(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0105595
(43) 공개일자 2010년09월29일

(51) Int. Cl.
*H01L 21/26* (2006.01) *H01L 29/786* (2006.01)
*H01L 31/042* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-7012810
(22) 출원일자(국제출원일자) 2008년11월13일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2010년06월10일
(86) 국제출원번호 PCT/US2008/083382
(87) 국제공개번호 WO 2009/064867
국제공개일자 2009년05월22일
(30) 우선권주장
12/269,327 2008년11월12일 미국(US)
*(뒷면에 계속)*

(71) 출원인
**베리안 세미콘덕터 이큅먼트 어소시에이츠, 인크.**
미국 01930 매사추세츠주 글로스터 도리 로드 35
(72) 발명자
**잉글랜드 조나단 제럴드**
영국 알에이치12 3엘디 웨스트 서섹스 호쉠 브로드브리지 히스 처치 로드 브로드브리지 플레이스
**싱클레어 프랭크**
미국 매사추세츠 02170 퀸시 로얄 스트리트 14
*(뒷면에 계속)*
(74) 대리인
**특허법인에이아이피**

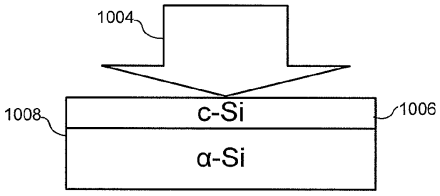
전체 청구항 수 : 총 29 항

## (54) 박막 물질들의 입자 빔 보조 변형

*(57) 요 약*

기판 처리 방법의 여러 예들이 개시된다. 특정 실시예에서, 상기 방법은 복수의 입자들을 포함하는 연속 입자 빔을 생성하는 단계: 및 5 x $10^{14}$ 입자/$cm^2$sec 또는 그 이상의 전류 밀도를 갖는 상기 연속 입자 빔을 비정질상인 기판의 영역으로 도입하고, 상기 영역을 비정질상으로부터 결정상으로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.

*대 표 도* - 도10b



(72) 발명자

**쿠 존(본 웅)**

미국 매사추세츠 01810 앤도버 쥬니퍼 로드 41

**도라이 라제쉬**

미국 매사추세츠 01801 워번 #113 킴볼 코트 3

**고데 루도비**

미국 매사추세츠 01869 노스 리딩 오크허스트 테라스 70

(30) 우선권주장

60/987,629 2007년11월13일 미국(US)

60/987,650 2007년11월13일 미국(US)

60/987,667 2007년11월13일 미국(US)

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

복수의 입자들을 포함하는 연속 입자 빔을 생성하는 단계:및

$5 \times 10^{14}$ 입자/$cm^2$sec 또는 그 이상의 전류 밀도를 갖는 상기 연속 입자 빔을 비정질상인 기판의 영역으로 도입하고, 상기 영역을 상기 비정질상으로부터 결정상으로 변환하는 단계를 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서,

상기 연속 입자 빔은 포커싱 입자 빔인 기판 처리 방법.

**청구항 3**

청구항 1에 있어서,

상기 연속 입자 빔은 상기 빔의 제1 단면 말단(cross sectional end)으로부터 제2 단면 말단까지 감소하는 밀도 프로파일을 갖는 기판 처리 방법.

**청구항 4**

청구항 3에 있어서,

상기 제1 단면 말단은 선단 말단(leading end)이고 상기 제2 단면 말단은 상기 선단 말단을 뒤따르는 트레일링 말단(trailing end)이고, 상기 선단 말단은 상기 트레일링 말단 이전에 상기 영역에 도입되는 기판 처리 방법.

**청구항 5**

청구항 1에 있어서,

상기 연속 입자 빔을 상기 기판의 상기 영역에 도입되는 도중에 상기 연속 입자 빔의 에너지를 조절하는 단계를 더 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 6**

청구항 5에 있어서,

상기 조절하는 단계는 상기 연속 입자 빔의 에너지를 선형적으로 조절하는 단계를 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 7**

청구항 5에 있어서,

상기 조절하는 단계는 상기 연속 입자 빔의 에너지를 순차적으로 조절하는 단계를 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 8**

청구항 1에 있어서,

상기 제1 영역을 상기 비정질상으로부터 상기 결정상으로 변환하기 이전에 상기 영역의 적어도 일부분을 용융시키는 단계를 더 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 9**

청구항 1에 있어서,

상기 영역의 적어도 일부분을 용융시키지 않으면서, 상기 제1 영역을 상기 비정질상으로부터 상기 결정상으로 변환하는 단계를 더 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 10**

청구항 1에 있어서,

상기 입자들은 분자 이온들을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 11**

청구항 1에 있어서,

상기 입자들은 클러스터 입자들을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 12**

청구항 1에 있어서,

상기 입자들은 양성자들 또는 중양성자(deuteron)들을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 13**

청구항 1에 있어서,

상기 입자들은 He, Ne, Ar, Kr, Xe 및 Rn으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 종을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 14**

청구항 1에 있어서,

상기 입자들의 종은 Ga인 기판 처리 방법.

**청구항 15**

청구항 1에 있어서,

상기 영역은 Si를 포함하고, 상기 입자들은 상기 연속 입자 빔이 도입된 상기 영역을 응력 작용 영역으로 변환하기 위하여, C 및 Ge로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 종을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 16**

청구항 1에 있어서,

상기 영역은 IV족 원소들로부터 선택된 물질을 포함하고, 상기 입자들은 상기 영역의 전기적 특성을 변경하기 위하여, B, Ga, In, P, As, Sb 및 Bi로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 종을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 17**

청구항 1에 있어서,

상기 영역은 IV족 원소들로부터 선택된 물질을 포함하고, 상기 입자들은 상기 영역의 밴드갭 특성을 변경하기 위하여, Yb, Ti, Zr, Hf, Pd, Pt 및 Al로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 종을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 18**

청구항 1에 있어서,

상기 영역은 IV족 원소들로부터 선택된 물질을 포함하고, 상기 입자들은 상기 영역의 전기적 특성이 변하는 것을 방지하기 위하여, 입자들을 포함하는 C, 입자들을 포함하는 Si, 입자들을 포함하는 Ge, 입자들을 포함하는 F, 입자들을 포함하는 N, 입자들을 포함하는 H, 입자들을 포함하는 He, 입자들을 포함하는 Sn 및 입자들을 포함하는 Pb로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 종을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 19**

청구항 1에 있어서,

상기 영역은 IV족 원소들로부터 선택된 물질을 포함하고, 상기 입자들은 상기 비정질상으로부터 상기 결정상으로의 상기 영역의 변환 비율을 증가시키기 위하여, 금속 입자들을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 20**

청구항 19에 있어서,

상기 금속 입자들은 Ni 입자들을 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 21**

청구항 1에 있어서,

상기 연속 입자 빔을 상기 기판의 상기 영역으로 도입하기 이전에 상기 기판의 온도를 변경하는 단계를 더 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 22**

청구항 21에 있어서,

상기 온도를 변경하는 단계는 상기 온도를 감소시키는 단계를 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 23**

청구항 1에 있어서,

상기 입자들을 상기 기판의 상기 영역 일부분에 도입하기 위하여, 상기 기판과, 상기 복수의 입자를 생성하는 이온 소스 사이에, 적어도 하나의 개구를 포함하는 마스크를 배치하는 단계를 더 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 24**

청구항 1에 있어서,

상기 연속 입자 빔을 상기 영역에 도입하는 단계는 상기 빔이 상기 영역에 도달하는 것을 간헐적으로 방지하기 위하여, 상기 기판 및 상기 빔의 상대적 위치를 주기적으로 변경하는 단계를 포함하는 기판 처리 방법.

**청구항 25**

청구항 24에 있어서,

상기 기판 및 상기 빔의 상대적 위치를 주기적으로 변경하는 단계는 고정 기판에 대하여 상기 빔의 위치를 변경함으로써 달성되는 기판 처리 방법.

**청구항 26**

청구항 1에 있어서,

상기 기판 및 상기 빔의 상대적 위치를 주기적으로 변경하는 단계는 고정 빔에 대하여 상기 기판의 위치를 변경함으로써 달성되는 기판 처리 방법.

**청구항 27**

청구항 1에 있어서,

상기 연속 입자 빔은 상기 기판의 상기 윗면에 직각인 각도로 상기 영역에 도입되는 기판 처리 방법.

**청구항 28**

청구항 1에 있어서,

상기 연속 입자 빔은 상기 기판의 윗면에 직각인 각도 이외의 각도로 상기 영역에 도입되는 기판 처리 방법.

**청구항 29**

청구항 1에 있어서,

상기 연속 입자 빔의 상기 복수의 입자들이 상기 영역 외부의 상기 기판의 일부분으로 이동하는 것을 방지하는 단계를 더 포함하는 기판 처리 방법.

# 명 세 서

## 기 술 분 야

[0001] 본 출원은 "박막 물질들의 입자 빔 보조 변형(Particle Beam Assisted Modification of Thin Film Materials)"라는 명칭으로 2008년 11월 12일자로 출원된 계류 중인 미국 특허출원 제12/269276호와, "박막 물질들의 입자 빔 보조 변형(Particle Beam Assisted Modification of Thin Film Materials)"라는 명칭으로 2008년 11월 12일자로 출원된 계류 중인 미국 특허출원 제12/269344호와 관련된다. 계류 중인 출원들 각각은 참조를 위해 그 전체가 본 출원에 포함된다.

[0002] 본 발명은 기판을 처리하기 위한 시스템 및 기술, 더욱 상세하게는 기판 결정상(substrate crystalline phase)을 형성하기 위한 시스템 및 기술에 관한 것이다.

## 배 경 기 술

[0003] 평판 패널 디스플레이(FPD : flat panel display)들 및 태양 전지들과 같은 새로운 기술의 폭넓은 채택은 저가 기판들 위에 전기 소자들을 제조하는 능력에 달려있다. FPD를 제조함에 있어서, 전형적인 저가 평판 패널 디스플레이(FPD)의 픽셀들은 박막 트랜지스터(TFT : thin film transistor)들에 의해 스위칭되며, 이 박막 트랜지스터들은 불활성의 유리 기판들 위에 증착된 비정질(amorphous) 실리콘의 박막(~50nm 두께)들 위에서 전형적으로 제조될 수 있다. 그러나, 개선된 FPD들은 더 성능 좋은 픽셀 TFT들을 요구하고, 고성능 제어 전자장치를 패널 위에 직접 제조하는 것이 이로울 수 있다. 하나의 이점은 패널과 외부 제어 회로 사이의 비싸고 잠재적으로 신뢰성이 없는 접속들에 대한 필요를 제거하는 것일 수 있다.

