(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년04월03일
(11) 등록번호 10-2791914
(24) 등록일자 2025년04월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 5/18 (2006.01) *G02B 27/00* (2020.01)
H01J 37/305 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 5/1857 (2013.01)
G02B 27/0081 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7030762
(22) 출원일자(국제) 2021년01월12일
심사청구일자 2022년09월05일
(85) 번역문제출일자 2022년09월05일
(65) 공개번호 10-2022-0136423
(43) 공개일자 2022년10월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2021/013086
(87) 국제공개번호 WO 2021/158338
국제공개일자 2021년08월12일
(30) 우선권주장
62/971,811 2020년02월07일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
WO2019231576 A1
KR1020170037980 A

(73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050
(72) 발명자
마이어 티머만 티센, 루트거
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050 엠/에스 1269 어플라이드 머티어리얼스 인코포레이티드 로우 디파트먼트 (내)
에반스, 모르간
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050 엠/에스 1269 어플라이드 머티어리얼스 인코포레이티드 로우 디파트먼트 (내)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유)남아이피그룹, 특허법인 남앤남

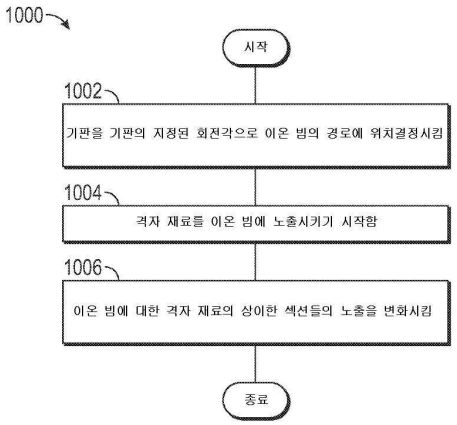
전체 청구항 수 : 총 20 항 심사관 : 이성룡

(54) 발명의 명칭 **에칭 개선**

(57) 요 약

방법이 제공된다. 이 방법은 제1 기판 상의 제1 평면을 가로질러 배치된 제1 재료를 이온 빔(ion beam)에 노출시켜 제1 재료에 제1 복수의 구조들을 형성하는 단계를 포함하고, 이온 빔은 제1 기판의 표면 법선에 대해 이온 빔 각도(θ)로 제1 재료를 향한다. 제1 기판은 이온 빔과 제1 복수의 구조들의 제1 벡터(vector) 사이의 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되고, 제1 재료는 제1 방향을 따라 점증적으로 이온 빔에 노출되고, 이온 빔에 대한 제1 재료의 노출은 제1 방향을 따라 변화되어 제1 방향으로 제1 복수의 구조들 사이의 깊이 변화를 생성한다.

대 표 도 - 도10



(52) CPC특허분류
H01J 37/3056 (2024.08)
(72) 발명자
페플로스키, 모리스 에머슨
미국 13676 뉴욕 포츠담 카운티 로드 488
올슨, 조셉 씨.
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050 엠/에스 1269 어플라이드 머티어리얼스 인코포레이티드 로우 디파트먼트 (내)
솔디, 토마스 제임스
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050 엠/에스 1269 어플라이드 머티어리얼스 인코포레이티드 로우 디파트먼트 (내)

명 세 서

청구범위

청구항 1

경사 에칭 방법으로서,

제1 기판 상의 제1 평면을 가로질러 배치된 제1 재료를 제1 시간 기간 동안 이온 빔(ion beam)에 노출시켜 상기 제1 재료에 제1 복수의 구조들을 형성하는 단계 - 상기 이온 빔은 상기 제1 기판의 표면 법선에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 상기 제1 재료를 향하고, 상기 제1 기판은 상기 제1 시간 기간 동안 상기 이온 빔과 상기 제1 복수의 구조들의 제1 벡터(vector) 사이의 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되고, 상기 제1 벡터는 상기 제1 복수의 구조들이 상기 제1 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직이고, 상기 제1 재료는 상기 제1 시간 기간 동안 제1 방향을 따라 점증적으로(incrementally) 상기 이온 빔에 노출되고, 그리고 상기 이온 빔에 대한 상기 제1 재료의 노출은 상기 제1 방향을 따라 변화되어 상기 제1 방향으로 상기 제1 복수의 구조들 사이의 깊이 변화를 생성함 - ; 및

상기 배치된 제1 재료를 제2 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출시켜 상기 제1 복수의 구조들 중 적어도 일부의 깊이를 수정하는 단계 - 상기 기판은 상기 제2 시간 기간 동안 상기 이온 빔과 상기 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정되고, 상기 제2 회전각(Φ_2)은 상기 제1 회전각(Φ_1)의 음의 각도임 - 를 포함하는,

경사 에칭 방법.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 제1 복수의 구조들은 상기 제1 기판의 법선 표면에 대해 제1 경사각(ϑ_1')을 갖도록 형성되고,

상기 제1 회전각(Φ_1)은 방정식 $\Phi_1 = \cos^{-1}(\tan(\vartheta_1')/\tan(\vartheta))$에 의해 선택되고, 그리고

상기 제1 복수의 구조들의 깊이들은 상기 제1 복수의 구조들의 상기 제1 경사각(ϑ_1')을 유지하면서 상기 제2 기간 동안 수정되는,

경사 에칭 방법.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 듀티 사이클(duty cycle)은 상기 제1 재료가 상기 제1 방향을 따라 점증적으로 상기 이온 빔에 노출됨에 따라 상기 제1 복수의 구조들 사이의 깊이 변화를 생성하기 위해 상기 제1 재료의 상이한 섹션들(sections)에 대해 변화되는,

경사 에칭 방법.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 이온 빔에 대한 노출 시간은 상기 제1 재료가 상기 제1 방향을 따라 점증적으로 상기 이온 빔에 노출됨에 따라 상기 제1 복수의 구조들 사이의 깊이 변화를 생성하기 위해 상기 제1 재료의 상이한 섹션들에 대해 변화되는,

경사 에칭 방법.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 전력은 상기 제1 재료가 상기 제1 방향을 따라 점증적으로 상기 이온 빔에 노출됨에 따라 상기 제1 복수의 구조들 사이의 깊이 변화를 생성하기 위해 상기 제1 재료의 상이한 섹션들에 대해 변화되는,

경사 에칭 방법.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 제1 기판은 기판 지지체 상에서 상기 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되는,

경사 에칭 방법.

청구항 7

제6 항에 있어서,

상기 기판 지지체로부터 상기 제1 기판을 제거하는 단계;

상기 기판 지지체 상에 제2 기판을 위치결정시키는 단계; 및

상기 제2 기판 상의 제2 평면을 가로질러 배치된 제2 재료를 상기 이온 빔에 노출시켜 상기 제2 재료에 제2 복수의 구조들을 형성하는 단계를 더 포함하고,

상기 이온 빔은 상기 이온 빔 각도(ϑ)로 상기 제2 재료를 향하고,

상기 제2 기판은 상기 이온 빔과 상기 제2 복수의 구조들의 제2 벡터 사이의 제3 회전각(Φ_3)에 위치결정되고,

상기 제2 벡터는 상기 제2 복수의 구조들이 상기 제2 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직이고, 그리고

상기 제2 기판이 상기 제3 회전각(Φ_3)에 있게 위치결정시키는 것은 상기 제1 복수의 구조들이 상기 제1 기판 상에 형성되었을 때 상기 기판 지지체의 배향에 대해 상기 기판 지지체를 회전시키는 것을 포함하는,

경사 에칭 방법.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 제2 재료는 상기 제1 방향을 따라 점증적으로 상기 이온 빔에 노출되고, 그리고

상기 이온 빔에 대한 상기 제2 재료의 노출은 상기 제1 방향을 따라 변화되어 상기 제1 방향으로 상기 제2 복수의 구조들 사이의 깊이 변화를 생성하는,

경사 에칭 방법.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 듀티 사이클은 상기 제2 재료가 상기 제1 방향을 따라 점증적으로 상기 이온 빔에 노출됨에 따라 상기 제2 복수의 구조들의 깊이 변화를 생성하기 위해 상기 제2 재료의 상이한 섹션들에 대해 변화되는,

경사 에칭 방법.

청구항 10

제7 항에 있어서,

상기 제2 복수의 구조들은 상기 제2 기판의 표면 법선에 대해 제2 경사각(ϑ_2')을 갖도록 형성되고, 그리고

상기 제3 회전각(Φ_3)은 방정식 $\Phi_3 = \cos^{-1}(\tan(\vartheta_2')/\tan(\vartheta))$에 의해 선택되는,

경사 에칭 방법.

청구항 11

경사 에칭 방법으로서,

기판 상의 제1 평면을 가로질러 배치된 제1 재료를 제1 시간 기간 동안 이온 빔에 노출시켜 상기 제1 재료에 제1 복수의 구조들을 형성하는 단계 - 상기 이온 빔은 상기 기판의 표면 법선에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 상기 제1 재료를 향하고, 상기 기판은 상기 제1 시간 기간 동안 상기 이온 빔과 상기 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되고, 상기 제1 벡터는 상기 제1 복수의 구조들이 상기 제1 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직임 - ; 및

상기 배치된 제1 재료를 제2 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출시키는 단계 - 상기 기판은 상기 제2 시간 기간 동안 상기 이온 빔과 상기 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정되고, 그리고 상기 제2 회전각(Φ_2)은 상기 제1 회전각(Φ_1)의 음의 각도임 - 를 포함하는,

경사 에칭 방법.

