 매우 우수한 화학적 안정성을 갖는 유리 세라믹 제품으로 전환될 수 있다.

[0019] "주요 결정상"이라는 용어는 유리 세라믹에 존재하는 모든 결정상 중 질량 비율이 가장 높은 결정상을 설명하는데 사용된다. 결정상의 질량은 특히 리트벨트(Rietveld) 방법을 사용하여 결정된다. 리트벨트 방법에 의한 결정상의 정량 분석에 대한 적절한 절차는, 예를 들어, 엠 디트머(M. Dittmer)의 논문 ["Glaeser und Glaskeramiken im System MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> mit ZrO<sub>2</sub> als Keimbildner", University of Jena 2011]에 설명되어 있다.

[0020] 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹은 특히 73.1 내지 80.0, 바람직하게는 74.0 내지 78.0 중량%의 SiO<sub>2</sub>를 포함한다.

[0021] 유리 세라믹이 7.0 내지 12.9, 바람직하게는 8.0 내지 12.0 중량%의 Li<sub>2</sub>O를 포함하는 것이 더욱 바람직하다.

Li<sub>2</sub>O는 유리 매트릭스의 점도를 낮추어 원하는 상의 결정화를 촉진한다고 여겨진다.

- [0022] 또 다른 바람직한 실시양태에서, 유리 세라믹은 5.1 내지 10.0, 바람직하게는 5.5 내지 7.0 중량%의 1가 원소의 추가 산화물 Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O를 포함하며, 여기서 Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O는 Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Rb<sub>2</sub>O, Cs<sub>2</sub>O 및 이들의 혼합물로부터 선택되고, 바람직하게는 K<sub>2</sub>O이다.
- [0023] 특히 바람직하게는, 유리 세라믹은 하기 표시된 양의 1가 원소의 추가 산화물 Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O 중 적어도 하나, 특히 모두를 포함한다:
- [0024] 성분   중량%
- [0025] Na<sub>2</sub>O   0 내지 2.0
- [0026] K<sub>2</sub>O    0 내지 10.0
- [0027] Rb<sub>2</sub>O   0 내지 13.0
- [0028] Cs<sub>2</sub>O   0 내지 13.0.
- [0029] 특히 바람직한 실시양태에서, 본 발명에 따른 유리 세라믹은 2.0 내지 10.0, 바람직하게는 5.1 내지 9.0, 특히 바람직하게는 5.5 내지 7.0 중량%의 K<sub>2</sub>O를 포함한다.
- [0030] 유리 세라믹이 4.0 내지 7.0, 바람직하게는 5.1 내지 6.5 중량%의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 포함하는 것이 또한 바람직하다.
- [0031] 다른 바람직한 실시양태에서, 유리 세라믹은 1.0 내지 4.0, 바람직하게는 1.2 내지 2.6, 특히 바람직하게는 1.5 내지 2.5 중량%의 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 포함한다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 핵제 역할을 한다고 여겨진다.
- [0032] 유리 세라믹이 MgO, CaO, SrO, ZnO 및 이들의 혼합물의 군으로부터 선택된 2가 원소의 산화물 Me<sup>II</sup>O를 1.0 내지 9.0, 바람직하게는 2.0 내지 8.0, 특히 바람직하게는 3.0 내지 7.0 중량% 포함하는 것이 더욱 바람직하다.
- [0033] 다른 바람직한 실시양태에서, 유리 세라믹은 2.0 중량% 미만의 BaO를 포함한다. 특히, 유리 세라믹은 BaO를 실질적으로 포함하지 않는다.
- [0034] 바람직하게는, 유리 세라믹은 하기 표시된 양의 2가 원소의 산화물 Me<sup>II</sup>O 중 적어도 하나, 특히 모두를 포함한다:
- [0035] 성분   중량%
- [0036] MgO    0 내지 4.0
- [0037] CaO    0 내지 4.0
- [0038] SrO    0 내지 7.0
- [0039] ZnO    0 내지 5.0.
- [0040] 특히 바람직한 실시양태에서, 유리 세라믹은 0.1 내지 4.0, 바람직하게는 0.5 내지 3.0, 특히 바람직하게는 1.0 내지 2.0 중량%의 MgO를 포함한다.
- [0041] 다른 특히 바람직한 실시양태에서, 유리 세라믹은 0.1 내지 7.0, 바람직하게는 1.0 내지 6.0, 특히 바람직하게는 2.0 내지 5.0, 가장 바람직하게는 3.0 내지 4.0 중량%의 SrO를 포함한다.
- [0042] 또한, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 이들의 혼합물의 군으로부터 선택된 3가 원소의 추가 산화물 Me<sup>III</sup><sub>2</sub>O<sub>3</sub>을 0 내지 8.0, 바람직하게는 1.0 내지 7.0, 특히 바람직하게는 2.0 내지 6.0 중량% 포함하는 유리 세라믹이 바람직하다.
- [0043] 특히 바람직하게는, 유리 세라믹은 하기 표시된 양의 3가 원소의 추가 산화물 Me<sup>III</sup><sub>2</sub>O<sub>3</sub> 중 적어도 하나, 특히 모두를 포함한다:

- [0044] 성분 중량%
- [0045] B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0 내지 4.0
- [0046] Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0 내지 5.0
- [0047] La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0 내지 5.0
- [0048] Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0 내지 3.0
- [0049] In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0 내지 5.0.
- [0050] 또한, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub> 및 이들의 혼합물의 군으로부터 선택된 4가 원소의 산화물 Me<sup>IV</sup>O<sub>2</sub>를 0 내지 10.0, 바람직하게는 1.0 내지 8.0, 특히 바람직하게는 2.0 내지 6.0 중량% 포함하는 유리 세라믹이 바람직하다.
- [0051] 특히 바람직하게는, 유리 세라믹은 하기 표시된 양의 4가 원소의 산화물 Me<sup>IV</sup>O<sub>2</sub> 중 적어도 하나, 특히 모두를 포함한다:
- [0052] 성분 중량%
- [0053] TiO<sub>2</sub> 0 내지 4.0
- [0054] ZrO<sub>2</sub> 0 내지 3.0
- [0055] GeO<sub>2</sub> 0 내지 9.0
- [0056] SnO<sub>2</sub> 0 내지 3.0
- [0057] CeO<sub>2</sub> 0 내지 4.0.
- [0058] 다른 구체예에서, 유리 세라믹은 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 및 이들의 혼합물로 이루어진 군으로부터 선택된 5가 원소의 추가 산화물 Me<sup>V</sup><sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 0 내지 8.0, 바람직하게는 1.0 내지 7.0, 특히 바람직하게는 2.0 내지 6.0 중량% 포함한다.
- [0059] 특히 바람직하게는, 유리 세라믹은 하기 표시된 양의 5가 원소의 추가 산화물 Me<sup>V</sup><sub>2</sub>O<sub>5</sub> 중 적어도 하나, 특히 모두를 포함한다:
- [0060] 성분 중량%
- [0061] V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0 내지 2.0
- [0062] Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0 내지 5.0
- [0063] Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0 내지 5.0.
- [0064] 다른 구체예에서, 유리 세라믹은 MoO<sub>3</sub>, WO<sub>3</sub>, 및 이들의 혼합물로 이루어진 군으로부터 선택된 6가 원소의 산화물 Me<sup>VI</sup>O<sub>3</sub>를 0 내지 5.0, 바람직하게는 1.0 내지 4.0, 특히 바람직하게는 2.0 내지 3.0 중량% 포함한다.
- [0065] 특히 바람직하게는, 유리 세라믹은 하기 표시된 양의 산화물 Me<sup>VI</sup>O<sub>3</sub> 중 적어도 하나, 특히 모두를 포함한다:
- [0066] 성분 중량%
- [0067] MoO<sub>3</sub> 0 내지 3.0
- [0068] WO<sub>3</sub> 0 내지 3.0.

- [0069] 추가 실시양태에서, 본 발명에 따른 유리 세라믹은 0 내지 1.0, 특히 0 내지 0.5 중량%의 불소를 포함한다.
- [0070] 하기 표시된 양의 성분 중 적어도 하나, 바람직하게는 모두를 포함하는 유리 세라믹이 특히 바람직하다:
- [0071] 성분   중량%
- [0072] SiO<sub>2</sub>   73.1 내지 80.0
- [0073] Li<sub>2</sub>O    7.0 내지 12.9
- [0074] Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O   4.0 내지 15.0, 특히 5.1 내지 10.0
- [0075] Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>   4.0 내지 10.0
- [0076] P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>    1.2 내지 2.6
- [0077] Me<sup>II</sup>O    0 내지 9.0
- [0078] Me<sup>III</sup><sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0 내지 8.0
- [0079] Me<sup>IV</sup>O<sub>2</sub>  0 내지 10.0
- [0080] Me<sup>V</sup><sub>2</sub>O<sub>5</sub>  0 내지 8.0
- [0081] Me<sup>VI</sup>O<sub>3</sub>  0 내지 5.0
- [0082] 불소    0 내지 1.0
- [0083] 여기서, Me<sup>I</sup><sub>2</sub>O, Me<sup>II</sup>O, Me<sup>III</sup><sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Me<sup>IV</sup>O<sub>2</sub>, Me<sup>V</sup><sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 Me<sup>VI</sup>O<sub>3</sub>은 상기 주어진 의미를 갖는다.
- [0084] 다른 특히 바람직한 실시양태에서, 유리 세라믹은 하기 표시된 양의 하기 성분 중 적어도 하나, 바람직하게는 모두를 포함한다:
- [0085] 성분   중량%
- [0086] SiO<sub>2</sub>   73.1 내지 80.0
- [0087] Li<sub>2</sub>O    7.0 내지 12.9
- [0088] Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>   4.0 내지 10.0
- [0089] P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>    1.2 내지 2.6
- [0090] Na<sub>2</sub>O    0 내지 2.0
- [0091] K<sub>2</sub>O     0 내지 10.0
- [0092] Rb<sub>2</sub>O    0 내지 13.0
- [0093] Cs<sub>2</sub>O    0 내지 13.0
- [0094] MgO     0 내지 4.0
- [0095] CaO     0 내지 4.0
- [0096] SrO     0 내지 7.0
- [0097] ZnO     0 내지 5.0

