(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년01월16일
(11) 등록번호 10-2067108
(24) 등록일자 2020년01월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C04B 38/00 (2006.01) *B05D 3/02* (2006.01)
B32B 18/00 (2006.01) *C04B 41/50* (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-7026307
(22) 출원일자(국제) 2013년02월20일
심사청구일자 2018년02월20일
(85) 번역문제출일자 2014년09월19일
(65) 공개번호 10-2014-0138190
(43) 공개일자 2014년12월03일
(86) 국제출원번호 PCT/US2013/026963
(87) 국제공개번호 WO 2013/126466
국제공개일자 2013년08월29일
(30) 우선권주장
13/745,589 2013년01월18일 미국(US)
(뒷면에 계속)
(56) 선행기술조사문헌
JP2002001865 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050
(72) 발명자
선, 제니퍼, 와이.
미국 94041 캘리포니아 마운틴 뷰 오크 헤븐 플레이스 106
두안, 렌-구안
미국 94538 캘리포니아 프리몬트 인디펜던스 로드 3645
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

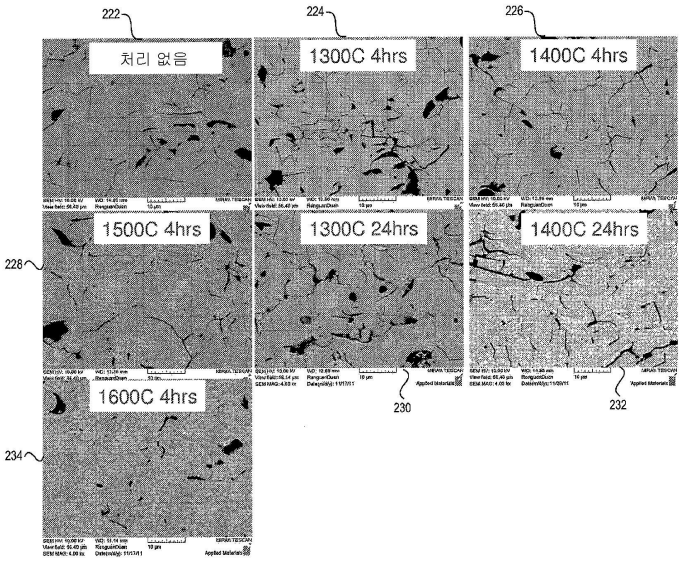
전체 청구항 수 : 총 16 항 심사관 : 박은주

(54) 발명의 명칭 **세라믹 코팅을 갖는 열처리된 세라믹 기판 및 코팅된 세라믹들을 위한 열처리**

(57) 요 약

초기 다공도 및 초기 균열량을 갖는 세라믹 코팅 및 세라믹 기판을 구비하는 세라믹 물품이 제공된다. 세라믹 물품은 분당 약 0.1 ℃ 내지 분당 약 20 ℃의 램핑 레이트(ramping rate)로 약 1000 ℃ 내지 약 1800 ℃ 의 온도 범위로 가열된다. 세라믹 물품이 약 24 시간까지의 지속기간 동안 상기 온도 범위 내의 하나 또는 그 초과의 온도들에서 열처리된다. 이어서, 세라믹 물품은 상기 램핑 레이트로 냉각되고, 열처리 이후, 세라믹 코팅은 감소된 다공도 및 감소된 균열량을 갖는다.

대 표 도



(72) 발명자

카눈고, 비라자, 알.

미국 95128 캘리포니아 새너제이 프룻데일 애비뉴 1919 아파트먼트 디20

루보미르스키, 드미트리

미국 95014 캘리포니아 쿠퍼티노 베트 애비뉴 862

(30) 우선권주장

61/602,020 2012년02월22일 미국(US)

61/619,854 2012년04월03일 미국(US)

명 세 서

청구범위

청구항 1

열적 분무 프로세스(thermal spraying process)를 수행하여, Al_2O_3를 포함하는 세라믹 기판 상에 Y_2O_3-ZrO_2 고용체와 $Y_4Al_2O_9$로 구성된 세라믹 코팅을 형성하는 단계 - 상기 세라믹 코팅은 초기 다공도(initial porosity) 및 초기 균열량(initial amount of cracking)을 가짐 - ;

상기 세라믹 기판과 상기 세라믹 코팅을 포함하는 세라믹 물품을, 분당 0.1 ℃ 내지 분당 20 ℃의 램핑 레이트(ramping rate)로 1000 ℃ 내지 1800 ℃의 온도 범위로 가열하는 단계;

상기 세라믹 코팅의 다공도 및 균열량을 감소시키기 위해, 상기 세라믹 물품을 24 시간까지의 지속기간 동안 상기 온도 범위 내의 하나 또는 그 초과의 온도들에서 열처리하는 단계 - 상기 세라믹 물품은 상기 세라믹 코팅의 소결 온도 미만에서 열처리되므로 상기 세라믹 코팅의 소결이 방지되고, 상기 열처리는, Y_2O_3-ZrO_2 고용체와 $Y_4Al_2O_9$로 구성된 상기 세라믹 코팅으로 하여금 Al_2O_3를 포함하는 상기 세라믹 기판과 반응하게 함으로써 상기 세라믹 코팅과 상기 세라믹 기판 사이에 전이 층(transition layer)이 형성되게 하며, 상기 전이 층은 $Y_3Al_5O_{12}$를 포함함 - ; 및

상기 열처리 후에 상기 세라믹 물품을 상기 램핑 레이트로 냉각시키는 단계;를 포함하는,

방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 세라믹 코팅은 초기 입자 카운트(initial particle count) 및 초기 접착 강도(initial adhesion strength)를 부가적으로 가지며, 상기 세라믹 코팅은 상기 열처리 후에 감소된 입자 카운트 및 증가된 접착 강도를 갖는,

방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 지속기간 및 상기 온도 범위는 상기 전이 층이 1 내지 2 미크론의 두께를 갖도록 선택되는,

방법.

청구항 4

열적 분무 프로세스를 수행하여, 세라믹 기판 상에 세라믹 코팅을 형성하는 단계 - 상기 세라믹 코팅은 초기 다공도 및 초기 균열량을 가짐 - ;

상기 세라믹 기판과 상기 세라믹 코팅을 포함하는 세라믹 물품을, 분당 0.1 ℃ 내지 분당 20 ℃의 램핑 레이트로 1000 ℃ 내지 1800 ℃의 온도 범위로 가열하는 단계;

상기 세라믹 코팅의 다공도 및 균열량을 감소시키기 위해, 상기 세라믹 물품을 24 시간까지의 지속기간 동안 상기 온도 범위 내의 하나 또는 그 초과의 온도들에서 열처리하는 단계;

상기 열처리 후에 상기 세라믹 물품을 상기 램핑 레이트로 냉각시키는 단계; 및

상기 세라믹 물품이 플라즈마 에칭 프로세스에 사용된 후에, 상기 플라즈마 에칭 프로세스에 의해 야기된 증가된 표면 결함 밀도를 감소시키도록 상기 가열, 상기 열처리, 및 상기 냉각을 반복하는 단계;를 포함하는,

방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 플라즈마 에칭 프로세스는 상기 세라믹 물품 상에 폴리머들이 형성되게 하며,

상기 열처리의 반복은 산소의 존재하에 수행되고, 산소의 존재하에서의 상기 열처리의 반복은, 상기 폴리머들로 하여금 상기 산소와 반응하여 가스들이 되게 함으로써 상기 세라믹 물품을 건식 세정(dry clean)하는,

방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 방법은, 진공, 공기의 존재, Ar의 존재, 또는 N_2의 존재 중 적어도 하나에서 수행되는,

방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 세라믹 물품은 플라즈마 에칭기를 위한 프로세스 챔버 구성요소인,

방법.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 열처리는 상기 세라믹 코팅의 입도(grain size)를 증가시키며, 상기 지속기간 및 상기 온도 범위는 목표 입도(target grain size)에 도달하도록 선택되는,

방법.

청구항 9

Al_2O_3를 포함하는 세라믹 기판;

상기 세라믹 기판 상의 세라믹 코팅 - 상기 세라믹 코팅은, Y_2O_3-ZrO_2 고용체와 $Y_4Al_2O_9$로 구성된 미-소결(non-sintered) 세라믹 코팅임 - ; 및

상기 세라믹 기판과 상기 세라믹 코팅 사이의 전이 층;을 포함하며,

상기 전이 층은 $Y_3Al_5O_{12}$(YAG)를 포함하고, 상기 전이 층은 1 내지 2 미크론의 두께를 갖는,

세라믹 물품.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 세라믹 물품은 플라즈마 에칭기를 위한 프로세스 챔버 구성요소인,

세라믹 물품.

청구항 11

세라믹 코팅과 세라믹 기판을 포함하고 플라즈마 에칭 프로세스에 사용된, 열처리된 세라믹 물품을 수용하는 단계 - 상기 세라믹 코팅은 상기 플라즈마 에칭 프로세스에 의해 야기된 표면 결함 밀도를 가짐 - ;

상기 세라믹 물품을 분당 0.1 ℃ 내지 분당 20 ℃의 램핑 레이트로 1000 ℃ 내지 1800 ℃의 온도 범위로 가열하는 단계;

상기 표면 결함 밀도를 감소시키기 위해, 상기 세라믹 물품을 24 시간까지의 지속기간 동안 상기 온도 범위 내의 하나 또는 그 초과의 온도들에서 열처리하는 단계; 및

상기 열처리하는 단계 후에 상기 세라믹 물품을 상기 램핑 레이트로 냉각시키는 단계 - 상기 열처리하는 단계가 완료된 후에, 열처리된 세라믹 물품은 상기 플라즈마 에칭 프로세스에 의해 야기된 표면 결함 밀도 미만의 새로운 표면 결함 밀도를 가짐 - ;를 포함하는,

방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 세라믹 기판과 상기 세라믹 코팅은 각각, Y_2O_3, Al_2O_3, $Y_4Al_2O_9$, $Y_3Al_5O_{12}$(YAG), 석영, SiC, Si_3N_4, AlN, 또는 SiC-Si_3N_4 중 적어도 하나로 이루어지며,

상기 세라믹 기판은 상기 세라믹 코팅과 상이한 조성을 갖는,

방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 열처리된 세라믹 물품은, 상기 세라믹 코팅과 상기 세라믹 기판 사이에 전이 층을 더 포함하는,

방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 세라믹 코팅은, ZrO_2, Al_2O_3, SiO_2, B_2O_3, Er_2O_3, Nd_2O_3, Nb_2O_5, CeO_2, Sm_2O_3, 또는 Yb_2O_3 중 적어도 하나, 및 Y_2O_3를 포함하는 고용체로 이루어지는,

방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 플라즈마 에칭 프로세스는 상기 열처리된 세라믹 물품 상에 폴리머들이 형성되게 하며,

상기 열처리하는 단계는 산소의 존재하에 수행되고, 산소의 존재하에서의 상기 열처리하는 단계는, 상기 폴리머들로 하여금 상기 산소와 반응하여 가스들이 되게 함으로써 상기 세라믹 물품을 건식 세정하는,

방법.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 열처리된 세라믹 물품은 플라즈마 에칭기를 위한 프로세스 챔버 구성요소인,

방법.

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은, 일반적으로, 코팅된 세라믹 물품(article)들을 열처리하기 위해 이용되는 열처리 프로세스에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 반도체 산업에서, 디바이스들은, 끊임없이-감소하는 크기의 구조들을 생성하는 많은 수의 제조 프로세스들에 의해 제조된다. 플라즈마 에칭 및 플라즈마 세정 프로세스들과 같은 일부 제조 프로세스들은, 기판을 에칭 또는 세정하기 위해 고속 플라즈마 스트림에 기판을 노출시킨다. 플라즈마는 매우 부식적(corrosive)일 수 있으며, 플라즈마에 노출되는 프로세싱 챔버들 및 다른 표면들을 부식시킬 수 있다. 이러한 부식은 입자들을 생성할 수 있으며, 그러한 입자들은 프로세싱되고 있는 기판을 종종 오염시켜서, 디바이스 결함들의 원인이 된다.

[0003] 디바이스 기하형상들이 축소됨에 따라, 결함들에 대한 민감성이 높아지고, 입자 오염물질 요건(particle contaminant requirement)들이 점점 더 엄격해지고 있다. 따라서, 디바이스 기하형상들이 축소됨에 따라, 입자 오염의 허용가능한 레벨들이 낮아질 수 있다. 플라즈마 에칭 및/또는 플라즈마 세정 프로세스들에 의해 도입되는 입자 오염을 최소화하기 위해, 플라즈마들에 대해 내성을 갖는 챔버 재료들이 개발되었다. 그러한 플라즈마 내성 재료(plasma resistant material)들의 예들에는, Al_2O_3, AlN, SiC, Y_2O_3, 석영, 및 ZrO_2 로 이루어진 세라믹들이 포함된다. 그러나, 이러한 세라믹 재료들의 플라즈마 내성 특성들은, 일부 적용예들에 대해서는 충분하지 못할 수 있다. 예를 들어, 통상의 세라믹 제조 프로세스들을 이용하여 제조되는 플라즈마 내성 세라믹 덮개들 및/또는 노즐들은, 45 nm 또는 32 nm의 임계 치수들을 갖는 반도체 디바이스들의 플라즈마 에칭 프로세스들에서 이용될 때, 수용불가능한 레벨들의 입자 오염을 생성할 수 있다. 부가적으로, 그러한 플라즈마 내성 세라믹들이 세라믹 코팅들로서 이용될 때, 이러한 코팅들은 상승된 레벨들의 입자 오염을 야기할 수 있으며, 박리(delamination)로 인해 불량이 될(fail) 수 있다.