청구항 12

제11 항에 있어서,

상기 제1 재료의 제1 섹션이 상기 제1 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출되고,

상기 제1 재료의 제2 섹션이 상기 제2 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출되고, 그리고

상기 제2 섹션은 상기 제1 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출되지 않았던 적어도 일부를 포함하는,

경사 에칭 방법.

청구항 13

제12 항에 있어서,

상기 제1 섹션 및 상기 제2 섹션은 공통 부분을 공유하는,

경사 에칭 방법.

청구항 14

제11 항에 있어서,

상기 제1 재료는 상기 제1 시간 기간 동안 제1 방향을 따라 점증적으로 상기 이온 빔에 노출되고, 그리고

상기 이온 빔에 대한 상기 제1 재료의 노출은 상기 제1 시간 기간 동안 상기 제1 방향을 따라 변화되어 상기 제1 방향으로 상기 제1 복수의 구조들 사이의 깊이 변화를 생성하는,

경사 에칭 방법.

청구항 15

제14 항에 있어서,

상기 제1 재료는 상기 제2 시간 기간 동안 상기 제1 방향을 따라 점증적으로 상기 이온 빔에 노출되고, 그리고

상기 이온 빔에 대한 상기 제1 재료의 노출은 상기 제2 시간 기간 동안 상기 제1 방향을 따라 변화되어 상기 제1 방향으로 상기 제1 복수의 구조들 사이의 수정된 깊이 변화를 생성하는,

경사 에칭 방법.

청구항 16

제11 항에 있어서,

상기 제1 복수의 구조들은 상기 제1 시간 기간 동안 상기 기판의 표면 법선에 대해 제1 경사각(ϑ_1')을 갖도록 형성되고,

상기 제1 회전각(Φ_1)은 방정식 $\Phi_1 = \cos^{-1}(\tan(\vartheta_1')/\tan(\vartheta))$에 의해 선택되고, 그리고

상기 제1 복수의 구조들을 노출시키는 것은 상기 제1 복수의 구조들의 상기 제1 경사각(ϑ_1')을 유지하면서 상기 제2 기간 동안 상기 제1 복수의 구조들 중 적어도 일부의 깊이들을 수정하는,

경사 에칭 방법.

청구항 17

제11 항에 있어서,

상기 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 듀티 사이클은 상기 제1 시간 기간 동안 제1 프로파일(profile)에 따라 변화되고, 그리고

상기 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 듀티 사이클은 상기 제2 시간 기간 동안 제2 프로파일에 따라 변화되는,

경사 에칭 방법.

청구항 18

경사 에칭 방법으로서,

기판 상의 제1 평면을 가로질러 배치된 제1 재료를 제1 시간 기간 동안 이온 빔에 노출시켜 상기 제1 재료에 제1 복수의 구조들을 형성하는 단계 - 상기 이온 빔은 상기 기판의 표면 법선에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 상기 제1 재료를 향하고, 상기 기판은 상기 제1 시간 기간 동안 상기 이온 빔과 상기 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되고, 상기 제1 벡터는 상기 제1 복수의 구조들이 상기 제1 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직이고, 상기 제1 복수의 구조들은 상기 제1 시간 기간 동안 상기 기판의 표면 법선에 대해 제1 경사각(ϑ_1')을 갖도록 형성되고, 그리고 상기 제1 회전각(Φ_1)은 방정식 $\Phi_1 = \cos^{-1}(\tan(\vartheta_1')/\tan(\vartheta))$에 의해 선택됨 - ; 및

상기 제1 재료를 제2 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출시키는 단계 - 상기 기판은 상기 제2 시간 기간 동안 상기 이온 빔과 상기 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정되고, 상기 제2 회전각(Φ_2)은 상기 제1 회전각(Φ_1)의 음의 각도이고, 상기 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 듀티 사이클은 상기 제1 시간 기간 동안 제1 프로파일에 따라 변화되고, 그리고 상기 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 상기 듀티 사이클은 상기 제2 시간 기간 동안 제2 프로파일에 따라 변화됨 - 를 포함하는,

경사 에칭 방법.

청구항 19

제18 항에 있어서,

상기 제1 재료의 제1 섹션이 상기 제1 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출되고,

상기 제1 재료의 제2 섹션이 상기 제2 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출되고, 그리고

상기 제2 섹션은 상기 제1 시간 기간 동안 상기 이온 빔에 노출되지 않았던 적어도 일부를 포함하는,

경사 에칭 방법.

청구항 20

제19 항에 있어서,

상기 제1 섹션 및 상기 제2 섹션은 공통 부분을 공유하는,

경사 에칭 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] [0001] 본 개시내용의 실시예들은 일반적으로 경사 에칭 툴들(angled etch tools)에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본원에 설명된 실시예들은 광학 디바이스들의 구조들을 형성하기 위해 경사 에칭 툴들을 사용하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] [0002] 기판 상에, 하나 이상의 격자들의 핀들(fins)과 같은, 상이한 경사각들(slant angles)을 갖는 구조들을 형성하기 위해, 경사 에칭 시스템들(angled etch systems)이 사용될 수 있다. 경사 에칭 시스템의 일 예는 이온 빔 소스(ion beam source)를 수용하는 이온 빔 챔버이다. 이온 빔 소스는 리본 빔(ribbon beam), 스폿 빔(spot beam), 또는 전체 기판 크기 빔과 같은 이온 빔을 생성하도록 구성된다. 이온 빔 챔버는 특정 경사각을 갖는 구조를 생성하기 위해 기판의 표면 법선에 대해 각도를 이루어 이온 빔을 지향시키도록 구성된다. 이온 빔에 의해 생성되는 구조의 경사각을 변경시키려면 이온 빔 챔버의 상당한 하드웨어 재구성을 필요로 한다.

[0003] [0003] 광학 디바이스들은 상이한 경사각들을 갖는 상이한 구조들을 포함할 수 있다. 따라서, 상이한 경사각들을 갖는 상이한 구조들을 포함하는 하나의 광학 디바이스를 형성하기 위해서는 상당한 하드웨어 재구성을 필요로 한다. 또한, 이전에 제작된 광학 디바이스와 다른 경사각들을 갖는 구조들을 갖는 광학 디바이스를 제작하는 경우에도 유사한 문제들이 발생한다.

[0004] [0004] 기판의 표면을 가로질러 상이한 깊이들을 갖는 상이한 구조들을 포함하는 광학 디바이스들을 형성하는 것은 통상적으로 시간 소모적이고 복잡한 프로세스들을 사용하여 수행되어 왔으며, 이는 프로세스를 사용하여 제작된 임의의 디바이스들에 상당한 비용들을 추가시킬 수 있다.

[0005] [0005] 따라서, 단일 기판에 걸쳐 상이한 깊이들 또는 상이한 깊이들 및 상이한 경사각들을 갖는 구조들을 포함하는 광학 디바이스들을 형성할뿐만 아니라 연속 기판들 상에 상이한 깊이들 또는 상이한 깊이들 및 상이한 경사각들을 갖는 구조들을 포함하는 광학 디바이스들을 형성하기 위한 개선된 방법들 및 관련 장비가 필요하다.

발명의 내용

[0006] [0006] 본 개시내용의 실시예들은 일반적으로 경사 에칭 툴들에 관한 것이다. 일 실시예에서, 방법이 제공된다. 이 방법은 제1 기판 상의 제1 평면을 가로질러 배치된 제1 재료를 이온 빔에 노출시켜 제1 재료에 제1 복수의 구조들을 형성하는 단계를 포함하고, 이온 빔은 제1 기판의 표면 법선에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 제1 재료를 향하고, 제1 기판은 이온 빔과 제1 복수의 구조들의 제1 벡터(vector) 사이의 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되고, 제1 벡터는 제1 복수의 구조들이 제1 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직이고, 제1 재료는 제1 방향을 따라 점증적으로(incrementally) 이온 빔에 노출되고, 이온 빔에 대한 제1 재료의 노출은 제1 방향을 따라 변화되어 제1 방향으로 제1 복수의 구조들 사이의 깊이 변화를 생성한다.

[0007] [0007] 다른 실시예에서, 방법이 제공된다. 이 방법은 기판 상의 제1 평면을 가로질러 배치된 제1 재료를 제1 시간 기간 동안 이온 빔에 노출시켜 제1 재료에 제1 복수의 구조들을 형성하는 단계 – 이온 빔은 기판의 표면 법선에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 제1 재료를 향하고, 기판은 제1 시간 기간 동안 이온 빔과 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되고, 제1 벡터는 제1 복수의 구조들이 제1 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직임 – ; 및 배치된 제1 재료를 제2 시간 기간 동안 이온 빔에 노출시키는 단계 – 기판은 제2 시간 기간 동안 이온 빔과 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정됨 – 를 포함한

다.