- [0098]  $B_2O_3$  0 내지 4.0
- [0099]  $Y_2O_3$  0 내지 5.0
- [0100]  $La_2O_3$  0 내지 5.0
- [0101]  $Ga_2O_3$  0 내지 3.0
- [0102]  $In_2O_3$  0 내지 5.0
- [0103]  $TiO_2$  0 내지 4.0
- [0104]  $ZrO_2$  0 내지 3.0
- [0105]  $GeO_2$  0 내지 9.0
- [0106]  $SnO_2$  0 내지 3.0
- [0107]  $CeO_2$  0 내지 4.0
- [0108]  $V_2O_5$  0 내지 2.0
- [0109]  $Nb_2O_5$  0 내지 5.0
- [0110]  $Ta_2O_5$  0 내지 5.0
- [0111]  $MoO_3$  0 내지 3.0
- [0112]  $WO_3$  0 내지 3.0
- [0113] 불소 0 내지 1.0.
- [0114] 상기 성분 중 일부는 착색제 및/또는 형광제로 작용할 수 있다. 본 발명에 따른 유리 세라믹은 추가의 착색제 및/또는 형광제를 추가로 포함할 수 있다. 이는, 예를 들어,  $Bi_2O_3$  또는  $Bi_2O_5$ 로부터, 특히 추가 무기 안료 및/또는 d 및 f 원소의 산화물, 예를 들어 Mn, Fe, Co, Pr, Nd, Tb, Er, Dy, Eu 및 Yb의 산화물로부터 선택될 수 있다. 이들 착색제 및 형광제에 의해, 유리 세라믹을 쉽게 착색시켜, 특히 천연 치과용 재료의 원하는 광학 특성을 모방하는 것이 가능하다.
- [0115] 유리 세라믹의 바람직한 실시양태에서,  $Li_2O$ 에 대한  $SiO_2$ 의 몰비는 2.9 내지 4.6의 범위, 바람직하게는 3.3 내지 4.4의 범위이다.  $Li_2O$ 에 대한 이러한 높은 몰 과량의  $SiO_2$ 에도 불구하고, 본 발명의 유리 세라믹은 주요 결정상으로서 리튬 메타실리케이트를 갖도록 형성될 수 있다는 것은 놀라운 일이다.
- [0116] 바람직하게는, 본 발명에 따른 유리 세라믹은 30 중량% 이하, 바람직하게는 28 중량% 이하, 특히 바람직하게는 26 중량% 이하, 가장 바람직하게는 22 중량% 이하의 리튬 메타실리케이트 결정을 포함한다. 특히 바람직하게는, 유리 세라믹은 10 내지 30 중량%, 바람직하게는 12 내지 28 중량%, 더욱 바람직하게는 15 내지 26 중량%, 가장 바람직하게는 18 내지 22 중량%의 리튬 메타실리케이트 결정을 포함한다.
- [0117] 본 발명에 따른 유리 세라믹에서 리튬 메타실리케이트 결정의 평균 크기가 5 내지 80 nm 범위, 특히 10 내지 50 nm 범위, 바람직하게는 15 내지 45 nm 범위, 특히 바람직하게는 25 내지 35 nm 범위인 것이 더욱 바람직하다.
- [0118] 리튬 메타실리케이트 결정의 평균 크기는 특히 CuK $\alpha$  방사선을 사용하여 유리 세라믹 분말에 대한 X선 회절에 의해 결정될 수 있다. 이를 위해, 얻어진 X선 회절 패턴은 리트벨트 방법에 따라 평가될 수 있고, 쉐레(Scherrer) 방정식에 따라 리튬 메타실리케이트 피크의 반값 폭으로부터 리튬 메타실리케이트 결정의 평균 크기를 계산할 수 있다. 이러한 평가는 바람직하게는 소프트웨어 지원, 예를 들어 브루커(Bruker)의 TOPAS 5.0 소프트웨어로 수행할 수 있다.
- [0119] 리튬 메타실리케이트에 더하여, 본 발명에 따른 유리 세라믹은 석영, 특히 저 석영, 인회석, 세습 알루미늄실리케이트 및 특히 리튬 포스페이트와 같은 추가 결정상을 포함할 수 있다. 그러나, 크리스토팔라이트의 양은 가능

한 한 작아야 하며, 특히 1.0 중량% 미만이어야 한다. 본 발명에 따른 유리 세라믹은 크리스토팔라이트가 실질적으로 없는 것이 특히 바람직하다.