발명의 내용

[0004] 일 실시예에서, 초기 다공도(porosity) 및 초기 균열량을 갖는 세라믹 코팅 및 세라믹 기판을 구비하는 세라믹 물품이 제공된다. 세라믹 물품은, 분당 약 0.1 ℃ 내지 분당 약 20 ℃의 램핑 레이트(ramping rate)로 약 1000 ℃ 내지 약 1800 ℃의 온도 범위로 가열된다. 세라믹 물품은, 약 24 시간까지의 지속기간 동안 이러한 온도 범위 내의 하나 또는 그 초과의 온도들에서 열처리된다. 그런 다음, 세라믹 물품은 상기 램핑 레이트로 냉각되고, 열처리 이후, 세라믹 코팅은 감소된 다공도 및 감소된 균열량을 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0005] 본 발명은 첨부 도면들의 도해들에서, 예시적으로 그리고 비제한적으로 설명되며, 도면들에서, 유사한 참조부호들은 유사한 엘리먼트들을 나타낸다. 이러한 개시 내용에서 하나의("an" 또는 "one") 실시예에 대한 상이한 언급들이 반드시 동일한 실시예를 지칭하는 것이 아니고, 그러한 언급들은 적어도 하나를 의미한다는 것을 주목해야 한다.

도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 제조 시스템의 예시적인 아키텍처를 도시한다.

도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른, 세라믹 물품을 열처리하기 위한 프로세스를 도시한다.

도 2a는 본 발명의 실시예들에 따른, 세라믹 코팅이 열처리를 이용하여 프로세싱되기 전의, 그리고 세라믹 코팅이 열처리를 이용하여 프로세싱된 이후의 세라믹 코팅의 표면의 현미경 사진들을 도시한다.

도 2b는 본 발명의 실시예들에 따른, 세라믹 코팅이 열처리를 이용하여 프로세싱되기 전의, 그리고 세라믹 코팅

이 다양한 온도들 및 처리 지속기간들에서의 열처리들을 이용하여 프로세싱된 이후의, 세라믹 코팅의 표면을 4,000-배 확대(magnification)한 부가적인 현미경 사진들을 도시한다.

도 2c는 본 발명의 실시예들에 따른, 세라믹 코팅이 프로세싱되기 전의, 그리고 세라믹 코팅이 다양한 온도들 및 처리 지속기간들에서의 열처리들을 이용하여 프로세싱된 이후의, 세라믹 코팅의 표면을 20,000-배 확대한 부가적인 현미경 사진들을 도시한다.

도 2d는 본 발명의 실시예들에 따른, 세라믹 코팅이 프로세싱되기 전의, 그리고 세라믹 코팅이 프로세싱된 이후의, 세라믹 코팅의 표면을 10,000-배 확대한 부가적인 현미경 사진들을 도시한다.

도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 열처리 전후의 세라믹 물품의 횡단면적(cross sectional) 측면도를 나타내는 현미경 사진들을 도시한다.

도 3b는 본 발명의 실시예들에 따른, 다양한 온도들 및 처리 지속기간들에서의 열처리 전후의, 세라믹 물품의 4,000-배 확대한 횡단면적 측면도들을 나타내는 현미경 사진들을 도시한다.

도 3c는 본 발명의 실시예들에 따른, 열처리 전후의 세라믹 물품의 20,000-배 확대한 횡단면적 측면도들을 나타내는 현미경 사진들을 도시한다.

도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른, 열처리 전후의 HPM 세라믹 복합체 코팅의 상(phase) 조성 비교를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0006] 본 발명의 실시예들은, 세라믹 물품을 열처리하기 위한 프로세스, 및 열처리를 이용하여 프로세싱된 세라믹 물품에 관한 것이다. 일 실시예에서, 초기 다공도, 세라믹 기판에 대한 초기 결합(bond) 강도, 및 초기 균열량을 갖는 세라믹 코팅 및 세라믹 기판을 포함하는 세라믹 물품이 제공된다. 세라믹 기판은 소결된(sintered) 세라믹일 수 있고, 세라믹 코팅은 플라즈마 분무된(sprayed) 세라믹일 수 있다. 세라믹 물품은, 예를 들어, 플라즈마 에칭기(plasma etcher)를 위한 세라믹 덮개, 노즐 또는 프로세스 키트(process kit)일 수 있다. 세라믹 물품은 분당 약 0.1 ℃ 내지 분당 약 20 ℃의 램핑 레이트로 약 1000 ℃ 내지 약 1800 ℃ 온도 범위로 가열된다. 세라믹 물품은 약 24 시간까지의 지속기간 동안 상기 온도 범위 내의 하나 또는 그 초과의 온도들에서 열처리된다. 그런 다음, 세라믹 물품은 상기 램핑 레이트로 냉각된다. 열처리 이후, 세라믹 코팅은 감소된 표면 결함들, 감소된 코팅 다공도 및 감소된 균열량을 갖는다. 세라믹 코팅은 또한, 감소된 표면 거칠기(surface roughness)를 가질 수 있으며, 플라즈마에 대한 보다 큰 내성을 부가적으로 가질 수 있다. 부가적으로, 열처리 이후, 세라믹 코팅은 세라믹 기판에 대한 보다 강한 계면(interface)을 가질 수 있으며, 그러한 보다 강한 계면은 세라믹 기판에 대한 보다 큰 접착 강도(adhesion strength)를 제공할 수 있다. 보다 강한 계면은 세라믹 기판과 세라믹 코팅 사이의 전이 층(transition layer)의 형성으로 인한 것일 수 있다.

[0007] 일 실시예에서, 퍼니스(furnace)는, 초기 다공도 및 초기 균열량을 갖는 세라믹 코팅 및 세라믹 기판을 포함하는 세라믹 물품에 대해 열처리 프로세스를 수행한다. 퍼니스는, 세라믹 물품이 특정된(specified) 온도 또는 온도 범위에 도달할 때까지, 분당 약 0.1 ℃ 내지 분당 약 20 ℃의 램핑 레이트로 세라믹 물품을 가열한다. 특정된 온도 범위는 약 1000 ℃로부터 약 1800 ℃ 까지 변화될 수 있고, 특정된 온도는 이러한 특정된 온도 범위 내의 온도일 수 있다. 퍼니스는, 약 24 시간까지의 지속기간 동안, 특정된 온도에서 및/또는 상기 온도 범위 내의 다른 특정된 온도들에서 세라믹 물품을 열처리한다. 이어서, 퍼니스는 세라믹 물품을 램핑 레이트로 냉각시킨다. 열처리 이후, 세라믹 물품은 감소된 표면 다공도 및 감소된 균열량을 갖는다.

[0008] 본 발명의 실시예들은, 세라믹 코팅과, 상기 세라믹 코팅이 전이 층의 형성을 통해 코팅하게 되는 세라믹 기판 사이의 결합의 강도를 증가시킨다. 본 발명의 실시예들은 또한, 프로세싱된 세라믹 물품 상의 세라믹 코팅의 표면 결함들을 감소시키고, 다공도를 감소시키고, 균열량을 감소시킨다. 실시예들은 또한, 프로세싱된 세라믹 코팅들의 표면 거칠기를 감소시킬 수 있고, 세라믹 코팅들 상의 표면 입자들을 최소화할 수 있다. 그러한 열처리된 세라믹 코팅들은 감소된 개수의 고에너지 결합들(파괴된 결합들)을 가지며, 그리고 플라즈마들을 적용하는 반도체 프로세스들(예를 들어, 플라즈마 에칭 및 플라즈마 세정 프로세스들)에서 사용될 때, 상당히 더 적은 양의 입자 오염을 생성할 수 있다. 부가적으로, 열처리된 세라믹 코팅의 감소된 다공도 및 감소된 균열은, 세라믹 코팅을 침투하여 하부(underlying) 기판과 반응하는 프로세스 가스의 양을 감소시킨다. 부가적으로, 세라믹 코팅과 세라믹 기판 사이의 전이 층(또한, 본원에서는 계면 전이 층(interfacial transition layer)으로서 지칭됨)의 형성은, 코팅을 침투하는 프로세스 화학물질(chemistry)이 하부 기판과 반응하는 것을 막는다. 이는 박

리의 발생을 최소화할 수 있다. 전이 층은 세라믹 코팅의 접착 강도를 증가시킬 수 있고, 벗겨짐(peeling)을 최소화할 수 있다. 예를 들어, 에칭기 머신들을 위한 세라믹 코팅된 덮개들 및 노즐들을 열처리하여, 플라즈마 에칭 프로세스들 동안 도입되는 입자 오염 및/또는 벗겨짐을 최소화할 수 있다. 따라서, 본원에서 설명되는 열처리된 세라믹 물품들을 이용하여 제조되는 반도체들은, 보다 낮은 결함 카운트를 가질 수 있으며, 감소된 스크랩 레이트(scrap rate)들을 초래할 수 있다.

[0009] 본원에서 이용되는 "열처리한다(heat treating)"라는 용어는, 이를 테면 퍼니스에 의해, 세라믹 물품에 높은 온도를 인가하는 것을 의미한다. 본원에서 "약"이라는 용어가 사용될 때, 이는 제시된 명목상의(nominal) 값이 ±10% 이내에서 정확함을 의미하는 것으로 의도된다.

[0010] 일부 실시예들은 본원에서, 열처리를 수행하기 위해 퍼니스를 이용하는 것과 관련하여 설명된다. 그러나, 다른 열처리 기술들이 또한, 설명된 열처리를 수행하는 데에 이용될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 이용될 수 있는 부가적인 열처리 기술들의 일부 예들에는, 레이저 표면 처리(또한 레이저 열처리로서 지칭됨), 전자 빔(e-빔) 표면 처리(또한 e-빔 열처리로서 지칭됨), 화염(flame) 표면 처리(또한 화염 열처리로서 지칭됨), 및 고온 플라즈마 처리가 포함된다.

[0011] 또한, 일부 실시예들은 반도체 제조를 위한 플라즈마 에칭기들에서 이용되는 세라믹 코팅된 덮개들 및 세라믹 코팅된 노즐들과 관련하여 본원에서 설명된다는 것을 주목한다. 그러나, 이러한 플라즈마 에칭기들은 또한, MEMS(micro-electro-mechanical systems) 디바이스들을 제조하는 데에 이용될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 부가적으로, 본원에서 설명되는 열처리된 세라믹 물품들은, 플라즈마에 노출되는 다른 구조들일 수 있다. 예를 들어, 세라믹 물품들은, 플라즈마 에칭기, 플라즈마 세정기, 및 플라즈마 추진(propulsion) 시스템 등의 세라믹 코팅된 링들, 벽들, 베이스들, 가스 분배 플레이트들, 샤워 헤드들, 기판 유지 프레임들 등일 수 있다.

[0012] 또한, 본원에서는, 플라즈마 풍부 프로세스(plasma rich process)들을 위한 프로세스 챔버 내에서 사용될 때에 입자 오염이 감소되게 하는 세라믹 물품들과 관련하여 실시예들이 설명된다. 그러나, 본원에서 논의되는 세라믹 물품들은 또한, 이를 테면 비-플라즈마 에칭기들, 비-플라즈마 세정기들, 화학 기상 증착(CVD) 챔버들, 물리 기상 증착(PVD) 챔버들, 플라즈마 강화 화학 기상 증착(PECVD) 챔버들, 플라즈마 강화 물리 기상 증착(PEPVD) 챔버들, 및 플라즈마 강화 원자층 증착(PEALD) 챔버들 등과 같은, 다른 프로세스들을 위한 프로세스 챔버들에서 이용될 때, 감소된 입자 오염을 제공할 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0013] 도 1a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 제조 시스템의 예시적인 아키텍처를 도시한다. 제조 시스템(100)은 세라믹들 제조 시스템일 수 있다. 일 실시예에서, 제조 시스템(100)은 퍼니스(105)(예를 들어, 킬른(kiln)과 같은 세라믹 퍼니스), 장비 자동화 층(115) 및 컴퓨팅 디바이스(120)를 포함한다. 대안적인 실시예들에서, 제조 시스템(100)은 더 많거나 또는 더 적은 구성요소들을 포함할 수 있다. 예를 들어, 제조 시스템(100)은, 수동의 오프-라인 머신(manual off-line machine)일 수 있는 퍼니스(105) 만을 포함할 수 있다.