[0008] [0008] 다른 실시예에서, 방법이 제공된다. 이 방법은 기판 상의 제1 평면을 가로질러 배치된 제1 재료를 제1 시간 기간 동안 이온 빔에 노출시켜 제1 재료에 제1 복수의 구조들을 형성하는 단계 – 이온 빔은 기판의 표면 법선에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 제1 재료를 향하고, 기판은 제1 시간 기간 동안 이온 빔과 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되고, 제1 벡터는 제1 복수의 구조들이 제1 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직이고, 제1 복수의 구조들은 제1 시간 기간 동안 기판의 표면 법선에 대해 제1 경사각(ϑ_1')을 갖도록 형성되고, 제1 회전각(Φ_1)은 방정식 $\Phi_1 = \cos^{-1}(\tan(\vartheta_1')/\tan(\vartheta))$ 에 의해 선택됨 – ; 및 배치된 제1 재료를 제2 시간 기간 동안 이온 빔에 노출시키는 단계 – 기판은 제2 시간 기간 동안 이온 빔과 제1 복수의 구조들의 제1 벡터 사이의 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정되고, 제2 회전각(Φ_2)은 제1 회전각(Φ_1)의 음의 각도이고, 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 듀티 사이클(duty cycle)은 제1 시간 기간 동안 제1 프로파일에 따라 변화되고, 이온 빔을 생성하기 위해 사용되는 듀티 사이클은 제2 시간 기간 동안 제2 프로파일에 따라 변화됨– 를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0009] [0009] 본 개시내용의 위에 인용된 특징들이 상세히 이해될 수 있도록, 위에서 간략하게 요약된 본 개시내용의 보다 구체적인 설명이 실시예들을 참조하여 이루어질 수 있으며, 이 실시예들 중 일부가 첨부된 도면들에 도시되어 있다. 그러나, 첨부된 도면들은 단지 예시적인 실시예들을 예시하는 것이므로 그 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않아야 하고, 다른 균등하게 유효한 실시예들을 허용할 수 있다는 점에 유의해야 한다.

[0010] [0010] 도 1은, 일 실시예에 따른, 광학 디바이스의 사시 정면도이다.

[0011] [0011] 도 2a는, 일 실시예에 따른, 경사 에칭 시스템의 개략적인 측단면도이다.

[0012] [0012] 도 2b는, 일 실시예에 따른, 도 2a에 도시된 경사 에칭 시스템의 개략적인 평면 단면도이다.

[0013] [0013] 도 3은, 일 실시예에 따른, 기판의 일부의 개략적인 사시도이다.

[0014] [0014] 도 4는, 일 실시예에 따른, 등가 경사각(ϑ') 방정식들의 결과들의 그래프이다.

[0015] [0015] 도 5는, 일 실시예에 따른, 구조들의 제1 부분 및 구조들의 제2 부분을 갖는 기판의 개략적인 평면도이다.

[0016] [0016] 도 6은, 일 실시예에 따른, 회전각(Φ_1), 회전각(Φ_2), 및 이온 빔 각도(ϑ)에 대한 연립 방정식들의 결과들의 그래프이다.

[0017] [0017] 도 7은, 일 실시예에 따른, 상이한 경사각들을 갖는 구조들을 형성하기 위한 방법의 흐름도이다.

[0018] [0018] 도 8은, 일 실시예에 따른, 단일 패스(pass)로 상이한 경사각들을 갖는 구조들의 부분들을 형성하기 위한 방법의 흐름도이다.

[0019] [0019] 도 9a는, 일 실시예에 따른, 구조들 사이의 깊이들이 한 차원으로 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스의 윤곽 플롯의 평면도이다.

[0020] [0020] 도 9b는, 일 실시예에 따른, 도 9a의 윤곽 플롯에 도시된 깊이 변화를 생성하기 위해 이온 빔의 듀티 사이클이 디바이스를 가로질러 듀티 사이클 프로파일에 따라 Z-방향으로 어떻게 변화될 수 있는지에 대한 플롯을 도시한다.

[0021] [0021] 도 9c는, 일 실시예에 따른, 도 9a에 도시된 디바이스의 부분 측단면도이다.

[0022] [0022] 도 10은, 일 실시예에 따른, 도 9a 내지 도 9c에 도시된 구조들을 형성하기 위한 방법의 프로세스 흐름도이다.

[0023] [0023] 도 11a는, 일 실시예에 따른, 구조들 사이의 깊이들이 다중 차원들로 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스의 윤곽 플롯의 평면도이다.

[0024] 도 11b는, 일 실시예에 따른, 디바이스가 제1 회전각에 위치결정될 때 디바이스의 제1 재료를 이온 빔에 노출시킴으로써 야기되는, 구조들 사이의 깊이의 변화를 보여주는 디바이스의 윤곽 플롯의 평면도이다.

[0025] 도 11c는, 일 실시예에 따른, 디바이스가 제2 회전각에 위치결정될 때 디바이스의 제1 재료를 이온 빔에 노출시킴으로써 야기되는, 구조들 사이의 깊이의 변화를 보여주는 디바이스의 윤곽 플롯의 평면도이다.

[0026] 도 11d는, 일 실시예에 따른, 도 11b, 도 11c의 윤곽 플롯들에 도시된 구조들 사이의 깊이 변화를 생성하기 위해 이온 빔의 듀티 사이클이 디바이스에 걸쳐 어떻게 변화될 수 있는지에 대한 플롯을 도시한다.

[0027] 도 12는, 일 실시예에 따른, 도 11a에 도시된 디바이스를 형성하기 위한 방법의 프로세스 흐름도이다.

[0028] 이해를 용이하게 하기 위해, 도면들에 대해 공통인 동일한 엘리먼트들을 지정하기 위해 가능한 경우 동일한 참조 번호들이 사용되었다. 일 실시예의 엘리먼트들 및 특징들은 더 이상의 언급 없이도 다른 실시예들에 유익하게 통합될 수 있는 것이 고려된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] [0029] 본원에 설명된 실시예들은 단일 기판에 걸쳐 상이한 깊이들 또는 상이한 깊이들 및 상이한 경사각들을 갖는 구조들을 형성할뿐만 아니라 연속 기판들 상에 상이한 깊이들 또는 상이한 깊이들 및 상이한 경사각들을 갖는 구조들을 포함하는 광학 디바이스들을 형성하는 방법들에 관한 것이다. 다음에서는 대부분 광학 디바이스(예를 들어, 도파관 결합기의 하나 이상의 격자들)를 형성하기 위해 하나 이상의 에칭들을 수행하는 것과 관련하여 설명되지만, 다음 개시내용은 하나 이상의 에칭들이 사용되는 임의의 프로세스에 적용될 수 있다. 예를 들어, 다음 개시내용은 구조들이 하나 이상의 지정된 경사각들 및/또는 하나 이상의 지정된 깊이들을 갖도록 형성되는 임의의 에칭에 적용될 수 있다.

[0011] [0030] 도 1은, 일 실시예에 따른, 광학 디바이스(100)의 사시 정면도이다. 광학 디바이스(100)의 예들은 평면 광학 디바이스 및 도파관(예를 들어, 도파관 결합기)을 포함한다(그러나 이에 제한되지 않음). 광학 디바이스(100)는 하나 이상의 격자들을 포함한다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 결합될 수 있는 일 실시예에서, 광학 디바이스(100)는 입력 격자(102), 중간 격자(104), 및 출력 격자(106)를 포함한다. 격자들(102, 104, 106) 각각은 대응하는 구조들(108, 110, 112)(예를 들어, 핀들)을 포함한다. 본원에 설명된 다른 실시예들과 결합될 수 있는 일 실시예에서, 구조들(108, 110, 112) 및 구조들 사이의 깊이들은 서브 마이크론(sub-micron) 임계 치수들(예를 들어, 나노 크기의 임계 치수들)을 포함한다.

[0012] [0031] 도 2a는 캘리포니아 산타클라라에 위치된 Applied Materials, Inc.로부터 입수가능한 Varian VIISta® 시스템과 같은 경사 에칭 시스템(200)의 개략적인 측단면도이고, 도 2b는 개략적인 평면 단면도이다. 아래에서 설명되는 경사 에칭 시스템(200)은 예시적인 경사 에칭 시스템이고, 다른 제조업체들로부터의 경사 에칭 시스템들을 포함하는 다른 경사 에칭 시스템들이 기판 상에 본원에 설명된 구조들을 형성하기 위해 사용되거나 또는 수정될 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0013] [0032] 도 2a 및 도 2b는 플래튼(platen)(206) 상에 배치된 디바이스(205)를 도시한다. 디바이스(205)는 기판(210), 기판(210) 위에 배치된 에칭 정지 층(211), 에칭 정지 층(211) 위의 제1 평면(YZ 평면)을 가로질러 배치된 격자 재료(212), 및 격자 재료(212) 위에 배치된 하드마스크(hardmask)(213)를 포함한다. 경사각들을 갖는 구조들(예를 들어, 핀들)을 형성하기 위해, 격자 재료(212)는 경사 에칭 시스템(200)에 의해 에칭된다. 일 실시예에서, 격자 재료(212)는 기판(210) 상에 배치된 에칭 정지 층(211) 상에 배치되고, 패터닝된(patterned) 하드마스크(213)가 격자 재료(212) 상에 배치된다. 일 실시예에서, 격자 재료(212)의 하나 이상의 재료들은 형성될 각각의 구조의 경사각(ϑ') 및 기판(210)의 굴절률에 기초하여 선택된다. 일부 실시예들에서, 격자 재료(212)는 실리콘 산탄화물(SiOC), 티타늄 이산화물(TiO_2), 실리콘 이산화물(SiO_2), 바나듐(IV) 산화물(VOx), 알루미늄 산화물(Al_2O_3), 인듐 주석 산화물(ITO), 아연 산화물(ZnO), 탄탈륨 오산화물(Ta_2O_5), 실리콘 질화물(Si_3N_4), 티타늄 질화물(TiN), 및/또는 지르코늄 이산화물(ZrO_2) 함유 재료들 중 하나 이상을 포함한다. 격자 재료(212)는 약 1.5 내지 약 2.65의 굴절률을 가질 수 있다. 격자 재료(212)에 대해 위에 제공된 예들은 디바이스(205)와 같은 광학 디바이스가 형성될 때 사용되는 재료들에 적용된다. 보다 일반적으로, 격자 재료(212)(또한, "제1 재료"로 지칭됨)는 위에 나열된 재료들에 제한되지 않고 임의의 에칭 가능한 재료일 수 있다. 예를 들어, 본 설명의 시작 부분에서 언급된 바와 같이, 본 개시내용의 내용들은 광학 디바이스(205)와 같은 광학 디바이스들의 형성과 관련된 애플리케이션들에 제한되지 않고, 따라서 용어 제1 재료의 사용은 더 일반적으로