- [0120] 형성되는 결정상의 유형 및 특히 양은 출발 유리의 조성 및 적용되는 열처리에 의해 제어되어 출발 유리로부터 유리 세라믹을 생성할 수 있다. 실시예는 출발 유리의 조성과 적용된 열처리를 변화시켜 이를 설명한다.
- [0121] 유리 세라믹의 이축 파괴 강도는 바람직하게는 적어도 80 MPa, 특히 바람직하게는 100 내지 200 MPa이다. 이축 파괴 강도는 ISO 6872(2008)(피스톤-온-쓰리-볼 테스트)에 따라 결정되었다.
- [0122] 본 발명에 따른 유리 세라믹은 바람직하게는  $9.5$  내지  $14.0 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 의 열팽창 계수 CTE(100 내지 500°C 범위에서 측정)를 갖는다. CTE는 ISO 6872(2008)에 따라 결정된다. 열팽창 계수는 특히 유리 세라믹에 존재하는 결정상의 유형 및 양 그리고 유리 세라믹의 화학 조성에 의해 원하는 값으로 조정된다.
- [0123] 유리 세라믹의 투명도는 브리티쉬 스탠다드(British Standard) BS 5612에 따라 명암값(CR 값) 측면에서 결정되었으며, 이 명암값은 바람직하게는 40 내지 92였다.
- [0124] 본 발명은 또한 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹이 열처리에 의해 제조될 수 있는 상응하는 조성의 다양한 전구체에 관한 것이다. 이들 전구체는 상응하게 구성된 출발 유리 및 상응하게 구성된 핵을 갖는 출발 유리이다. "상응하는 조성"이라는 용어는 이러한 전구체가 유리 세라믹과 동일한 양으로 동일한 성분을 포함한다는 것을 의미하며, 여기서 성분은 유리 및 유리 세라믹에 대해 통상적인 것과 같이 불소를 제외하고 산화물로 계산된다.
- [0125] 따라서, 본 발명은 또한 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹의 성분을 포함하는 출발 유리에 관한 것이다.
- [0126] 따라서, 본 발명에 따른 출발 유리는 특히 리튬 메타실리케이트를 주요 결정상으로 갖는 본 발명에 따른 유리 세라믹을 형성하는 데 필요한 적절한 양의  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{Me}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  및  $\text{P}_2\text{O}_5$ 를 포함한다. 추가로, 출발 유리는 또한 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹에 대해 상기 나타낸 바와 같은 다른 성분을 포함할 수 있다. 이러한 모든 실시양태는 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹의 성분에 대해 바람직한 것으로 또한 표시된 출발 유리의 성분에 대해 바람직하다.
- [0127] 본 발명은 또한 리튬 메타실리케이트 결정의 형성을 위한 핵을 포함하는 이러한 출발 유리에 관한 것이다.
- [0128] 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹 및 본 발명에 따른 출발 유리는 특히 임의의 형태 및 크기의 분말, 과립 또는 블랭크 형태, 예를 들어 소판, 입방체 또는 실린더와 같은 모놀리식 블랭크, 또는 비소결, 부분 소결 또는 조밀 소결 형태의 분말 콤팩트로 존재한다. 이들은 이러한 형태로 쉽게 추가 가공될 수 있다. 그러나 인레이, 온레이, 크라운, 베니어, 패킷 또는 어버트먼트와 같은 치과용 수복물의 형태일 수도 있다.
- [0129] 출발 유리의 제조를 위한 절차는 특히 카보네이트, 옥시드, 포스페이트 및 플루오라이드와 같은 적합한 출발 재료의 혼합물이 특히 1300 내지 1600°C의 온도에서 2 내지 10시간 동안 용융되도록 하는 것이다. 특히 높은 균질성을 달성하기 위해, 얻어진 유리 용융물을 물에 부어 유리 과립을 형성한 다음, 얻어진 과립을 다시 용융시킨다.
- [0130] 그런 다음 용융물을 물드에 부어 출발 유리의 블랭크, 소위 고체 유리 블랭크 또는 모놀리식 블랭크를 생성할 수 있다.
- [0131] 용융물을 다시 물에 도입하여 과립을 생성하는 것도 가능하다. 그라인딩 후, 그리고 필요한 경우 착색제 및 형광제와 같은 추가 성분을 첨가한 후, 이 과립은 블랭크, 소위 분말 콤팩트로 압착될 수 있다.
- [0132] 마지막으로, 출발 유리는 과립화 후에 분말로 가공될 수도 있다.
- [0133] 이어서, 예를 들어 고체 유리 블랭크 형태, 분말 콤팩트 또는 분말 형태의 출발 유리에 적어도 1회의 열처리를 수행한다. 리튬 메타실리케이트 결정의 형성을 위한 핵을 갖는 본 발명에 따른 출발 유리를 제조하기 위해 초기에 제1 열처리를 수행하는 것이 바람직하다. 그 다음, 핵을 갖는 출발 유리에 더 높은 온도에서 통상 적어도 1회의 추가 열처리를 수행하고 리튬 메타실리케이트를 결정화하고 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹을 제조한다.
- [0134] 따라서, 본 발명은 또한 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹의 제조 방법에 관한 것으로서, 여기서 출

발 유리 또는 핵을 갖는 출발 유리에 450 내지 750℃의 온도에서 특히 1 내지 120분, 바람직하게는 5 내지 120분, 특히 바람직하게는 10 내지 60분의 지속시간 동안 적어도 1회의 열처리를 수행한다.