[0004] 현재의 FPD들은 스퍼터링(sputtering), 증발(evaporation), 플라즈마 강화 화학 기상 증착(PECVD : plasma enhanced chemical vapor deposition), 또는 감압 화학 기상 증착(LPCVD : low pressure chemical vapor deposition) 공정과 같은 저온 증착 공정을 통해 디스플레이의 유리 패널 위에 증착되는 Si의 층을 포함한다. FPD 제조에 사용되는 패널은 비정질인 경향이 있고 대략 600℃의 유리 전이(transition) 온도를 가지기 때문에, 이러한 저온 공정들이 바람직하다. 600℃ 이상에서 제조된다면, 패널은 불균일하거나 평평하지 않은 구조 또는 표면을 가질 수 있다. 석영 또는 사파이어 패널과 같은 고온 내성 유리 패널들이 존재하지만, 이러한 유리들의 높은 비용은 그들의 사용을 어렵게 한다. 더 저가의 저온 내성 유리 또는 플라스틱 패널들이 사용될 수 있다면, 추가적인 비용 감소가 가능할 것이다.

[0005] 그러나, 저온 증착 공정은 최적의 Si 막을 생산하지는 않는다. 당업계에 공지된 바와 같이, 고체(solid) Si는 3개의 공통 상(phase)들, 비정질, 다결정(poly-crystalline) 및 단결정(mono-crystalline) 상들을 가진다. Si가 저온에서 증착된다면, 증착된 Si 막은 비정질상(amorphous phase)인 경향이 있다. 비정질 Si 막에 기반한 박막 트랜지스터들의 채널들은 다결정 Si 또는 단결정 Si 막들 중 어느 하나 위의 것들에 비해 낮은 이동성(mobility)을 가질 수 있다.

[0006] 다결정 또는 단결정 Si 층을 수득하기 위하여, 패널은 비정질 Si 막을 다결정 또는 단결정 막 중 어느 하나로 변환하기 위한 추가적인 공정들을 거칠 수 있다. 다결정 Si 막을 갖는 패널을 수득하기 위하여, 패널은 엑시머 레이저 어닐링(ELA : excimer laser annealing) 공정을 거칠 수 있다. ELA 공정의 일 예는 미국 특허 제5,766,989호에서 더 상세히 찾을 수 있다. 더 큰 결정들(crystals)을 갖는 패널을 수득하기 위하여, 패널은 순차적 측면 응고(SLS : sequential lateral solidification) 공정이라고 알려진 공정을 거칠 수 있다. SLS 공정의 일 예는 미국 특허 제6,322,625호에서 찾을 수 있다. ELA 및 SLS 공정들에 의해 단결정 또는 다결정 Si 박막을 갖는 패널이 얻어질 수 있지만, 각 공정은 단점들을 가지지 않는 것이 아니다. 예를 들어, 양 공정에 사용되는 엑시머 레이저들은 운용하는 것이 고가일 수 있어서 고가의 TFT가 될 수 있다. 또한, 듀티 사이클은 비정질 Si의 결정 Si로의 최상의 변환에 최적이 아닐 수 있다. 또한, 엑시머 레이저는 공정들의 균일성에 영향을 줄 수

있는 펄스-투-펄스 편차들(pulse-to-pulse variations)과, 전달된 전력에서의 공간적 불균일성을 가질 수 있다. 예를 들어, 빔의 자기간섭(self-interference)에 의해 발생할 수 있는 펄스 내부(intra-pulse) 불균일성이 있을 수도 있다. 이러한 펄스간(inter-pulse) 및 펄스 내부(intra-pulse) 불균일성에 의해 불균일한 결정을 갖는 Si 막들이 얻어질 수 있다.

[0007] 이와 같이, 저온 기판들 위에 고품질의 결정 물질들을 비용에 있어 효과적이고 생산의 가치가 있도록 제조하기 위한 입자 처리용 신규 방법들 및 장치가 필요하다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 기판 결정상을 형성하기 위한 기판 처리 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

[0009] 기판 처리 방법의 여러 예들이 개시된다. 특정 실시예에서, 상기 방법은 복수의 입자들을 포함하는 연속 입자 빔(continuous particle beam)을 생성하는 단계: 및 5 x $10^{14}$ 입자/$cm^2$sec 또는 그 이상의 전류 밀도를 갖는 상기 연속 입자 빔을 비정질상인 기판의 영역으로 도입하고, 상기 영역을 비정질상으로부터 결정상으로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 본 발명은 첨부된 도면에 도시된 바와 같이 예시적 실시예들을 참조하여 더 상세하게 설명될 것이다. 본 발명은 예시적 실시예들을 참조하여 아래에서 설명되지만, 본 발명이 그것에 한정되지 않음을 이해해야 한다. 본 명세서에서의 교시 내용에 접근하는 당업자는, 본 명세서에서 설명되는 바와 같은 본 발명의 범위 내에 존재하며 본 발명이 중요한 유용성이 있을 수 있는 추가적 구현예들, 변형예들 및 실시예들 뿐만 아니라 다른 사용 분야를 인지할 것이다.

### 발명의 효과

[0011] 본 발명에 따르면, 저온 기판들 위에 고품질의 결정 물질들을 비용에 있어 효과적이고 생산의 가치가 있도록 제조하는 것이 가능하다.

### 도면의 간단한 설명

[0012] 본 발명을 더 완전하게 이해하도록 돕기 위하여, 이하에서 첨부한 도면들을 참조하며, 이 도면들에서는 유사한 특징들이 유사한 번호들로 참조되어 있다. 이러한 도면들은 본 발명을 한정하는 것으로 해석되는 것이 아니라, 단지 예시하기 위한 것이다.

도 1은 비정질 물질이 결정 물질로 변환될 수 있도록 하는 다양한 메커니즘들의 블록도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따라 Si 기판에 도입된 아르곤 이온들의 깊이에 대한 그래프를 도시한다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 기판을 처리하기 위한 시스템의 블록도를 도시한다.

도 4는 도 3에 도시된 시스템에 대한 특정한 예시적인 시스템의 블록도를 도시한다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 기판을 처리하기 위한 다른 시스템의 블록도를 도시한다.

도 6은 레이저 빔 또는 입자 빔으로 조사된(irradiated) 기판의 온도를 비교하는 그래프를 도시한다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 포커싱 입자 빔들로 조사된 기판의 온도에 대한 그래프를 도시한다.

도 8a 내지 도 8b는 본 발명의 다른 실시예에 따른 태양 전지 제조에 포함될 수 있는 방법을 도시한다.

도 9a 내지 도 9c는 본 발명의 다른 실시예에 따른 태양 전지 제조에 포함될 수 있는 다른 방법을 도시한다.

도 10a 내지 도 10d는 본 발명의 다른 실시예에 따른 태양 전지 제조에 포함될 수 있는 다른 방법을 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 기존의 레이저-기반 박막 물질들의 처리에 대한 상술한 결점들 및 그 외의 결점들을 극복하기 위하여, 입자 기반 처리의 여러 실시예들이 개시된다. 입자-기반 처리는 비평형(non-equilibrium) 공정들을 촉진할 수 있기 때

문에, 입자-기반 처리가 유익할 수 있다. 또한, 입자 파라미터들이 레이저의 파라미터들보다 훨씬 더 정확하게 제어될 수 있다. 입자 파라미터들의 예들은 (빔 크기 및 전류 밀도들과 같은) 공간적 파라미터들, 입자 플럭스(particle flux)(및/또는 빔 전류), 입자들 종(species), 및 입자 도우즈(particle dose) 등을 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명에서는, 여러 실시예들이 빔라인 이온 주입 시스템과, 예를 들어, 플라즈마 보조 도핑(PLAD : plasma assisted doping) 시스템 또는 플라즈마 잠입 이온 주입(PIII : plasma immersion ion implantation) 시스템과 같은 플라즈마 기반 기판 처리 시스템과 관련하여 개시된다. 그러나, 당업자는 본 발명이 입자 기반 시스템의 다른 유형들을 포함하는 다른 시스템들에도 똑같이 적용할 수 있다는 것을 인지하여야 한다. 본 명세서에서 사용된 용어 '입자들'은 대전된(charged) 또는 중성인 아원자(sub-atomic), 원자 또는 분자 입자들을 가리킬 수 있다. 예를 들어, 입자들은 양성자; 이온들, 원자 또는 분자; 또는 가스 클러스터들(clusters)일 수 있다.

[0015] 본 발명에서는, 여러 실시예들이 기판과 관련하여 개시된다. 기판은 웨이퍼(예를 들어, Si 웨이퍼)이거나, 복수의 막들을 포함하는 기판일 수 있다. 또한, 기판은 오직 하나의 원소(element)만 포함하는 원소 기판(예를 들어, Si 웨이퍼 또는 금속 호일); 2 이상의 원소를 포함하는 화합물 기판(예를 들어, SiGe, SiC, InTe, GaAs, InP, GaInAs, GaInP; CdTe; CdS; 및 CuInGaSe, CuInSe2와 같이, (Cu, Ag 및/또는 Au)의 (Al, Ga, 및/또는 In) 및 (S, Se 및/또는 Te)와의 조합들, 즉, 다른 III-V족 반도체들 및 다른 II-VI족 화합물들); 및/또는 합금 기판일 수 있다. 기판에 함유된 물질은 금속, 반도체, 및/또는 절연체(예를 들어, 유리, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET : polyethylene terephthalate), 사파이어 및 석영)일 수 있다. 또한, 기판은 다층(multiple layers)을 함유한 박막 기판(예를 들어, SOI)일 수 있다. 기판이 다층을 포함한다면, 층들 중의 적어도 하나는 반도전성(semiconducting) 막 또는 금속 막일 수 있는 반면, 막들 중의 다른 하나는 절연체일 수 있다. 반도전성 또는 금속막은 단일 절연막 위에 배치될 수 있거나, 다른 방안으로서, 복수의 절연막들 사이에 끼워질 수 있다. 반대로, 절연막은 단일 반도전성 또는 금속막 위에 배치될 수 있거나, 다른 방안으로서, 다중 반도전성 또는 금속막들이나 이들 모두의 사이에 끼워질 수 있다.

