



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2021-0127188  
(43) 공개일자 2021년10월21일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C03B 23/02 (2006.01) C03C 10/00 (2006.01)  
C03C 17/06 (2006.01) C03C 3/06 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
C03B 23/02 (2013.01)  
C03C 10/0009 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7028722
- (22) 출원일자(국제) 2020년02월04일  
심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2021년09월07일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2020/016488
- (87) 국제공개번호 WO 2020/171940  
국제공개일자 2020년08월27일
- (30) 우선권주장  
62/808,566 2019년02월21일 미국(US)

- (71) 출원인  
코닝 인코포레이티드  
미국 뉴욕 (우편번호 14831) 코닝 원 리버프론트 플라자
- (72) 발명자  
오코로, 추쿠디 아주부이크  
미국, 뉴욕 14870, 페인티드 포스트, 스완 레인 10
- (74) 대리인  
청운특허법인

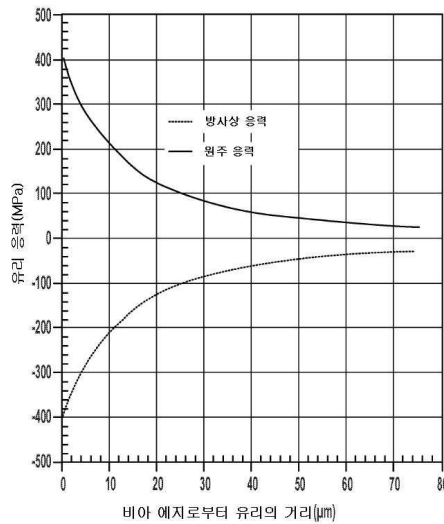
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품 및 이를 제조하기 위한 공정

**(57) 요약**

구리-금속화된 쓰루 홀(copper-metallized through hole)을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위한 공정은 상기 물품을 제1 온도로부터 제2 온도로 가열하는 단계를 포함한다. 상기 제1 온도는 200 °C 이상 300 °C 이하이고, 상기 제2 온도는 350 °C 이상 450 °C 이하이다. 상기 물품의 가열 동안, 제1 온도로부터 제2 온도로의 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 및 8.7 °C/분 미만이다. 물품은 기판을 두께 방향으로 관통하는 적어도 하나의 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 기판; 및 상기 적어도 하나의 쓰루 홀 내에 존재하는 구리를 포함한다. 상기 물품은 방사상의 크랙을 포함하지 않는다.

**대표도 - 도3**



(52) CPC특허분류

**C03C 17/06** (2013.01)

**C03C 3/06** (2013.01)

**C03C 2203/52** (2013.01)

**C03C 2204/00** (2013.01)

**C03C 2217/253** (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

공정으로서:

구리-금속화된 쓰루 홀(copper-metallized through hole)을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 제1 온도로부터 제2 온도로 가열하는 단계를 포함하며, 여기서 상기 제1 온도는 200 °C 이상 300 °C 이하이고, 여기서 상기 제2 온도는 350 °C 이상 450 °C 이하이며;

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 가열 동안, 제1 온도로부터 제2 온도로의 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 및 8.7 °C/분 미만인, 공정.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 제1 온도로부터 제2 온도로의 가열 단계는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 방사상의 크랙을 초래하지 않는, 공정.

#### 청구항 3

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 실온으로부터 상기 제1 온도로의 가열 단계를 더욱 포함하는, 공정.

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서,

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 실온으로부터 상기 제1 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 및 8.7 °C/분 미만인, 공정.

#### 청구항 5

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 온도는 225 °C 이상 275 °C 이하인, 공정.

#### 청구항 6

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 온도는 375 °C 이상 425 °C 이하인, 공정.

#### 청구항 7

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 상기 제2 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 1.0 °C/분 이상 6.5 °C/분 이하인, 공정.

#### 청구항 8

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 상기 제2 온도로의

가열 동안, 평균 가열 속도는 실질적으로 일정한, 공정.

**청구항 9**

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 상기 제2 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 가변적인, 공정.

**청구항 10**

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품을 10분 이상 120분 이하의 기간 동안 상기 제1 온도에서 유지하는 단계를 더욱 포함하는, 공정.

**청구항 11**

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품을 10분 이상 120분 이하의 기간 동안 상기 제2 온도에서 유지하는 단계를 더욱 포함하는, 공정.

**청구항 12**

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 상기 제2 온도로의 가열 단계는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품을 10분 이상 60분 이하의 기간 동안 일정한 온도에서 유지하는 단계를 포함하는, 공정.

**청구항 13**

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 쓰루 홀의 직경은 25  $\mu\text{m}$  이상 75  $\mu\text{m}$  이하인, 공정.

**청구항 14**

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 쓰루 홀의 피치(pitch)는 60  $\mu\text{m}$  이상 800  $\mu\text{m}$  이하인, 공정.

**청구항 15**

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 쓰루 홀의 깊이는 50  $\mu\text{m}$  이상 600  $\mu\text{m}$  이하인, 공정.

**청구항 16**

전술한 청구항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 또는 유리 세라믹 물품은 적어도 90 wt% 실리카를 포함하는, 공정.

**청구항 17**

공정으로서:

구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 제1 온도로부터 제2 온도로 가열하는 단계를 포함하며, 여기서 상기 제1 온도는 240  $^{\circ}\text{C}$  이상 260  $^{\circ}\text{C}$  이하이고, 여기서 상기 제2 온도는 400  $^{\circ}\text{C}$  이상 450  $^{\circ}\text{C}$

이하이며,

여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 제2 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 6.5 °C/분 이하인, 공정.

**청구항 18**

유리 또는 유리 세라믹 물품으로서:

유리 또는 유리 세라믹 기판을 두께 방향으로 관통하는 적어도 하나의 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 기판; 및

상기 적어도 하나의 쓰루 홀에 존재하는 구리를 포함하고,

여기서 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품은 방사상의 크랙을 포함하지 않는, 유리 또는 유리 세라믹 물품.

**청구항 19**

청구항 18에 있어서,

상기 유리 또는 유리 세라믹 기판은 적어도 90 wt% 실리카를 포함하는, 유리 또는 유리 세라믹 물품.

**청구항 20**

청구항 18 또는 19에 있어서,

상기 유리 또는 유리 세라믹 기판 내의 적어도 하나의 홀의 직경은 25 μm 이상 75 μm 이하인, 유리 또는 유리 세라믹 물품.

**청구항 21**

청구항 18 내지 20 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 적어도 하나의 쓰루 홀의 피치는 60 μm 이상 800 μm 이하인, 유리 또는 유리 세라믹 물품.

**청구항 22**

청구항 18 내지 21 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유리 또는 유리 세라믹 기판 내의 적어도 하나의 쓰루 홀의 깊이는 50 μm 이상 600 μm 이하인, 유리 또는 유리 세라믹 물품.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 출원은 2019년 2월 21일 출원된 미국 가출원 번호 제 62/808,566 호의 우선권의 이익을 주장하며, 이의 내용은 본원에 의존되고 전체가 참조로서 본원에 포함된다.

[0002] 기술분야

[0003] 본 명세서는 일반적으로 유리 또는 유리 세라믹 및 구리-금속화된(copper-metallized) 전도성 쓰루 홀(through hole)을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 제조하기 위한 공정에 관한 것이고, 특히 방사형 크래킹 감소를 위해 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위한 공정에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0004] 유리 및 유리 세라믹 기판은 유리 및 유리 세라믹 기판이 일반적으로 전자 장치의 다른 부품과 반응하지 않기 때문에 전자 장치의 부품에서 사용된다. 이는 부분적으로 유리 및 유리 세라믹 기판이 낮은 유전 상수를 갖기 때문이며, 유리 및 유리 세라믹 기판이 열적으로 안정하기 때문일 수 있다. 많은 전자 장치에서, 유리 및 유리 세라믹 기판은 금속을 예를 들어, 인터포저(interposer)와 같은 쓰루-홀에 도입함으로써 전도성이 될 수 있는 쓰루 홀을 갖는다. 예를 들어, 인터포저와 같은 전자 장치의 부품에 유리 및 유리 세라믹 기판을 사용하기

위해, 전도성 금속층은 유리 및 유리 세라믹 기관의 일 이상의 표면에 적용되고, 전도성 금속은 유리 및 유리 세라믹 기관 내의 쓰루-홀을 채운다. 유리 및 유리 세라믹 기관 내의 쓰루 홀을 채우는데 일반적으로 사용되는 하나의 금속은 이의 높은 전기 전도성 때문에 구리(Cu)이다. 그러나, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열할 때, 방사상 크랙은 쓰루 홀에 인접하게 형성될 수 있고, 이는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 덜 효율적이거나 사용할 수 없게 만들 수 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 따라서, 가열 동안 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 및 유리 세라믹 물품 내의 방사상의 크래킹을 감소시키는 공정에 대한 필요가 존재한다.

**과제의 해결 수단**

[0006] 제1 항목에 따르면, 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀(copper-metallized through hole)을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 제1 온도로부터 제2 온도로 가열하는 단계를 포함하고, 여기서 상기 제1 온도는 200 °C 이상 300 °C 이하이고, 여기서 상기 제2 온도는 350 °C 이상 450 °C 이하이며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 가열 동안, 제1 온도로부터 제2 온도로의 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 및 8.7 °C/분 미만이다.

[0007] 제2 항목은 제1 항목의 공정을 포함하며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 제1 온도로부터 제2 온도로의 가열 단계는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 방사상의 크랙을 초래하지 않는다.

[0008] 제3 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 상기 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 실온으로부터 상기 제1 온도로의 가열 단계를 더욱 포함한다.

[0009] 제4 항목은 제3 항목의 공정을 포함하며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 실온으로부터 상기 제1 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 및 8.7 °C/분 미만이다.

[0010] 제5 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 상기 제1 온도는 225 °C 이상 275 °C 이하이다.

[0011] 제6 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 상기 제2 온도는 375 °C 이상 425 °C 이하이다.

[0012] 제7 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 상기 제2 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 1.0 °C/분 이상 6.5 °C/분 이하이다.

[0013] 제8 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 상기 제2 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 실질적으로 일정하다.

[0014] 제9 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 상기 제2 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 가변적이다.

[0015] 제10 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 상기 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품을 10분 이상 1시간 이하의 기간 동안 상기 제1 온도에서 유지하는 단계를 더욱 포함한다.

[0016] 제11 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 상기 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품을 10분 이상 1시간 이하의 기간 동안 상기 제2 온도에서 유지하는 단계를 더욱 포함한다.