- [0135] 본 발명에 따른 방법에서 수행되는 적어도 1회의 열처리는 또한 본 발명에 따른 출발 유리 또는 본 발명에 따른 핵을 갖는 출발 유리의 고온 압착 또는 소결 과정에서 수행될 수 있다.
- [0136] 리튬 메타실리케이트의 결정화를 위한 핵을 갖는 출발 유리를 생산하기 위해, 출발 유리를 450 내지 600℃, 바람직하게는 480 내지 580℃, 특히 바람직하게는 480 내지 520℃의 온도에서 특히 1 내지 120분, 바람직하게는 10 내지 60분의 지속시간 동안 열처리하는 것이 바람직하다.
- [0137] 리튬 실리케이트 유리 세라믹을 제조하기 위해, 핵을 갖는 출발 유리를 특히 1 내지 120분, 바람직하게는 5 내지 60분, 특히 바람직하게는 10 내지 30분의 지속시간 동안 550 내지 750℃, 바람직하게는 580 내지 700℃, 특히 바람직하게는 590 내지 630℃의 온도에서 열처리하는 것이 더욱 바람직하다.
- [0138] 바람직한 실시양태에서, 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹의 제조 방법은
- [0139] (a) 출발 유리를 450 내지 600℃, 바람직하게는 480 내지 580℃, 특히 바람직하게는 480 내지 520℃의 온도에서 특히 1 내지 120분, 바람직하게는 10 내지 60분의 지속시간 동안 열처리하여 핵을 갖는 출발 유리를 형성하는 단계, 및
- [0140] (b) 핵을 갖는 출발 유리를 550 내지 750℃, 바람직하게는 580 내지 700℃, 특히 바람직하게는 590 내지 630℃의 온도에서 특히 1 내지 120분, 바람직하게는 5 내지 60분, 특히 바람직하게는 10 내지 30분의 지속시간 동안 열처리하여 유리 세라믹을 형성하는 단계
- [0141] 를 포함한다.
- [0142] 본 발명에 따른 유리 세라믹 및 본 발명에 따른 유리의 전술한 특성으로 인해, 이들은 치과에서 사용하기에 특히 적합하다. 따라서, 본 발명의 목적은 또한 본 발명에 따른 유리 세라믹 또는 본 발명에 따른 유리를 치과용 재료로서, 특히 치과용 수복물의 제조를 위해 또는 치과용 수복물을 위한 코팅 재료로서 사용하는 것이다.
- [0143] 특히, 본 발명에 따른 유리 세라믹 및 본 발명에 따른 유리는 브릿지, 인레이, 온레이, 베니어, 어버트먼트, 부분 크라운, 크라운 또는 패시과 같은 치과용 수복물을 제조하는데 사용될 수 있다. 따라서, 본 발명은 또한 치과용 수복물의 제조를 위한 본 발명에 따른 유리 세라믹 또는 본 발명에 따른 유리의 용도에 관한 것이다. 이러한 맥락에서, 유리 세라믹 또는 유리는 압착 또는 기계가공에 의해 원하는 치과용 수복물의 형상이 부여되는 것이 바람직하다.
- [0144] 본 발명은 또한 본 발명에 따른 유리 세라믹 또는 본 발명에 따른 유리에 압착 또는 기계가공에 의해 원하는 치과용 수복물의 형상이 부여되는 치과용 수복물의 제조 방법에 관한 것이다.
- [0145] 압착은 일반적으로 증가된 압력과 증가된 온도에서 수행된다. 압착은 700 내지 1200℃의 온도에서 수행하는 것이 바람직하다. 압착은 2 내지 10 bar의 압력에서 수행하는 것이 더욱 바람직하다. 압착하는 동안, 사용된 재료의 점성 흐름에 의해 원하는 형상 변경이 이루어진다. 본 발명에 따른 출발 유리, 특히 본 발명에 따른 핵을 갖는 출발 유리, 및 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹은 압착에 사용될 수 있다. 본 발명에 따른 유리 및 유리 세라믹은 특히 임의의 형상 및 크기의 블랭크 형태, 예를 들어 고체 블랭크 또는 예를 들어 비소결, 부분 소결 또는 조밀 소결 형태의 분말 콤팩트로 사용될 수 있다.
- [0146] 기계가공은 일반적으로 재료 제거 공정, 특히 밀링 및/또는 그라인딩에 의해 수행된다. CAD/CAM 공정의 일부로 기계가공을 수행하는 것이 특히 바람직하다. 본 발명에 따른 출발 유리, 본 발명에 따른 핵을 갖는 출발 유리 및 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹은 기계가공에 사용될 수 있다. 본 발명에 따른 유리 및 유리 세라믹은 특히 블랭크 형태, 예를 들어 고체 블랭크 또는 예를 들어 비소결, 부분 소결 또는 조밀 소결 형태의 분말 콤팩트로 사용될 수 있다. 바람직하게는, 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹은 기계가공에 사용된다.
- [0147] 놀랍게도, 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹은 동일한 힘의 적용시 공지된 리튬 실리케이트 유리 세라믹보다 더 빠르게 기계가공될 수 있음이 밝혀졌다. 이 특성을 설명하기 위해, 특히 유리 세라믹의 샘플 본체에 대한 제거율을 결정할 수 있다. 이를 위해, 샘플 본체에서 소판을 절단하고 무게를 잰다. 그 다음 소판을 홀더에 접착하고 예를 들어 그레인 크기가 20 μm인 다이아몬드 그라인딩 휠을 사용하여 Struers사에서 입수할 수 있는 것과 같은 자동 그라인딩 기계로 수냉 하에 그라인딩한다. 그라인딩 기계의 압력은 동일한 힘, 예를 들어

15 N이 각 소관에 적용되도록 선택된다. 소관을 1분 동안 그라인딩한 후, 이를 건조하고 다시 무게를 잰다. 제거율은 다음 공식에 따라 계산된다:

[0148]  $\text{제거율} [\text{중량}\% \cdot \text{min}^{-1}] = 100 \times (1 - (\frac{m_{\text{그라인딩}}}{m_{\text{원그라인딩}}}))$

[0149] 또한, 주요 결정상으로서 리튬 메타실리케이트를 갖는 용이한 기계가공성을 갖는 리튬 실리케이트 유리 세라믹이 추가 열처리에 의해 주요 결정상으로서 리튬 디실리케이트를 갖는 유리 세라믹으로 전환될 수 있음이 밝혀졌다. 이 유리 세라믹은 고강도와 같은 우수한 기계적 물성을 나타낼 뿐만 아니라 치과용 수복물 재료에 필요한 다른 물성을 나타낸다.

[0150] 유리 세라믹이 원하는 치과용 수복물의 형상을 얻은 후, 리튬 메타실리케이트 결정을 리튬 디실리케이트 결정으로 전환하기 위해 추가 열처리를 수행할 수 있다. 바람직하게는, 유리 세라믹은 750 내지 950°C, 바람직하게는 820 내지 890°C, 특히 바람직하게는 840 내지 870°C의 온도에서, 특히 1 내지 60분, 바람직하게는 5 내지 30분, 보다 바람직하게는 5 내지 15분, 더욱 더 바람직하게는 5 내지 10분의 지속시간 동안 열처리된다. 주어진 유리 세라믹에 대한 적절한 조건은 예를 들어 다양한 온도에서 X선 회절 분석을 수행하여 결정될 수 있다.

[0151] 또한 리튬 디실리케이트 유리 세라믹으로의 변형은 단지 약 0.2 내지 0.3%의 매우 작은 선형 수축과 관련이 있는 것으로만 나타났으며, 이는 세라믹을 소결할 때 최대 30%의 선형 수축과 비교하여 거의 무시할 수 있다.