[0016] **상변환**

[0017] 얇은 비정질 층들의 결정화를 위한 가장 신속한 메커니즘은 고체상 에피택셜 재성장(SPER : solid phase epitaxial re-growth)이다. SPER에서, 비정질 Si는 하부의 광범위한 기존 결정층(underlying, pre-existing, extensive crystal layer)을 연장함으로써 결정 Si로 변환할 수 있다. 이 방식은 웨이퍼가 이온 주입에 의해 비정질화된 후에 결정 Si 웨이퍼의 표면층에 대한 어닐링 도중에 흔히 접하게 된다. 본 발명은 광범위한 기존 격자가 존재하지 않고 결정들의 성장 이전에 결정 핵생성(nucleation)을 통해 상변환이 발생하는 비정질 기판을 처리하는 것에 관련된다. 도 1을 참조하면, 광범위한 기존 격자를 갖지 않는 물질이 비정질상으로부터 결정상으로 변환할 수 있도록 하는 다양한 메커니즘들의 블록도가 도시되어 있다. 당업계에 공지된 바와 같이, 결정상은 다결정상 또는 단결정상으로 분류될 수 있다. 다결정상은 종종 결정 크기에 따라 (다중, 마이크로, 나노 결정질 등과 같은) 상이한 카테고리들로 더 세분될 수 있다. 그러나, 이러한 구별은 본 발명과 관련하여 중요하지 않을 수 있고, 도 1을 설명하는데 필요하지 않을 수 있다. 따라서, 이 상들은 본 명세서에서 집합적으로 결정상이라고 칭할 수 있다.

[0018] 도 1에 도시된 바와 같이, 비정질상으로부터 결정상으로의 상변환은 다양한 메커니즘들을 통해 발생할 수 있다. 예를 들어, 변환은 용융(melting) 및 응고(solidification) 메커니즘(100a)과, 고체상 결정화(SPC : solid phase crystallization) 변환 메커니즘(100b)을 통해 발생할 수 있다. 용융 및 응고 메커니즘(100a) 및 SPC 메커니즘에서, 변환은 정자들(crystallites)의 핵생성 및 정자들의 성장을 통해 발생할 수 있다. SPER 메커니즘에서, 변환은 광범위한 기존 결정 격자 위에서의 성장에 의해 발생할 수 있다.

[0019] 용융 및 응고 메커니즘(100a)에서, 복사(radiation), 열 또는 운동에너지(kinetic energy)의 형태인 에너지가 비정질 기판의 일부분에 도입되어 그 부분을 용융시킬 수 있다. 용융된 영역의 상태가 핵생성을 유도하는데 적합하다면(예를 들어, 과냉각(supercooling)), 결정들은 전통적인 핵생성 이론에 의해 설명되는 바와 같이 핵생성을 수행할 수 있다. 결정들은 두 가지 방식을 통해 핵생성을 할 수 있다. 결정들은 기존 시드들(seeds) 위에 이종적으로(heterogeneously) 핵성성을 할 수 있다. 기존 시드들은 에너지의 도입 시에 용융되지 않았던 기존 결정들의 결정입계들(grain boundaries)일 수 있다. 기존 시드들은 용융된 영역 및 인접 고체 영역 사이의 경계일 수도 있다. 기존 시드들이 존재하지 않는 경우, 결정들은 동종적으로(homogeneously) 핵생성을 할 수 있다. 핵생성 시에, 결정들은 성장이 중단될 때까지 성장할 수 있다.

[0020] 고체 상변환 메커니즘(100b)에서, 상변환은 용융의 부존재에도 불구하고 발생할 수 있다. 예를 들어, 결정들은 에너지가 도입된 영역에서 핵생성을 할 수 있고, 핵생성 후에 핵생성된 결정들의 성장이 뒤따를 수 있다. 용융 공정의 경우와 같이, SPC 도중의 핵생성은 기존 시드들이 존재할 경우에는 이종적으로 발생할 수 있고, 이러한 시드들이 부존재할 경우에는 동종적으로 발생할 수 있다.

[0021] **입자 보조 공정들**

[0022] 본 발명에서, 입자들은 상변환을 유도하기 위하여 기판에 도입될 수 있다. 상변환은 비정질상으로부터 다결정 및/또는 단결정상 중 하나로의 상변환일 수 있다. 또한, 상변환은 핵생성 및 결정들의 성장을 통해 발생할 수 있다. 변환을 유도하기 위하여, 입자들은 기판의 윗면, 기판의 아랫면, 또는 윗면과 아랫면 사이의 영역, 또는 이들의 조합 근처에 도입될 수 있다. 기판이 2개 또는 그 이상의 상이한 물질들을 포함한다면, 입자들은 상이한 물질들의 계면(interface) 근처의 영역에 도입될 수 있다.

[0023] **입자 종**

[0024] 입자들의 다수의 유형들이 상변환을 유도하기 위하여 도입될 수 있다. 예를 들어, 기판에 대하여 화학적 및/또는 전기적으로 불활성인 입자들이 사용될 수 있다. 그러나, 화학적 및/또는 전기적 활성 물질들이 사용될 수도 있다. 상술한 바와 같이, 입자들은 대전된 또는 중성인 아원자 입자들, 원자 입자들, 또는 분자 입자들, 또는 이들의 조합일 수 있다. 몇몇 실시예들에서는, 분자 입자들이 선호된다. 다른 실시예들에서는, 클러스터 입자들이 선호된다. 분자 및 클러스터 입자들은 훨씬 높은 도우즈 및 에너지에서 기판에 도입될 수 있기 때문에 선호될 수 있다. 특히, 기판에 도입되는 분자 및 클러스터 입자들은 충돌(impact)시 분해(disintegrate)될 수 있고, 입자들의 운동 에너지는 입자 원자들의 원자질량(atomic masses)들의 비율로 나뉠 수 있다. 중복되는 연쇄 충돌들(collision cascades)은 훨씬 높은 도우즈 레이트(dose rate)에서 원자 입자들의 도입과 유사한 결과를 달성할 수 있다. 그들의 더 큰 질량으로 인해, 분자 입자들은 훨씬 높은 에너지에서 기판에 도입될 수도 있다. 주입기, PLAD 및 PIII에서 원자 및 분자 종들의 생성은 당업자에게 친숙할 것이다. 클러스터 입자들의 생성에 대한 상세한 설명은 참조를 위해 그 전체가 포함되는 미국 특허 제5,459,326호에서 찾을 수 있다.

[0025] 기판에 도입되는 입자들의 선택은 입자들이 기판에 미치는 영향에 의존할 수 있다. 몇몇 특징들 및 예시적 예들이 표 1에 도시된다.

*표 1*

[0026]

| 특징 | 예시적 종들 |
|---|---|
| 실리콘에서 전기적으로 비활성 | Ge, Si, C, F, N H, He, Sn, Pb, 탄화수소 분자들, C 및 둘 또는 그 이상의 다른 원소들을 함유하는 분자들, 테트라-실란(tetra-silane)과 같은 실리콘의 혼성체들(hydrides), Si 및 둘 또는 그 이상의 다른 원소들을 함유하는 분자들 |
| 도펀트들(dopants) | B, P, As, Sb, In, Ga, Sb, Bi, |
| 얕은 접합 공동주입 종들 | C, F |
| 비정질화 | (He, Xe를 포함하는) 불활성 기체들(noble gases), Ge, Si |
| 변형(strain) 생성 | Ge, C |
| 밴드갭(bandgap) 제작 | Yb, Ti, Hf, Zr, Pd, Pt, Al |
| 부동태화(passivating) | H, D |
| 결합 피닝(Pinning) | N |
| 결정화 촉매들 | Ni, 금속들 |

[0027] 표 1 - 이온 종들의 몇몇 가능한 선택들

[0028] **깊이 및 에너지**

[0029] 입자들이 기판에 도입될 때, 입자들의 운동 에너지는 기판으로 전달될 수 있다. 전달된 운동 에너지의 규모는 입자들의 크기, 질량 및 에너지에 따라 다를 수 있다. 예를 들어, 기판에 도입된 무거운 이온들은 가벼운 이온들보다 더 많은 핵 멈춤(nuclear stopping)을 경험할 수 있다. 입자들이 핵멈춤 메커니즘을 통해 그들의 운동

에너지를 잃을 때, 이 메커니즘은 예를 들어, 댕글링 결합들(dangling bonds), 공백들(vacancies) 및 이중 공백들(di-vacancies)과 같은 결함들을 형성하는 경향이 있고, 이러한 결함들의 존재는 결정화 공정을 향상시킬 수 있다. 동시에, 전자 멈춤을 통해 기판으로 전달된 운동 에너지는 결정화를 야기할 수 있다.

[0030] 입자들의 에너지, 입자들 전달 위치 및 기판의 특성들(예를 들어, 기판의 열 도전성, 열 용량 및 용융 온도)에 따라, 결정들의 핵생성은 기판의 윗면; 기판의 아랫면; 윗면 및 아랫면 사이의 영역; 또는 상이한 물질들의 계면 근처에서 개시될 수 있다. 그 후에, 상변환은 변환이 개시된 위치로부터 떨어진 방향으로 계속될 수 있다.

[0031] 복사 기반 상변환(radiation based phase transformation)과 달리, 입자 도입을 통해 기판에 증착된 에너지는 표면에서 또는, 이와 달리, 표면 아래에서 피크를 형성할 수 있다. 또한, 입자들은 일정한(constant) 에너지 상태로 기판에 도입될 수 있다. 이와 달리, 입자들은 변동되는 에너지 상태로 도입될 수 있다. 예를 들어, 기판에 도입되는 입자들의 에너지는 입자들이 도입되는 동안 변할 수 있다. 에너지의 변화는 연속적으로 또는 순차적으로 발생할 수 있다. 빔라인 입자 시스템이 사용된다면, 입자 에너지는 본 명세서에서 설명된 빔라인 시스템들과 관련된 가속 또는 감속 전압을 이용한 입자 도입 도중에 변경될 수 있다. PLAD, PIII 또는 다른 플라즈마 기반 시스템이 사용된다면, 에너지는 기판에 인가되는 전압을 변경함으로써 도입 도중에 변할 수 있다.