하드마스크 층과 같은 다른 재료에 비해 (예를 들어, 이온 빔에 의해) 우선적으로 에칭될 수 있는 재료를 지칭한다.

[0014] [0033] 일부 실시예들에서, 패터닝된 하드마스크(213)는 디바이스(205)가 형성된 후에 제거되는 불투명한 하드마스크이다. 예를 들어, 불투명 하드마스크는 크롬(Cr) 또는 은(Ag)과 같은 반사 재료들을 포함할 수 있다. 다른 실시예에서, 패터닝된 하드마스크(213)는 투명 하드마스크이다. 일 실시예에서, 에칭 정지 층(211)은 디바이스(205)가 형성된 후에 제거되는 불투명한 에칭 정지 층이다. 다른 실시예에서, 에칭 정지 층(211)은 투명한 에칭 정지 층이다.

[0015] [0034] 경사 에칭 시스템(200)은 이온 빔 소스(204)를 수용하는 이온 빔 챔버(202)를 포함한다. 이온 빔 소스는 리본 빔, 스폿 빔, 또는 전체 기판 크기 빔과 같은 이온 빔(216)을 생성하도록 구성된다. 이온 빔 챔버(202)는 기판(210)이 후술되는 바와 같이 틸팅(tilt)되기 전에 기판(210)의 표면 법선(218)에 대해 제1 이온 빔 각도(α)로 이온 빔(216)을 지향시키도록 구성된다. 제1 이온 빔 각도(α)를 변경시키려면 이온 빔 챔버(202)의 하드웨어의 재구성을 필요로 한다. 기판(210)은 제1 액추에이터(208)에 결합된 플래튼(206) 상에 유지된다. 제1 액추에이터(208)는 y-방향 및/또는 z-방향을 따른 스캐닝 모션(scanning motion)으로 플래튼(206)을 이동시키도록 구성된다. 일 실시예에서, 제1 액추에이터(208)는 기판(210)이 이온 빔 챔버(202)의 x-축에 대해 틸트각(tilt angle)(β)에 위치결정되도록(예를 들어, Y-축을 중심으로 회전하도록) 플래튼(206)을 틸팅시키도록 추가로 구성된다. 일부 실시예들에서, 제1 액추에이터(208)는 y-축 및/또는 z-축에 대해 플래튼(206)을 틸팅시키도록 추가로 구성될 수 있다.

[0016] [0035] 제1 이온 빔 각도(α) 및 틸트각(β)은 기판(210)이 틸팅된 후 기판(210)의 표면 법선(218)에 대한 제2 이온 빔 각도(ϑ)를 발생시킨다. 표면 법선(218)에 대해 경사각(ϑ')을 갖는 구조들을 형성하기 위해, 이온 빔 소스(204)는 이온 빔(216)을 생성하고, 이온 빔 챔버(202)는 이온 빔(216)을 제1 이온 빔 각도(α)로 기판(210)을 향해 지향시킨다. 제1 액추에이터(208)는, 이온 빔(216)이 제2 이온 빔 각도(ϑ)로 격자 재료(212)와 접촉하고 격자 재료(212)의 원하는 부분들에 경사각(ϑ')을 갖는 구조들을 형성하기 위해 격자 재료(212)를 에칭하도록 플래튼(206)을 위치결정시킨다.

[0017] [0036] 통상적으로, 구조들의 인접하는 부분의 경사각(ϑ')과 다른 경사각(ϑ')을 갖는 구조들의 부분을 형성하거나, 또는 연속된 기판들 상에 상이한 경사각(ϑ')을 갖는 구조들을 형성하기 위해, 제1 이온 빔 각도(α)는 변경되고, 틸트각(β)이 변경되고, 및/또는 다중 경사 에칭 시스템들이 사용된다. 제1 이온 빔 각도(α)를 변경하기 위해 이온 빔 챔버(202)의 하드웨어를 재구성하는 것은 복잡하고 시간 소모적이다. 이온 빔 각도(ϑ)를 수정하기 위해 틸트각(β)을 조정하면 이온 빔(216)이 상이한 에너지 레벨들로 격자 재료(212)와 접촉함에 따라 기판(210)의 부분들에 걸쳐 구조들의 불균일한 깊이들을 발생시킨다. 예를 들어, 이온 빔 챔버(202)에 더 가깝게 위치결정된 부분은 이온 빔 챔버(202)로부터 더 멀리 위치결정된 인접한 부분의 구조들보다 더 큰 깊이를 갖는 구조들을 가질 것이다. 다중 경사 에칭 시스템들을 사용하면, 다중 챔버들이 필요하기 때문에 제조 시간이 증가하고 비용들이 증가한다. 이온 빔 챔버(202)를 재구성하고, 이온 빔 각도(ϑ)를 수정하기 위해 틸트각(β)을 조정하고, 다중 경사 에칭 시스템들을 사용하는 것을 피하기 위해, 경사 에칭 시스템(200)은 구조들의 경사각(ϑ')을 제어하기 위해 플래튼(206)의 x-축을 중심으로 기판(210)을 회전시키기 위해 플래튼(206)에 결합된 제2 액추에이터(220)를 포함한다.

[0018] [0037] 도 3은, 일 실시예에 따른, 기판(302)의 부분(300)의 개략적인 사시도이다. 이온 빔(216)의 틸트각(β) 및 제1 이온 빔 각도(α)는 기판(302)의 표면 법선(306)에 대한 이온 빔 각도(ϑ)가 기판(302)에 걸쳐 일정하도록 고정된다. 제1 이온 빔 각도(α)는 약 0° 내지 약 90°이고, 틸트각(β)은 약 0° 내지 약 30°이다. 결과적인 제2 이온 빔 각도(ϑ)는 약 0° 내지 약 90°이다. 약 0°에 가까운 또는 약 90°에 가까운 이온 빔 각도(ϑ)는 구조들(304)이 경사지지 않도록 약 0° 또는 약 90°의 경사각(ϑ')을 갖는 구조들(304)을 발생시킬 것이므로, 제2 이온 빔 각도(ϑ)는 바람직하게는 약 25° 내지 약 75°이다. 기판(302)은 플래튼(206)의 x-축을 중심으로 회전되어, 이온 빔(216)과 구조들(304)의 격자 벡터(308) 사이의 회전각(Φ)을

발생시킨다. 회전각(Φ)은 이온 빔 챔버(202)를 재구성하지 않고, 이온 빔 각도(ϑ)를 수정하기 위해 틸트각(β)을 조정하지 않고, 그리고 다중 경사 에칭 시스템들을 사용하지 않고, 경사각(ϑ')을 제어하도록 선택된다. 제2 이온 빔 각도(ϑ)로 결과적인 경사각(ϑ')을 결정하기 위해, 다음 등가 경사각(ϑ') 방정식들이 구현된다: $\sin(\vartheta') = \sin(\vartheta)/\mathrm{sqrt}(1+\tan^2(\Phi)*\cos^2(\vartheta))$ 및 $\tan(\vartheta') = \tan(\vartheta)*\cos(\Phi)$. Φ를 풀면, 회전각(Φ)은 $\cos^{-1}(\tan(\vartheta')/\tan(\vartheta))$이다. 예를 들어, 이온 빔 각도($\vartheta$)가 45° 이고 원하는 경사각($\vartheta'$)이 22.5° 인 경우, 회전각(Φ)은 $\cos^{-1}(\tan(22.5)/\tan(45)) = 65.53$이므로 약 65.53° 이다. 도 4는 5° , 22.5° , 45° , 67.5° , 및 85° 의 이온 빔 각도(ϑ)에 대한 등가 경사각(ϑ') 방정식들의 결과들을 회전각(Φ)의 함수로 나타낸 그래프이다.