[0014] 퍼니스(105)는 세라믹 물품들과 같은 물품들을 가열하도록 설계된 머신이다. 퍼니스(105)는, 내부에 삽입되는 물품들(예를 들어, 세라믹 물품들) 상에 제어된 온도를 인가할 수 있는, 열적으로 단열된(thermally insulated) 챔버, 또는 오븐(oven)을 포함한다. 일 실시예에서, 챔버는 밀폐식으로(hermitically) 밀봉된다. 퍼니스(105)는, 챔버 외부로 공기를 펌핑하기 위한, 그에 따라 챔버 내에 진공을 생성하기 위한 펌프를 포함할 수 있다. 부가적으로 또는 대안적으로, 퍼니스(105)는, 챔버 내로 가스들(예를 들어, Ar 또는 N_2 와 같은 비활성 가스들)을 펌핑하기 위한 가스 유입구를 포함할 수 있다.

[0015] 퍼니스(105)는, 세라믹 물품들의 프로세싱 동안 기술자에 의해 수동으로 셋팅되는 온도 제어기를 갖는 수동 퍼니스일 수 있다. 퍼니스(105)는 또한, 프로세스 레시피로 프로그래밍될 수 있는 오프-라인 머신일 수 있다. 프로세스 레시피는 램핑업 레이트(ramp up rate)들, 램핑다운 레이트(ramp down rate)들, 프로세스 시간(process times), 온도들, 압력, 및 가스 유동들 등을 제어할 수 있다. 대안적으로, 퍼니스(105)는, 장비 자동화 층(115)을 통해, 개인용 컴퓨터들, 서버 머신들 등과 같은 컴퓨팅 디바이스들(120)로부터 프로세스 레시피들을 수신할 수 있는 온-라인의 자동화된 퍼니스일 수 있다. 장비 자동화 층(115)은, 퍼니스(105)를 컴퓨팅 디바이스들(120)과 상호연결하고, 다른 제조 머신들과 상호연결하고, 계측 툴들 및/또는 다른 디바이스들과 상호연결할 수 있다.

[0016] 장비 자동화 층(115)은 네트워크(예를 들어, 근거리 네트워크(LAN)), 라우터들, 게이트웨이들, 서버들, 및 데이터 저장부들 등을 포함할 수 있다. 퍼니스(105)는, SECS/GEM(SEMI Equipment Communications Standard/Generic Equipment Model) 인터페이스를 통해, 이더넷 인터페이스를 통해, 및/또는 다른 인터페이스들

을 통해, 장비 자동화 층(115)에 연결될 수 있다. 일 실시예에서, 장비 자동화 층(115)은, 프로세스 데이터(예를 들어, 프로세스 실행 동안 퍼니스(105)에 의해 수집되는 데이터)가 데이터 저장부(미도시)에 저장될 수 있게 한다. 대안적인 실시예에서, 컴퓨팅 디바이스(120)는 퍼니스(105)에 직접적으로 연결된다.

[0017] 일 실시예에서, 퍼니스(105)는, 프로세스 레시피들을 로딩, 저장 및 실행할 수 있는 프로그램가능 제어기를 포함한다. 프로그램가능 제어기는, 열처리 프로세스들의 온도 설정들, 가스 및/또는 진공 설정들, 시간 설정들 등을 제어할 수 있다. 프로그램가능 제어기는 챔버 가열(heat up)을 제어할 수 있고, 온도를 램핑다운 및 램핑업시킬 수 있고, 다중-스텝의 열처리가 단일 프로세스로서 입력될 수 있게 하는 등등을 할 수 있다. 프로그램가능 제어기는, 메인 메모리(예를 들어, 판독 전용 메모리(ROM), 플래시 메모리, 다이내믹 랜덤 액세스 메모리(DRAM), 스태틱 랜덤 액세스 메모리(SRAM) 등), 및/또는 보조 메모리(예를 들어, 디스크 드라이브와 같은 데이터 저장 디바이스)를 포함할 수 있다. 메인 메모리 및/또는 보조 메모리는 본원에서 설명되는 열처리 프로세스들을 수행하기 위한 명령들을 저장할 수 있다.

[0018] 프로그램가능 제어기는 또한, 명령들을 실행시키기 위해 (예를 들어, 버스를 통해서) 메인 메모리 및/또는 보조 메모리에 결합되는 프로세싱 디바이스를 포함할 수 있다. 프로세싱 디바이스는, 이를 테면 마이크로프로세서, 또는 중앙 프로세싱 유닛 등과 같은 범용 프로세싱 디바이스일 수 있다. 프로세싱 디바이스는 또한, 이를 테면 주문형 집적회로(ASIC), 필드 프로그램가능 게이트 어레이(FPGA), 디지털 신호 프로세서(DSP), 네트워크 프로세서 등과 같은 특수 목적 프로세싱 디바이스일 수 있다. 일 실시예에서, 프로그램가능 제어기는 프로그램가능 논리 제어기(PLC)이다.

[0019] 일 실시예에서, 퍼니스(105)는, 그 퍼니스(105)로 하여금 도 1b와 관련하여 설명되는 열처리 프로세스를 이용하여 세라믹 물품을 열처리하게 할 레시피를 실행하도록 프로그래밍된다.

[0020] 도 1b는 본 발명의 일 실시예에 따른, 세라믹 물품을 열처리하기 위한 프로세스(150)를 나타내는 흐름도이다. 프로세스(150)의 블록(155)에서, 세라믹 물품이 (예를 들어, 퍼니스 또는 킬른에) 제공된다. 일 실시예에서, 세라믹 물품은 로더(loader)에 의해 퍼니스 내로 자동적으로 로딩된다. 세라믹 물품은, 적어도 하나의 표면 상에서 세라믹 코팅으로 코팅된 세라믹 기판을 포함한다. 일 실시예에서, 세라믹 물품은, 플라즈마 에칭기 또는 플라즈마 세정기를 위한 세라믹 덮개, 세라믹 노즐, 또는 다른 프로세스 챔버 엘리먼트이다. 세라믹 물품은 이트리아 우세(yttria dominant) 세라믹 코팅을 가질 수 있다. 이트리아 우세 세라믹들은, 이트리아 산화물들의 우수한 플라즈마 내성 특성들로 인해 이용될 수 있다. 세라믹 물품은 또한, 높은 온도들 및/또는 열적 응력으로 인한 균열에 대한 내성 및 큰 굽힘 강도(flexural strength)와 같은 양호한 기계적 특성들을 갖는 세라믹 기판을 가질 수 있다.

[0021] 세라믹 기판은, 세라믹 코팅으로 코팅되기 전에, 가공될(machined) 수 있다. 부가적으로, 세라믹 기판을 코팅한 이후, 세라믹 코팅이 가공될 수 있다. 가공(machining)의 예들에는, 표면 연마, 폴리싱, 드릴링, 삭마(abrading), 컷팅, 비드 브래스팅(bead blasting), 또는 머신 툴들을 이용한 다른 프로세싱이 포함된다. 일 실시예에서, 세라믹 코팅이 세라믹 기판 위에 형성된 후, 세라믹 코팅은 폴리싱된다. 이는 많은 양의 입자들을 초래할 수 있는 바, 그러한 입자들은 세라믹 코팅의 균열부들, 기공들 및 다른 표면 결함들 내에 포획될(trapped) 수 있다.

[0022] 세라믹 기판은, Y_2O_3, $Y_4Al_2O_9$, Al_2O_3, $Y_3Al_5O_{12}$(YAG), 석영, SiC, Si_3N_4, AlN, ZrO_2 등과 같은 벌크 세라믹(bulk ceramic)으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 세라믹 기판은, 세라믹 코팅과 관련하여 하기에서 설명되는 세라믹들 중 임의의 세라믹의 벌크 소결된 형태일 수 있다. 기판은 또한, Al_2O_3-YAG 세라믹 복합체(ceramic composite) 또는 SiC-Si_3N_4 세라믹 복합체와 같은 세라믹 복합체일 수 있다. 세라믹 기판은 또한, 이트륨 산화물(또한 이트리아 및 Y_2O_3 로서 공지됨) 함유 고용체(yttrium oxide containing solid solution)를 포함하는 세라믹 복합체일 수 있다. 예를 들어, 세라믹 기판은, 화합물 $Y_4Al_2O_9$(YAM) 및 고용체 $Y_{2-x}Zr_xO_3$(Y_2O_3-ZrO_2 고용체)로 이루어진 고성능 재료(HPM)일 수 있다. 순수한 이트륨 산화물뿐만 아니라 이트륨 산화물 함유 고용체들은, ZrO_2, Al_2O_3, SiO_2, B_2O_3, Er_2O_3, Nd_2O_3, Nb_2O_5, CeO_2, Sm_2O_3, Yb_2O_3, 또는 다른 산화물들 중 하나 또는 그 초과로 도핑될 수 있음이 주목된다.

[0023] 세라믹 기판과 유사하게, 세라믹 코팅은 Y_2O_3(이트리아), $Y_4Al_2O_9$(YAM), Al_2O_3(알루미나), $Y_3Al_5O_{12}$(YAG), 석영, $YAlO_3$(YAP), SiC(실리콘 카바이드), Si_3N_4(실리콘 질화물), AlN(알루미늄 질화물), ZrO_2(지르코니아), AlON(알루

미늄 산질화물), TiO_2(티타니아), TiC(티타늄 카바이드), ZrC(지르코늄 카바이드), TiN(티타늄 질화물), TiCN(티타늄 탄소 질화물), 및 Y_2O_3 안정화된(stabilized) ZrO_2(YSZ) 등으로 형성될 수 있다. 또한, 세라믹 기판과 유사하게, 세라믹 코팅은, ZrO_2, Al_2O_3, SiO_2, B_2O_3, Er_2O_3, Nd_2O_3, Nb_2O_5, CeO_2, Sm_2O_3, Yb_2O_3, 또는 다른 산화물들 중 하나 또는 그 초과로 도핑될 수 있는 이트륨 산화물 함유 고용체들 또는 순수한 이트륨 산화물일 수 있다. 일 실시예에서, 세라믹 코팅은 HPM 복합체이다. 그러나, 세라믹 코팅은 세라믹 기판 상에 세라믹 코팅을 분무(spraying)시키거나 성장(growing)시킴으로써 형성되며, 그리고 세라믹 기판은 소결 프로세스(sintering process)에 의해 형성될 수 있다.

[0024] 일 실시예에서, 세라믹 코팅은, 열적 분무 기술 또는 플라즈마 분무 기술(plasma sprayed technique)을 이용하여 세라믹 기판 상에 증착된 이트륨 산화물 함유 세라믹(yttrium oxide containing ceramic)이다. 열적 분무 기술은, 재료들(예를 들어, 세라믹 분말들)을 용융시키고 용융된 재료들을 세라믹 기판 상에 분무할 수 있다. 열적으로 분무된 세라믹 코팅은 약 20 마이크로미터 내지 약 몇 밀리미터의 두께를 가질 수 있다.

[0025] 일 실시예에서, 세라믹 코팅은 세라믹 기판 상에 플라즈마 분무된다. 대안적으로, 폭발 분무(detonation spraying), 와이어 아크 분무(wire arc spraying), 고속 산소 연료(HVOF) 분무, 화염 분무, 온난(warm) 분무 및 저온(cold) 분무와 같은 다른 열적 분무 기술들이 이용될 수 있다. 부가적으로, 에어로졸 증착, 전기도금, 물리 기상 증착(PVD), 이온 보조형 증착(IAD), 및 화학 기상 증착(CVD)과 같은 다른 코팅 프로세스들을 이용하여, 세라믹 코팅을 형성할 수 있다. 명백하게는, 세라믹 코팅 프로세스는, 기공들, 균열들, 및 불완전한 결합(bonding)의 영역들과 같은 작은 공극(void)들을 갖는 세라믹 코팅을 생성할 수 있다. 세라믹 코팅은, (예를 들어, 세라믹 기판과 같은) 벌크 세라믹 재료들의 구조적인 특성들과 상당히 다른 구조적인 특성들을 가질 수 있다.

[0026] 일 실시예에서, 세라믹 코팅은 Y_2O_3 분말로부터 생성된다. 대안적으로, 세라믹 코팅은, Y_2O_3 분말, ZrO_2 분말 및 Al_2O_3 분말의 혼합물로부터 생성되는 HPM 세라믹 복합체일 수 있다. 일 실시예에서, HPM 세라믹 복합체는 77% Y_2O_3, 15% ZrO_2 및 8% Al_2O_3 를 포함한다. 다른 실시예에서, HPM 세라믹 복합체는 63% Y_2O_3, 23% ZrO_2 및 14% Al_2O_3 를 포함한다. 또 다른 실시예에서, HPM 세라믹 복합체는 55% Y_2O_3, 20% ZrO_2 및 25% Al_2O_3 를 포함한다. 상대적인 백분율들은 몰비(molar ratios)로 이루어질 수 있다. 예를 들어, HPM 세라믹은 77 mol% Y_2O_3, 15 mol% ZrO_2 및 8 mol% Al_2O_3 를 포함할 수 있다. 이러한 세라믹 분말들의 다른 분포들이 또한 HPM 재료에 대해 이용될 수 있다.