[0032] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 기판에 도입된 입자들의 깊이 및 에너지를 도시하는 그래프가 있다. 이 실시예에서, 아르곤 이온들은 Si 박막에 주입된다. 도 2에 도시된 바와 같이, 선과 결합된 점들은 아르곤 이온의 평균 범위를 나타내고, 수직 에러 막대(vertical error bar)들은 깊이에 있어서의 스트래글(straggle)을 나타낸다. 따라서, 모든 이온들의 총 범위는 평균 범위와 다수(하나 이상)의 스트래글을 더한 합에 의해 추정될 수 있다. 아르곤 이온들이 알려진 깊이의 Si의 표면층 내에 포함되도록 요구된다면, 최대 에너지는 이 곡선으로부터 추정될 수 있다. 삽입 차트는 주 차트의 저 에너지 범위의 확대 표시이다.

[0033] **공간 및 시간적 프로파일**

[0034] 에너지에 더하여, 입자들의 공간 및 시간적 프로파일이 제어될 수 있다. 예를 들어, 입자들은 입자 빔으로서 도입될 수 있고, 빔은 일정한 또는 변경되는 빔 전류 밀도(즉, 미리 설정된 시간에 대하여 미리 설정된 영역에서의 입자들의 수)를 가질 수 있다. 전류 밀도는 입자 전류 및/또는 빔 크기; 빔 및/또는 기판 스캔 속도들 및/또는 펄스 길이의 제어에 의한 빔 체류(dwell) 시간; 및 빔 듀티 사이클(예를 들어, 빔 펄스들 사이의 시간 또는 빔 및/또는 기판이 스캔될 경우의 복귀 시간(return time))을 변경함으로써 조정될 수 있다.

[0035] 본 발명에서, 입자들은 연속적으로 또는 순서에 있어서 주기적으로 기판에 도입될 수 있다. 입자들이 입자 빔으로서 도입된다면, 빔은 다양한 형태를 가질 수 있다. 예를 들어, 입자들은 리본 빔 또는 스폿 빔으로서 도입될 수 있다. 리본 빔은 리본형태 또는 한 방향에 따른 빔 치수가 다른 방향을 따른 것보다 큰 형태를 가질 수 있다. 이러한 리본 빔은 기판보다 폭이 더 넓거나, 이와 달리, 기판보다 더 좁을 수 있다. 한편, 스폿 빔은 기판보다 더 작은 치수를 가질 수 있다. 스폿 빔이 사용된다면, 스폿 빔은 리본 빔과 유사하도록 대략 100-1000 Hz의 레이트(rate)에서 자기적으로(magnetically) 또는 정전기적으로(electrostatically) 스캔될 수 있다.

[0036] 리본 빔이든 스폿 빔이든, 빔의 단면이 더 작고 기판의 전체 표면적을 덮지 않는다면, 빔은 기판에 대하여 추가적으로 스캔될 수 있다. 예를 들어, 입자들이 기판의 전체 표면에 도입될 수 있도록, 2개의 방향들, 즉, 폭 방향 및 길이 방향을 따라 빔이 스캔될 수 있다. 본 발명에서, 이러한 스캔은 고정 빔에 대해 길이 및 폭 방향을 따라 기판을 병진하거나 또는 고정 기판에 대하여 길이 및 폭 방향을 따라 빔을 병진함으로써 달성될 수 있다. 빔 및/또는 기판의 상대적 스캔의 레이트를 제어함으로써, 기판의 상변환이 제어될 수 있다.

[0037] 또한, 기판에 도입되는 입자 빔은 포커싱 빔 또는 비-포커싱(non-focused) 빔일 수 있다. 또한, 입자들의 빔은 그 단면을 따라 균일하거나 불균일할 수 있다. 예를 들어, 리본 빔은 더 낮은 전류 밀도를 갖는 트레일링 엣지(trailing edge)에 선행하는 그 선단 엣지에서 더 높은 전류 밀도를 가질 수 있으며, 그 반대도 성립한다. 불균일 빔은 다른 강도 프로파일(intensity profile)들을 가질 수 있다. 불균일 빔은 핵생성 공정 및 성장 공정을 향상시킬 수 있다고 믿어진다. 예를 들어, 불균일 빔은 핵생성을 개시하기 위하여, 강한 선단 엣지와, 이를 따르는 덜 강한 트레일링 엣지를 가질 수 있다. 예를 들어, 빔의 높은 밀도 부분은 기판을 용융시킴으로써 상변환을 개시할 수 있고, 빔의 낮은 밀도 부분은 용융된 영역의 응고를 제어함으로써 변환의 규모를 향상시킬 수 있다.

[0038] 또한, 2 이상의 빔이 작동될 수 있고 동시에 또는 순차적으로 기판에 도입될 수 있다. 2 이상의 빔이 사용된다

면, 빔은 한번에 기판의 전체 폭 및/또는 길이에 도입될 수 있다.

[0039] **방향**

[0040] 입자 보조 상변환은 결정 성장 및/또는 결정 형태를 배향(orient)함에 있어서 몇몇 이점들을 가질 수 있다. 본 발명에서, 입자들은 다양한 각도들에서 기판에 도입될 수 있다. 다양한 각도들에서 입자들을 도입하는 것은 빔에 대하여 기판을 기울임으로써 달성될 수 있고, 및/또는, 빔은 기판에 대하여 기울여질 수 있다.

[0041] 일 실시예에서, 입자들은 0° (즉, 기판의 표면에 직각)에서 기판에 도입될 수 있다. 0° 에서 도입되는 입자들은 FPD들에서 전기 도전성을 제한할 수 있는 {200} 결정입계들을 우선적으로 파괴할 수 있다. 다른 방안으로서, 입자들은 다른 각도, 예를 들어 7° 에서 도입될 수 있다.

[0042] **기판 상태**

[0043] 입자들의 파라미터들에 더하여, 기판의 상태들은 입자들의 도입 이전, 도입 도중 또는 도입 이후에 조정될 수 있다. 예를 들어, 기판의 온도가 조정될 수 있다. 일 실시예에서, 기판은 입자들의 도입 이전 또는 도입 도중에 예를 들어, 대략 500℃로 가열될 수 있다. 기판을 가열하는 것은 입자 빔에 의해 야기되는 열 충격(thermal shock)을 완화할 수 있다. 또한, 기판을 가열하는 것은 더 큰 결정들의 형성을 유도할 수 있다. 예를 들어, 기판을 가열하는 것은 입자들이 도입된 영역을 더 느린 레이트로 냉각하도록 할 수 있다(이 영역은 전도를 통해 그 에너지를 대부분 기판에 의해 손실하기 때문이다).

[0044] 기판이 실온 아래로 냉각된다면, 결정화가 향상될 수 있다. 예를 들어, 기판은 약 0℃ 내지 약 -100℃ 범위의 온도로 냉각될 수 있다. 또한, 기판을 냉각하는 것은 절연막 구조가 불안정해지는 것을 방지할 수 있다.

[0045] 입자들이 기판에 도입될 때, 기판은 진공 중에 있거나 대기압일 수 있다. 진공압(vacuum pressure)은 펌프 비용을 절감하기 위하여 이온 주입과 통상적으로 관련된 것보다 높을 수 있다(즉, 10-4 mbar 보다 높은 압력).

[0046] **예시적 시스템들**

[0047] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 기판을 처리하기 위한 예시적 시스템(300)의 블록도가 도시된다. 시스템(300)은 빔라인 입자 시스템(300)일 수 있다. 시스템(300)은 이온 소스(302); 추출 시스템(304); 가속 시스템(306); 선택적 빔 조작 부품들(optional beam manipulation components)(308); 및 중성화(neutralization) 시스템(310)을 포함할 수 있다. 또한, 시스템(300)은 중성화 시스템(310)과 통신하는 종단 스테이션(end station)(312)을 포함할 수 있다. 종단 스테이션(312)은 윈도우(314) 및 하나 이상의 로드락(loadlocks)(316,318)을 포함할 수 있다. 종단 스테이션(312) 내부에, 기판(322)을 지지하는 플래튼이 위치될 수 있다. 또한, 하나 이상의 기판 병진, 냉각 및/또는 가열 서브-시스템(324)이 종단 스테이션(312)에 배치될 수 있다.

[0048] 본 발명에서, 이온 소스(302)는 간접 가열 음극을 갖는 버나스형(Bernas type)일 수 있다. 당업자는 이온 소스(302)가 다른 유형들의 이온 소스일 수도 있음을 인지할 것이다. 한편, 추출 시스템(304)은 단일 슬릿(slit)이거나, 이와 달리, 다중 슬릿 추출 시스템(304)일 수 있다. 추출 시스템(304)은 하나 이상의 직교 방향들로 병진 가능할 수 있다. 또한, 추출 시스템(304)은 시간적으로 일정한 빔 전류를 추출하도록 설계될 수 있다. 또한, 추출 시스템(304)은 입자를 연속으로 또는 간헐적으로 추출할 수 있다. 추출 시스템(304)은 바람직한 공간 및/또는 시간적 빔 프로파일들이 가능하도록 입자 빔 또는 빔렛들(beamlets)을 포커싱할 수도 있다. 추출 시스템(304)을 통해 추출된 입자들의 빔은 대략 80 keV의 에너지를 가질 수 있다.