[0152] 그러나, 본 발명에 따른 유리 세라믹 및 본 발명에 따른 유리는 또한 예를 들어 세라믹 및 유리 세라믹의 코팅 재료로서 적합하다. 따라서, 본 발명은 또한 세라믹, 유리 세라믹 및 특히 치과용 수복물을 코팅하기 위한 본 발명에 따른 유리 또는 본 발명에 따른 유리 세라믹의 용도에 관한 것이다.

[0153] 본 발명은 또한 본 발명에 따른 유리 세라믹 또는 유리가 세라믹, 금속, 금속 합금 또는 유리 세라믹에 적용되고 증가된 온도로 수행되는 세라믹, 금속, 금속 합금 및 유리 세라믹의 코팅 방법에 관한 것이다.

[0154] 이것은 특히 소결에 의해 또는 CAD-CAM에 의해 생성된 오버레이를 적절한 유리 뿔납 또는 접착제와 결합함으로써, 바람직하게는 압착함으로써 수행될 수 있다. 소결의 경우, 유리 세라믹 또는 유리는 세라믹 또는 유리 세라믹과 같은 코팅될 재료에 예를 들어 분말로서 일반적인 방식으로 적용된 다음, 상승된 온도에서 소결된다. 바람직한 압착 공정에서, 예를 들어 분말 콤팩트 또는 모놀리식 블랭크 형태의 본 발명에 따른 유리 세라믹 또는 유리는 예를 들어 700 내지 1200°C의 증가된 온도에서 압착되고 예를 들어 2 내지 10 bar의 압력이 적용된다. 특히, EP 231 773에 기술된 공정 및 여기에 개시된 압착 퍼니스가 이러한 목적을 위해 사용될 수 있다. 적합한 퍼니스는 예를 들어 리히텐슈타인 소재의 Ivoclar Vivadent AG의 Programat EP 5000이다.

[0155] 코팅 공정이 완료된 후, 리튬 실리케이트, 특히 리튬 디실리케이트를 주요 결정상으로 갖는 유리 세라믹은 특히 우수한 특성을 가지기 때문에 이러한 유리 세라믹이 존재하는 것은 바람직하다.

[0156] 본 발명은 비제한적인 실시예를 참조하여 하기에 더 상세히 설명될 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0157] 실시예

[0158] 하기 표 I에 주어진 조성을 갖는 본 발명에 및 비교예에 따른 총 28개의 유리를 제조했다. 유리는 하기 표 II에 따라 유리 세라믹으로 결정화되었다. 하기 의미가 적용된다.

[0159] T<sub>g</sub> DSC에 의해 결정된 유리 전이 온도

[0160] T<sub>s</sub> 및 t<sub>s</sub> 용융에 적용되는 온도 및 시간

[0161] T<sub>kb</sub> 및 t<sub>kb</sub> 핵 생성에 적용되는 온도 및 시간

[0162] T<sub>c1</sub> 및 t<sub>c1</sub> 1차 결정화에 적용되는 온도 및 시간

[0163] T<sub>c2</sub> 및 t<sub>c2</sub> 2차 결정화에 적용되는 온도 및 시간

[0164] 실시예에서, 하기 표 I에 주어진 조성을 갖는 출발 유리는 t<sub>s</sub> 지속시간 동안 온도 T<sub>s</sub>에서 일반적인 원료로부터 100 내지 200 g 규모로 먼저 용융되었고, 기포 또는 줄무늬의 형성 없이 용융이 매우 잘 가능했다. 유리 프린팅 출발 유리를 물에 부어 제조한 다음 균질화를 위해 1시간 동안 1500°C 또는 1400°C에서 재차 용융시켰다. 이어

서, 출발 유리의 생성된 용융물을 흑연 몰드에 부어 고체 유리 블록을 생성했다.

[0165]  $t_{kb}$  지속시간 동안 온도  $T_{kb}$ 에서 얻어진 유리 모놀리스의 제1 열처리는 핵을 갖는 유리의 형성을 유도했다. 이러한 핵 생성 유리는, 실온에서 X선 회절 분석에 의해 결정된 바와 같이,  $t_{c1}$  지속시간 동안 온도  $T_{c1}$ 에서 추가 열처리에 의해 결정화되어 리튬 메타실리케이트를 주요 결정상으로 갖는 유리 세라믹을 형성한다.

[0166] 결정상의 양과 리튬 메타실리케이트 결정의 평균 크기는 X선 회절에 의해 결정되었다. 이를 위해, 각 유리 세라믹의 분말을 그라인딩 및 체질( $< 45 \mu\text{m}$ )로 제조하고 내부 표준인  $\text{Al}_2\text{O}_3$ (Alfa Aesar, 제품 번호 42571)을 유리 세라믹 80 중량% 대  $\text{Al}_2\text{O}_3$  20 중량%의 비율로 혼합했다. 이 혼합물을 가능한 최상의 혼합을 달성하기 위해 아세톤으로 슬러리화했다. 이어서, 혼합물을 약  $80^\circ\text{C}$ 에서 건조시켰다. 이어서,  $\text{CuK}\alpha$  방사선 및  $0.014^\circ$   $2\theta$ 의 스텝 크기를 사용하여 10 내지  $100^\circ$   $2\theta$  범위에서 Bruker D8 Advance 회절계를 사용하여 회절도를 기록했다. 이 회절도는 리트벨트 방법에 따라 Bruker's TOPAS 5.0 소프트웨어를 사용하여 분석되었다. 리튬 메타실리케이트와  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 피크 강도를 각각 비교하여, 위상 분율을 결정했다. 리튬 메타실리케이트 결정의 평균 크기는 쉘레 방정식에 따라 리튬 메타실리케이트 피크의 반치폭으로부터 결정되었다.