[0027] 세라믹 코팅은 초기에, 약한 접착 강도(예를 들어, 약 3 메가 파스칼(MPa))를 가질 수 있다. 이는, 시간의 경과 후에 (예를 들어, 플라즈마 풍부 프로세스들에서 세라믹 물품을 이용한 결과로서) 세라믹 코팅이 세라믹 기판으로부터 박리되거나 벗겨지게 할 수 있다. 부가적으로, 세라믹 코팅은 초기 다공도 및 초기 균열량을 가질 수 있다. 이러한 기공들 및 균열들은, 프로세싱 동안, 프로세스 가스들 및 세정 화학물질들이 세라믹 코팅을 침투하여 하부의 세라믹 기판과 반응할 수 있게 한다. 이러한 반응들은 세라믹 코팅 아래에 가스들, 수분, 또는 상이한 재료를 생성할 수 있는데, 그러한 생성은 세라믹 코팅 아래에 블리스터(blister)들을 도입할 수 있다. 이러한 블리스터들은, 추가적으로, 세라믹 코팅이 세라믹 기판으로부터 분리되게 할 수 있다. 그러한 분리는 프로세싱되는 재료(예를 들어, 프로세싱되는 웨이퍼들) 상에서의 입자 오염의 양이 증가되게 할 수 있다. 부가적으로, 블리스터들, 균열들 및 기공들(뿐만 아니라 다른 표면 결함들) 자체는, 심지어 벗겨짐이 없는 경우에도, 프로세싱된 기판들에 대해 입자 오염을 유발할 수 있다.

[0028] 하나의 예에서, 세라믹 코팅 내의 기공들, 균열들, 공극들 및 다른 표면 결함들은, 고 에너지 위치들인 파괴된(broken)(또는 개방된) 결합들을 포함할 수 있다. 이러한 표면 결함들은 입자들을 포획할 수 있다. 예를 들어, 입자들은 표면 결함에서 세라믹 물품과 약한 파괴된 결합(weak broken bond)들을 형성할 수 있다. 플라즈마 처리 동안, 플라즈마는 이러한 약한 파괴된 결합들을 파괴하고, 세라믹 코팅으로부터 입자들의 일부를 제거할 수 있다. 이어서, 프로세싱된 기판 상에 세라믹 입자들이 증착될 수 있다. 또한, 플라즈마는, 결함 사이트들에서, 기공들에서, 균열들 등에서, 세라믹 물품의 결합들을 파괴할 수 있는데, 그러한 파괴는 세라믹 코팅을 부식시킬 수 있으며 그리고 부가적인 입자들이 생성되게 할 수 있다.

[0029] 블록(160)에서, 세라믹 물품은 분당 약 0.1 ℃ 내지 약 20 ℃의 램핑 레이트로 가열된다. 세라믹 물품들은 깨지기 쉬우며(fragile), 극심한(extreme) 온도 변화들에 노출될 때 균열될 수 있다. 따라서, 세라믹 물품이 균열되는 것을 방지할 수 있을 정도로 충분히 느린 램핑 레이트가 이용된다. 일부 세라믹들에 대해서는, 분당 20

℃ 초과의 램핑 레이트가 가능할 수 있음이 예상된다. 따라서, 일부 실시예들에서, 균열을 유발하지 않는, 분당 20 ℃를 초과하는 램핑 레이트들이 이용될 수 있다.

[0030] 세라믹 물품의 균열을 유발하는 온도 변화들은 세라믹 물품의 조성(composition)에 의존할 수 있다. 예를 들어, Al_2O_3 는, 균열 없이 분당 10 ℃ 또는 그 초과의 레이트로 가열될 수 있다. 그러나, Y_2O_3 는, 분당 약 5 ℃ 보다 더 빠른 램핑 레이트로 가열되는 경우, 균열될 수 있다. 일 실시예에서, 분당 약 0.1-5 ℃의 램핑 레이트가, Y_2O_3 및 HPM 세라믹 복합체의 세라믹 코팅들에 대해 이용된다. 추가적인 실시예에서, 분당 약 5 ℃ 의 램핑 레이트가, Y_2O_3 및 HPM 세라믹 복합체로 이루어진 세라믹 코팅들에 대해 이용된다. 전형적으로, 세라믹 물품은 주위 온도(ambient temperature)에서 또는 거의 주위 온도에서 시작할 것이며, 미리 결정된 온도까지 램핑 레이트로 천천히 가열될 것이다.

[0031] 세라믹 물품은, 특정된 온도 또는 온도 범위에 도달할 때까지 가열된다. 특정된 온도는 약 1000 ℃ 내지 약 1800 ℃ 범위가 될 수 있다. 이용되는 특정된 온도는, 세라믹 물품의 조성 또는 전이 층에 대한 특정된 타겟 두께에 의존할 수 있다. 일 실시예에서, 1400-1500 ℃ 의 온도가, 알루미나 기판 및 HPM 세라믹 코팅 또는 이트리아(Y_2O_3) 세라믹 코팅을 갖는 세라믹 물품에 대해 이용된다.

[0032] 블록(165)에서, 세라믹 물품은, 24 시간까지의 지속기간 동안, 특정된 온도에서 또는 온도 범위 내의 하나 또는 그 초과의 온도들에서 열처리된다. 이용되는 특정 지속기간은, 세라믹 물품의 조성뿐만 아니라, 세라믹 물품의 요구되는 성능 특성들에 의존할 수 있다. 예를 들어, 특정 지속기간은 전이 층에 대한 타겟 두께에 의존할 수 있다.

[0033] 상기 논의된 바와 같이, 세라믹 코팅은 많은 수의 표면 결함들 및 이러한 표면 결함들에 의해 포획되는 입자들을 가질 수 있다. 열처리는 이러한 결함들 및/또는 입자들을 감소시키거나 제거할 수 있다. 구체적으로, 열처리는, 입자들이 용융되게 할 수 있고 및/또는 세라믹 코팅의 일부가 표면 결함 영역들에서 용융되게 할 수 있다. 용융된 입자들은 표면 결함 영역들에서 세라믹 코팅과 함께 유동할 수 있다. 이어서, 용융된 입자들은 세라믹 코팅 상에 재증착될 수 있으며 그리고 이러한 표면 결함 영역들에서 세라믹 코팅과 비파괴 결합(unbroken bond)들을 형성할 수 있다. 결과적인 비파괴 결합들은, 이전에 세라믹 코팅에 입자들을 결합시켰던, 파괴된 결합들 보다 훨씬 더 강하다. 그에 따라, 입자들은 플라즈마 에칭 프로세스 동안 세라믹 코팅으로부터 제거되는 것에 대해 훨씬 덜 민감해지며, 결함 영역들은 부식에 대해 덜 민감해진다.

[0034] 부가적으로, 세라믹 코팅은 전형적으로, 비교적 큰 다공도 및 비교적 많은 양의 균열을 갖는다. 열처리는 기공들 및 균열들이 축소 및/또는 제거되게 할 수 있다. 기공들 및 균열들은, 상기 논의된 것과 동일한, 세라믹 코팅의 용융 및 재증착에 기초하여, 축소되거나 제거될 수 있다. 예를 들어, 기공 또는 균열에서의 세라믹 코팅은 용융된 다음 재증착될 수 있으며, 그에 따라 기공 또는 균열을 충진 및/또는 치유할(healing) 수 있다.

[0035] 일 실시예에서, 세라믹 코팅 및 세라믹 기판이 열처리 프로세스 동안 반응하여 전이 층을 형성한다. 전이 층은, 열에 노출될 때 반응하게 될 재료들로 세라믹 코팅 및 세라믹 기판이 이루어지는 경우에, 형성될 수 있다. 예를 들어, 만약 세라믹 기판이 Al_2O_3 이고 그리고 세라믹 코팅이 HPM 세라믹 복합체라면, 세라믹 코팅 및 세라믹 기판이 열처리 동안 반응하여 YAG 전이 층을 형성할 것이다. 다른 예에서, 만약 세라믹 기판이 Al_2O_3 이고 그리고 세라믹 코팅이 Y_2O_3 라면, 세라믹 코팅 및 세라믹 기판이 열처리 동안 반응하여 YAG 전이 층을 형성할 수 있다. 세라믹 코팅 재료들 및 세라믹 기판 재료들의 다른 조합들은 다른 전이 층들을 형성할 것이다.

[0036] 명백하게는, 전이 층은 비-반응성 및 비-다공성 층일 수 있다. 따라서, 열처리된 세라믹 물품을 이용하는 후속 프로세싱 동안, 프로세스 가스들이 세라믹 기판을 침투할 수는 있지만, 전이 층을 침투하지는 못할 것이다. 그에 따라, 전이 층은, 프로세스 가스들이 세라믹 기판과 반응하는 것을 방지할 수 있다. 이는 블리스터링(blistering)을 최소화하거나 방지할 수 있으며, 세라믹 코팅에 대한 벗겨짐 성능 및 접착 강도(결합 강도)를 개선할 수 있다.

[0037] 비록 전이 층이 많은 유리한 효과들을 갖기는 하지만, 전이 층이 너무 두껍게 되는 경우에는 이러한 전이 층이 문제가 될 수 있다. 일부 전이 층들은 세라믹 코팅 및/또는 세라믹 기판과 상이한 팽창 계수(coefficient of expansion)들을 가질 것이다. 그에 따라, 만약 전이 층이 임계 두께(예를 들어, 약 5 미크론) 보다 더 두껍다면, 전이 층은 후속 프로세싱 동안 세라믹 코팅 내로 균열을 도입할 수 있다. 예를 들어, HPM 세라믹 복합체 및 알루미나는 대략적으로 균등한 팽창 계수들을 갖지만, YAG의 전이 층은 HPM 세라믹 복합체 및 알루미나와 상이한 팽창 계수를 갖는다. 그에 따라, YAG 전이 층이 약 5 미크론(㎛) 보다 더 두꺼운 경우, YAG 전이 층의 팽

창 및 수축은 세라믹 코팅이 균열되게 할 수 있다.

[0038] 전이 층은, 온도 및 시간에 의존하는 레이트로 성장한다. 온도 및 열처리 지속기간이 증가함에 따라, 전이 층의 두께가 또한 증가된다. 따라서, 약 5 미크론 보다 더 두껍지 않은 전이 층을 형성하도록, 세라믹 물품을 열처리하기 위해 이용되는 온도(또는 온도들) 및 지속기간이 선택되어야 한다. 일 실시예에서, 약 0.1 미크론 내지 약 5 미크론의 전이 층이 형성되도록 온도 및 지속기간이 선택된다. 일 실시예에서, 전이 층은, 프로세싱 동안 가스가 세라믹 기판과 반응하는 것을 방지하기에 충분한 최소 두께(예를 들어, 약 0.1 미크론)를 갖는다. 일 실시예에서, 전이 층은 1-2 미크론의 타겟 두께를 갖는다.

[0039] 열처리는 또한, 세라믹 코팅의 입도(grain size)가 증가되게 한다. 온도 및 열처리 지속기간이 증가됨에 따라, 세라믹 코팅의 입도가 또한 증가된다. 입도의 증가는 보다 적은 그레인 바운더리(grain boundary)들을 초래한다. 그레인 바운더리들은, 세라믹의 그레인들 보다, 플라즈마에 의해 더 용이하게 부식된다. 그에 따라, 이러한 입도의 증가는, 후속 프로세싱 동안, 세라믹 코팅이 입자 오염을 덜 유발하는 경향이 있게 할 수 있다. 따라서, 열처리 온도 및 지속기간은, 세라믹 코팅에 대한 타겟 입도를 기초로 선택될 수 있다.

[0040] 알루미나 세라믹 기판 및 HPM 또는 이트리아의 세라믹 코팅의 경우, 약 3-6 시간의 열 처리 지속기간을 이용하여 1500 ℃의 열처리가 수행될 수 있다. 일 실시예에서, 열처리 지속기간은 HPM 세라믹 복합체 또는 이트리아의 세라믹 코팅에 대해 약 4 시간이다.

[0041] 일 실시예에서, 세라믹 물품은 열처리의 지속기간 동안 단일 온도로 유지된다. 대안적으로, 세라믹 물품은, 열처리 동안 온도 범위 내의 복수의 상이한 온도들로 가열 및/또는 냉각될 수 있다. 예를 들어, 세라믹 물품은 4 시간 동안 1500 ℃의 온도에서 열처리될 수 있고, 이어서 다른 2 시간 동안 1700 ℃의 온도로 열처리될 수 있고, 이어서 다른 3 시간 동안 1000 ℃에서 열처리될 수 있다. 복수의 상이한 열처리 온도들이 이용될 때, 세라믹 물품은 열처리 온도들 사이에서의 전이(transition)를 위해 램핑 레이트로 가열 및/또는 냉각될 수 있음이 주목된다.