[0049] 더 높은 에너지가 필요하다면, 시스템(300)은 입자 빔을 가속할 수 있는 가속 시스템(306)을 포함할 수 있다. 시스템(300)은 입자들을 입자 빔으로 여과, 스캔 및 성형하기 위한 하나 이상의 추가적이고 선택적인 빔 조작 부품들(308)을 포함할 수도 있다. 도 4에 도시된 바와 같이, 시스템(300)의 특정 예, 즉, 선택적 빔 조작 부품들(308)은 제1 자석 분석기(magnet analyzer)(406), 제1 감속(D1) 스테이지(408), 제2 자석 분석기(410), 및 제2 감속 및 제2 감속(D2) 스테이지(412)를 포함할 수 있다. 본 발명에서, 실질적으로 쌍극자 자석(dipole magnet)인 제1 자석 분석기(406)는, 원치 않는 질량 및/또는 에너지의 입자들이 자석 분석기(406)를 통과하지 않도록, 입자들의 질량 및 에너지에 기초하여 입자들을 여과할 수 있다. 한편, 실질적으로 또 다른 쌍극자 자석

인 제2 자석 분석기(410)는 입자들을 희망하는 형태(예를 들어, 리본) 및/또는 치수를 갖는 입자 빔으로 콜리메이팅(collimating)하도록 설계될 수 있다. D1 및 D2 감속 스테이지들(410, 412)은 입자들이 바람직한 에너지 상태로 기판에 도입될 수 있도록, 통과하는 입자들의 에너지를 조작할 수 있다. 일 실시예에서, D1 및/또는 D2는 공간 전하 효과를 최소화하고 빔의 공간적 무결성(integrity)을 유지할 수 있는 분할 렌즈(segmented lens)들일 수 있다.

[0050] 도시되지 않았지만, 빔 조작 부품들은 하나 이상의 실질적으로 사극자(quadrupole) 렌즈들 또는 빔을 포커싱하기 위한 아인젤(einzel) 렌즈들을 포함할 수도 있다. 또한, 빔 조작 부품들은 빔 프로파일의 균일성을 제어하기 위하여 미국 특허 제6,933,507호 및 제5,350,926호에 설명된 바와 같은 자석 다극자들(magnetic multipoles) 또는 로드들(rods)을 포함할 수도 있다.

[0051] 도 3으로 돌아가서, 이 실시예에 따르면, 기판(322)에서의 전하 축적(build-up)을 감소시키기 위하여 전하 중성화 시스템(310)이 포함될 수도 있다. 전하 중성화 시스템(310)은 미국 특허출원 제11/376850호에 설명된 바와 같은 핫 필라멘트(hot filament), 또는 마이크로파, 또는 rf 구동형 중의 하나 이상의 시스템들일 수 있다. 다른 방안으로서, 전하 중성화 시스템(310)은 전자 소스(electron source)일 수 있다.

[0052] 종단 스테이션에서는, 예를 들어, 기판 위의 다른 물질들의 증착을 방지하거나, 결정화 공정을 향상시키기 위한 부동태화를 촉진하기 위하여, 기판을 둘러싼 환경이 제어될 수 있다. 환경을 제어하기 위하여, 종단 스테이션(312)은 입자들이 진입할 수 있는 얇은 호일 윈도우 또는 차동 펌프된(differentially pumped) 개구(314)와, 기판이 입장할 수 있는 하나 이상의 로드락들(316, 318)을 포함할 수 있다. 로드락들(316, 318)은 기판이 입장할 수 있는 하나 이상의 차동 펌프된 스테이지들로 대체될 수 있다.

[0053] 종단 스테이션(312)은 기판 이동, 냉각 및 가열 서브시스템(324)을 포함할 수도 있다. 서브시스템(324)의 예들은 칠러(chiller), 열원(heat source), 여러 축들을 따라 기판을 병진/회전시킬 수 있는 로플랫(roplat)을 포함할 수 있다. 칠러의 특정 예들은 미국 특허출원 제11/504,367호, 제11/525,878호 및 제11/733,445호에서 찾을 수 있으며, 각각의 미국 특허출원은 참조를 위해 그 전체가 본 명세서에 포함된다. 열원의 특정 예들은 레이저, 플래시 램프, 유체 가열을 제공하는 플래튼, 저항성(resistive) 열원, 또는 미국 특허출원 제11/770,220호 및 제11/778,335호에 설명된 것들일 수 있으며, 각각의 미국 특허출원은 참조를 위해 그 전체가 본 명세서에 포함된다.

[0054] 공정 및 기판 파라미터들/상태들을 모니터하기 위하여, 하나 이상의 파라미터들/상태들 측정 부품들은 기판(322) 근처에 포함될 수도 있다. 이러한 부품들은 하나 이상의 제어기들에 결합될 수 있고, 제어기들은 측정 부품들로부터의 신호들에 기초하여 기판의 파라미터들/상태들 및/또는 입자들을 제어할 수 있다.

[0055] 도 5를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 기판을 처리하기 위한 다른 예시적 시스템이 도시된다. 특히, 시스템(500)은 PLAD, PIII 시스템, 또는 다른 플라즈마 기반 기판 처리 시스템일 수 있다. PLAD 시스템(500)은 상부 섹션(top section)(502) 및 하부 섹션(504)을 포함하는 챔버(501)를 포함할 수 있다. 상부 섹션(502)은 일반적으로 수평 방향으로 연장되는 제1 유전체 섹션(506) 및 일반적으로 수직 방향으로 연장되는 제2 유전체 섹션(508)을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 각 유전체 섹션(506, 508)은 화학적으로 내성이 있고 양호한 열 특성들을 갖는 세라믹일 수 있다. 상부 섹션(502)은 적어도 하나 이상의 안테나(510, 512)를 포함할 수도 있다. 하나 이상의 안테나(510, 512)는 예를 들어, 수평 안테나(510) 및/또는 수직 안테나(512)일 수 있다. 일 실시예에서, 수평 안테나(510)는 다중 권선을 갖는 평면 코일일 수 있는 반면, 수직 안테나(512)는 다중 권선의 나선 코일일 수 있다. 안테나들(510, 512) 중 적어도 하나는 임피던스 정합 네트워크(impedance matching network)(516)를 통해 전원 공급 장치(514)에 전기적으로 결합될 수 있다.

[0056] 시스템(500)의 하부 섹션(504) 위에서, 플래튼(520)과, 플래튼(520)에 의해 지지되는 기판(522)은 상부 섹션(502) 아래의 미리 설정된 높이에 위치될 수 있다. 그러나, 플래튼(502) 및 기판(522)은 상부 섹션(502)에 위치될 수 있는 것도 고려할 수 있다. 바이어스 전압 전원 공급 장치(524)는 플래튼(520)에 DC 또는 RF 바이어스를 가하기 위하여 플래튼(520)에 전기적으로 결합될 수 있다.

[0057] 동작 시에, 안테나들(510, 512) 중 적어도 하나는 전원(514)에 의해 RF 또는 DC 전력을 공급받을 수 있다. 안테나들(510, 512) 중 단 하나만 RF 또는 DC 전력을 공급받는다면, 안테나들(510, 512) 중 다른 하나는 기생 안테나일 수 있다. 안테나들(510, 512) 중 다른 하나는 전원(514)에 전기적으로 결합되지 않으므로, 안테나들(510, 512) 중 다른 하나는 기생 안테나일 수 있다. 그 대신에, 안테나들(510, 512) 중 다른 하나는 전원(514)에 의해 전력을 공급받는 안테나에 자기적으로 결합된다. 다른 방안으로서, 안테나들(510, 512) 모두는 RF 전류를 갖는

전원(514)에 의해 전력을 공급받을 수 있다. 그 다음, 안테나들(510, 512) 중 적어도 하나는 제1 및 제2 유전체 섹션들(506, 508)을 통해 RF 전류들을 시스템(500)으로 유도한다. RF 전류들에 의해 유도되는 전자기장들(electromagnetic fields)은 시스템(500)에 함유된 가스를 플라즈마로 변환할 수 있다. 한편, 바이어스 전압 전원 공급 장치(524)는 플라즈마 상태인 대전 입자들을 기판(522)으로 끌어당기기 위하여 플래튼(520)에 바이어스를 가한다. 시스템(500)의 추가적인 세부 내용은 미국 특허출원 제11/766984호; 미국 특허출원 공개 제2005/0205211호; 미국 특허출원 공개 제2005/0205212호 및 미국 특허출원 공개 제2007/0170867호에서 찾을 수 있으며, 각각의 특허문헌은 참조를 위하여 그 전체가 본 명세서에 포함된다.

[0058] **선택적 부품들**

[0059] 위에서 설명한 부품들에 더하여, 예시적 시스템들(300-500)은 입자 소스(예를 들어, 이온 소스 또는 플라즈마)와 기판 사이에 하나 이상의 마스크들을 선택적으로 포함할 수 있다. 이러한 마스크가 포함된다면, 마스크는 우선적으로 탄소(C) 기반 물질, Si 기반 물질 (예를 들어, SiC), 또는 W 또는 Ta와 같은 내화 금속(refractory metal) 함유 물질일 수 있다. 그러나, 다른 물질들이 사용될 수도 있다. 이러한 마스크는 기판 위에 입사하는 빔의 형태를 제어하기 위하여 V형(chevron) 형태를 포함한 다양한 형태들을 갖는 하나 이상의 개구를 가질 수 있다.

[0060] **FPD**

[0061] 이하, 입자 유도 상변환의 여러 애플리케이션들에 대한 설명이 제공된다. 상술한 바와 같이, 비정질상으로부터 결정상으로 상변환을 유도하기 위하여, 입자들이 박막 기판의 Si 층에 도입될 수 있다. 명확하게 하기 위하여, 입자 유도 상변환은 ELA 공정과 비교된다.

[0062] 이 실시예에서, 입자들은 절연막 위에 배치된 약 500Å 두께의 비정질 Si 막을 갖는 FPD로 보내질 수 있다. 절연막은 예를 들어, 약 0.7mm 두께를 갖는 비정질 유리 또는 코닝(Corning) 1737 유리, 석영, 플라스틱, 또는 사파이어일 수 있다. 그러나, 당업자는 절연막의 다른 유형들이 사용될 수도 있다는 것을 인지할 것이다.

[0063] ELA 공정에서, 단일 레이저 펄스는 12 나노세컨드 길이 펄스인 360mJ/㎠ 의 에너지 펄스를 전달할 수 있다. 이는 $3 \times 10^{10}$ W/$m^2$ 의 전력 밀도에 해당한다. 아르곤 이온 빔이 Si 막으로 보내지면, 빔은 20keV의 에너지를 가질 수 있다. 이러한 에너지에 의하여, 보내진 아르곤 이온들은 모두 Si 층 너머의 기판으로 침투하지 않을 수 있다(도 2 참조). 리본형 아르곤 입자 빔이 사용된다면, 빔은 300mm 폭 및 0.1mm 길이의 치수를 가진다고 추정할 수 있다. 25mA 의 빔 전류에 의하여, 이는 $1.7 \times 10^7$ W / $m^2$ 의 전력 밀도를 암시한다.