[0167] 이러한 방식으로 얻은 유리 세라믹 블록의 기계가공성을 측정하기 위해, 각각의 면적이  $170 \text{ mm}^2 \pm 10 \text{ mm}^2$ (약  $12.5 \text{ mm} \times 13.8 \text{ mm}$ )이고 두께가  $4.0 \pm 0.5 \text{ mm}$ 인 2개의 소판을 절단하고 정밀한 균형 하에 무게를 잰다. 그런 다음 소판을 홀더에 접착하고 그레인 크기가  $20 \mu\text{m}$ 인 다이아몬드 그라인딩 휠을 사용하여 자동 그라인딩 기기(LdaboForche-100, Struers)로 수냉하에 그라인딩했다. 그라인딩 기기의 압력은 각 소판에 15 N의 힘이 가해지는 방식으로 선택되었다. 다이아몬드 그라인딩 휠이 장착된 턴테이블과 시편이 장착된 홀더가 장착된 그라인딩 기기 헤드의 회전 방향은 동일했다. 턴테이블의 속도는  $300 \text{ 회전 min}^{-1}$ 이었다. 소판을 1분 동안 그라인딩한 다음 건조시키고 무게를 잰다. 제거율은 하기 공식에 따라 계산되었다:

[0168] 
$$\text{제거율} [\text{중량}\% \cdot \text{min}^{-1}] = 100 \times (1 - (\frac{m_{\text{그라인딩}}}{m_{\text{원그라인딩}}}))$$

[0169] 하기 표 II에서 알 수 있는 바와 같이, 본 발명에 따른 실시예 1 내지 28의 제거율은 비교예보다 일관되게 높았다. 이것은 본 발명에 따른 리튬 실리케이트 유리 세라믹이 동일한 힘의 적용시 공지된 리튬 실리케이트 유리 세라믹보다 더 빠르게 기계가공될 수 있음을 나타낸다.

[0170] 나머지 유리 세라믹 블록은  $t_{c2}$  지속시간 동안 온도  $T_{c2}$ 에서 추가 열처리되었다. 그 결과 리튬 디실리케이트를 주요상으로 갖는 유리 세라믹이 형성되었다. 리튬 포스페이트 및 실시예 27의 경우 리튬 스트론튬 포스페이트가 미량상으로 발견되었다.

[0171]

[표 1]

표 1

| 실시예                            | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 조성                             | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   |
| SiO <sub>2</sub>               | 75.9  | 77.1  | 76.9  | 76.6  | 76.9  | 77.3  | 77.6  | 77.8  | 78.2  | 75.3  |
| Li <sub>2</sub> O              | 11.5  | 10.4  | 10.3  | 10.3  | 10.1  | 9.8   | 9.6   | 9.2   | 8.8   | 10.7  |
| Na <sub>2</sub> O              | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| K <sub>2</sub> O               | 5.5   | 4.7   | 5.6   | 5.8   | 5.8   | 5.8   | 5.8   | 5.9   | 6.0   | 5.5   |
| Rb <sub>2</sub> O              | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| MgO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| CaO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| SrO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| ZnO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.6   | 5.5   | 4.9   | 5.0   | 5.0   | 5.0   | 5.0   | 5.3   | 5.3   | 4.8   |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| TiO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| ZrO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| CeO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 2.5   | 2.3   | 2.3   | 2.3   | 2.2   | 2.1   | 2.0   | 1.8   | 1.7   | 2.3   |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 1.4   |
| Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Σ                              | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

[0172]

표 1

| 실시예                            | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 조성                             | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   |
| SiO <sub>2</sub>               | 74.9  | 74.9  | 76.4  | 75.5  | 74.6  | 74.8  | 77.5  | 76.9  | 76.2  | 74.0  |
| Li <sub>2</sub> O              | 10.3  | 11.0  | 9.7   | 9.6   | 9.5   | 9.5   | 8.4   | 10.1  | 9.0   | 9.2   |
| Na <sub>2</sub> O              | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.8   | -     | -     |
| K <sub>2</sub> O               | 5.5   | 5.5   | 6.8   | 7.8   | 8.8   | 6.8   | 6.4   | 5.0   | 5.9   | 5.8   |
| Rb <sub>2</sub> O              | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| MgO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| CaO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| SrO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| ZnO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.8   | 4.7   | 5.0   | 5.0   | 5.0   | 6.8   | 6.1   | 5.0   | 5.3   | 5.0   |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | -     | 1.4   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.1   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| TiO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.6   | -     |
| ZrO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 4.0   |
| CeO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 1.2   | -     |
| F <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 2.4   | 2.5   | 2.1   | 2.1   | 2.1   | 2.1   | 1.6   | 2.2   | 1.8   | 2.0   |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Σ                              | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

[0173]