[0017] 제12 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 상기 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 상기 제2 온도로의 가열 단계는 구리-금속화된

쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품을 10분 이상 45분 이하의 기간 동안 일정한 온도에서 유지하는 단계를 포함한다.

- [0018] 제13 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 쓰루 홀의 직경은 25  $\mu\text{m}$  이상 75  $\mu\text{m}$  이하이다.
- [0019] 제14 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 쓰루 홀의 피치(pitch)는 60  $\mu\text{m}$  이상 800  $\mu\text{m}$  이하이다.
- [0020] 제15 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 쓰루 홀의 깊이는 50  $\mu\text{m}$  이상 600  $\mu\text{m}$  이하이다.
- [0021] 제16 항목은 전술한 항목 중 어느 하나의 공정을 포함하며, 여기서 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품은 적어도 90 wt% 실리카를 포함한다.
- [0022] 제17 항목은 공정을 포함하며, 상기 공정은: 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 제1 온도로부터 제2 온도로 가열하는 단계를 포함하며, 여기서 상기 제1 온도는 240  $^{\circ}\text{C}$  이상 260  $^{\circ}\text{C}$  이하이고, 여기서 상기 제2 온도는 400  $^{\circ}\text{C}$  이상 450  $^{\circ}\text{C}$  이하이며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 제1 온도로부터 제2 온도로의 가열 동안, 평균 가열 속도는 0.0  $^{\circ}\text{C}/\text{분}$  초과 6.5  $^{\circ}\text{C}/\text{분}$  이하이다.
- [0023] 제18 항목은 유리 또는 유리 세라믹 물품을 포함하며, 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품은: 유리 또는 유리 세라믹 기판을 두께 방향으로 관통하는 적어도 하나의 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 기판; 및 상기 적어도 하나의 쓰루 홀에 존재하는 구리를 포함하고, 여기서 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품은  $\leq 450$   $^{\circ}\text{C}$ 로의 어닐링 후에 방사상의 크랙을 포함하지 않는다.
- [0024] 제19 항목은 항목 18의 유리 또는 유리 세라믹 물품을 포함하며, 여기서 상기 유리 또는 유리 세라믹 기판은 적어도 90 wt% 실리카를 포함한다.
- [0025] 제20 항목은 항목 18 또는 19의 유리 또는 유리 세라믹 물품을 포함하며, 여기서 상기 유리 또는 유리 세라믹 기판 내의 적어도 하나의 홀의 직경은 25  $\mu\text{m}$  이상 75  $\mu\text{m}$  이하이다.
- [0026] 제21 항목은 항목 18 내지 20 중 어느 하나의 유리 또는 유리 세라믹 물품을 포함하며, 여기서 상기 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 적어도 하나의 쓰루 홀의 피치는 60  $\mu\text{m}$  이상 800  $\mu\text{m}$  이하이다.
- [0027] 제22 항목은 항목 18 내지 21 중 어느 하나의 유리 또는 유리 세라믹 물품을 포함하며, 여기서 상기 유리 또는 유리 세라믹 기판 내의 적어도 하나의 쓰루 홀의 깊이는 50  $\mu\text{m}$  이상 600  $\mu\text{m}$  이하이다.
- [0028] 추가적인 특징 및 이점은 다음의 상세한 설명에서 설명될 것이며, 부분적으로는 본 설명으로부터 본 기술 분야의 기술자에게 쉽게 명백해질 것이거나, 또는 첨부된 도면 및 청구 범위가 뒤따르는 상세한 설명을 포함하는 본원에 기재된 구체예를 실시함으로써 인식될 것이다.
- [0029] 전술한 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명은 모두 다양한 구체예를 설명하고 청구된 주제의 본질 및 특성을 이해하기 위한 개요 또는 프레임워크를 제공하는 의도임이 이해되어야 한다. 첨부된 도면은 다양한 구체예의 추가 이해를 제공하기 위해 포함되며, 본 명세서에 포함되어 본 명세서의 일부를 구성한다. 도면은 본원에 기재된 다양한 구체예를 예시하고, 설명과 함께 청구된 주제의 원리 및 동작을 설명하는 역할을 한다.

**도면의 간단한 설명**

- [0030] 도 1은 방사상의 크랙을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 기판 내의 구리-금속화된 쓰루 홀의 평면도를 개략적으로 도시하고;
- 도 2는 방사상의 크랙을 포함하는 복수의 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 평면도를 개략적으로 도시하며;
- 도 3은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 가열 동안 발생하는 방사상의 응력 및 원주(circumferential) 응력을 그래프로 도시하고;
- 도 4는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 원주의 응력 대 가열을 위한 열처리 온도를 그래프로 도시하며;

도 5a는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 온도의 실질적으로 일정한 가열 속도 대 가열을 위한 시간을 그래프로 도시하고;

도 5b는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 온도의 가변적인 가열 속도 대 가열을 위한 시간을 그래프로 도시하며;

도 6은 26.0 °C/분의 실질적으로 일정한 가열 속도에서 가열될 때의 방사상의 크랙을 갖는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 확대 사진이고;

도 7a는 13.0 °C/분의 실질적으로 일정한 가열 속도에서 가열될 때의 방사상의 크랙을 갖는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 50x 확대 사진이며;

도 7b는 13.0 °C/분의 실질적으로 일정한 가열 속도에서 가열될 때의 방사상의 크랙을 갖는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 200x 확대 사진이고;

도 8a는 8.7 °C/분의 실질적으로 일정한 가열 속도에서 가열될 때의 방사상의 크랙을 갖는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 50x 확대 사진이며;

도 8b는 8.7 °C/분의 실질적으로 일정한 가열 속도에서 가열될 때의 방사상의 크랙을 갖는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 500x 확대 사진이고;

도 9a는 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 6.5 °C/분의 실질적으로 일정한 가열 속도에서 가열될 때의 방사상의 크랙을 갖지 않는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 50x 확대 사진이며;

도 9b는 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 6.5 °C/분의 실질적으로 일정한 가열 속도에서 가열될 때의 방사상의 크랙을 갖지 않는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 200x 확대 사진이고;

도 10은 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 가변적인 가열 속도 및 2.3 °C/분의 평균 가열 속도에서 가열될 때의 방사상의 크랙을 갖지 않는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 200x 확대 사진이며;

도 11은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품에 대한 가열 크랙 밀도 대 가열 속도를 그래프로 도시하고;

도 12a 내지 12c는 시간에 걸쳐 20.5 °C/분으로 가열된 구리-금속화된 쓰루 홀의 방사상의 크랙 형성을 나타내며; 및

도 13은 구리 돌출(protrusion) 대 어닐링 가열 속도를 그래프로 도시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0031] 전자 장치 내의 많은 구성 요소는 기판의 두께를 통한 전기 전도를 필요로 한다. 이는 일반적으로 컴퓨터 수치 컨트롤러(CNC) 드릴링 또는 레이저 드릴링에 의해 유리 또는 유리 세라믹 기판과 같은 기판 내에 쓰루-홀을 제조한 이후 쓰루-홀을 예를 들어, 구리와 같은 전기 전도성 금속으로 코팅 및/또는 채움으로써 구성된 전기 전도성 홀을 사용하여 수행된다. 고체로 채워진 전기 전도성 홀의 경우 균일한 전기 전도층이 적용된 후 전해/갈바니 도금이 쓰루-홀이 채워질 때까지 완료된다. 이러한 방법에 의해, 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품이 형성된다. 그러나, 많은 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품이 구리가 쓰루 홀 내로 채워진 후에 가열될 것을 요구한다.

[0032] 그러나, 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열할 때, 유리 또는 유리 세라믹 매트릭스와 구리 사이의 열팽창계수(CTE)의 불일치로 인해 열-기계적 문제가 발생한다. 유리 또는 유리 세라믹에서의 하나의 열-기계적으로 유도된 파손 모드는 방사상의 크랙의 형성이다. 방사상의 크랙은 가열 또는 열처리 공정의 램프-업 단계 동안 형성된다. 특정 이론에 구애되지 않고, 방사상의 크랙은 쓰루 홀 내의 구리와 유리 또는 유리 세라믹 매트릭스 사이의 CTE 불일치의 결과로서 유리 또는 유리 세라믹 내의 원주 방향으로의 높은 인장 응력으로 인해 형성된다. 이 CTE 차이는 유리 또는 유리 세라믹, 보이드, 측벽 박리 등에서의 크랙과 같은 상이한 파손 모드를 초래하는 높은 응력 빌드업(buildup)을 초래한다.

[0033] 크랙의 형성을 방지하기 위한 일반적인 관행은 보다 나은 CTE 매칭 유리 또는 유리 세라믹 조성물 사용, 환형 또는 등각 도금된 쓰루 홀의 사용, 보다 낮은 어닐링 온도(일반적으로 무연 솔더의 리플로(reflow) 온도에 해당



하는 < 300 °C), 보다 작은 홀 크기, 또는 구리보다 낮은 전기 전도성을 갖지만, 유리 또는 유리 세라믹과 보다는 나운 CTE 매칭을 갖는 금속화 물질의 사용을 포함한다. 그러나, 이러한 해결책은 금속화된 쓰루-홀의 적용을 제한할 수 있다. 예를 들어, 환형 홀 및 작은 직경의 홀은 두꺼운 금속화의 층이 요구되는 전력 장치와 같은 고전류 전달 적용에 바람직하지 않다. 또한, 고주파 적용의 경우, 높은 실리카 함량의 유리가 일반적으로 사용된다.

[0034] 상기 및 기타 문제를 해결하기 위해, 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹을 제1 온도로부터 제2 온도로 가열하는 단계를 포함하며, 여기서 제1 온도는 200 °C 이상 300 °C 이하이고, 여기서 제2 온도는 350 °C 이상 450 °C 이하이며, 여기서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 제1 온도로부터 제2 온도로의 가열 동안 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 및 8.7 °C/분 미만이다. 구체예는 또한 유리 또는 유리 세라믹 기판을 두께 방향으로 관통하는 적어도 하나의 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 기판 및 적어도 하나의 쓰루 홀 내에 존재하는 구리를 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 포함하며, 여기서 유리 또는 유리 세라믹 물품은 방사상의 크랙을 포함하지 않는다.