[0042] 블록(170)에서, 세라믹 물품은 램핑 레이트로 냉각된다. 일 실시예에서, 세라믹 물품은, 세라믹 물품을 가열하기 위해 이용되는 램핑 레이트와 동일한 램핑 레이트로 냉각된다. 다른 실시예에서, 세라믹 물품을 가열하기 위해 이용되었던 램핑 레이트와 상이한 램핑 레이트를 이용하여, 세라믹 물품을 냉각한다. 결과적인 열처리된 세라믹 물품의 세라믹 코팅은, 프로세싱된 기판들의 입자 오염, 플라즈마 부식 내성, 접착 강도, 다공도, 균열들의 양 및 크기, 그리고 벗겨짐 내성(peeling resistance)과 관련하여 개선된 성능을 가질 수 있다. 부가적으로, 결과적인 열처리된 세라믹 물품은 세라믹 코팅과 세라믹 기판 사이에 전이 층을 가질 수 있다. 그에 따라, 세라믹 덮개들, 세라믹 노즐들, 프로세스 키트, 및 다른 세라믹 내부 프로세스 챔버 구성요소들이 프로세스(150)를 이용하여 열처리되어, 제조되는 제품들의 수율(yield)을 개선할 수 있다. 또한, 프로세스(150)가 적용되는 세라믹 물품들은 감소된 교체 빈도수를 가질 수 있으며, 그리고 장치 정지 시간(down time)을 줄일 수 있다.

[0043] 프로세스(150)는, 세라믹 코팅이 세라믹 기판 상에 형성된 이후, 세라믹 물품들에 대한 제조 프로세스의 일부로서 수행될 수 있음이 주목된다. 부가적으로, 이용되는 세라믹 물품들 상에서 프로세스(150)를 주기적으로 수행하여, 그러한 세라믹 물품들을 치유 또는 보수할 수 있다. 예를 들어, 세라믹 물품이 사용 전에 프로세스(150)를 이용하여 열처리될 수 있으며, 그런 다음, 몇 달마다, 1년에 한번, 1년에 2번, 또는 어떠한 다른 빈도수로 프로세스(150)를 이용하여 열처리될 수 있다. 프로세스(150)를 수행하는 빈도수는, 세라믹 물품과 함께 사용되는 플라즈마 에칭 및/또는 플라즈마 세정 레시피들에 의존할 수 있다. 예를 들어, 만약 세라믹 물품이 특히 거친(harsh) 플라즈마 분위기들에 빈번하게 노출된다면, 세라믹 물품은 증가된 빈도수로 열처리될 수 있다.

[0044] 플라즈마에 대한 노출은, 시간의 경과에 따라, 세라믹 코팅이 부식(erode) 및/또는 침식(corrode)되게 할 수 있다. 예를 들어, 플라즈마는 세라믹 코팅의 표면에서 파괴된 결합들이 발생되게 할 수 있고, 프로세싱된 기판들을 오염시킬 수 있는 세라믹 입자들을 생성할 수 있고, 세라믹 코팅의 표면에서 결함들을 유발할 수 있고, 세라믹 코팅이 세라믹 기판으로부터 벗겨지게 할 수 있으며, 기타 등등을 유발할 수 있다. 따라서, 세라믹 물품이 오래됨에 따라, 보다 많은 입자 오염이 유발될 가능성이 있다. 그러한 오래된(aged) 세라믹 물품들에 대해 열처리 프로세스(150)를 수행하여, 침식성 플라즈마 환경에 의해 유발되는 손상을 역으로 되돌릴(reverse) 수 있다. 열처리는, 새롭게 제조되는 세라믹 물품들에 부가하여, 사용된 세라믹 물품들에 대해 결함들을 치유하고 입자들을 감소시킬 수 있다. 따라서, 사용된 세라믹 물품들의 유효 수명을 연장하기 위해, 사용된 세라믹 물품들에 대해 프로세스(150)가 수행될 수 있다.

[0045] 표면 결함들을 치유하는 것 및 입자들을 최소화하는 것에 부가하여, 열처리 프로세스(150)는 또한 세라믹 물품들을 건식 세정(dry clean)하는 데에 이용될 수 있음이 주목된다. 플라즈마 환경들에 대한 노출은, 세라믹 물품의 표면 상에 폴리머들이 형성되게 할 수 있다. 이러한 폴리머들은 후속 프로세싱 동안 기판들 상에서의 입자 오염을 유발할 수 있다. 종종, 주기적인 습식 세정 절차를 수행하여, 세라믹 물품으로부터 폴리머들을 제거한다. 일 실시예에서, 열처리 프로세스(150)는 습식 세정 프로세스 대신 수행된다. 열처리 프로세스(150)는, 세라믹 물품을 코팅하는 폴리머들이 고온 환경에서 공기 또는 다른 가스와 반응하게 할 수 있다. 이러한 반응은, 폴리머가 기체 상태가 되게 하여 세라믹 물품의 표면을 떠나도록 유도할 수 있다. 그에 따라, 열처리 프로세스(150)는 세라믹 물품의 세정 및 세라믹 물품의 표면의 보수 모두를 위해 이용될 수 있다. 후속 열처리 프로세스들을 위해 이용되는 온도 및/또는 지속기간은, 초기 열처리 프로세스에 대해 이용된 온도 및/또는 지속기간과 상이할 수 있음이 주목된다.

[0046] 도 2a는 본 발명의 실시예들에 따른, 세라믹 코팅이 열처리를 이용하여 프로세싱되기 전의, 그리고 세라믹 물품이 열처리를 이용하여 프로세싱된 이후의 세라믹 코팅의 현미경 사진들(202-216)을 나타낸다. 현미경 사진들(202-216)에 나타난 세라믹 코팅은 $Y_4Al_2O_9$ 및 $Y_{2-x}Zr_xO_3$ 를 갖는 HPM 세라믹 복합체이다.

[0047] 현미경 사진(202)은 열처리 이전의 세라믹 물품의 샘플을 나타낸다. 현미경 사진(204)은 현미경 사진(202)에 나타낸 영역(208)을 확대한(zoomed) 도면을 나타낸다. 영역(208)은 표면 결함들을 비교적 갖지 않는다. 현미경 사진(204)은 세라믹 코팅의 입도를 도시한다. 현미경 사진(206)은 현미경 사진(202)에 나타낸 영역(210)을 확대한 도면을 나타낸다. 영역(210)은 세라믹 코팅의 표면 결함들 및 표면 입자들을 도시한다.

[0048] 현미경 사진(212)은 열처리 이후의 현미경 사진(202)의 샘플을 나타낸다. 도시된 바와 같이, 열 처리의 결과로서, 표면 결함들의 양이 감소되었다. 현미경 사진(214)은 현미경 사진(212)에 나타낸 영역(218)의 확대된 도면을 나타낸다. 영역(218)은 표면 결함들 및 표면 입자들을 비교적 갖지 않는다. 현미경 사진(214)은, 현미경 사진(204)에 나타낸 입도 보다 더 큰, 세라믹 코팅의 입도를 도시한다. 현미경 사진(216)은 현미경 사진(212)에 나타낸 영역(220)의 확대된 도면을 나타낸다. 영역(220)은 세라믹 코팅의 표면 결함들을 도시한다. 그러나, 현미경 사진(216)에 나타낸 표면 결함들은, 현미경 사진(206)에 나타낸 표면 결함들 보다 덜 심각하며, 그리고 표면 입자들이 실질적으로 제거되었다.

[0049] 도 2b는 본 발명의 실시예들에 따른, 세라믹 코팅이 열처리를 이용하여 프로세싱되기 이전의, 그리고 세라믹 코팅이 다양한 온도들 및 처리 지속기간들에서의 열처리를 이용하여 프로세싱된 이후의, 세라믹 코팅의 표면을 4,000-배 확대한 부가적인 현미경 사진들(222-234)을 나타낸다. 현미경 사진(222)은 열처리 이전의 세라믹 코팅의 샘플을 나타낸다. 현미경 사진(224)은 1300 ℃의 온도에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅의 샘플을 나타낸다. 현미경 사진(226)은 1400 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅의 샘플을 나타낸다. 현미경 사진(228)은 1500 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅의 샘플을 나타낸다. 현미경 사진(234)은 1600 ℃의 온도에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅의 샘플을 나타낸다. 나타낸 바와 같이, 열 처리 시간이 고정된 상태에서의 온도의 증가들은, 균열들의 크기 및 개수가 감소되게 한다. 부가적으로, 온도의 증가들은, 기공들의 크기 및 개수가 감소되게 하고 (그에 따라, 다공도를 감소시킨다).

[0050] 현미경 사진(230)은 1300 ℃의 온도에서의 24 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅의 샘플을 나타낸다. 현미경 사진(232)은 1400 ℃의 온도에서의 24 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅의 샘플을 나타낸다. 나타낸 바와 같이, 4 시간을 초과하여 세라믹 코팅을 열처리하는 것은, 균열량 또는 다공도를 추가적으로 크게 감소시키지 않았다. 따라서, 일 실시예에서, 열처리 지속기간은 약 4 시간이다.

[0051] 도 2c는 본 발명의 실시예들에 따른, 세라믹 코팅이 프로세싱되기 이전의, 그리고 세라믹 코팅이 다양한 온도들 및 처리 지속기간들에서의 열처리들을 이용하여 프로세싱된 이후의, 세라믹 코팅의 표면을 20,000-배 확대한 부가적인 현미경 사진들(236-248)을 나타낸다. 현미경 사진(236)은 열처리 이전의 세라믹 코팅을 나타낸다. 현미경 사진(238)은 1300 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅을 나타낸다. 현미경 사진(240)은 1400 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅을 나타낸다. 현미경 사진(242)은 1500 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅을 나타낸다. 현미경 사진(248)은 1600 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅을 나타낸다. 현미경 사진(248)에 나타나는 입도는 현미경 사진(242)에 나타나는 입도 보다 크고, 현미경 사진(242)에 나타나는 입도는 현미경 사진(240)에 나타나는 입도 보다 크며, 기타 등등 마찬가지이다. 그에 따라, 열처리 온도의 증가들은 세라믹 코팅에 대한 입도의 증가를 유발한다.

[0052] 현미경 사진(244)은 1300 ℃에서의 24 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅을 나타낸다. 현미경 사진(246)은

1400 ℃에서의 24 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅을 나타낸다. 그에 따라, 열처리 지속기간의 증가들이 또한, 세라믹 코팅에 대한 입도의 증가를 유발한다. 세라믹 코팅의 입도는, 열처리 이전에는 처음에 나노-크기(nano-sized)일 수 있으며, 그리고 궁극적으로는 열처리로 인해 나노-크기 보다 더 크게 성장할 수 있다. 열처리에 대한 온도 및/또는 지속기간은 타겟 입도에 기초하여 선택될 수 있다. 처리 지속기간의 증가는, 현미경 사진들(244 및 246)에 나타낸 바와 같이, 불균일한 입도를 초래할 수 있다.

[0053] 도 2d는 본 발명의 실시예들에 따른, 세라믹 코팅이 프로세싱되기 이전의, 그리고 세라믹 코팅이 프로세싱된 이후의, 세라믹 코팅의 표면을 10,000-배 확대한 부가적인 현미경 사진들(250-256)을 나타낸다. 현미경 사진들(250 및 254)은, 열처리 이전에는 세라믹 코팅이 많은 수의 세라믹 입자들을 포함하고 있음을 나타낸다. 현미경 사진들(252 및 256)은, 열처리 이후에는 세라믹 입자들이 감소되거나 제거됨을 나타낸다. 일 실시예에서, 표면 입자 카운트는 약 93% 만큼 감소될 수 있다.

[0054] 도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른, 열처리 전후의 세라믹 물품의 횡단면적 측면도를 나타낸 현미경 사진들(302-304)을 도시한다. 현미경 사진(302)은, 세라믹 물품이 세라믹 기판(314) 및 상기 세라믹 기판(314) 위의 세라믹 코팅(310)을 포함하고 있음을 나타낸다. 도시된 세라믹 기판(314)은 알루미나이며, 그리고 도시된 세라믹 코팅(310)은 HPM 세라믹 복합체이다.

[0055] 현미경 사진(304)은, 세라믹 기판(314) 및 세라믹 코팅(310)을, 이러한 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이에 형성된 전이 층(312)과 함께 나타낸다. 도시된 전이 층은 약 1-2 미크론의 두께를 갖는다.

[0056] 전이 층의 원소 맵(elementary map)(308)이 또한 나타나있다. 원소 맵(308)은, EDX(energy dispersive X-ray spectroscopy)에 기초하여 전이 층(312)의 원소 분석을 제공할 수 있다. 원소 맵(308)은, 전이 층(312)이 탄소, 산소, 알루미늄 및 이트륨으로 구성됨을 나타낸다. 원소 맵(308)은, 전이 층(312) 내의 원소들의 원자 농도들이 대략적으로 18% 탄소, 46% 산소, 23% 알루미늄 및 13% 이트륨이라는 것을 추가적으로 나타낸다. 그에 따라, 전이 층(312)은 $Y_3Al_5O_{12}$(YAG)인 것으로 나타난다. 전이 층은 세라믹 기판에 대한 세라믹 코팅의 접착 강도를 상당히 개선할 수 있다.