표 1

| 실시예                            | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | V*    |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 포장                             | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   | 중량%   |
| SiO <sub>2</sub>               | 75.4  | 73.1  | 74.3  | 74.5  | 75.5  | 76.3  | 74.4  | 75.1  | 71.7  |
| Li <sub>2</sub> O              | 8.9   | 7.9   | 9.7   | 9.7   | 9.6   | 8.2   | 9.3   | 12.9  | 14.9  |
| Na <sub>2</sub> O              | -     | -     | 0.8   | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| K <sub>2</sub> O               | 2.9   | -     | 4.8   | 5.8   | 5.8   | 6.4   | 5.8   | 5.5   | 4.0   |
| Rb <sub>2</sub> O              | 5.6   | 12.0  | 3.2   | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| MgO                            | -     | -     | -     | -     | -     | 1.4   | -     | -     | -     |
| CaO                            | -     | -     | -     | -     | 2.0   | -     | -     | -     | -     |
| SrO                            | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 3.5   | -     | -     |
| ZnO                            | -     | -     | -     | 2.8   | -     | -     | -     | -     | -     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.3   | 5.4   | 5.0   | 5.0   | 5.0   | 6.1   | 5.0   | 3.6   | 3.3   |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| TiO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| ZrO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.4   |
| CeO <sub>2</sub>               | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 1.8   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1.9   | 1.6   | 2.2   | 2.2   | 2.1   | 1.6   | 2.0   | 2.9   | 3.2   |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.1   |
| Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.1   |
| Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 0.5   |
| Σ                              | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

\* 비교예

[0174]

[0175]

[표 11]

표 11

| 실시에                             | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T <sub>g</sub> [°C]             | 477   | 474   | 476   | 475   | 481   | 477   | 479   | 486   | 486   | 478   |
| T <sub>s</sub> [°C]             | 1550  | 1500  | 1500  | 1500  | 1550  | 1550  | 1550  | 1600  | 1600  | 1600  |
| t <sub>s</sub> [min]            | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  |
| T <sub>PS</sub> [°C]            | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   |
| t <sub>PS</sub> [min]           | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  |
| T <sub>Cl</sub> [°C]            | 610   | 590   | 600   | 580   | 590   | 580   | 600   | 610   | 600   | 700   |
| t <sub>Cl</sub> [min]           | 30  | 20  | 5   | 30  | 10  | 30  | 10  | 50  | 10  | 30  |
| 주요 결정상                          | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>                                    |
| 위상 분율<br>[중량%]                  |   |   |   |   |   |   |   | 20  |   |   |
| 결정 크기[nm]                       |   |   |   |   |   |   |   | 31  |   |   |
| 제거율<br>[중량%·min <sup>-1</sup> ] | 52.4  | 50.6  | 47.2  | 44.2  | 50.4  | 42.6  | 44.9  | 41.4  | 45.1  | 47.6  |
| T <sub>c2</sub> [°C]            | 840   | 850   | 850   | 850   | 850   | 850   | 850   | 850   | 850   | 850   |
| t <sub>c2</sub> [min]           | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   |
| 결정상(들)                          | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |

[0176]

표 II

| 실시예                             | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T <sub>g</sub> [°C]             | 483   | 476   | 472   | 477   | 473   | 482   | 488   | 474   | 491   | 501   |
| T <sub>s</sub> [°C]             | 1500  | 1500  | 1550  | 1550  | 1550  | 1550  | 1600  | 1600  | 1500  | 1550  |
| t <sub>s</sub> [min]            | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  |
| T <sub>30</sub> [°C]            | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   | 500   |
| t <sub>30</sub> [min]           | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  |
| T <sub>60</sub> [°C]            | 620   | 620   | 630   | 590   | 630   | 610   | 610   | 630   | 630   | 650   |
| t <sub>60</sub> [min]           | 30  | 30  | 30  | 10  | 30  | 30  | 10  | 30  | 30  | 20  |
| 주요 결정상                          | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>                                    |
| 위상 분율<br>[중량%]                  |   |   |   |   | 19  | 20  | 16  |   | 19  |   |
| 결정 크기[nm]                       |   |   |   |   | 37  | 24  | 26  |   | 27  |   |
| 제거율<br>[중량%·min <sup>-1</sup> ] | 44.4  | 41.8  | 47.0  | 48.8  | 38.8  | 45.4  | 43.7  | 38.5  | 55.7  | 49.7  |
| T <sub>62</sub> [°C]            | 840   | 840   | 840   | 840   | 840   | 860   | 860   | 840   | 840   | 850   |
| t <sub>62</sub> [min]           | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   |
| 결정상(들)                          | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |

[0177]

표 II

| 실시예                             | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | V*  |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| T <sub>g</sub> [°C]             | 490   | 497   | 472   | 474   | 479   | 485   | 475   | 469   |   |
| T <sub>s</sub> [°C]             | 1500  | 1500  | 1500  | 1500  | 1500  | 1550  | 1500  | 1500  |   |
| t <sub>s</sub> [min]            | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  | 60  |   |
| T <sub>90</sub> [°C]            | 510   | 490   | 530   | 520   | 500   | 480   | 520   | 580   | 500   |
| t <sub>90</sub> [min]           | 30  | 50  | 10  | 3   | 10  | 60  | 20  | 40  | 10  |
| T <sub>cl</sub> [°C]            | 630   | 600   | 620   | 600   | 630   | 630   | 620   | 590   | 680   |
| t <sub>cl</sub> [min]           | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 30  | 20  | 20  |
| 주요 결정상                          | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  | Li <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  |
| 위상 분율<br>[중량%]                  | 20  | 15  | 19  | 22  | 22  | 18  | 22  | 26  | 34  |
| 결정 크기[nm]                       | 24  | 24  | 34  | 12  | 38  | 26  | 34  | 45  | 46  |
| 제거율<br>[중량%·min <sup>-1</sup> ] | 44.9  | 44.9  | 45.1  | 47.1  | 45.3  | 51.2  | 61.9  | 45.2  | 36.6  |
| T <sub>02</sub> [°C]            | 870   | 890   | 840   | 840   | 830   | 840   | 820   | 850   | 850   |
| t <sub>02</sub> [min]           | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 15  | 7   |
| 결정상(들)                          | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> | Li <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> |

\*비교예