[0035] 위에서 논의된 바와 같이, 및 도 1을 참조하면, 유리 또는 유리 세라믹 물품(100)의 구체예는 유리 또는 유리 세라믹 기판(110) 및 구리-금속화된 쓰루 홀(120)을 포함한다. 구리-금속화된 쓰루 홀(120)은 형상이 원통형이고 쓰루 홀의 적어도 일부 내에 구리 금속을 포함한다. 임의의 쓰루 홀 기하 구조는 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따라 사용될 수 있다. 이러한 기하 구조는 원뿔형 쓰루 홀, 절두 원뿔형(frustoconical) 쓰루 홀, 또는 핀치형 쓰루 홀(예를 들어, 모래시계형 형상을 갖는 쓰루 홀)을 포함하나, 이에 제한되지 않는다. 구리-금속화된 쓰루(120)는 반경 "r"을 갖는다. 유리 또는 유리 세라믹 기판(110)과 쓰루 홀 내에 존재하는 구리의 CTE 사이의 CTE 불일치는 구리 금속화된 쓰루 홀(120)로부터 방사상의 방향으로 연장하는 크랙(130)의 형성을 초래할 수 있다. 구리-금속화된 쓰루 홀(120)로부터 방사상의 방향으로 연장하는 이러한 크랙(130)은 본원에서 방사상의 크랙으로 지칭된다. 특정 이론에 구애되지 않고, 구리 금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품(100)이 가열됨에 따라 유리 또는 유리 세라믹 기판(110)의 비교적 낮은 팽창이 구리-금속화된 쓰루 홀(120)에 존재하는 구리의 자유 팽창을 제한하는 것으로 생각되며, 이는 높은 응력이 빌드업되고 방사상의 크랙(130)이 유리 또는 유리 세라믹 기판(110)에 형성되도록 한다.

[0036] 구체예가 구리-금속화된 쓰루 홀에 관한 것이지만, 본원에 개시되고 기재된 공정은 임의의 금속성 물질로 금속화된 쓰루 홀 상에서 사용될 수 있음이 이해되어야 한다. 특히, 본원에 개시되고 기재된 공정은 쓰루 홀에 존재하는 물질과 CTE 불일치를 갖는 유리 및 유리 세라믹 기판에 관한 것이기 때문에, 방사상의 크랙은 임의의 금속 물질로 금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 기판에서 최소화되거나 제거될 수 있다.

[0037] 몇몇 구체예에서, 및 이제 도 2를 참조하면, 유리 또는 유리 세라믹 기판(110)은 유리 또는 유리 세라믹 기판(110)에 직선을 따라 위치된 복수의 구리-금속화된 쓰루 홀(120a-120f)을 포함할 수 있다. 이러한 배열(configuration)에서, 복수의 방사상의 크랙(130a-130e)은 방사상의 크랙(130a-130e)이 인접한 구리-금속화된 쓰루 홀(120a-120f) 사이의 거리에 걸쳐 있도록 유리 또는 유리 세라믹 기판(110) 내에 형성될 수 있다. 예를 들어, 방사상의 크랙(130a)은 인접한 구리-금속화된 쓰루 홀(120a 및 120b) 사이에서 연장할 수 있고 방사상의 크랙(130b)은 인접한 구리-금속화된 쓰루 홀(120b 및 120c) 사이에서 연장할 수 있다. 이러한 방식으로, 방사상의 크랙(130a-130e)은 유리 또는 유리 세라믹 기판(110) 내의 구리-금속화된 쓰루 홀(120a-120f) 각각 사이에 걸쳐 있을 수 있다.

[0038] 전술한 바와 같이, 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품(100)에 존재하는 응력은 유리 또는 유리 세라믹 물품(100)의 가열 시 방사상의 크랙(130)이 형성되도록 할 수 있다. 방사상의 크랙(130)을 유발할 수 있는 이러한 응력은 아래에 도시된 바와 같이 이론적으로 근사될 수 있으며, 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따르면, 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품(100) 내의 응력을 제어하고 방사상의 크랙을 최소화하거나 제거하는 공정이 개발될 수 있다.

[0039] 유리 또는 유리 세라믹 기판(110) 내의 구리-금속화된 쓰루 홀(120)이 일반적으로 원통형이고 유리 또는 유리 세라믹 매트릭스로 둘러싸여 있기 때문에, 유리 또는 유리 세라믹 내의 응력은 Lamé의 두꺼운/고체 벽 실린더 식을 사용하여 결정될 수 있으며, 여기서 면 내의 응력-방사상 및 원주의 응력-은 동일하나, 아래 식 1에 나타난 바와 같이 유리 또는 유리 세라믹 두께의 중심 영역에서 반대이며:

[0040] 
$$\sigma_r = -\sigma_\theta \quad (1),$$

[0041] 여기서  $\sigma_r$ 은 방사상의 응력이고  $\sigma_\theta$ 는 원주(또는 후프)의 응력이다.

[0042] 단일 구리 비아(via)를 둘러싸는 유리 또는 유리 세라믹 내의 면-내 열-기계적 응력은 다음의 예시적인 값과 함께 아래 식 2를 사용하여 계산될 수 있으며:

[0043]

$$\sigma_r = -\sigma_\theta = \left[ \frac{-E_{Cu}(\alpha_{Cu} - \alpha_{glass})\Delta T}{(1 - 2\nu_{Cu}) + \left(\frac{1 + \nu_{glass}}{1 + \nu_{Cu}}\right)\left(\frac{E_{Cu}}{E_{glass}}\right)} \left(\frac{D_{Cu}}{2r}\right)^2 \right] \quad (2)$$

[0044] 여기서  $\alpha_{Cu}$ 는 구리에 대한 CTE이고(16.7 ppm/°C);  $\alpha_{glass}$ 는 유리 또는 유리 세라믹의 CTE이며(0.6 ppm/°C);  $\nu_{glass}$  및  $\nu_{Cu}$ 는 각각 유리 또는 유리 세라믹(0.26) 및 구리(0.35)에 대한 푸아송비이고;  $r$ 은 홀의 중심으로부터의 유리 또는 유리 세라믹 내의 거리이다. 이는 유리 또는 유리 세라믹과 구리 사이의 계면에서,  $r$ 이 금속화된 쓰루 홀의 반경임을 의미한다.  $D_{Cu}$ 는 쓰루 홀의 직경이고(50  $\mu$ m);  $E_{Cu}$  및  $E_{glass}$ 는 각각 구리의 탄성 계수(120 GPa) 및 유리 또는 유리 세라믹의 탄성 계수(70 GPa)이며;  $\Delta T$ 는 온도의 변화이다. 식 2 및 구리 및 유리 또는 유리 세라믹에 대해 앞서 제공된 값을 사용하여, 실온(약 25 °C)으로부터 최대 온도로의 가열 동안 유리 또는 유리 세라믹 기판 내의 응력이 계산될 수 있으며; 여기서 구리 및 유리 또는 유리 세라믹은 탄성 물질로 가정된다. 쓰루 홀 에지로부터 계산된 유리 또는 유리 세라믹 응력은 도 3에 제시되며, 여기서 원주 및 방사상의 응력은 크기가 동일하나 방향이 반대임이 나타난다. 도 3에서, 유리 또는 유리 세라믹 내의 인장 원주 응력은 크랙이 인장 응력 장으로 인해 형성되는 것으로 알려져 있기 때문에 가열 동안 방사상의 크랙의 형성의 주요 원인이 될 것으로 예상된다. 최대 응력은 비아의 에지에서 발생하며, 이는 쓰루 홀 에지로부터 기하 급수적으로 감소하며, 여기서 쓰루 홀은 다른 쓰루 홀과 매우 인접하지 않다.

[0045] 위의 식 2는 온도의 함수로서 최대 인장 원주 응력 값을 결정하기 위해 사용될 수 있다. 도 4는 열처리 온도(°C) 대 원주 응력(MPa)의 플롯을 나타낸다. 도 4의 플롯은 열처리 동안의 온도의 증가는 원주 응력의 본질적인 선형 증가를 초래한다는 것을 나타내며, 이는 방사상의 크랙 형성 확률이 열처리 온도가 증가함에 따라 증가함을 나타낸다. 따라서, 보다 높은 온도에서, 방사상의 크랙이 발생할 가능성이 높다.

[0046] 상기 식 및 분석을 사용하여, 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위한 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 방사상의 크랙의 형성을 최소화하거나 제거하도록 공식화되었다. 특정 이론에 구애되지 않고, 열처리의 고온 부분 동안 낮은 평균 가열 속도를 사용하는 것은 고온에 존재하는 보다 높은 원주 응력의 효과를 최소화하는 응력 완화 메커니즘이 활성화되도록 하며, 이에 의해 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 방사상의 크랙 형성이 감소되거나 제거되는 것으로 생각된다.

[0047] 구체예에 따른 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위한 공정이 이제 설명될 것이다. 전술한 바와 같이, 식 2를 사용하여 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 원주 응력-방사상의 크랙의 형성을 초래할 수 있는 온도가 증가함에 따라 증가하는 것으로 결정되었다. 따라서, 구체예에 따른 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위한 공정에서, 방사상의 크랙 형성의 가능성이 현저해지는 제1 온도가 있고, 이 제1 온도 초과와 평균 가열 속도가 낮은 평균 가열 속도가 되도록 제어되며, 이에 의해 방사상의 크랙이 감소되거나 최소화된다. 몇몇 구체예에 따르면, 이 제1 온도 미만의 온도에서의 가열 속도는 제한될 필요가 없다. 따라서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품은 임의의 평균 가열 속도를 사용하여 제1 온도로 가열될 수 있다. 따라서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위한 공정의 구체예는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 온도가 제1 온도 이상이고 열처리가 일반적으로 종료되는 제2 온도 이하인 공정 동안 평균 가열 속도를 제어하는 것에 관한 것이다. 본원에 개시된 온도는 오븐, 용광로, 가마, 레어(lehr) 등과 같은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하는데 사용되는 장치의 측정된 대기 온도를 지칭하는 것으로 이해되어야 한다.