[0019] [0038] 격자 벡터(308)는 또한 더 일반적으로 제1 벡터로 지칭될 수 있다. 상술한 바와 같이, 본 개시내용은 광학 디바이스(205)와 같은 광학 디바이스들의 형성에 관한 애플리케이션들에 제한되지 않으므로, 따라서 용어 제1 벡터의 사용은 보다 일반적으로, 제1 복수의 구조들이 에칭될 재료(예를 들어, 격자 재료(212))가 배치되는 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직인 벡터를 지칭한다. 예를 들어, 격자 재료(또한, 제1 재료로 지칭됨)는 YZ 평면(또한, 제1 평면으로 지칭됨)을 가로질러 배치되고, 격자 벡터(308)(또한, 제1 벡터로 지칭됨)는 구조들(304)이 YZ 평면에서 연장되는 방향에 수직이다. 도 2a 및 도 3을 참조하면, 구조들(304)은 Z-방향에 실질적으로 가까운 방향으로 이격되고, 구조들은 Y-방향에 실질적으로 가까운 방향으로 연장된다.

[0020] [0039] 일 실시예에서, 경사각(ϑ')을 갖는 구조들(304)은 위의 도 2a, 도 2b에 도시된 경사 에칭 시스템(200)으로 형성될 수 있다. 다른 실시예들에서, 경사각(ϑ')을 갖는 구조들(304)은 약 0° 의 제1 이온 빔 각도(α)에서 기판(302) 표면의 기하학적 구조에 대응하는 기하학적 구조를 갖는 이온 빔(216)을 생성하는 이온 빔 챔버(202)에 수용된 이온 빔 소스(204)를 갖는 이온 빔 에칭 시스템(전체 웨이퍼, 몰입형 또는 격자형 에칭 시스템으로도 알려져 있음)으로 형성될 수 있다. 이온 빔 에칭 시스템의 플래튼(206)은 이온 빔(216)이 약 25° 내지 약 75° 의 이온 빔 각도(ϑ)로 기판(302)과 접촉하도록 틸트각(β)으로 기판(210)을 위치결정시키도록 구성된다. 회전각(Φ)은 본원에 설명된 바와 같이 경사각(ϑ')을 제어하도록 선택된다.

[0021] [0040] 도 5는, 일 실시예에 따른, 구조들(506)의 제1 부분(502) 및 구조들(508)의 제2 부분(504)을 갖는 기판(500)의 개략적인 평면도이다. 일 실시예에서, 부분들(502, 504)은 제1 격자(502) 및 제2 격자(504)일 수 있고, 구조들(506, 508)은 각각의 격자들(502, 504)의 대응하는 핀들(506, 508)일 수 있다. 구조들(506, 508)은 앞서 도 2a, 도 2b에서 도시된 경사 에칭 시스템(200)을 사용하여 형성될 수 있다. 도 5는 도 5뿐만 아니라 도 2a, 도 2b에서도 위에 도시된 경사 에칭 시스템(200)을 참조하여 설명된다. 이온 빔(216)의 틸트각(β) 및 제1 이온 빔 각도(α)는 이온 빔(216)이 상이한 부분들(502, 504)로 지향될 때 기판(500)의 표면 법선에 대한 이온 빔 각도(ϑ)가 일정하도록 고정된다. 제1 이온 빔 각도(α)는 약 0° 내지 약 90° 이고, 틸트각(β)은 약 0° 내지 약 30° 이다. 결과적인 제2 이온 빔 각도(ϑ)는 약 0° 내지 약 90° 이다. 약 0° 에 가까운 또는 약 90° 에 가까운 이온 빔 각도(ϑ)는 구조들(506, 508)이 경사지지 않도록 약 0° 또는 약 90° 의 경사각을 갖는 구조들을 발생시킬 것이므로, 제2 이온 빔 각도(ϑ)는 바람직하게는 약 25° 내지 약 75° 이다.

[0022] [0041] 각각의 부분들(502, 504)의 구조들(506, 508)을 형성하기 위해, 기판(500)은 플래튼(206)의 x-축을 중심으로 회전되어, 구조들(506)을 형성하기 위한 구조들(506)의 격자 벡터(510)와 이온 빔(216) 사이의 회전각(Φ_1) 및 구조들(508)을 형성하기 위한 구조들(508)의 격자 벡터(512)와 이온 빔(216) 사이의 회전각(Φ_2)을 발생시킬 수 있다. 특정 영역의 하드마스크의 패턴을 사용하여 해당 영역에 대한 격자 벡터를 결정할 수 있는데, 하드마스크의 패턴이 에칭이 수행된 후 기판을 가로질러 구조들이 연장되는 방향들을 결정하기 때문이다. 예를 들어, 격자 벡터(510)(또한, 제1 벡터로 지칭됨)는 구조들(506)이 YZ 평면(또한, 제1 평면으로 지칭됨)에서 연장되는 방향에 실질적으로 수직이다. 유사하게, 격자 벡터(512)(또한, 제2 벡터로 지칭됨)는 YZ 평면(또한, 제1 평면으로 지칭됨)에서 구조들(508)이 연장되는 방향에 실질적으로 수직이다.

[0023] [0042] 제1 부분(502) 및 제2 부분(504)이 이온 빔(216)의 경로에 위치결정되도록 이온 빔 챔버(202)를 가로지르는 단일 패스로 플래튼(206)을 스캐닝 모션으로 이동시킴으로써, 회전각(Φ_1)은 경사각(ϑ'_1)을 갖는 구조들(506)을 형성하도록 선택되고, 회전각(Φ_2)은 경사각(ϑ'_2)을 갖는 구조들(508)을 형성하도록 선택된다. 이온 빔 챔버(202)를 가로지르는 플래튼(206)의 단일 패스로 구조들(예를 들어, 구조들(506, 508))의 2 개 이상의 부분들을 형성하기 위해, 다음 연립 방정식들이 구현된다:

[0024] $\vartheta = \arctan(\tan(\vartheta'_1)/\cos(\Phi_1))$

[0025] $\vartheta = \arctan(\tan(\vartheta'_2)/\cos(\Phi_2))$

[0026] $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

[0027] [0043] 일 실시예에서, 경사각(ϑ'_1), 경사각(ϑ'_2), 및 $\Delta\Phi$는 알려져 있다. 회전각(Φ_1), 회전각(Φ_2), 및 이온 빔 각도(ϑ)에 대한 연립 방정식들을 풀면, 이온 빔 챔버(202)를 가로지르는 플래튼(206)의 단일 패스로 경사각(ϑ'_1)을 갖는 구조들(506) 및 경사각(ϑ'_2)을 갖는 구조들(508)의 형성이 가능하게 될 것이다.

[0028] [0044] 도 6은 회전각(Φ_1), 회전각(Φ_2), 및 이온 빔 각도(ϑ)에 대한 연립 방정식들의 결과들의 그래프이다. 45° 의 $\Delta\Phi$를 갖고 40° 의 경사각(ϑ'_1)을 갖는 구조들(506) 및 20° 의 경사각(ϑ'_2)을 갖는 구조들(508)을 형성하기 위해, 21.1° 의 회전각(Φ_1) 및 66.1° 의 회전각(Φ_2)은 이온 빔 챔버(202)를 가로지르는 플래튼(206)의 단일 패스로 제1 부분(502) 및 제2 부분(504)을 형성할 것이다. 따라서, 이온 빔 챔버(202)를 재구성하지 않고, 이온 빔 각도(ϑ)를 수정하기 위해 틸트각(β)을 조정하지 않고, 그리고 다중 경사 에칭 시스템들을 사용하지 않고, 이온 빔 챔버(202)를 가로지르는 플래튼(206)의 단일 패스로 경사각(ϑ'_1)을 갖는 구조들(506) 및 경사각(ϑ'_2)을 갖는 구조들(508)이 형성된다. 추가적으로, 연립 방정식들은 다른 경사각들(ϑ')을 갖는 구조들(예를 들어, 격자들)의 3 개 이상의 부분들을 형성하도록 확장될 수 있다. 다른 실시예에서, 이온 빔 각도(ϑ), 경사각(ϑ'_1), 경사각(ϑ'_2), 및 $\Delta\Phi$는 알려져 있고, 회전각(Φ_1) 및 회전각(Φ_2)에 대해 연립 방정식들을 푼다.

[0029] [0045] 도 7은 상이한 경사각들을 갖는 구조들을 형성하기 위한 방법(700)의 흐름도이다. 일 실시예에서, 방법(700)은 위의 도 2a, 도 2b에 도시된 경사 에칭 시스템(200)에 의해 수행된다. 도 2a, 도 2b 및 도 7을 참조하여, 방법(700)이 설명된다. 경사 에칭 시스템(200)은 이온 빔 챔버(202)에 수용된, 리본 빔 또는 스폿 빔과 같은 이온 빔(216)을 생성하는 이온 빔 소스(204)를 포함한다. 이온 빔 챔버(202)는 기판(210)의 표면 법선(218)에 대해 제1 이온 빔 각도(α)로 이온 빔(216)을 지향시키도록 구성된다. 플래튼(206)에 결합된 제1 액추에이터(208)는 기판(210)이 이온 빔 챔버(202)의 축에 대해 틸트각(β)에 위치결정되도록 기판(210)을 스캐닝 모션으로 이동시키고 플래튼(206)을 틸팅시키도록 구성된다. 제1 액추에이터(208)는 y-방향 및/또는 z-방향을 따라 스캐닝 모션으로 플래튼(206)을 이동시키도록 구성된다. 제1 이온 빔 각도(α) 및 틸트각(β)은 표면 법선(218)에 대한 제2 이온 빔 각도(ϑ)를 발생시킨다.