[0064] ELA 공정에서, 기판 위에 입사하는 레이저 빔은 비정질 Si의 용융 온도 근처인 1000℃까지 Si 층을 가열할 수 있다. 입사 시에, 레이저 빔은 Si 층의 적어도 부분적인 용융을 개시할 수 있다. Si에 대한 열 확산성(thermal diffusivity)은 실온의 ~1 ㎠/sec와 1400K의 0.1 ㎠/sec 사이에서 상대적으로 크게 변동한다. 이런 이유로, 레이저 에너지가 Si 표면의 상부 몇 nm에 흡수되더라도, 임의의 잠열(latent heat) 효과들이 없으면, Si층 내에서는 매우 작은 온도 구배(gradient)가 있을 수 있다. 열은 Si로부터 유리로 확산할 수 있다. 유리에 대한 확산성은 작으므로(큰 온도 범위에 대하여 ~0.005 cm2/s), 큰 열 구배가 두꺼운 유리층을 가로질러 존재할 수 있다. 도 6에 도시된 모델의 결과들은 Si의 0.1㎛ 내의 유리조차 500℃ 이상에 도달하지 않는다는 점을 산출하고 있다.

[0065] 입자 빔은 더 낮은 전력 밀도를 갖기 때문에, Si 막을 가열하기 위한 충분한 에너지를 축적하는데 필요한 노출 시간은 레이저(12 ns)에 비해 높을 수 있다(80ms). 또한, 입자들을 통하여 기판에 축적된 열이 열 전도를 통해 절연으로 손실될 수 있기 때문에, Si 막을 충분히 가열하기 위하여 더 많은 에너지가 필요할 수 있다. 이러한 추정들 하에서, Si의 50㎛ 이내의 절연막은 600℃ 이상으로 가열될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 이러한 상태들이 수용 가능할 수 있도록 하는 유리 전이(또는 용융) 온도 이상으로 충분한 양의 절연막이 가열되지 않을 수 있다.

[0066] 리본 빔의 높이가 1mm까지 증가된다면, Si 막을 충분히 가열하는데 대략 2.4초가 걸릴 수 있으며, 이 시간 내에 유리 바닥의 피크 온도는 600℃에 도달할 수 있다. 도 7의 0.1mm인 경우에 비해, 이 예는 빔의 전력 밀도를 가능한 높게 유지해야 할 필요가 있음을 보여준다. 이는 빔 면적을 가능한 작게 유지하고, 빔 전류를 증가시키고,

및/또는 빔 에너지를 증가시킴으로써 달성될 수 있다. 이온 종의 질량도 증가될 수 있다. 분자 입자 빔은 더 높은 빔 에너지들의 사용을 가능하게 하므로 분자 입자 빔을 사용하는 것이 바람직할 수 있다. 동시에, 더 높은 빔 에너지는 공간 전하 폭발(blow up)과 같은 추가적인 해로운 효과들을 감소시킬 수 있으며, 빔 에너지가 더 높지 않을 경우, 공간 전하 폭발은 빔 전류들 및 빔 포커싱(focusing)을 제한할 수 있다.

[0067] 입자 빔 조사(irradiation)는 고체 Si를 비정질상으로 유지하여 1300K에서 용융이 발생하도록 할 수 있다. 결정 Si는 1683K까지 용융되지 않는다. 따라서, 비정질 Si가 용융 시작 전에 결정화를 거친다면, 물질을 완전히 용융하기 위하여 더 많은 전력이 필요할 수 있다. 또한, 액체 Si는 레이저 복사의 일부분을 반사할 수 있으므로, 일단 Si 표면이 용융되면, 전력을 Si의 벌크(bulk)에 결합하는 것이 어려울 수 있다. 냉각 중인 입자 빔 및 결정화상의 존재는 높은 품질의 물질을 생산하는데 영향을 줄 수 있다.

[0068] **박막 태양 전지**

[0069] 본 발명에서 설명된 입자 유도 상변환은 박막 태양 전지들의 제조에 적용될 수도 있다. 당업계에 알려진 바와 같이, 비정질 Si는 직접 밴드 갭 물질이고 간접 밴드 갭 물질인 결정 Si보다 더 효율적으로 빛을 흡수할 수 있다. 또한, 비정질 Si는 결정 Si보다 가시 스펙트럼(visible spectrum)에서 더 많은 빛을 흡수한다. 그러나, 비정질 Si는 더 낮은 전기 도전성을 갖는다. 이와 같이, 비정질 Si는 입사 복사를 전류로 바람직하게 변환할 수 있는 반면, 결정 Si는 생성된 전류를 바람직하게 전달할 수 있다. 따라서, 이 실시예에 따른 태양 전지는 결정 Si의 또 다른 층 위에 비정질 Si의 층을 가지는 것이 바람직할 수 있다. 가시 파장들의 입사 복사는 비정질 Si에서 광전류(photocurrent)로 효율적으로 변환될 수 있다. (적외선 복사를 포함하는) 비정질 층에서 변환되지 않은 광(light)은 결정 Si에서 광전류로 변환될 수 있다.

[0070] 도 8을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 기판 처리에 포함될 수 있는 공정이 도시된다. 이 실시예에서, 기판은 결정 및 비정질 층들을 갖는 박막 태양 전지일 수 있다. 다른 실시예에서, 기판은 절연층(도시하지 않음) 위에 배치된 FPD의 반도전성 층일 수 있다. 도 8a에 도시된 바와 같이, 비정질 Si 층(802)은 유리 층(도시하지 않음) 위에 증착될 수 있다. Si 층(802)은 1.5㎛의 두께를 가질 수 있는 반면, 유리층은 3㎜의 두께를 가질 수 있다. 다음으로, 미리 설정된 도우즈 및 에너지를 갖는 입자들(804)은 비정질 Si 층(802)에 도입될 수 있다. 도 8b에 도시된 바와 같이, 입자들(804)은 비정질 Si 층(802)의 상부 부분의 결정화를 유도하지 않고, Si 층(802)의 하부 부분을 결정화하기 위하여 Si 층의 표면 아래에 도입될 수 있다. 궁극적으로 얻어진 기판은 결정 Si 층(806) 위에 배치된 비정질 Si 층(802)을 갖는 태양 전지에서 사용될 수 있다.

[0071] 도 9를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 기판 처리에 포함될 수 있는 공정이 도시된다. 이 실시예에서, 기판은 결정 및 비정질 층들을 갖는 박막 태양 전지일 수 있다. 다른 실시예에서, 기판은 절연층(도시하지 않음) 위에 배치된 FPD의 반도전성 층일 수 있다. 도 9a에 도시된 바와 같이, 비정질 Si 층(902)은 유리층(도시하지 않음) 위에 증착될 수 있다. 그 후에, 미리 설정된 도우즈 및 에너지를 갖는 입자들(904)이 전체 Si 층(906)(도 9b)을 결정화하기 위하여 비정질 Si 층(902)에 도입될 수 있다. 도 9c에 도시된 바와 같이, 제2 종(908), 에너지 및 도우즈의 복수의 입자들은 결정 Si 층의 표면 근처의 층을 비정질화하기 위하여 기판에 도입될 수 있다. 궁극적으로 얻어진 태양 전지는 비정질 상부 Si 층(904) 및 결정 하부 Si 층(902)을 가질 수 있다.

[0072] 도 10을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 기판 처리에 포함될 수 있는 공정이 도시된다. 이 실시예에서, 기판은 결정 및 비정질 층들을 갖는 박막 태양 전지일 수 있다. 다른 실시예에서, 기판은 절연층(도시하지 않음) 위에 배치된 FPD의 반도전성 층일 수 있다. 도 10a에 도시된 바와 같이, 비정질 Si 층(1002)은 유리층(도시하지 않음) 위에 증착될 수 있다. 그 후에, 미리 설정된 도우즈 및 에너지를 갖는 입자들(1004)은 Si 층(1002) 내의 서브 층(sub-layer)(1006)(도 10b 참조)을 결정화하기 위하여 비정질 Si 층(1002)에 도입될 수 있다. 도 10b가 Si 층(1002)의 윗면 근처에 배치된 서브 층을 도시하지만, 당업자는 서브 층(1006)이 윗면 근처, 아랫면 근처, 또는 Si 층(1002)의 윗면과 아랫면 사이의 어디에나 위치될 수 있다는 것을 인지하여야 한다.

[0073] 결정 서브 층(1006)을 형성한 후, 서브 층(1006)의 하나 이상의 결정들은 전체 Si 층(1002)이 결정화될 수 있을 때까지 서브 층(1006)으로부터 성장될 수 있다. 결정들은 노 어닐링(furnace annealing), 급속 열 어닐링(RTA : rapid thermal annealing), 플래시램프(flashlamp) 어닐링 및 레이저 어닐링 중 하나를 통해 성장될 수 있다. 다른 방안으로서, 결정들은 입자 보조 어닐링(particle assisted annealing)에 의해 성장될 수 있다. 예를 들어, 다른 미리 설정된 도우즈 및/또는 다른 미리 설정된 에너지를 갖는 동일하거나 다른 유형들의 입자들은

기판의 아랫면을 향해 하나 이상의 결정들의 결정입계를 연장하기 위하여 결정화된 서브 층 아래의 영역으로 도입될 수 있다. 공정에서, 전체 Si 층(1002)은 수직 방향으로 연장되는 결정입계들을 갖는 하나 이상의 결정들을 포함할 수 있다. 이 실시예는 새롭게 결정화된 Si 층(1006)의 일부분을 비정질화하기 위한 선택적 비정질화 단계를 포함할 수도 있다. 예를 들어, 입자들(1010)은 이후 새롭게 결정화된 Si 층(1002)에 도입되어, 비정질 서브 층(1012)을 형성하기 위하여, 새롭게 결정화된 Si 층(1002)(도 10d)의 적어도 일부분을 비정질화한다. 본 발명에서, Si 층(1002)을 새롭게 결정화하기 위하여 도입된 입자들은 이전의 비정질 Si 층(1002)을 결정화하는데 사용된 것과 동일한 입자들일 수 있다. 다른 방안으로서, Si 층(1002)을 새롭게 결정화하기 위해 도입된 입자들은 이전의 비정질 Si 층(1002)을 결정화하는데 사용된 것과 상이할 수 있다. 상기 공정은 두꺼운 비정질 Si 층을 결정화하는데 사용될 수 있다.