[0048] 이 정보를 사용하면, 방사상의 크랙이 형성되는 온도를 결정하기 위해 열처리가 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 상에서 수행된다. 다양한 열처리의 시각적 관측을 통해, 방사상의 크랙이 210 °C 이상, 220 °C 이상, 230 °C 이상, 240 °C 이상, 250 °C 이상, 260 °C 이상, 270 °C 이상, 280 °C 이상, 또는 290 °C 이상의 온도와 같은 200 °C 이상의 온도에서 크게 증가하는 가능성이 발견되었다. 따라서, 구체예에 따른 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위한 공정에서, 제1 온도 미만

의 온도에서의 가열 속도는 제어될 필요가 없으며, 이는 제1 온도 미만에서의 방사상의 크랙 형성의 가능성이 낮기 때문이다. 구체예에서, 제1 온도는 210 °C 이상 300 °C 이하, 220 °C 이상 300 °C 이하, 230 °C 이상 300 °C 이하, 240 °C 이상 300 °C 이하, 250 °C 이상 300 °C 이하, 260 °C 이상 300 °C 이하, 270 °C 이상 300 °C 이하, 280 °C 이상 300 °C 이하, 또는 290 °C 이상 300 °C 이하와 같이, 200 °C 이상 300 °C 이하이다. 몇몇 구체예에서, 제1 온도는 200 °C 이상 280 °C 이하, 200 °C 이상 270 °C 이하, 200 °C 이상 260 °C 이하, 200 °C 이상 250 °C 이하, 200 °C 이상 240 °C 이하, 200 °C 이상 230 °C 이하, 200 °C 이상 220 °C 이하, 또는 200 °C 이상 210 °C 이하와 같이, 200 °C 이상 290 °C 이하이다. 몇몇 구체예에서, 제1 온도는 225 °C 이상 275 °C 이하, 또는 240 °C 이상 260 °C 이하와 같이 220 °C 이상 280 °C 이하이다.

[0049] 구리-금속화된 쓰루 홀을 갖는 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 방사상의 크랙 형성 가능성은 앞서 언급된 제1 온도로부터 열처리가 일반적으로 종료되는 제2 온도로 갈수록 높다. 구체예에서, 제2 온도는 360 °C 이상 450 °C 이하, 370 °C 이상 450 °C 이하, 380 °C 이상 450 °C 이하, 390 °C 이상 450 °C 이하, 400 °C 이상 450 °C 이하, 410 °C 이상 450 °C 이하, 420 °C 이상 450 °C 이하, 430 °C 이상 450 °C 이하, 또는 440 °C 이상 450 °C 이하와 같이 350 °C 이상 450 °C 이하이다. 몇몇 구체예에서, 제2 온도는 350 °C 이상 430 °C 이하, 350 °C 이상 420 °C 이하, 350 °C 이상 410 °C 이하, 350 °C 이상 400 °C 이하, 350 °C 이상 390 °C 이하, 350 °C 이상 380 °C 이하, 350 °C 이상 370 °C 이하, 또는 350 °C 이상 360 °C 이하와 같이 350 °C 이상 440 °C 이하이다. 구체예에서, 제2 온도는 375 °C 이상 425 °C 이하와 같이 375 °C 이상 450 °C 이하이다.

[0050] 앞서 언급된 바와 같이, 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위한 방법은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품이 제1 온도 이상 및 제2 온도 이하인 온도-여기서 크랙 형성 가능성이 높음-에 있을 때의 평균 가열 속도를 제어한다. 본원에서 사용된 바와 같이, 평균 가열 속도는 제2 온도와 제1 온도 사이의 차이를 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 제1 온도로부터 제2 온도로 가열하는데 걸리는 시간의 양으로 나눈 것이다. 따라서, 본원에 사용된 바와 같은 평균 가열 속도는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품이 제1 온도 이상 제2 온도 이하인 온도에 있는 임의의 온도 유지를 포함한다. 예로서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품이 300 °C 내지 350 °C의 제1 온도에서 10분 가열되고, 350 °C에서 10분 유지되며, 이후 350 °C로부터 400 °C의 제2 온도로 10분 동안 가열된다면, 평균 가열 속도는 3.33 °C/분이다(즉, (400 °C - 300 °C)/30분).

[0051] 구체예에서, 제1 온도로부터 제2 온도로의 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 8.5 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 8.2 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 8.0 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 7.8 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 7.5 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 7.2 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 7.0 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 6.8 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 6.5 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 6.0 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 5.8 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 5.5 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 5.2 °C/분 이하, 또는 0.0 °C/분 초과 5.0 °C/분 이하와 같이 0.0 °C/분 초과 8.7 °C/분 미만이다. 몇몇 구체예에서, 제1 온도로부터 제2 온도로의 평균 가열 속도는 2.2 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만, 2.5 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만, 2.8 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만, 2.8 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만, 3.0 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만과 같이 2.0 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만이다. 몇몇 구체예에서, 제1 온도로부터 제2 온도로의 평균 가열 속도는 2.2 °C/분 이상 6.5 °C/분 이하, 2.5 °C/분 이상 6.5 °C/분 미만, 2.8 °C/분 이상 6.5 °C/분 미만, 또는 3.0 °C/분 이상 6.5 °C/분 미만과 같이 2.0 °C/분 이상 6.5 °C/분 이하이다. 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 상기 평균 가열 속도에서의 제1 온도로부터 제2 온도로의 가열은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 방사상의 크랙을 야기하지 않는다.

[0052] 몇몇 구체예에 따르면, 제1 온도로부터 제2 온도로의 가열 속도는 제1 온도로부터 제2 온도까지의 전체 온도 범위에서 균일한 가열 속도가 사용되도록 실질적으로 일정하게 유지된다. 본원에 사용된 바와 같이, 실질적으로 일정한 가열 속도는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하기 위해 사용되는 장치에 의해 제어될 수 있는 가열 속도 설정점에 가깝게 유지되는 가열 속도를 지칭한다. 예를 들어, 제1 온도로부터 제2 온도까지의 온도 범위에서 가열 속도는 일정해야 하며 6.5 °C/분으로 설정되어야 한다고 결정될 수 있다. 그러나, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열하는데 사용되는 장치의 고유한 불일치 및 비효율성을 고려할 때, 가열 속도가 6.5 °C/분으로 일정한 것으로 의도되더라도 가열 속도는 예를 들어 6.2 °C/분으로 감소하거나 예를 들어 6.8 °C/분으로 증가할 수 있다. 본원에 사용된 바와 같이, 이상황은 "실질적으로 일정한" 가열 속도일 것이다. 몇몇 구체예에서, 제1 온도로부터 제2 온도로의 가열 속도는 가변적일 수 있다. 본원에 사용된 바와 같이, "가변적인" 가열 속도는 제1 온도로부터 제2 온도까지의 온도 범

위 내에서 의도적으로 변화되는 가열 속도를 지칭한다. 가변적인 가열 속도를 갖는 구체예의 예는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품이 6.5 °C/분의 가열 속도에서 300 °C의 제1 온도로부터 350 °C의 온도로 가열되고 이후 2.3 °C/분의 가열 속도에서 350 °C로부터 400 °C의 제2 온도로 의도적으로 가열되는 경우일 것이다.

[0053] 그러나, 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품이 실온(약 25 °C)에서 제1 온도까지의 온도에 있는 평균 가열 속도는 제한되지 않으나, 몇몇 구체예에서 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품이 실온(약 25 °C)으로부터 제1 온도까지의 온도에 있는 평균 가열 속도는 또한 방사상의 크랙이 형성되지 않음을 보장하는 것을 돕기 위해 낮게 유지된다. 따라서, 구체예에서, 실온으로부터 제1 온도까지의 평균 가열 속도는 0.0 °C/분 초과 8.5 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 8.2 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 8.0 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 7.8 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 7.5 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 7.2 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 7.0 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 6.8 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 6.5 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 6.2 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 6.0 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 5.8 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 5.5 °C/분 이하, 0.0 °C/분 초과 5.2 °C/분 이하, 또는 0.0 °C/분 초과 5.0 °C/분 이하와 같이 0.0 °C/분 초과 8.7 °C/분 미만이다. 몇몇 구체예에서, 실온으로부터 제1 온도로의 평균 가열 속도는 2.0 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만, 2.5 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만, 2.8 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만, 3.0 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만과 같이 1.0 °C/분 이상 8.7 °C/분 미만이다. 몇몇 구체예에서, 실온으로부터 제1 온도로의 평균 가열 속도는 2.0 °C/분 이상 6.5 °C/분 이하, 2.2 °C/분 이상 6.5 °C/분 미만, 2.5 °C/분 이상 6.5 °C/분 미만, 2.7 °C/분 이상 6.5 °C/분 미만, 또는 3.0 °C/분 이상 6.5 °C/분 미만과 같이 1.0 °C/분 이상 6.5 °C/분 이하이다.

[0054] 앞서 언급된 바와 같이, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 제1 온도로부터 제2 온도로 가열하기 위한 공정은 다양한 온도 유지를 포함하며, 여기서 온도는 시간 주기 동안 일정하게 유지된다. 특정 이론에 구애되지 않고, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품을 일정한 온도로 유지함으로써, 온도 유지 동안의 완화가 발생하고, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 응력이 감소할 수 있다. 따라서, 온도 유지가 크랙 형성이 발생하기 전에 수행되는 경우, 온도 유지로부터 초래되는 완화는 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 응력을 크랙 형성이 없을 정도로 충분히 감소시킬 수 있다. 또한, 온도 유지는 제1 온도 및 제2 온도 중 일 이상에서 사용되어 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 내의 응력이 완화되도록 할 수 있다.

[0055] 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품은 15분 이상 120분 이하, 30분 이상 120분 이하, 45분 이상 120분 이하, 60분 이상 120분 이하, 75분 이상 120분 이하, 90분 이상 120분 이하, 또는 105분 이상 120분 이하와 같이 10분 이상 120분 이하의 기간 동안 제1 온도로 유지될 수 있다. 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품은 10분 이상 90분 이하, 10분 이상 75분 이하, 10분 이상 60분 이하, 10분 이상 45분 이하, 10분 이상 30분 이하, 또는 10분 이상 15분 이하와 같이 10분 이상 105분 이하의 기간 동안 제1 온도로 유지될 수 있다.

[0056] 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품은 15분 이상 120분 이하, 30분 이상 120분 이하, 45분 이상 120분 이하, 60분 이상 120분 이하, 75분 이상 120분 이하, 90분 이상 120분 이하, 또는 105분 이상 120분 이하와 같이, 10분 이상 120분 이하의 기간 동안 제2 온도로 유지될 수 있다. 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품은 10분 이상 90분 이하, 10분 이상 75분 이하, 10분 이상 60분 이하, 10분 이상 45분 이하, 10분 이상 30분 이하, 또는 10분 이상 15분 이하와 같이, 10분 이상 105분 이하의 기간 동안 제2 온도로 유지될 수 있다.