[0030] [0046] 동작(701)에서, 격자 재료(212)가 그 위에 배치된 제1 기판의 제1 부분이 이온 빔(216)의 경로에 위치결정된다. 이온 빔(216)은 제1 기판의 표면 법선(218)에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 격자 재료(212)와 접촉하고, 격자 재료(212)에 하나 이상의 제1 구조들을 형성한다. 제1 기판은 플래튼(206) 상에 유지된다. 플래튼(206)은 이온 빔(216)의 경로에 제1 기판의 제1 부분을 위치결정시키고, 플래튼(206)의 축을 중심으로 제1 기판을 회전시키도록 구성되어, 이온 빔(216)과 하나 이상의 제1 구조들의 격자 벡터(예를 들어, 격자 벡터(308)) 사이의 제1 회전각(Φ)을 발생시킨다. 제1 회전각(Φ)은 기판의 표면 법선(218)에 대해 제1 경사각

(ϑ')을 갖는 하나 이상의 제1 구조들을 생성하도록 선택된다. 제1 회전각(Φ)은 앞서 설명된 바와 같이 Φ = cos^{-1}(tan(ϑ')/tan(ϑ))의 회전각(Φ) 방정식에 의해 선택된다. 일 실시예에서, 제1 부분은 도 1에 도시된 광학 디바이스(100)의 입력 격자(102)에 대응할 수 있다.

[0031] [0047] 제1 이온 빔 각도(α)를 변경시키기 위해 이온 빔 챔버(202)를 재구성하거나, 이온 빔 각도(ϑ)를 수정하기 위해 틸트각(β)을 조정하거나, 또는 다중 경사 에칭 시스템들을 사용하지 않고, 제1 경사각(ϑ')과 다른 제2 경사각(ϑ')을 갖는 제1 기판의 제2 부분 상에 하나 이상의 제2 구조들을 형성하기 위해, 제1 기판이 플래튼(206)의 축을 중심으로 플래튼(206)에 결합된 제2 액추에이터(220)에 의해 회전되는 동안 제1 이온 빔 각도(α) 및 틸트각(β)은 일정하게 유지되고.

[0032] [0048] 동작(702)에서, 격자 재료(212)가 그 위에 배치된 제1 기판의 제2 부분이 이온 빔(216)의 경로에 위치결정된다. 이온 빔(216)은 제1 기판의 표면 법선(218)에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 격자 재료(212)와 접촉하고, 격자 재료(212)에 하나 이상의 제2 구조들을 형성한다. 제2 부분은 제1 기판이 플래튼(206)의 축을 중심으로 회전되어 이온 빔(216)과 하나 이상의 제2 구조들의 격자 벡터(예를 들어, 격자 벡터(308)) 사이의 제2 회전각(Φ)을 발생시키게 이온 빔(216)의 경로에 위치결정된다. 제2 회전각(Φ)은 기판의 표면 법선(218)에 대해 제2 경사각(ϑ')을 갖는 하나 이상의 제2 구조들을 생성하도록 선택된다. 제2 회전각(Φ)은 Φ = cos^{-1}(tan(ϑ')/tan(ϑ))의 회전각(Φ) 방정식에 의해 선택된다. 일 실시예에서, 제2 부분은 도 1에 도시된 광학 디바이스(100)의 중간 격자(104)에 대응할 수 있다.

[0033] [0049] 동작(703)에서, 격자 재료(212)가 그 위에 배치된 제1 기판의 제3 부분이 이온 빔(216)의 경로에 위치결정된다. 이온 빔(216)은 제1 기판의 표면 법선(218)에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 격자 재료(212)와 접촉하고, 격자 재료(212)에서 하나 이상의 제3 구조들을 형성한다. 제3 부분은 제1 기판이 플래튼(206)의 축을 중심으로 회전되어 이온 빔(216)과 하나 이상의 제3 구조들의 격자 벡터(예를 들어, 격자 벡터(308)) 사이의 제3 회전각(Φ)을 발생시키게 이온 빔(216)의 경로에 위치결정된다. 제3 회전각(Φ)은 기판의 표면 법선(218)에 대해 제3 경사각(ϑ')을 갖는 하나 이상의 제3 구조들을 생성하도록 선택된다. 제3 회전각(Φ)은 Φ = cos^{-1}(tan(ϑ')/tan(ϑ))의 회전각(Φ) 방정식에 의해 선택된다. 일 실시예에서, 제3 부분은 도 1에 도시된 광학 디바이스(100)의 출력 격자(106)에 대응할 수 있다.

[0034] [0050] 동작(704)에서, 제1 기판은 제거되고, 제2 기판은 플래튼(206) 상에 유지된다. 동작(705)에서, 동작들(701-703)이 반복되어 제2 기판 상에 제1 경사각(ϑ')을 갖는 하나 이상의 제1 구조들, 제1 경사각(ϑ')과 상이한 제2 경사각(ϑ')을 갖는 하나 이상의 제2 구조들, 및 제1 경사각(ϑ') 및 제2 경사각(ϑ')과 상이한 제3 경사각(ϑ')을 갖는 하나 이상의 제3 구조들을 형성한다.

[0035] [0051] 도 8은, 일 실시예에 따른, 상이한 경사각들을 갖는 구조들의 부분들을 형성하기 위한 방법(800)의 흐름도이다. 일 실시예에서, 방법(800)은 위의 도 2a, 도 2b에 도시된 경사 에칭 시스템(200)에 의해 수행된다. 도 2a, 도 2b, 도 5, 및 도 8을 참조하여, 방법(800)이 설명된다. 동작(801)에서, 격자 재료(212)가 그 위에 배치된 기판(500)의 제1 부분(502) 및 제2 부분(504)은 이온 빔 챔버(202)를 가로지르는 플래튼(206)의 단일 패스로 이온 빔(216)의 경로에 위치결정된다. 이온 빔(216)은 기판(500)의 표면 법선(218)에 대해 이온 빔 각도(ϑ)로 격자 재료(212)와 접촉하고, 격자 재료(212)에 하나 이상의 구조들(506) 및 하나 이상의 구조들(508)을 형성한다. 기판(500)은 기판(500)이 플래튼(206)의 축을 중심으로 회전되어 이온 빔(216)과 하나 이상의 구조들(506)의 격자 벡터(510) 사이의 회전각(Φ_1) 및 이온 빔(216)과 하나 이상의 구조들(508)의 격자 벡터(512) 사이의 회전각(Φ_2)을 발생시키게 이온 빔(216)의 경로에 제1 부분(502) 및 제2 부분(504)을 위치결정시키도록 구성된 플래튼(206) 상에 유지된다. 회전각(Φ_1)은 기판의 표면 법선(218)에 대해 경사각(ϑ'_1)을 갖는 하나

이상의 구조들(506)을 생성하도록 선택된다. 회전각(Φ_2)은 기판의 표면 법선(218)에 대해 경사각(ϑ'_2)을 갖는 하나 이상의 구조들(508)을 생성하도록 선택된다. 회전각(Φ_1) 및 회전각(Φ_2)은 다음 연립 방정식들을 풀어 선택된다:

[0036] $\vartheta = \arctan(\tan(\vartheta'_1)/\cos(\Phi_1))$

[0037] $\vartheta = \arctan(\tan(\vartheta'_2)/\cos(\Phi_2))$

[0038] $\Delta\Phi = \Phi_2-\Phi_1$

[0039] [0052] 일 실시예에서, 경사각(ϑ'_1), 경사각(ϑ'_2), 및 $\Delta\Phi$는 알려져 있다. 회전각(Φ_1), 회전각(Φ_2), 및 이온 빔 각도(ϑ)에 대한 연립 방정식들을 풀면, 이온 빔 챔버(202)를 가로지르는 플래튼(206)의 단일 패스로 경사각(ϑ'_1)을 갖는 구조(506) 및 경사각(ϑ'_2)을 갖는 구조(508)의 형성이 가능하게 될 것이다. 다른 실시예에서, 이온 빔 각도(ϑ), 경사각(ϑ'_1), 경사각(ϑ'_2), 및 $\Delta\Phi$는 알려져 있고, 회전각(Φ_1) 및 회전각(Φ_2)에 대해 연립 방정식들을 푼다. 따라서, 이온 빔 챔버(202)를 재구성하지 않고, 이온 빔 각도(ϑ)를 수정하기 위해 틸트각(β)을 조정하지 않고, 그리고 다중 경사 에칭 시스템들을 사용하지 않고, 이온 빔 챔버(202)를 가로지르는 플래튼(206)의 단일 패스로 경사각(ϑ'_1)을 갖는 구조들(506) 및 경사각(ϑ'_2)을 갖는 구조들(508)이 형성된다. 추가적으로, 연립 방정식들은 격자들의 3 개 이상의 부분들을 형성하도록 확장될 수 있다. 이 방법(800)은 후속 기판들에 대해 반복될 수 있다.