[0074] 입자 유도 상변환은 효율적인 다결정 Si 태양 전지를 제조하기 위해 사용될 수도 있다. 결정들의 결정입계들은 금속 오염물과 같은 불순물들을 게터링(gettering)하기에 효율적인 장소들일 수 있다. 또한, 결정입계는 캐리어들이 경계(boundary)를 통과하여 이동하는 것을 방지하는 전하 캐리어들의 이동성(mobility)에 대한 장벽(barrier)으로서 기능할 수 있다. 따라서, 결정입계들이 전하 캐리어들의 경로를 가로질러 배치된다면, 다수의 결정들, 결과적으로 다수의 결정입계들을 갖는 다결정 태양 전지들은 상대적으로 낮은 전기 도전성을 가질 수 있다. 다결정 태양 전지들에서, 윗면에서 생성된 전류는 태양 전지의 아랫면에 일반적으로 위치되는 접촉 영역으로 이송되어야 한다. 다결정 태양 전지들의 결정입계들이 전하 캐리어들의 경로를 가로질러 위치된다면, 태양 전지들의 효율은 낮아질 수 있다. 이와 같이, 전하 캐리어들의 경로에 대하여 평행한 방식으로 배향되는 결정입계들을 갖는 다결정 태양 전지들을 제조하는 것이 바람직할 수 있다.

[0075] 효율적인 다결정 태양 전지를 제조하기 위하여, 비정질 Si 기판이 준비될 수 있다. 그 후, Si 층의 윗면이 결정화될 수 있고, 결정들은 고체상 에피택셜 재성장(SPER)에 대하여 아래로 성장할 수 있다. 이온 에너지는 기판에 전달된 전력 밀도가 최대화되도록 선택될 수 있다. 이것은 40 내지 100kev 사이의 에너지에 상응할 수 있으며, 이 경우, 전형적 이온 빔 시스템들은 이온 소스로부터 최대 빔 전류들을 추출할 수 있고, 공간 전하 효과들이 빔 이송 및 포커싱을 위하여 감소된다. 이러한 이온 빔은 실리콘 표면 근처에서 결정화를 유발할 수 있고, 이는 전체 층이 결정화될 때까지 SPER을 아래로 시드(seed)할 수 있다. SPER은 빔 유도 결정화 단계의 일부로서 발생하거나, 노(furnace), RTA, 플래시램프, 레이저 또는 다른 어닐링 방법들 중 하나 또는 하나 이상을 사용할 수 있는 추가 어닐링 단계에서 발생할 수 있다. 궁극적으로 얻어진 기판은 수직으로 연장되는 결정입계들을 갖는 결정들을 가질 가능성이 높을 것이다. 그 후, 제2 종, 에너지 및 도우즈의 입자들은 다결정 기판의 표면 근처의 층을 비정질화하기 위하여 기판에 도입될 수 있다. 따라서, 태양 전지는 수직으로 연장되는 다결정 Si 층 위의 비정질 Si 층의 구조를 가질 수 있다. 상술한 바와 같이, 이러한 태양 전지는 복사 에너지를 전기 에너지로 더 효율적으로 변환할 수 있고, 동시에, 변환된 전기 에너지를 더 효율적으로 이송할 수 있다.

[0076] 본 발명에서, 경계들의 크기 및 배향은 상부 층의 결정화를 보조하는데 사용된 입자 빔 상태들의 선택에 의해 영향을 받을 수 있다. 인(phosphorous)은 좋은 게터 종(getter species)이기 때문에 선호하는 종일 수 있고, 태양 전지을 위한 선택의 도펀트(dopant)일 수 있다. 주입의 방향은 입자 배향에 영향을 주도록 선택될 수 있다. 보이드(void)가 거의 없는 상부 결정 표면을 생성하기 위하여, 전체 활성층이 주입되거나 표면층이 주입될 수 있고, 기판의 나머지는 SPER에 의해 재성장될 수 있다.

[0077] 본 명세서에서 채택된 용어들 및 표현들은 한정이 아니라 설명하는 의미로 사용되고 있고, 이러한 용어들 및 표현들의 사용시에, 도시되고 설명된 특징들 (또는 그 일부분)의 임의의 등가물들을 제외할 의도는 없으며, 청구항들의 범위 내에서 다양한 변형들이 가능하다는 것을 인식해야 한다. 다른 변형들, 수정들 및 대안들도 가능하다. 따라서, 상술한 설명은 오직 예시를 위한 것이며, 한정하기 위한 것이다. 특허청구범위는 본 명세서에서 상세하게 설명된 임의의 특징이다.