[0057] 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹은 15분 이상 120분 이하, 30분 이상 120분 이하, 45분 이상 120분 이하, 60분 이상 120분 이하, 75분 이상 120분 이하, 90분 이상 120분 이하, 또는 105분 이상 120분 이하와 같이, 10분 이상 120분 이하의 기간 동안 제1 온도와 제2 온도 사이의 일정한 온도로 유지될 수 있다. 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품은 10분 이상 90분 이하, 10분 이상 75분 이하, 10분 이상 60분 이하, 10분 이상 45분 이하, 10분 이상 30분 이하, 또는 10분 이상 15분 이하의 기간 동안 제1 온도와 제2 온도 사이의 일정한 온도로 유지될 수 있다.

[0058] 본원에 개시된 공정이 임의의 크기의 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 상에서 사용될 수 있으나, 본원에 개시된 공정은 특히 비교적 작은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품 상에서의 사용에 적합할 수 있다. 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀은 30 μm 이상 70 μm 이하, 35 μm 이상 70 μm 이하, 40 μm 이상 70 μm 이하, 45 μm 이상 70 μm 이하, 50 μm 이상 70 μm 이하, 55 μm 이상 70 μm 이하



$\mu\text{m}$  이하, 60  $\mu\text{m}$  이상 70  $\mu\text{m}$  이하, 또는 65  $\mu\text{m}$  이상 70  $\mu\text{m}$  이하와 같이 25  $\mu\text{m}$  이상 75  $\mu\text{m}$  이하의 직경을 가질 수 있다. 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀은 25  $\mu\text{m}$  이상 60  $\mu\text{m}$  이하, 25  $\mu\text{m}$  이상 55  $\mu\text{m}$  이하, 25  $\mu\text{m}$  이상 50  $\mu\text{m}$  이하, 25  $\mu\text{m}$  이상 45  $\mu\text{m}$  이하, 25  $\mu\text{m}$  이상 40  $\mu\text{m}$  이하, 25  $\mu\text{m}$  이상 35  $\mu\text{m}$  이하, 또는 25  $\mu\text{m}$  이상 30  $\mu\text{m}$  이하와 같이, 25  $\mu\text{m}$  이상 65  $\mu\text{m}$  이하의 직경을 가질 수 있다. 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀은 40  $\mu\text{m}$  이상 60  $\mu\text{m}$  이하와 같이 35  $\mu\text{m}$  이상 65  $\mu\text{m}$  이하의 직경을 가질 수 있다.

[0059] 본원에 개시되고 기재된 공저은 임의의 피치를 갖는 쓰루 홀과 함께 사용될 수 있음이 이해되어야 한다. 구체적으로, 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열함으로써, 쓰루 홀의 피치에 관계 없이 방사상의 크래킹이 최소화되거나 제거될 수 있다. 또한, 쓰루 홀의 피치는 기관 내의 쓰루 홀의 직경에 따라 달라질 것이다. 그러나, 쓰루 홀의 직경이 약 50  $\mu\text{m}$ 인 몇몇 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀은 100  $\mu\text{m}$  이상 750  $\mu\text{m}$  이하, 150  $\mu\text{m}$  이상 700  $\mu\text{m}$  이하, 200  $\mu\text{m}$  이상 650  $\mu\text{m}$  이하, 250  $\mu\text{m}$  이상 600  $\mu\text{m}$  이하, 300  $\mu\text{m}$  이상 550  $\mu\text{m}$  이하, 350  $\mu\text{m}$  이상 500  $\mu\text{m}$  이하, 또는 400  $\mu\text{m}$  이상 450  $\mu\text{m}$  이하와 같이 60  $\mu\text{m}$  이상 800  $\mu\text{m}$  이하의 피치를 가질 수 있다. 몇몇 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀은 60  $\mu\text{m}$  이상 130  $\mu\text{m}$  이하, 60  $\mu\text{m}$  이상 120  $\mu\text{m}$  이하, 60  $\mu\text{m}$  이상 110  $\mu\text{m}$  이하, 60  $\mu\text{m}$  이상 100  $\mu\text{m}$  이하, 60  $\mu\text{m}$  이상 90  $\mu\text{m}$  이하, 60  $\mu\text{m}$  이상 80  $\mu\text{m}$  이하, 또는 60  $\mu\text{m}$  이상 70  $\mu\text{m}$  이하와 같이, 60  $\mu\text{m}$  이상 140  $\mu\text{m}$  이하의 피치를 가질 수 있다.

[0060] 본원에 개시되고 기재된 공정은 임의의 깊이를 갖는 쓰루 홀과 함께 사용될 수 있음이 이해되어야 한다. 구체적으로, 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열함으로써, 방사상의 크래킹이 쓰루 홀의 깊이에 관계 없이 최소화되거나 제거될 수 있다. 그러나, 몇몇 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀은 75  $\mu\text{m}$  이상 575  $\mu\text{m}$  이하, 100  $\mu\text{m}$  이상 550  $\mu\text{m}$  이하, 125  $\mu\text{m}$  이상 525  $\mu\text{m}$  이하, 150  $\mu\text{m}$  이상 500  $\mu\text{m}$  이하, 175  $\mu\text{m}$  이상 475  $\mu\text{m}$  이하, 200  $\mu\text{m}$  이상 450  $\mu\text{m}$  이하, 225  $\mu\text{m}$  이상 425  $\mu\text{m}$  이하, 250  $\mu\text{m}$  이상 400  $\mu\text{m}$  이하, 275  $\mu\text{m}$  이상 375  $\mu\text{m}$  이하, 또는 300  $\mu\text{m}$  이상 350  $\mu\text{m}$  이하와 같이, 50  $\mu\text{m}$  이상 600  $\mu\text{m}$  이하의 깊이를 가질 수 있다. 몇몇 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀은 200  $\mu\text{m}$  이상 375  $\mu\text{m}$  이하, 200  $\mu\text{m}$  이상 350  $\mu\text{m}$  이하, 200  $\mu\text{m}$  이상 325  $\mu\text{m}$  이하, 200  $\mu\text{m}$  이상 300  $\mu\text{m}$  이하, 200  $\mu\text{m}$  이상 275  $\mu\text{m}$  이하, 200  $\mu\text{m}$  이상 250  $\mu\text{m}$  이하, 또는 200  $\mu\text{m}$  이상 225  $\mu\text{m}$  이하와 같이, 200  $\mu\text{m}$  이상 400  $\mu\text{m}$  이하의 깊이를 가질 수 있다.

[0061] 임의의 유리 또는 유리 세라믹 물질은 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 유리 또는 유리 세라믹 기관으로 사용될 수 있다. 구체적으로, 본원에 개시되고 기재된 구체예에 따른 유리 또는 유리 세라믹 물품을 가열함으로써, 유리 또는 유리 세라믹의 조성에 관계 없이 방사상의 크래킹이 최소화되거나 제거될 수 있다. 그러나, 앞서 언급된 바와 같이, 구체예의 공정은 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 유리 또는 유리 세라믹 기관으로 사용된 유리 또는 유리 세라믹 물질이 구리의 CTE와의 높은 CTE 불일치를 갖는 경우 특히 유용하다. 따라서, 몇몇 구체예에서, 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품의 유리 또는 유리 세라믹 기관은 다량의 실리카를 포함한다. 몇몇 구체예에서, 기관은 55 mol% 이상의 실리카, 60 mol% 이상의 실리카, 65 mol% 이상의 실리카, 70 mol% 이상의 실리카, 75 mol% 이상의 실리카, 80 mol% 이상의 실리카, 85 mol% 이상의 실리카, 90 mol% 이상의 실리카, 95 mol% 이상의 실리카, 또는 약 100 mol% 실리카와 같이, 50 mol% 이상의 실리카,를 포함한다. 구체예에서, 기관은 적어도 90 wt%의 실리카를 포함한다.

[0062] 본원에 개시되고 기재된 공정에 따라 제조된 구리-금속화된 쓰루 홀을 포함하는 유리 또는 유리 세라믹 물품은 50x 배율 이상에서 관측될 때 열처리 후의 방사상의 크랙이 없을 수 있다.

[0063] **실시예**

[0064] 구체예는 다음의 실시예에 의해 보다 명확해질 것이다.

[0065] 적어도 90 wt%의 실리카를 포함하는 유리 기관 내의 완전히 채워진 원통형 상향식(bottom-up) 전기도금 구리-금속화된 쓰루 홀이 사용되었다. 쓰루 홀을 상향식 전기도금에 의해 구리로 채운 후, 화학-기계적-폴리싱(CMP)이 구리 과부하를 제거하기 위해 사용되었다. 그 후 기관은 14 mm × 14 mm의 다이 크기로 다이싱되어, 196 mm<sup>2</sup>의 다이 면적을 생성했다. 각각의 다이는 4개의 구리-금속화된 쓰루 홀 어레이의 컬럼, 총 952 구리-금속화된 쓰루 홀을 함유하였다. 구리-금속화된 쓰루 홀 직경, 피치 및 깊이는 각각 50  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$  및 300  $\mu\text{m}$ 였다. 샘플은 이후 실온(약 25 °C)으로 오븐 냉각되기 전에 420 °C의 최대 온도로 상이한 가열 속도를 사용하여 어닐링 처리에 도입되었다. 도 5a는 6.5 °C/분, 8.7 °C/분, 13.0 °C/분 및 26.0 °C/분의 실질적으로 일정한 가열 속도를 갖는 네 샘플의 어닐링 프로파일을 그래프로 도시한다. 도 5b는 2.3 °C/분의 평균 가열 속도를 갖는, 가변적인 가열 속도를 갖는 어닐링 프로파일을 그래프로 도시한다. 따라서, 2.3 °C/분 내지 26.0 °C/분의 가열 속도가 연구되

었고 이들의 자세한 내용은 표 1에 표시된다.

**표 1**

[0066]

420 °C로의 총 가열 시간 (분)	평균 가열 속도(°C/분)	일정 또는 가변적 가열 속도	어닐링 환경
15	26.0	일정	공기
30	13.0	일정	공기
45	8.7	일정	공기
60	6.5	일정	공기
180	2.3	가변적	진공

[0067]

420 °C에서 30분의 기간 동안의 일정 온도 유지는 60분의 기간 동안의 일정 온도 유지를 갖는, 2.3 °C/분의 평균 가열 속도를 갖는 테스트 조건을 제외하고 모든 테스트 조건에 대해 사요오디였다. 오픈 냉각에 의해 달성된 냉각은 변화되지 않았고 약 120분 동안 취해졌다.