[0040] [0053] 경사 에칭 시스템들을 사용하여 단일 기판 상에 상이한 경사각들을 갖는 구조들(예를 들어, 격자의 핀들)을 연속적으로 형성하는 방법들 및 연속적인 기판들 상에 상이한 경사각들을 갖는 구조들(예를 들어, 격자의 핀들)을 형성하는 방법들이 위에 설명되어 있다. 이온 빔 챔버를 재구성하거나, 또는 이온 빔 각도(ϑ)를 수정하기 위해 틸트각(β)을 조정하거나, 또는 다중 경사 에칭 시스템들을 사용하지 않고 형성된 구조들에 대한 경사각(ϑ')을 제어하기 위해 하나 이상의 회전각들(Φ)을 선택하는 것은, 도 2a, 도 2b에 도시된 경사 에칭 시스템(200)과 같은 단일 경사 에칭 시스템이 상이한 경사각들(ϑ')을 갖는 구조들을 갖는 광학 디바이스(예를 들어, 도파관 결합기)뿐만 아니라 상이한 구조들을 포함하는 상이한 광학 디바이스들(예를 들어, 상이한 도파관 결합기들)을 제조할 수 있게 한다.

[0041] [0054] 경사 에칭 시스템(200) 또는 유사한 시스템은 또한 도 2a, 도 2b, 도 3에 도시된 구조들의 특징들과 다른 특징들을 갖는 구조들을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 도 2a에 도시된 구조들은 디바이스를 가로지른 구조들 사이의 영역들(예를 들어, YZ 평면)이 X 방향으로 동일한 깊이를 갖도록 형성된다. 일부 애플리케이션들에서, X-방향으로 구조들 사이의 깊이는 디바이스를 가로질러 하나 이상의 방향들에서(즉, YZ 평면에서) 변화될 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 격자들, 예를 들어 도파관 결합기에 사용되는 격자들 세트를 통해 결합되는 광의 백분율을 제어하기 위해 구조들 사이의 깊이를 변화시키는 것이 사용될 수 있다. 격자의 구조들 사이의 깊이들이 더 얕으면 격자를 통한 광의 결합이 약해질 수 있는 반면, 격자의 구조들 사이의 깊이들이 더 깊으면 격자를 통한 광의 결합이 더 강해질 수 있다. 격자들 세트를 통해 결합되는 광의 백분율을 제어하면 예를 들어 증강 현실 디바이스에 의해 도파관 결합기의 사용자에게 궁극적으로 디스플레이되는 이미지의 제어가 향상된다.

[0042] [0055] 구조들(예를 들어, 격자들의 핀들) 사이의 깊이들이 디바이스에 걸쳐 하나 이상의 차원들로 변화하는 구조들을 생성하는 것은 아래에 설명된 프로세스들보다 실질적으로 더 복잡한 프로세스들을 사용할 것을 이전에 필요로 하였다. 다음에서는 구조들 사이의 깊이들이 한 차원으로 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스(도 9a 내지 도 9c 및 도 10 참조)뿐만 아니라 구조들 사이의 깊이들이 다중 차원들로 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스(도 11a 내지 도 11d 및 도 12 참조)를 형성하기 위한 프로세스들의 실시예들을 설명한다. 구조들 사이에 가변 깊이들을 갖는 구조들을 포함하는 아래에서 설명되는 이러한 디바이스들은 예를 들어 도 2a를 참조하여

위에서 설명된 경사 에칭 시스템(200)에 의해 형성될 수 있다.

[0043] [0056] 도 9a는, 일 실시예에 따른, 구조들 사이의 깊이들이 한 차원으로 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스(900)의 윤곽 플롯(940)의 평면도이다. 구조들 사이의 깊이들이 한 차원으로(예를 들어, 도 9a에서 Z) 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스라 함은, 깊이 변화의 방향을 설명하기 위해 사용될 수 있는 단일 차원(예를 들어, 도 9a에서 Z)이 존재하고 깊이가 변화하는 이 단일 차원(예를 들어, 도 9a에서 Z)에 수직인 차원(예를 들어, 도 9a에서 X 및 Y)은 없는 디바이스를 의미한다.

[0044] [0057] 도 9a에서, 디바이스(900)는 제1 회전각(Φ_1)으로 회전된다. 디바이스(900)는 위에서 설명된 경사 에칭 시스템(200)에 의해 형성될 수 있다. 디바이스(900)는 구조들 사이의 깊이가 Z-방향을 따라 변화하는 복수의 구조들(예를 들어, 하나 이상의 격자들의 핀들)을 포함한다. 구조들의 경사각(ϑ')은 위에서 설명되고 아래에서 더 자세히 설명되는 바와 같이 제1 회전각(Φ_1)에 의해 부분적으로 결정될 수 있다. 깊이 음영 차트(930)는 윤곽 플롯(940)에 의해 도시되는 바와 같이 구조들 사이의 깊이가 디바이스(900)에 걸쳐 어떻게 변화하는지를 나타낸다. 깊이 차트(930)를 참조하면, 윤곽 플롯(940)은 구조들 사이의 깊이가 Z-방향에서 중심에 있는 제1 섹션(911)의 최대 깊이로부터 상부 섹션(912_1-917_1) 및 하부 섹션(912_2-917_2)에서 대향하는 Z-방향들로 감소하는 깊이들로 변화한다는 것을 보여준다. 예를 들어, 구조들 사이의 깊이는 제1 섹션(911)으로부터 상부 제7 섹션(917_1)까지 각 섹션에서 감소한다(즉, 더 얕아진다). 유사하게, 구조들 사이의 깊이는 제1 섹션(911)으로부터 하부 제7 섹션(917_2)까지 각 섹션에서 감소한다. 도 9a에 도시된 윤곽 플롯(940)은 각 섹션에서 일정한 음영을 갖는 상이한 불연속 깊이들을 갖는 섹션들을 보여주지만, 섹션들의 깊이들은 인접한 섹션들 사이 및 섹션들 내에서 점차적으로 변경될 수 있다. 예를 들어, 상부 제2 섹션(912_1)의 깊이는 상부 제3 섹션(913_1)의 감소된 깊이를 향해 점차적으로 감소할 수 있고, 상부 제3 섹션(913_1)의 깊이는 상부 제4 섹션(914_1)의 깊이를 향해 점차적으로 감소할 수 있고, 기타 등일 수 있다. 일부 실시예들에서, 이온 빔(216)은 도 9a에 도시된 구조들 사이의 깊이 변화를 생성하기 위해 Z-방향으로 병진할 수 있다. 다른 실시예들에서, 디바이스(900)는 이온 빔(216)에 디바이스(900)의 상이한 섹션들을 노출시키기 위해 Z-방향으로 병진할 수 있다.

[0045] [0058] 디바이스(900)는 재료가 제거되지 않은 2 개의 섹션들(920_1, 920_2)을 더 포함한다. 일부 실시예들에서, 섹션들(920_1, 920_2)은 경사 에칭 시스템(200)의 이온 빔(216)에 노출되지 않는다. 다른 실시예들에서, 섹션들(920_1, 920_2)은 이온 빔(216)에 의해 크게 영향을 받지 않는 하드마스크 또는 다른 재료에 의해 덮일 수 있다. 다른 실시예들은 이온 빔(216)에 의해 수정되지 않은 더 많은 또는 더 적은 섹션들을 포함할 수 있다.

[0046] [0059] 도 9b는, 일 실시예에 따른, 이온 빔(216)의 듀티 사이클이 도 9a의 윤곽 플롯(940)에 도시된 깊이 변화를 생성하기 위해 디바이스(900)에 걸친 듀티 사이클 프로파일(951)에 따라 Z-방향으로 어떻게 변화될 수 있는지에 대한 플롯(950)을 도시한다. 예를 들어, 듀티 사이클 프로파일(951)은, 이온 빔(216)의 듀티 사이클이 -100 Z-포지션에서 약 0.1의 낮은 듀티 사이클로부터 제로 Z-포지션에서의 피크에 대해 약 0.8의 높은 듀티 사이클까지 점차적으로 증가할 수 있고, 그런 다음 +100 Z-포지션에서 약 0.1의 낮은 듀티 사이클로 점차적으로 감소할 수 있는 방법을 보여준다. 듀티 사이클 프로파일(951)은 듀티 사이클이 가우스 분포와 유사하게 수정된 것으로 보여주지만, 다른 방법들이 디바이스(900)에 걸쳐 듀티 사이클을 변화시켜 디바이스에 걸쳐 다른 깊이 프로파일들을 생성하기 위해 사용될 수 있다. 또한, 다른 방법들을 사용하여 디바이스(900)에 걸쳐 깊이를 수정할 수 있다. 예를 들어, 다른 실시예들에서는, 일정한 듀티 사이클을 사용하는 동안, 이온 빔(216)이 디바이스(900)의 상이한 부분들에 포커싱되는 시간이 Z-방향으로 변화될 수 있다. 또 다른 실시예들에서, 이온 빔(216)을 생성하기 위해 인가된 전력(예를 들어, 전압 및/또는 전류)이 Z-방향에서 도 9a에 도시된 깊이 변화를 생성하기 위해 Z-방향으로 변화될 수 있다.