[0057] 도 3b는 본 발명의 실시예들에 따른, 다양한 온도들 및 처리 지속기간들에서의 열처리 전후의, 세라믹 물품의 4,000-배 확대한 횡단면적 측면도들을 나타낸 현미경 사진들을 도시한다. 현미경 사진(320)은 열처리 이전의 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면을 나타낸다. 현미경 사진(322)은 1300 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면을 나타낸다. 현미경 사진(324)은 1400 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면을 나타낸다. 현미경 사진(326)은 1500 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면을 나타낸다. 현미경 사진(332)은 1600 ℃에서의 4 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면을 나타낸다. 현미경 사진(328)은 1300 ℃에서의 24 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면을 나타낸다. 현미경 사진(330)은 1300 ℃에서의 24 시간의 열처리 이후의 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면을 나타낸다.

[0058] 현미경 사진들(326, 330 및 332)에 나타낸 바와 같이, 특정 조건들 하에서의 열처리 동안 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이에 전이 층(312)이 형성된다. 1300 ℃의 열처리 온도에서는, 열처리 지속기간에 상관없이, 어떠한 전이 층도 형성되지 않을 수 있다. 1400 ℃의 열처리 온도에서, 4 시간의 프로세싱 이후에는 어떠한 전이 층도 검출가능하지 않지만, 24 시간의 프로세싱 이후에는 전이 층(312)이 검출가능할 수 있다. 1500 ℃ 및 1600 ℃의 열처리 온도들에서, 전이 층(312)은 4 시간의 프로세싱 이후에 검출가능할 수 있다.

[0059] 증가된 처리 온도들 및 증가된 처리 지속기간들에 대해, 더 두꺼운 전이 층이 형성되는 것으로 나타난다. 지속기간 보다, 온도가 전이 층 두께에 더 큰 영향을 미칠 수 있다. 나타낸 바와 같이, 4 시간의 지속기간 및 1500 ℃의 온도를 이용한 열처리가, 24 시간의 지속기간 및 1400 ℃의 온도를 이용한 열처리에 의해 생성되는 전이 층(312) 보다 약간 더 두꺼운 두께를 갖는 전이 층(312)을 생성할 수 있다.

[0060] 도 3c는 본 발명의 실시예들에 따른, 열처리 전후의 세라믹 물품의 20,000-배 확대한 횡단면적 측면도들을 나타낸 현미경 사진들(350-356)을 도시한다. 현미경 사진들(350 및 354)은 열처리 이전의 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면을 보여준다. 열처리 이전에 세라믹 기판(314)과 세라믹 코팅(310) 사이에 갭들(370)이 나타난다. 이러한 갭들은, 세라믹 기판(314)으로부터의 세라믹 코팅(310)의 미래의 박리에 기여할 수 있다. 현미경 사진들(352 및 356)은, 열처리 동안 세라믹 코팅(310)과 세라믹 기판(314) 사이의 계면에 전이 층(312)이 형성됨을 나타낸다. 부가적으로, 현미경 사진들(352 및 356)은, 열처리 이전에 존재하는 갭들(370)이

열처리의 결과로서 제거되거나 감소됨을 나타낸다. 이는 박리의 가능성을 감소시킬 수 있으며, 그리고 세라믹 기판(314)에 대한 세라믹 코팅(310)의 접착 또는 결합 강도를 개선할 수 있다.

[0061] 도 3d는 본 발명의 일 실시예에 따른, 열처리 전후의 HPM 세라믹 복합체 코팅의 상 조성 비교를 도시한다. 나타낸 바와 같이, 열처리는 세라믹 코팅 또는 세라믹 기판의 상 조성을 크게 변화시키지 않았다.

[0062] 세라믹 코팅의 표면 형태(surface morphology)는, 표면 거칠기 파라미터들 및/또는 표면 균일도 파라미터들을 이용하여 표현될 수 있다. 표면 형태는 또한, 다공도, 균열 및/또는 공극 파라미터들을 이용하여 표현될 수 있다. 다공도를 나타내는 측정된 파라미터들은, 기공 카운트 및/또는 평균 기공 크기를 포함할 수 있다. 유사하게, 공극들 및/또는 균열을 나타내는 측정된 파라미터들은, 평균 공극/균열 크기 및/또는 공극/균열 카운트를 포함할 수 있다.

[0063] 입자 카운트를 나타내는 측정된 파라미터들은, 테이프 벗겨짐(tape peel) 테스트 입자 카운트 및 액체 입자 카운트(liquid particle count, LPC)이다. 테이프 테스트는, 접착 테이프를 세라믹 코팅에 부착시키고, 테이프를 벗겨내고, 그리고 테이프에 부착되는 입자들의 개수를 카운팅함으로써, 수행될 수 있다. LPC는, 세라믹 물품을 워터 배스(water bath)(예를 들어, 탈이온(DI)수 배스) 내에 배치하고 워터 배스를 초음파 처리(sonicating)를 함으로써 결정될 수 있다. 이어서, 용액으로부터 떨어지는(come off) 입자들의 개수를, 예를 들어 레이저 카운터를 이용하여 카운트할 수 있다.

[0064] 접착 강도는, 세라믹 코팅이 세라믹 기판으로부터 벗겨질 때까지 세라믹 코팅에 힘을 가함으로써 결정될(예를 들어, 메가 파스칼로 측정됨) 수 있다. 일 실시예에서, 세라믹 코팅에 대한 접착 강도는, 열처리 이전에는 약 4 메가 파스칼(MPa)이고, 열처리 이후에는 약 12 MPa 이다. 그에 따라, 열처리 이후의 세라믹 기판에 대한 세라믹 코팅의 접착 강도는, 열처리 이전의 접착 강도 보다 약 3배 더 강할 수 있다.

[0065] 열 처리의 결과로서, 세라믹 코팅에 대한 접착 강도, 다공도, 균열 및 입자 카운트 값들이 개선될 수 있다. 부가적으로, 열처리의 결과로서, 입도가 증가될 수 있으며 그리고 경도는 감소될 수 있다. 실험적인 증거는 또한, 세라믹 코팅된 덮개들 및 세라믹 코팅된 노즐들에 의해 플라즈마 에칭 프로세스들 동안 야기되는 입자 오염의 양이 열처리의 결과로서 감소됨을 나타낸다. 실험적인 증거는 또한, 열처리의 결과로서, 세라믹 기판으로부터 세라믹 코팅이 벗겨지는 것이 감소됨을 나타낸다. 부가적으로, 열처리의 결과로서, 세라믹 코팅의 표면 거칠기가 감소된다.

[0066] 약 1200 ℃까지의 열처리들에 대해, 세라믹 코팅의 표면과 입자들 간의 상호작용은, 다음의 방정식에 따라서, 반데르발스 힘에 의해 지배될 수 있음이 주목된다:

수학식 1

[0067]
$$F = \frac{A}{12\pi H^2}$$

[0068] 여기서, F는 힘이고, A는 면적이고, H는 거리이다. 열처리 온도가 상온으로부터 약 500 ℃까지 증가함에 따라, 반데르발스 힘이 약해질 수 있으며, 열 팽창이 거리(H)의 증가를 유도할 수 있다. 열처리 온도가 500 ℃로부터 약 1200 ℃까지 증가함에 따라, 거리(H)의 감소들에 적어도 부분적으로 기인하여, 반데르발스 힘이 강해질 수 있다. 그러한 거리의 감소들은 변형들 및/또는 입자들을 흡수하는 기판 표면에 기인할 수 있다.

[0069] 약 1200 ℃ 내지 1800 ℃의 온도에서, 입자들과 세라믹 코팅 표면 사이에 액막(liquid film)이 형성될 수 있다. 약 1200 ℃ 내지 1500 ℃에서, 액막은 얇은 액막일 수 있으며, 그리고 약 1500 ℃ 내지 1800 ℃ 에서, 액막은 두꺼운 액막일 수 있다. 약 1800 ℃ 까지의 온도들에서, 입자들과 세라믹 코팅의 표면 사이의 상호작용은, 다음의 방정식에 따라서, 모세관력에 의해 액체를 통한 상호작용에 의해 지배될 수 있다:

수학식 2

[0070] $$F = 4\pi\gamma R\cos\theta$$

[0071] 여기서, F는 힘이고, γ는 액체-공기 표면 장력이고, R은 입자들과 기판 표면 사이의 계면의 유효 반경이고, Θ는 접촉각이다. 이러한 온도들에서, 입자들은 액체 내로 확산될 수 있으며, 상응하는 그레인 상에서 재성장될 수 있다. 이는, 세라믹 물품이 냉각된 이후에 조차도, 입자들이 기판 표면으로부터 제거되게 할 수 있다.

[0072] HPM 세라믹 복합체 및 이트리아에 대해, 소결 온도는 1800 ℃ 이다. 따라서, 약 1800 ℃ 또는 그 초과의 온도들에서, 분말들 사이에서 세라믹 코팅 내에 액상(liquid phase)이 형성된다. 이러한 분말들은 액체 내로 용융되어, 증가하는 크기의 그레인들로 성장할 수 있다. 평형에 도달할 때까지, 고에너지 그레인들로부터 저에너지 그레인들로 원자들이 확산될 수 있다. 따라서, 일 실시예에서, 열처리는 약 1800 ℃ 미만의 온도들에서 수행된다.

[0073] 상기 설명은, 본 발명의 몇몇 실시예들의 양호한 이해를 제공하기 위해, 특정 시스템들, 구성요소들, 방법들 등의 예들과 같은 수많은 구체적인 상세 내용들을 기술하였다. 하지만, 본 발명의 적어도 일부 실시예들은 이러한 구체적인 상세 내용들 없이도 수행될 수 있음이 당업자에게 자명할 것이다. 다른 경우들에서, 본 발명을 불필요하게 애매하게 하는 것을 막기 위해, 주지의 구성요소들 또는 방법들은 상세히 설명되지 않았거나, 또는 단순한 블록도 포맷으로 제시되었다. 그에 따라, 기술된 구체적인 상세 내용들은 단지 예시적인 것이다. 특정 구현예들은 이러한 예시적인 상세 내용들로부터 달라질 수 있으며, 여전히 본 발명의 범위 내에 있는 것으로 고려될 수 있다.

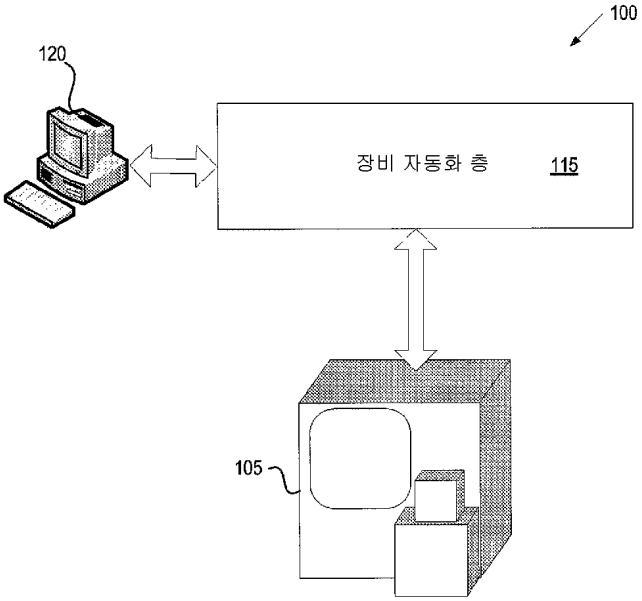
[0074] 본 명세서 전반을 통한 "일 실시예" 또는 "실시예"에 대한 언급은, 그 실시예와 관련되어 설명된 특정의 피쳐, 구조, 또는 특징이 적어도 하나의 실시예에 포함됨을 의미한다. 그에 따라, 본 명세서 전반을 통한 다양한 장소들에서의 "일 실시예에서" 또는 "실시예에서"라는 문구의 출현들이 반드시 모두 동일한 실시예를 언급하는 것은 아니다. 또한, "또는"이라는 용어는, 배타적인 "또는"이 아닌, 포괄적인 "또는"을 의미하도록 의도된다.

[0075] 비록 본원에서의 방법들의 동작들을 특정 순서로 나타내어 설명하였지만, 특정 동작들이 반대 순서로 수행될 수 있도록, 또는 특정 동작이, 적어도 부분적으로, 다른 동작들과 동시에 수행될 수 있도록, 각각의 방법의 동작들의 순서가 변경될 수 있다. 다른 실시예에서, 별개의(distinct) 동작들의 명령들 또는 하위-동작들은, 간헐적인(intermittent) 및/또는 교번적인(alternating) 방식으로 이루어질 수 있다.