[0068]

어닐링 처리 후, 다이의 광학적 조사는 방사상의 크랙 형성에 대한 램프-속도의 의존성을 결정하기 위해 수행되었다. 상이한 램프-업 속도에 대한 다이의 크랙의 수는 세어졌고 각 테스트 조건에 대한 크랙 밀도는 식 3을 사용하여 계산되었다. 크랙은 50x 내지 500x 배율의 광학 현미경으로 관측되었다. 하나의 샘플은 각 가열 속도의 연구를 위해 사용되었다.

[0069]

크랙 밀도 = 크랙의 수/다이 면적 (3)

[0070]

크랙이 개시되는 온도를 결정하기 위해, 인-시튜(in-situ) 온도-의존 연구가 수행되었다. 이 연구에서, 샘플은 20.5 °C/분의 램프-속도에서 420 °C까지 가열되었다. 인-시튜 이미징 시스템을 사용함으로써, 동일한 특정 세트의 비아의 이미지가 매 10초마다 온도의 함수로 얻어졌고, 이는 이후에 크랙이 개시되는 온도를 결정하기 위해 분석되었다.

[0071]

또한, Zygo 지형 측정 방법이 얼마나 많은 구리 돌출이 사용된 어닐링 가열 속도와 관련하여 발생했는지를 결정하기 위해 사용되었다. 이 측정에 기초하여, 돌출된 구리의 높이가 결정되었다.

[0072]

도 6은 26.0 °C/분의 가열/램프-업 속도를 갖는 샘플의 50x 광학 이미지를 나타낸다. 이 빠른 가열 속도를 사용하는 것은 샘플 내 크랙 형성을 초래한다는 것이 관측되었다. 방사상의 크랙은 샘플 전체에 걸쳐 크랙 사슬을 형성하는 것으로 나타났으며, 이는 인접한 구리-금속화된 쓰루 홀로부터의 크랙과 연결되어 방사상 크랙의 네트워크를 초래하는 것으로 발견되었기 때문이다. 14 mm × 14 mm 다이 상의 방사상 크랙의 총 수는 375 크랙이었고; 이는 1.91 크랙/mm<sup>2</sup>의 크랙 밀도를 초래한다.

[0073]

가열 속도를 13.0 °C/분 및 8.7 °C/분으로 낮추는 것은 방사상 크랙의 형성이 계속되도록 한다. 13.0 °C/분의 가열 속도에서 형성되는 크랙은 도 7a(50x) 및 도 7b(200x)에 도시된다. 8.7 °C/분의 가열 속도에서 형성되는 크랙은 도 8a(50x) 및 도 8b(500x)에 도시된다. 그러나, 크랙의 수의 상당한 지속적인 감소가 관측되었다. 13.0 °C/분의 가열 속도에 대한 방사상 크랙의 총 수는 8개에 불과한 것으로 나타났으며, 8.7 °C/분의 가열 속도에 대한 크랙의 총 수는 4개에 불과하였고; 이는 각각 0.04 크랙/mm<sup>2</sup> 및 0.02 크랙/mm<sup>2</sup>의 밀도를 초래했다.

[0074]

그러나, 도 9a(50x) 및 도 9b(200x)에 도시된 바와 같이, 6.5 °C/분의 가열 속도에서, 크랙이 관측되지 않았다. 유사하게, 도 10(200x)에 도시된 바와 같이 2.3 °C/분의 평균 가열 속도를 갖는 가변적인 가열 속도를 사용하여 어닐링된 샘플에 대하여도 크랙이 관측되지 않았다.

[0075]

아래 표 2는 상기 테스트의 결과를 요약한다.

**표 2**

[0076]

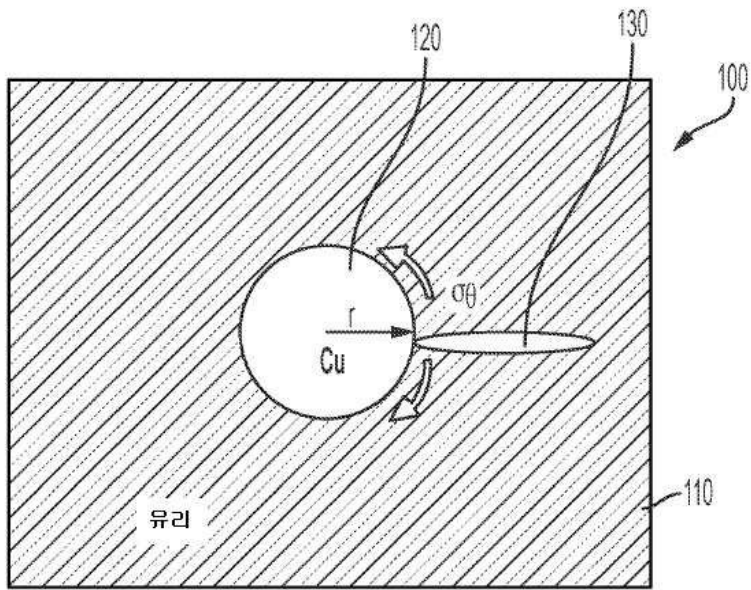
420 °C에서의 총 가열 시간(분)	평균 가열 속도(°C/분)	다이 상의 방사상 크랙의 수	방사상 크랙 밀도 (크랙/mm <sup>2</sup> )
15	26.0	375	1.91
30	13.0	8	0.04
45	8.7	4	0.02
60	6.5	0	0

180	2.3	0	0
-----	-----	---	---

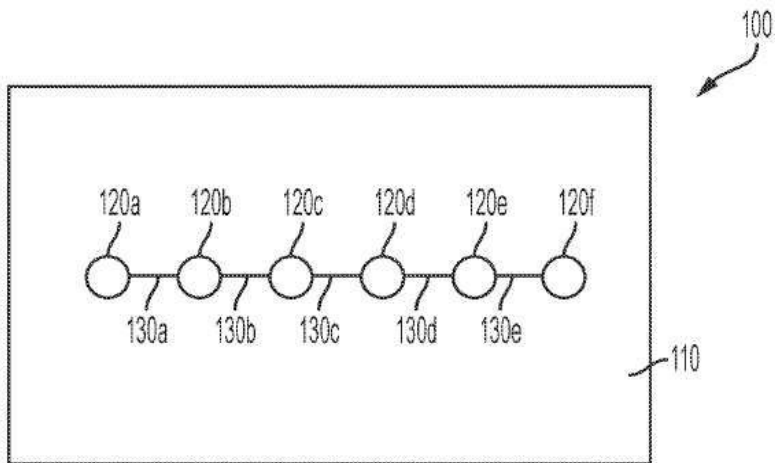
- [0077] 표 2에 나타난 요약된 결과로부터, 8.7 °C 미만의 가열 속도의 경우 방사상 크랙이 최소화이며, 가열 속도 ≥ 8.7 °C/분에서 다이 상의 방사상 크랙의 수가 가열의 증가에 따라 증가함이 관측되었다. 그러나, 8.7 °C/분 미만의 가열 속도에서 크랙의 수는 최소화되고 결국 크랙은 ≤ 6.5 °C/분의 가열 속도에서는 존재하지 않았다. 이는 방사상 크랙의 형성이 시간-의존적 현상임을 명백하게 나타낸다.
- [0078] 또한, 크랙 밀도는 표 2에 도시된 바와 같이 계산되었고 도 11에 그래프로 도시된다. 크랙 밀도는 사용된 어닐링 가열 속도에 따라 기하 급수적으로 증가하는 것으로 나타났다. 도 11은 방사상 크랙의 형성이 속도-의존적 현상임을 명백하게 나타낸다. 이는 또한 방사상의 크랙 형성이 구리의 CTE 불일치 및 이의 주변 유리 매트릭스로 인해 발생하는 구동된 응력임을 나타낸다. 이와 같이, ≤ 6.5 °C/분의 가열 속도에서의 크랙의 부재는 구리-금속화된 쓰루 홀 내의 속도-제어된 응력 완화 메커니즘의 충분한 활성화를 제안한다. 또한, 제한된 양의 크랙이 8.7 °C/분 미만의 가열 속도에서 관측되기 때문에, 이는 < 8.7 °C/분의 가열 속도의 경우, 구리-금속화된 쓰루 홀 내의 응력이 보다 낮고, 이는 유리 내 크랙의 개시에 필요한 임계 응력 값 미만인 유리 내의 보다 낮은 유발된 응력을 초래함을 의미한다.
- [0079] 도 12a 내지 12c는 구리-금속화된 쓰루 홀의 인-시튜, 온도-의존 이미지이다. 시각적으로, 317 °C에서, 방사상 크랙이 관측되지 않았다(도 12a). 그러나, 10초 후, 크랙은 왼쪽에서 제3 구리-금속화된 쓰루 홀로부터 전파하는 것으로 관측되며, 이는 321 °C의 온도에 대응한다(도 12b). 도 12c에 도시된 바와 같이, 온도의 추가적인 증가는 크랙이 60초 후에 인접한 구리-금속화된 쓰루 홀(즉, 왼쪽에서 제4 구리-금속화된 쓰루 홀)에 최종적으로 연결될 때까지 크랙의 성장을 초래하였다. 방사상의 크랙은 321 °C에서 처음 관측되나, 테스트 프로토콜의 설정으로 인해 보다 낮은 온도에서 발달할 수 있다. 예를 들어, 이미지는 매 10초마다 캡처된다.
- [0080] 응력 완화 메커니즘의 활성을 보다 완전히 이해하기 위해, 추가의 실험적 연구가 도 13에 도시된 어닐링 가열 속도와 관련된 어닐링 후 구리 돌출의 측정에 의해 수행되었다. 구리 돌출은 비탄성 면외(out-of-plane) 변형이다. 이는 구리와 주변 유리 기판의 CTE 불일치로 인한 구리 내의 높은 압축 응력의 빌드업으로 인해 가열 동안 발생한다. 구리 돌출은 소성 변형된 구리 및 힐록(hilllock) 형성의 조합이다. 소성 변형은 온도 증가에 따라 감소하는 구리의 항복 강도의 달성으로 인해 발생한다. 반면, 힐록 형성은 임계 슬라이딩(GBS) 현상에 의한 Cu 그레인의 우선적인 면외 변위이다. GBS는 경계 계면에 평행한 하나의 그레인의 다른 그레인으로의 대략적인 이동을 초래하는 확산 제어된 메커니즘인 응력 완화 메커니즘이다. GBS는 이동 동안 그레인의 수직 변위로 인한 구리 돌출의 형성을 초래한다.
- [0081] 도 13에서, 구리 돌출 높이는 가열 시간 증가에 따라 증가되며, 즉, 구리 돌출은 감소하는 가열 속도에 따라 증가됨이 관측되었다. 예를 들어, 26.0 °C/분의 가열 속도에서의 Cu 돌출의 양은 400 nm으로 측정되나, 6.5 °C/분의 가열 속도가 사용된 경우, 구리 돌출 높이는 약 1100 nm으로 측정되었다. 도 13은 사용된 어닐링 가열 속도에 대한 구리 돌출의 강한 의존성을 나타낸다. 표 2 및 도 13에 기초하여, 구리 돌출의 증가는 형성된 방사상의 크랙의 수의 감소를 초래함을 유추할 수 있다. 이는 증가된 가열 시간 또는 감소된 가열 속도에 따른 증가된 응력 완화 메커니즘의 활성으로 인한 것이다. GBS는 미세-보이드의 형성을 수반하는 속도-제어된 응력 완화 메커니즘으로 알려져 있으며, 이와 같이, 이의 활성은 보다 낮은 어닐링 가열 속도에 따라 증가한다. 이는 GBS 및 소성 변형의 활성이 ≤ 6.5 °C/분과 같은, < 8.7 °C/분의 램프-업 속도가 사용된 경우 방사상의 크랙 형성에 요구되는 임계 응력 임계값 미만의 구리 내 빌트 업 응력을 충분하게 완화함을 의미한다.
- [0082] 본원에 사용된 바와 같이, 용어 "약"은 양, 크기, 제형, 파라미터 및 다른 양 및 특성이 정확하지 않고 정확할 필요도 없으나, 필요에 따라 허용 오차, 전환 인자, 반올림, 측정 오차 등 및 본 기술 분야의 기술자에게 공지된 다른 인자를 반영하여 근사되거나 및/또는 보다 크거나 작을 수 있음을 의미한다. 용어 "약"이 값 또는 범위의 끝점을 설명하는데 사용되는 경우, 본 개시는 언급된 특정 값 또는 끝점을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 명세서에서 수치 값 또는 범위의 끝점이 "약"을 인용하는지에 관계 없이, 수치 값 또는 범위의 끝점은 두 구체예: "약"에 의해 변형된 것 및 "약"에 의해 변형되지 않은 것을 포함하도록 의도된다. 각 범위의 끝점이 다른 끝점과의 관계에서 및 다른 끝점과 독립적으로 모두 중요하다는 것이 더욱 이해될 것이다.
- [0083] 청구된 주제의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 다양한 변경 및 수정이 본원에 개시된 구체예에 대해 만들어질 수 있음은 본 기술 분야의 기술자에게 명백해질 것이다. 따라서, 본 명세서는 본원에 기재된 다양한 구체예의 변경 및 수정을 포함하는 것으로 의도되며, 이러한 변경 및 수정은 첨부된 청구 범위 및 이의 균등물의 범위 내이다.