## *부호의 설명*

[0078] 302 : 이온 소스 304 : 추출 시스템

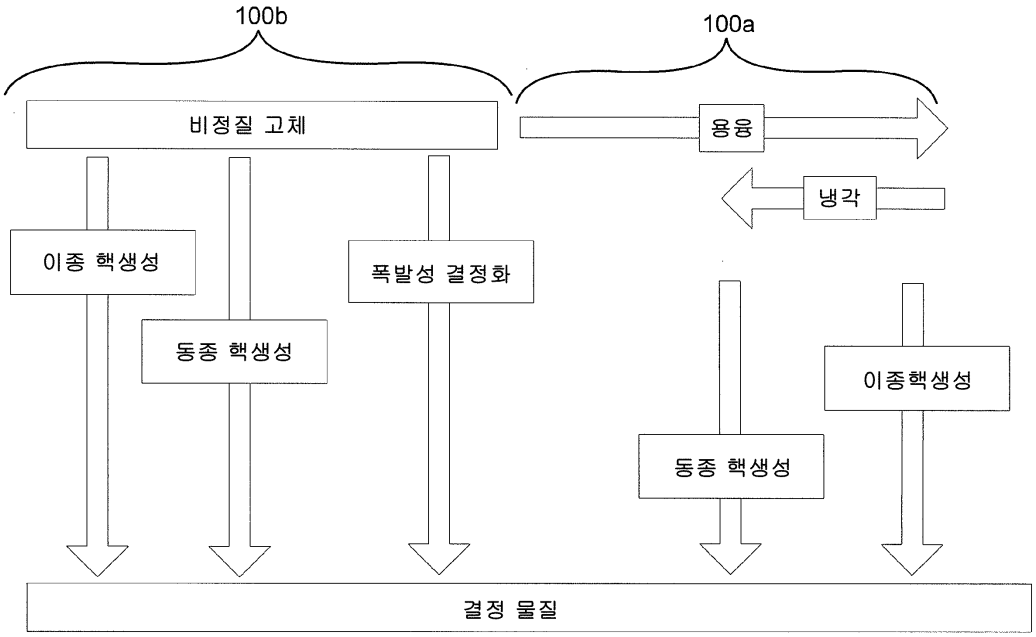
306 : 가속 시스템 308 : 빔 조작 부품들

310 : 전하 중성화 시스템 322 : 기판

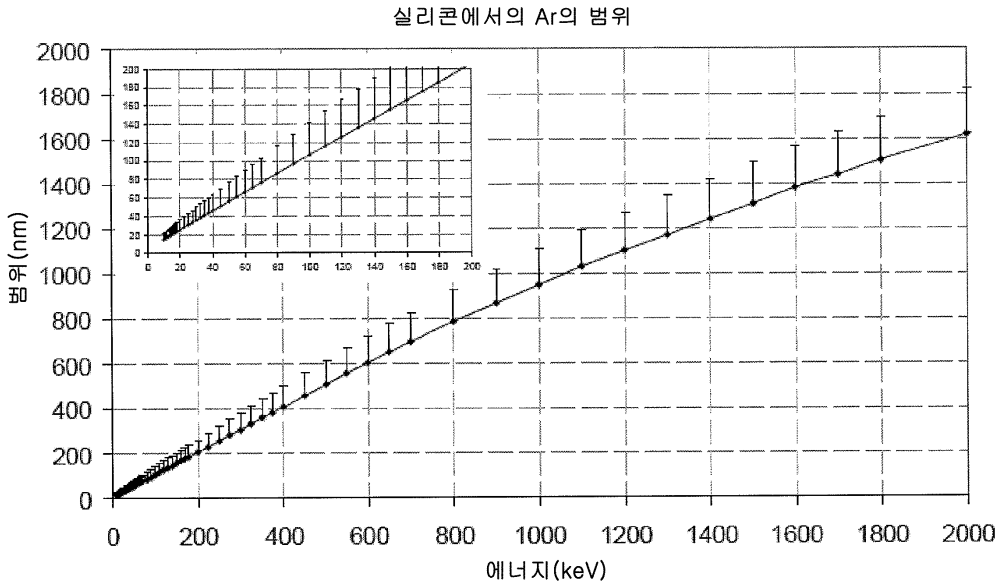
324 : 기판 병진 가열 및 냉각 서브 시스템

## 도면

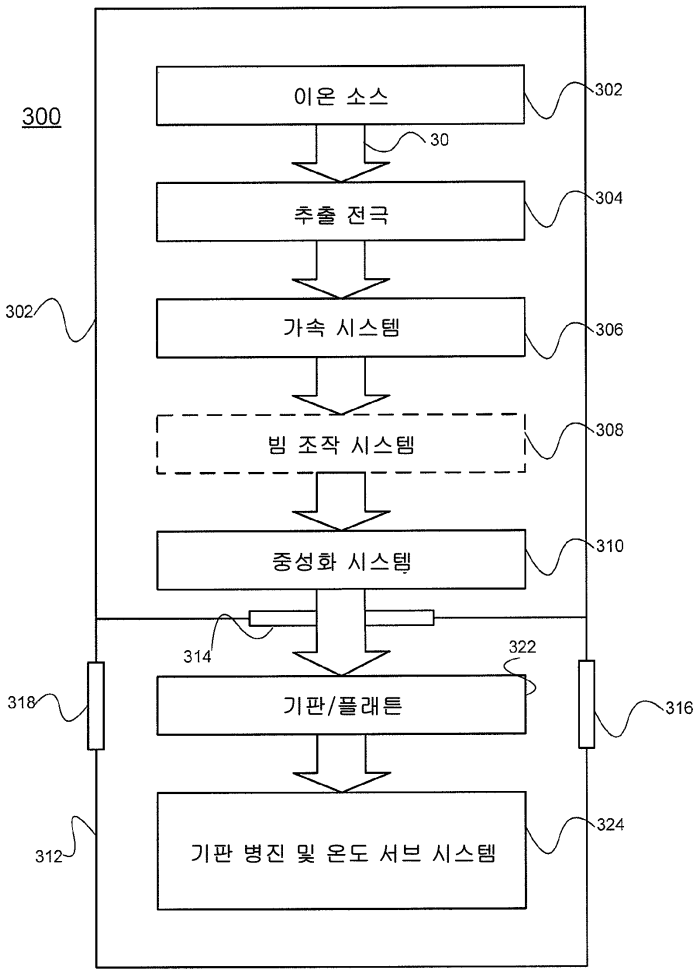
### 도면1


100b
100a
비정질 고체
용융
냉각
이종 핵생성
동종 핵생성
폭발성 결정화
동종 핵생성
이종핵생성
결정 물질

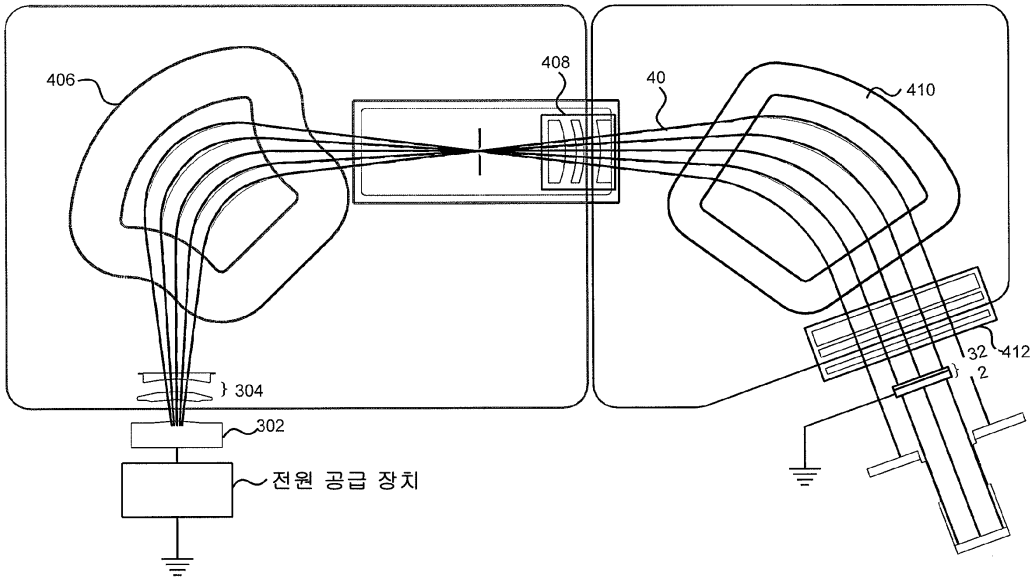
### 도면2


실리콘에서의 Ar의 범위
범위(nm)
에너지(keV)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000

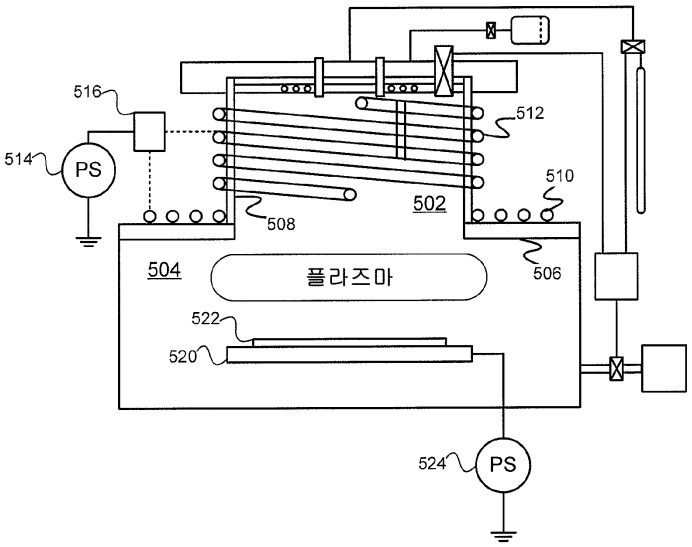
도면3


300
이온 소스
302
30
추출 전극
304
302
가속 시스템
306
빔 조작 시스템
308
중성화 시스템
310
314
322
318
316
기판/플래튼
312
기판 병진 및 온도 서브 시스템
324

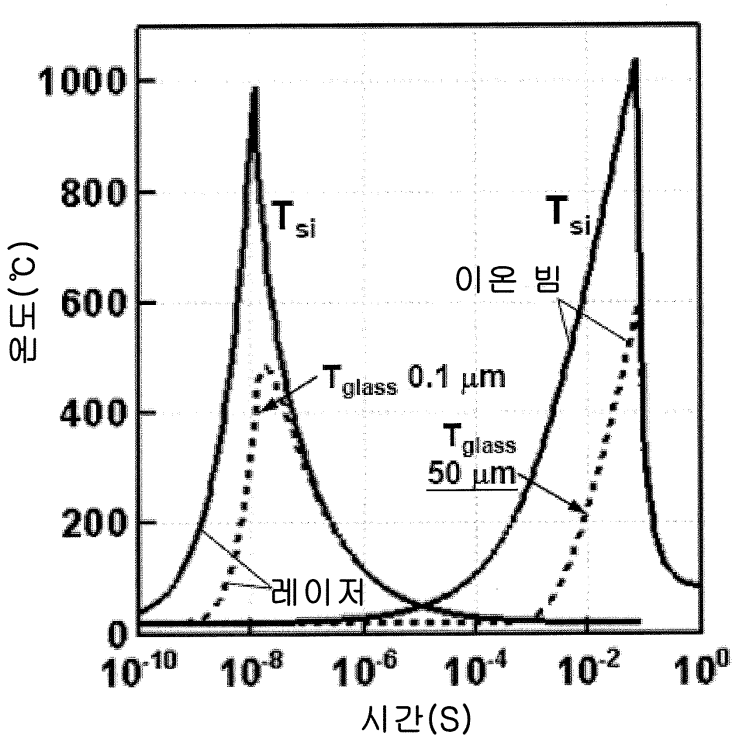
도면4


406
408
40
410
412
32
2
304
302
전원 공급 장치

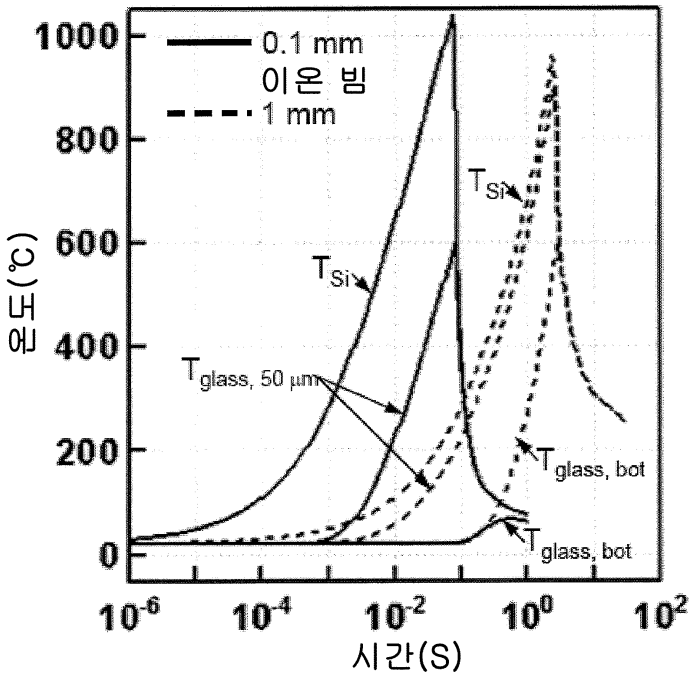
도면5


516
514
PS
512
510
502
508
504
플라즈마
506
522
520
524
PS

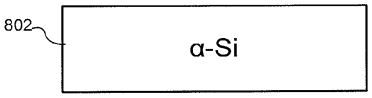
도면6


1000
800
600
400
200
0
온도(℃)
$T_{si}$
$T_{si}$
이온 빔
$T_{glass}$ 0.1 μm
$T_{glass}$
50 μm
레이저
$10^{-10}$
$10^{-8}$
$10^{-6}$
$10^{-4}$
$10^{-2}$
$10^{0}$
시간(S)

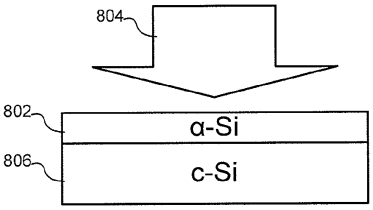
도면7



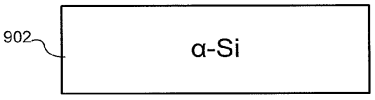

도면8a



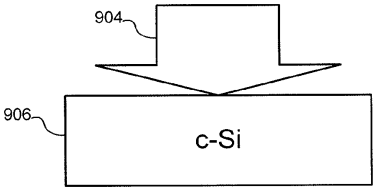

도면8b



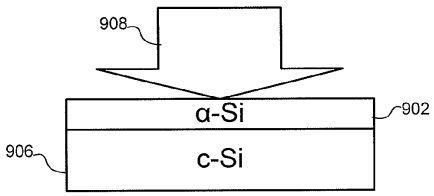

도면9a



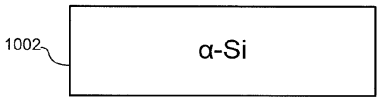

도면9b



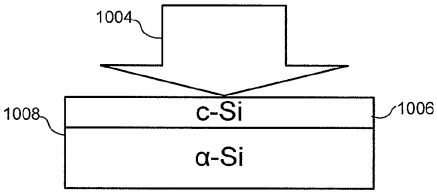
도면9c



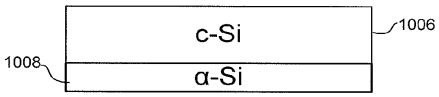

도면10a




도면10b




도면10c




도면10d