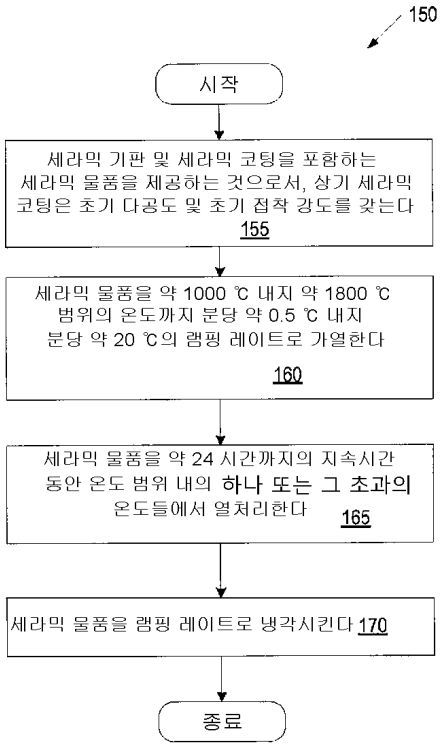
[0076] 상기 설명은, 제한적인 것이 아닌, 예시적인 것으로서 의도됨을 이해해야 한다. 상기 설명을 읽고 이해할 때, 많은 다른 실시예들이 당업자에게 자명할 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는, 첨부된 청구항들을 참조하여, 그러한 청구항들에 권한이 부여된(entitled) 균등물들의 전체 범위와 함께 결정되어야 한다.

도면

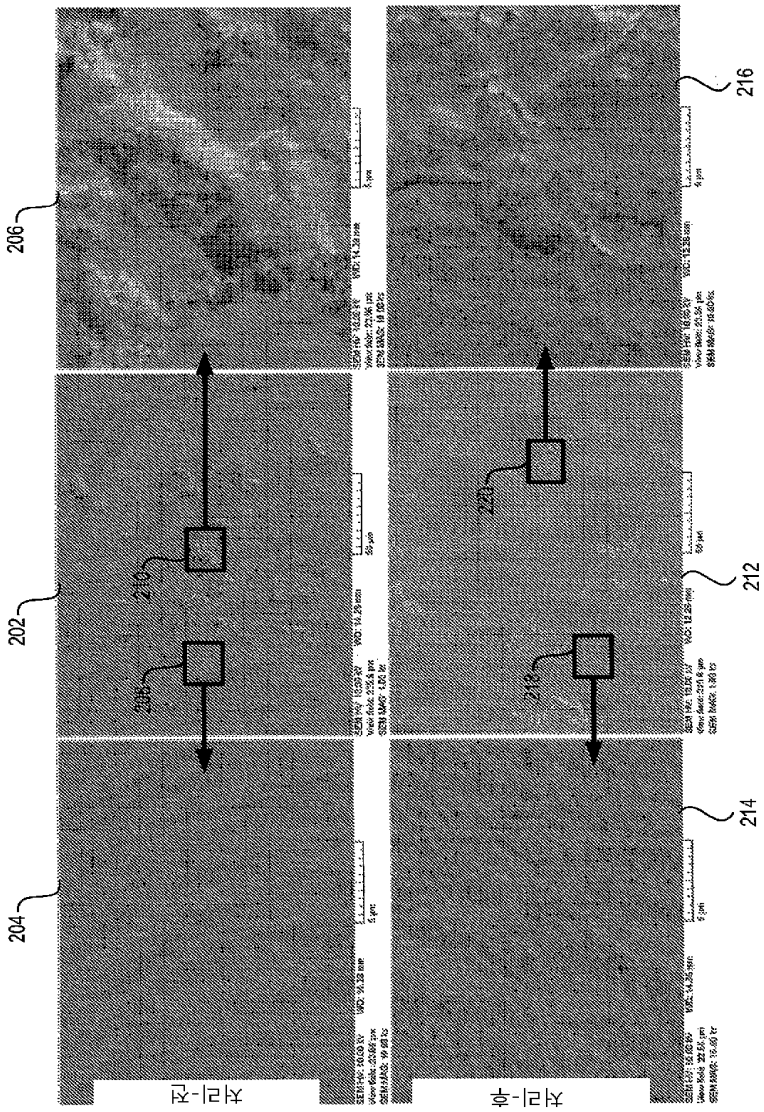
도면1a


100
120
장비 자동화 층
115
105

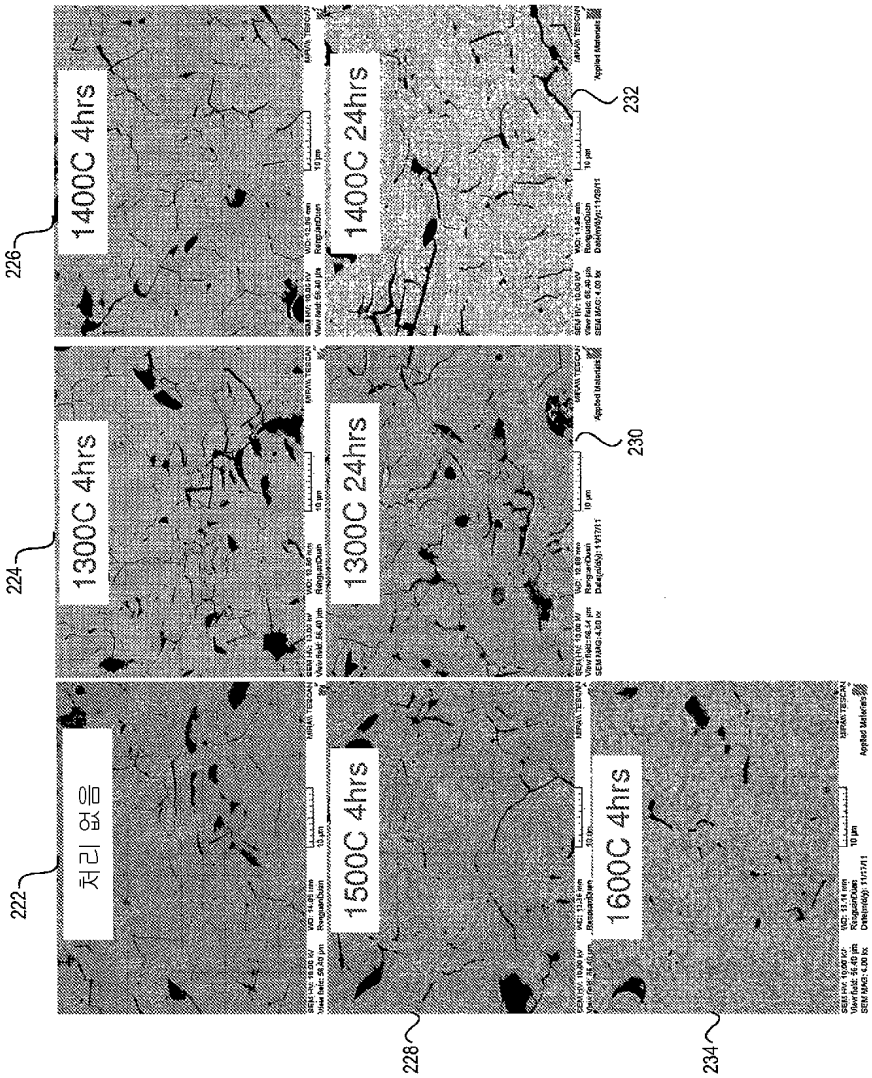
도면1b


150
시작
세라믹 기판 및 세라믹 코팅을 포함하는 세라믹 물품을 제공하는 것으로서, 상기 세라믹 코팅은 초기 다공도 및 초기 접착 강도를 갖는다 155
세라믹 물품을 약 1000 ℃ 내지 약 1800 ℃ 범위의 온도까지 분당 약 0.5 ℃ 내지 분당 약 20 ℃의 램핑 레이트로 가열한다 160
세라믹 물품을 약 24 시간까지의 지속시간 동안 온도 범위 내의 하나 또는 그 초과의 온도들에서 열처리한다 165
세라믹 물품을 램핑 레이트로 냉각시킨다 170
종료

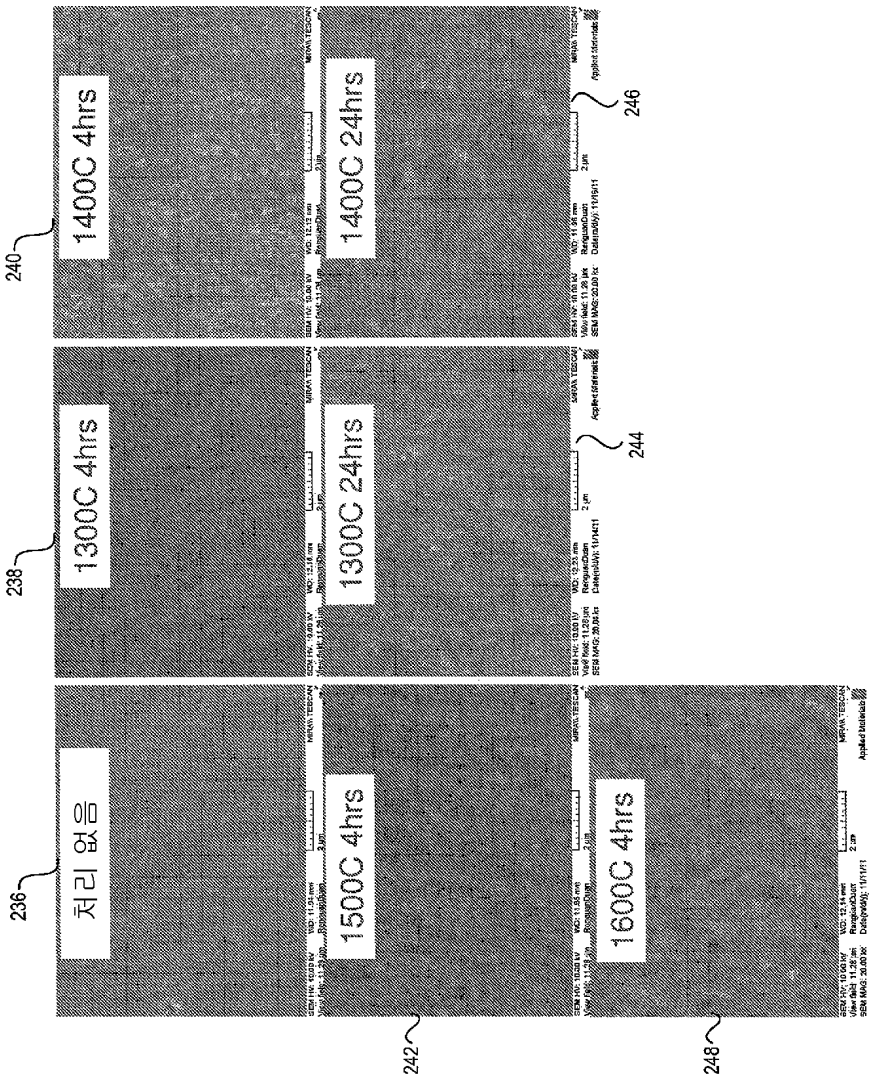
도면2a



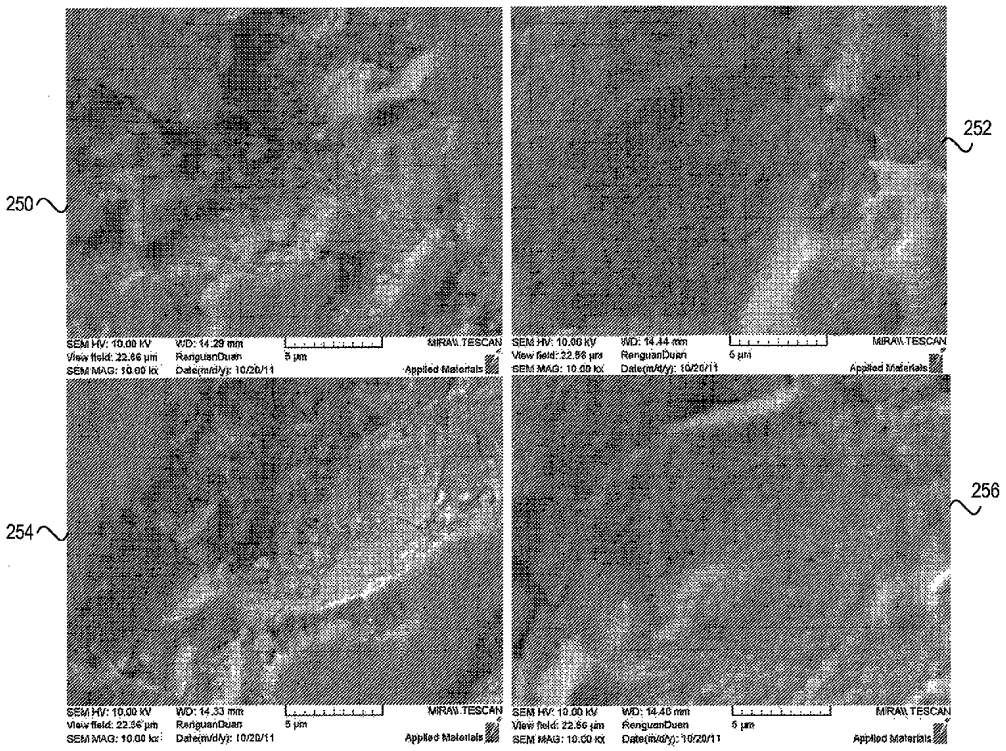
도면2b


처리 없음
1300C 4hrs
1400C 4hrs
1500C 4hrs
1300C 24hrs
1400C 24hrs
1600C 4hrs
222
224
226
228
230
232
234