도면

도면1

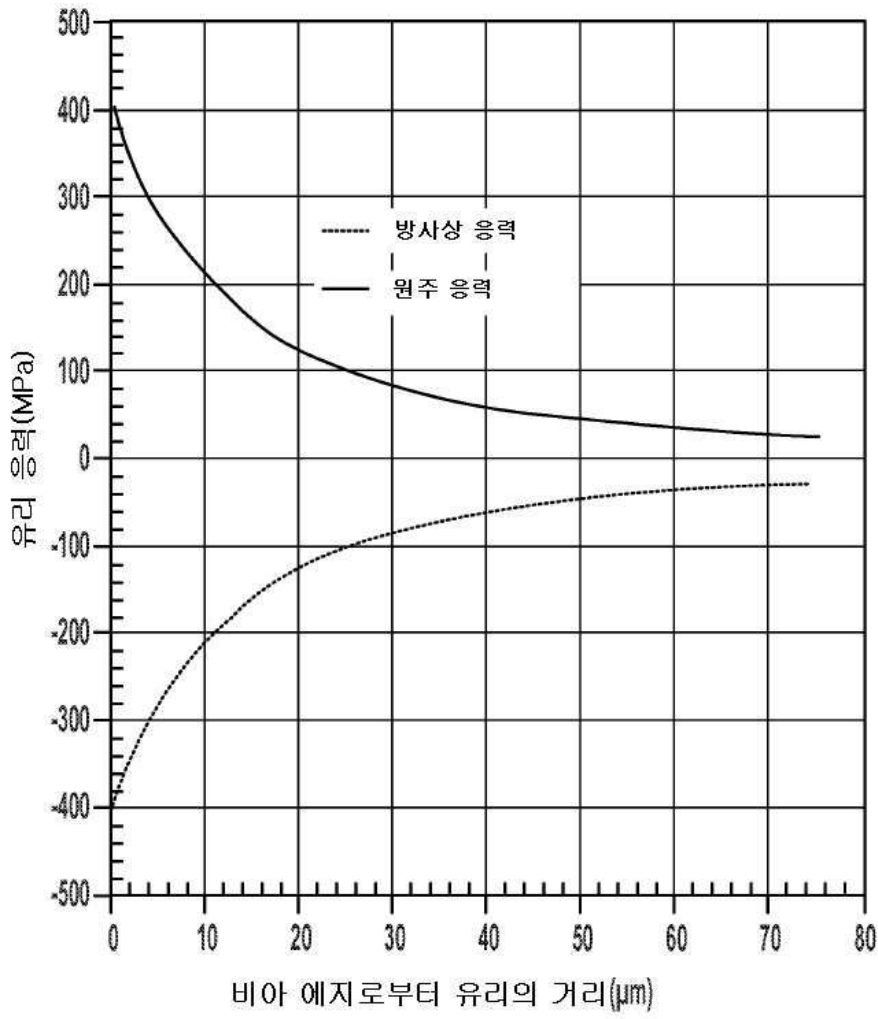


도면2

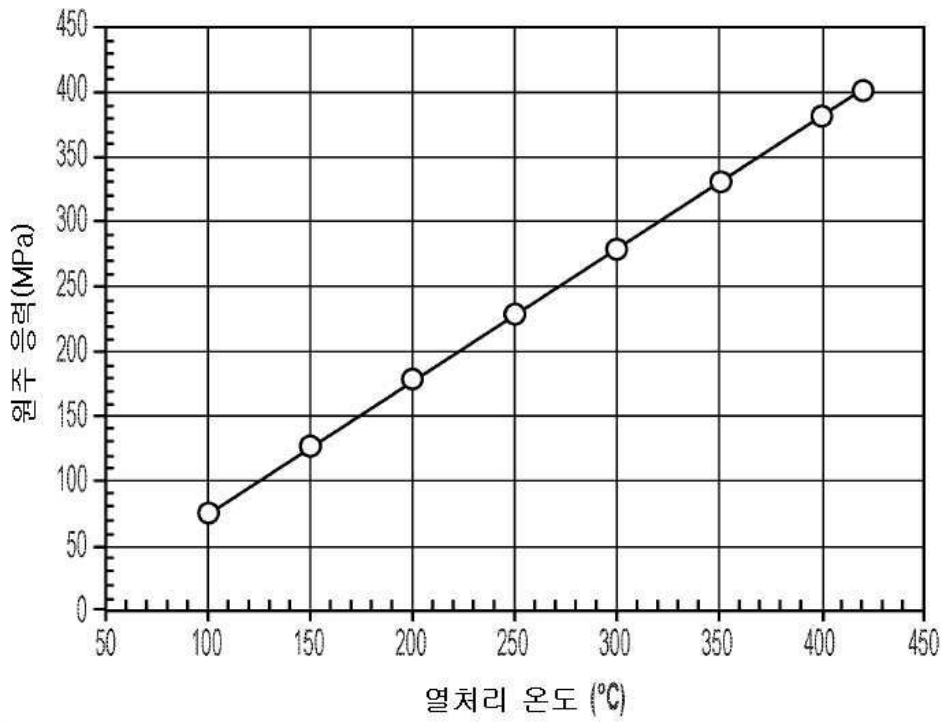




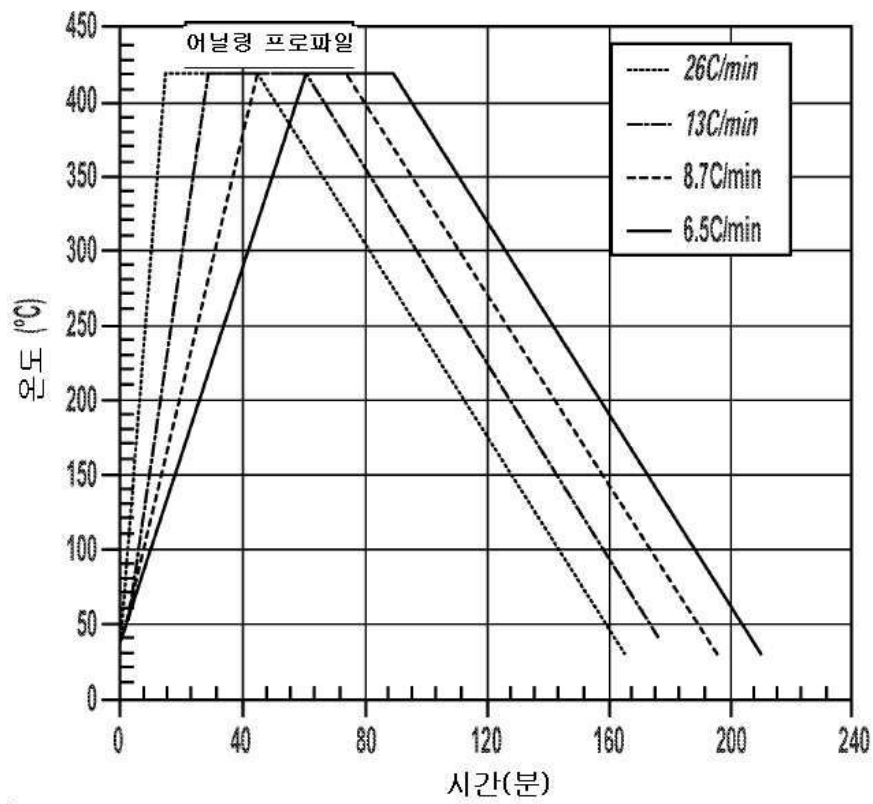
도면3



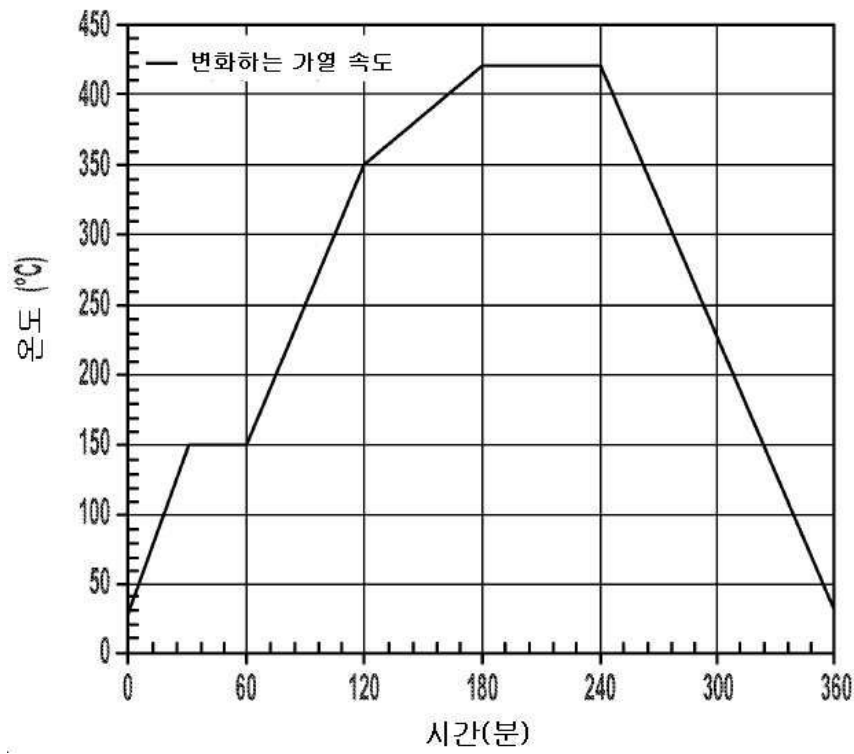
도면4



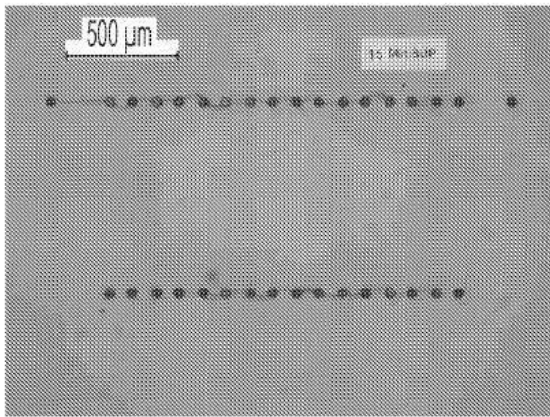
도면5a



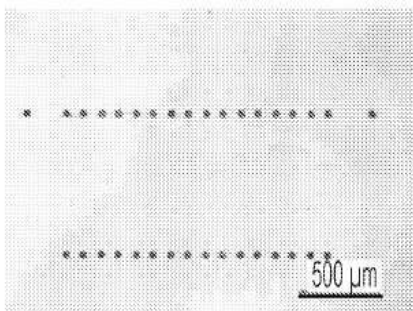
도면5b



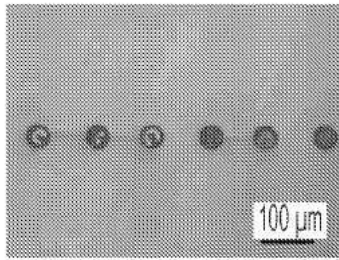
도면6



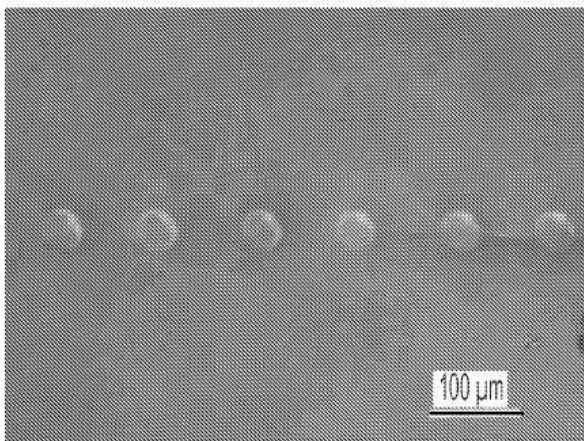
도면7a