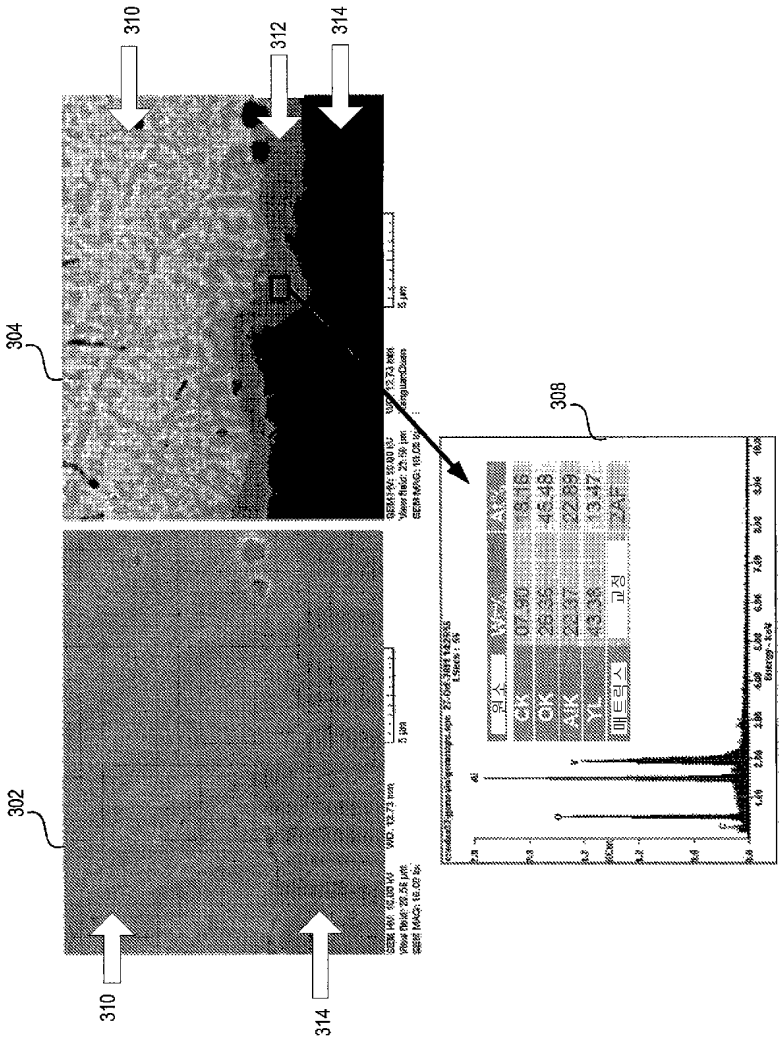
도면2c


처리 없음
1400C 4hrs
1300C 4hrs
1500C 4hrs
1300C 24hrs
1600C 4hrs
1400C 24hrs
236
238
240
242
244
246
248

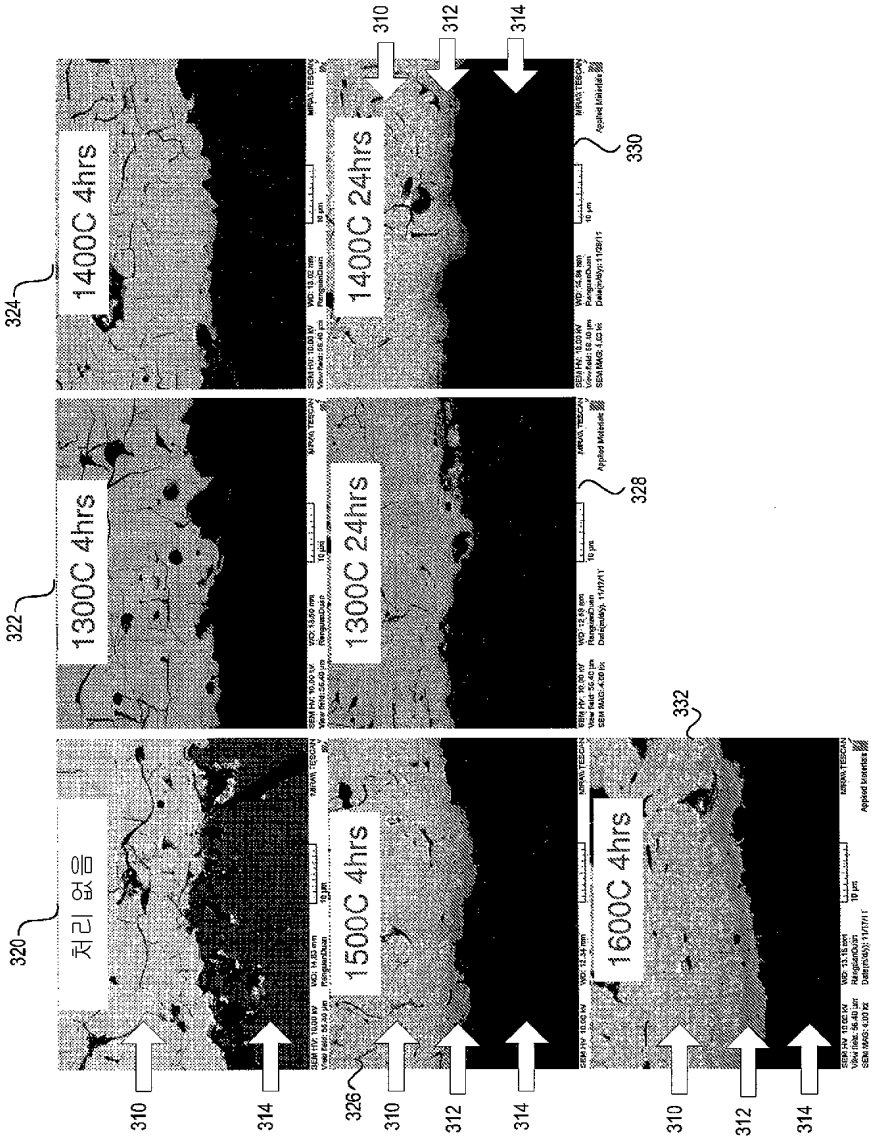
도면2d


250
252
254
256
SEM HV: 10.00 kV
WD: 14.29 mm
MIRA\\ TESCAN
View field: 22.56 µm
RenguanDuan
5 µm
SEM MAG: 10.00 kx
Date(m/d/y): 10/20/11
Applied Materials
SEM HV: 10.00 kV
WD: 14.44 mm
MIRA\\ TESCAN
View field: 22.56 µm
RenguanDuan
5 µm
SEM MAG: 10.00 kx
Date(m/d/y): 10/20/11
Applied Materials
SEM HV: 10.00 kV
WD: 14.33 mm
MIRA\\ TESCAN
View field: 22.56 µm
RenguanDuan
5 µm
SEM MAG: 10.00 kx
Date(m/d/y): 10/20/11
Applied Materials
SEM HV: 10.00 kV
WD: 14.48 mm
MIRA\\ TESCAN
View field: 22.56 µm
RenguanDuan
5 µm
SEM MAG: 10.00 kx
Date(m/d/y): 10/20/11
Applied Materials

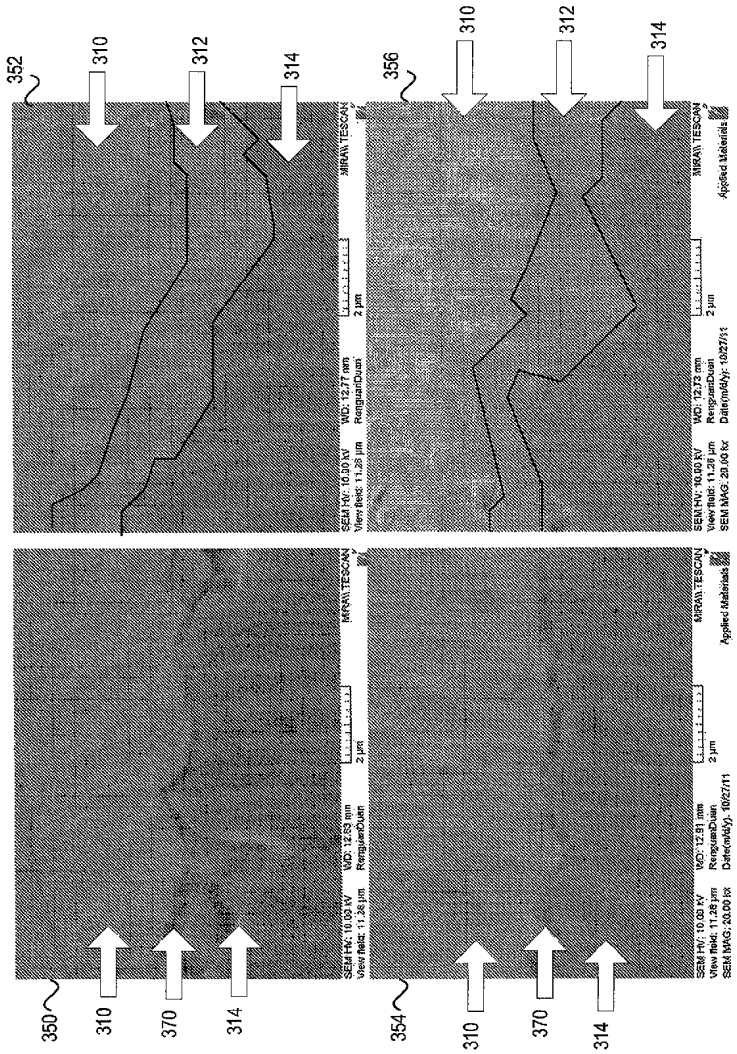
도면3a



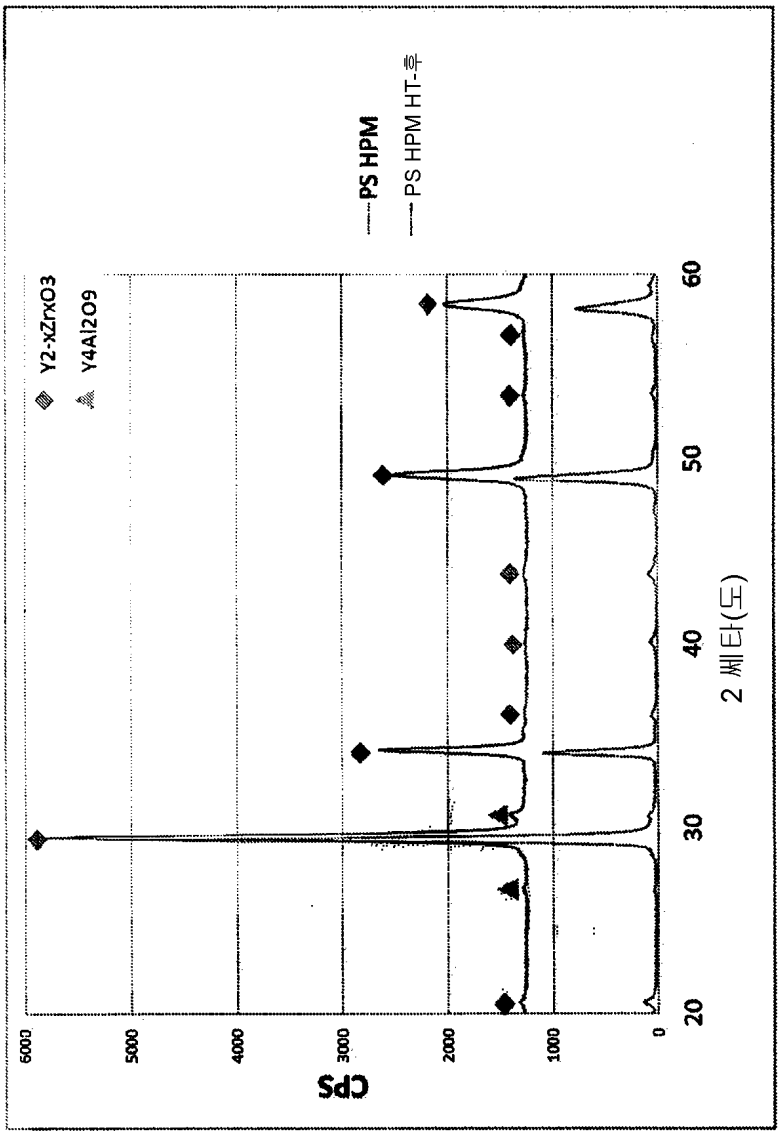
도면3b


320
처리 없음
1500C 4hrs
1600C 4hrs
322
1300C 4hrs
1300C 24hrs
324
1400C 4hrs
1400C 24hrs
326
328
330
332
310
312
314

도면3c



도면3d


PS HPM
PS HPM HT-하
Y2-xZrxO3
Y4Al2O9
CPS
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
20
30
40
50
60
2 세타(도)