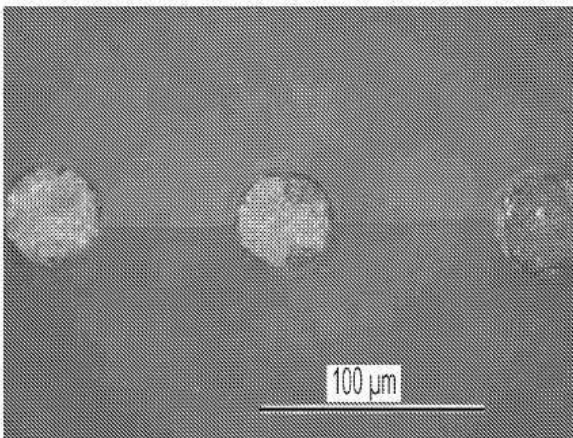
도면7b



도면8a

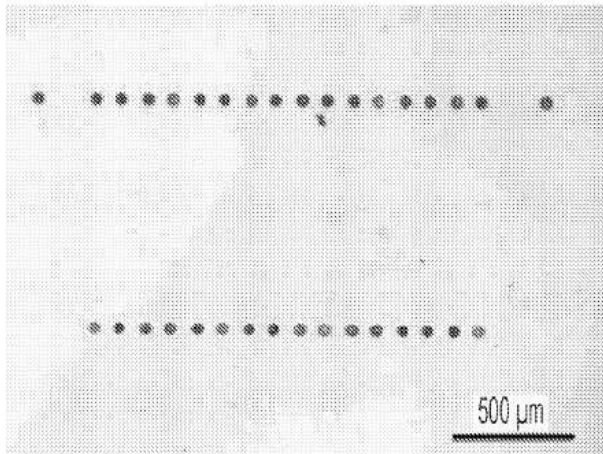


도면8b

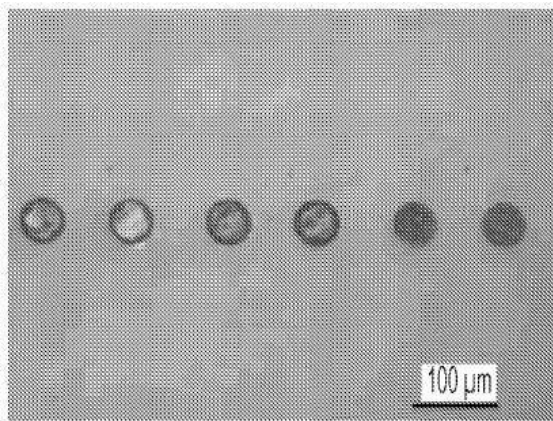




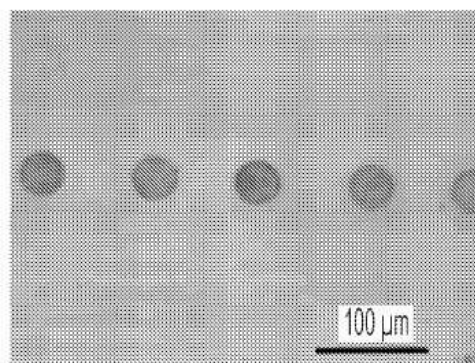
도면9a



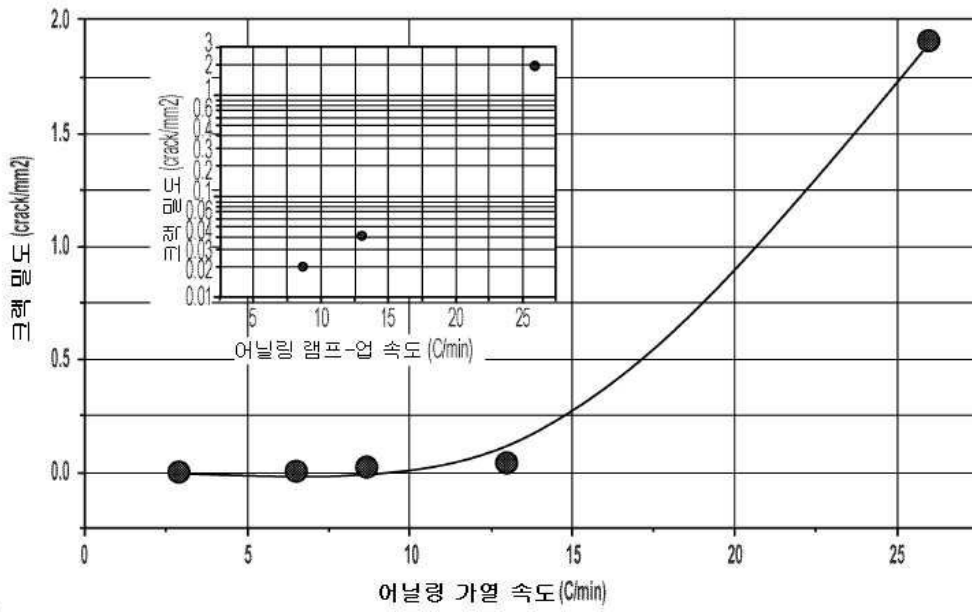
도면9b



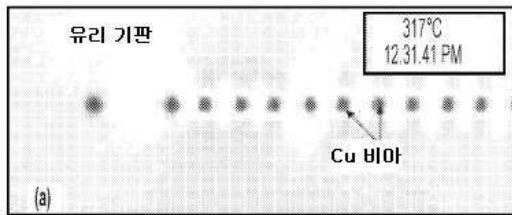
도면10



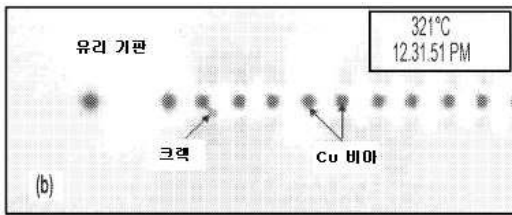
도면11



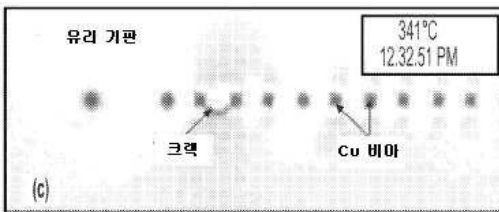
도면12a



도면12b



도면12c



도면13