[0047] [0060] 도 9c는, 일 실시예에 따른, 도 9a에 도시된 디바이스(900)의 부분 측단면도이다. 디바이스(900)는, 디바이스(900)가 위에서 설명된 디바이스(205)와 상이한 구조들을 포함한다는 점을 제외하고는, 도 2a, 도 2b에 도시된 디바이스(205)와 유사하다. 디바이스(900)는 기판(210), 에칭 정지 층(211), 격자 재료(212), 및 하드마스크(213)를 포함한다. 기판은 플래튼(206) 상에 배치된다. 트렌치들(trenches)(905)이 기판(210) 위에 배치된 격자 재료(212)에 형성된다. 구조들(906)(예를 들어, 핀들)은 트렌치들(905) 사이에 배치된다. 에칭 정지 층(211)은 격자 재료(212)와 기판(210) 사이에 배치된다. 하드마스크(213)는 격자 재료(212) 위에 배치된다.

[0048] [0061] 디바이스(900)에서, 트렌치들(905)(즉, 구조들(906) 사이의 영역들)은 Z-방향으로 변화하는 깊이를 갖는다. 예를 들어, 도시된 바와 같이 트렌치들(905)의 깊이 및 구조들(906)의 대응하는 높이는 페이지의 왼쪽으로부터 오른쪽으로 Z-방향으로 증가한다. 예를 들어, 제2 트렌치(905_2)는 제1 트렌치(905_1)보다 더 큰 깊이를 갖고, 제2 구조(906_2)는 제1 구조(906_1)보다 큰 높이를 갖는다. 일부 실시예들에서, 트렌치들(905)의 깊이 및 구조들(906)의 높이는 Z-방향으로 각각의 격자에 대해 변화할 수 있다. 예를 들어, 도시된 바와 같이 트렌치들(905)의 깊이는 제1 트렌치(905_1)로부터 제5 트렌치(905_5)까지 각각의 트렌치(905)에 대해 점차적으로 증가한다. 유사하게, 구조들(906)의 높이는 제1 구조(906_1)로부터 제5 구조(906_5)까지 각각의 구조(906)에 대해 점차적으로 증가한다. Z-방향에서 상이한 트렌치들(905)의 증가하는 깊이 및 구조들(906)의 높이는 격자 재료(212)의 상이한 부분들이 Z-방향에서 이온 빔(216)에 노출됨에 따라 이온 빔(216)의 듀티 사이클을 증가시킴으로써 야기될 수 있다.

[0049] [0062] 트렌치들(905)은 각각 경사각(ϑ')으로 정렬된다. 일부 실시예들에서, 트렌치들(905)은 각각 경사각(ϑ')으로 정렬되는 인접하는 구조들(906)의 제1 표면(901) 및 대향하는 제2 표면(902)에 의해 형성된다. 다른 실시예들에서, 트렌치들(905)은 각각 경사각(ϑ')의 약 5 도 이내 또는 경사각(ϑ')의 약 1 도 이내와 같이, 경사각(ϑ')에 실질적으로 정렬된 인접하는 구조들(906)의 제1 표면(901) 및 대향하는 제2 표면(902)에 의해 형성된다. 표면들(901, 902)의 각도가 서로 다른 실시예들에서, 경사각(ϑ')은 표면들(901, 902)의 각도들 사이의 평균일 수 있다. 경사각(ϑ')은 약 0° 내지 약 90°, 예를 들어 약 15° 내지 약 75°의 값들을 가질 수 있다. 구조들이 경사각(ϑ')에 따라 정렬되거나 또는 실질적으로 정렬되는 실시예들에서, 구조들은 경사각(ϑ')을 갖도록 형성되는 것으로 설명될 수 있다.

[0050] [0063] 트렌치들(905) 및 대응하는 구조들(906)의 경사각(ϑ')은, 디바이스(900)가 디바이스(900)의 축(즉, X-방향으로 디바이스(900)의 중심을 통해 연장되는 축)을 중심으로 회전각(Φ_1)(도 9a)으로 회전된 포지션에 기판(210)이 배치된 상태에서, 경사 에칭 시스템(200)(도 2a)의 이온 빔(216)을 제2 이온 빔 각도(ϑ)로 지향하게 함으로써 형성될 수 있다. 도 9a에서 디바이스(900)가 위치결정된 회전각(Φ_1)은 방정식 $\Phi_1 = \cos^{-1}(\tan(\vartheta')/\tan(\vartheta))$(이하 "회전각 방정식(Rotation Angle Equation)"으로 지칭됨)에 의해 선택될 수 있다. 도 2a를 참조하여 위에서 설명된 바와 같이, 제2 이온 빔 각도(ϑ)는 기판(210)의 표면 법선(218)에 대한 제1 이온 빔 각도(α) 및 이온 빔 챔버(202)의 x-축에 대한 틸트각(β)에 기초한다. 제1 이온 빔 각도(α) 및/또는 틸트각(β)을 조정하면 위에서 설명된 바와 같은 문제점들을 발생할 수 있으므로, 따라서 이러한 각도들의 조정은 그 대신에 회전각(예를 들어, 회전각(Φ_1))을 조정함으로써 다른 경사각들을 갖는 구조들(예를 들어, 구조들(906))을 생성할 때 회피될 수 있다. 따라서, 주어진 경사각(ϑ')을 갖는 구조들을 생성하기 위해 사용되는 회전각(Φ_1)은 회전각 방정식에 제2 이온 빔 각도(ϑ) 및 원하는 경사각(ϑ')에 대한 값들을 입력함으로써 풀릴 수 있다.

[0051] [0064] 회전각(Φ_1)은 이온 빔(216)(도 2a 참조)과 도 3에 도시된 구조들(304)의 격자 벡터(308)와 같은 격자 벡터 사이의 각도이다. 격자 벡터는 예를 들어 도 3의 YZ 평면에서 구조들이 연장되는 방향에 수직일 수 있다. 예를 들어, 도 3a의 격자 벡터(308)는 구조들(304)이 YZ 평면에서 연장되는 방향에 수직이다. 격자 벡터는 또한 구조들이 연장되는 방향과 동일한 평면에 있을 수도 있다. 예를 들어, 격자 벡터(308)는 구조들(304)이 연장되는 방향과 동일한 평면(즉, 기판의 상부 표면에 평행한 평면)에 있다. 따라서, 주어진 제2 이온 빔 각도(ϑ) 및 원하는 경사각(ϑ')으로부터 결정된 회전각(Φ_1)은 이온 빔(216)에 의해 형성될 격자들 또는 다른 구조들의 격자 벡터에 대해 기판을 회전시키는 방법을 결정한다. 하드마스크의 패턴은 구조들(906)과 같은 구조들을 형성하기 위해 에칭이 수행되기 전에 기판의 주어진 부분에 대한 격자 벡터를 결정하기 위해 사용될 수 있

다.

[0052] [0065] 일부 실시예들에서, 격자 벡터는 노치(notch)(907)와 정렬될 수 있다(도 9a 참조). 이러한 실시예들에서, 기판은 노치(907)에 대해 회전각(Φ_1)만큼 회전될 수 있다. 다른 실시예들에서, 격자 벡터는 노치(907)로부터 오프셋(offset)된다. 이들 실시예들에서, 이러한 오프셋은 원하는 경사각(ϑ')을 갖는 구조들을 형성하기 위해 기판을 얼마나 회전시켜야 하는지를 결정하기 위해 회전각 방정식으로부터 결정된 회전각과 함께 고려된다.

[0053] [0066] 도 10은, 일 실시예에 따른, 도 9a 내지 도 9c에 도시된 트렌치들(905) 및 구조들(906)(제1의 복수의 구조들)을 형성하기 위한 방법(1000)의 프로세스 흐름도이다. 이 방법(1000)은 도 2a, 도 3, 도 9a 내지 도 9c, 및 도 10을 참조하여 설명된다.

[0054] [0067] 블록(1002)에서, 디바이스(900)는 회전각(Φ_1)에서 플래튼(206) 상에 및/또는 플래튼에 대해 이온 빔(216)의 경로에 위치결정된다. 도 9a 내지 도 9c를 참조하여 위에서 설명된 바와 같이, 회전각(Φ_1)은 회전각 방정식으로부터 결정될 수 있다. 일부 실시예들에서, 노치(907) 또는 다른 특징은 회전각(Φ_1)에 위치결정되도록 디바이스(900)를 정렬하기 위해 사용될 수 있다.

[0055] [0068] 블록(1004)에서, 이온 빔(216)은 기판(210)이 이온 빔(216)과 격자 벡터(예를 들어, 격자 벡터(308))(또한, 제1 벡터로 지칭됨) 사이의 회전각(Φ_1)에 위치결정될 때 격자 재료(212) 및 대응하는 구조들(906)에 트렌치들(905)을 형성하기 위해 기판(210)의 표면 법선(218)에 대한 제2 이온 빔 각도(ϑ)로 YZ 평면(제1 평면)을 가로질러 배치된 격자 재료(212)(제1 재료)를 이온 빔(216)에 노출시키도록 인가된다. 격자 벡터(예를 들어, 격자 벡터(308))(제1 벡터)는 제1 복수의 구조들이 YZ 평면(제1 평면)을 가로질러 연장되는 방향에 수직이다. 트렌치들(905) 및 구조들(906)은 기판(210)의 표면 법선(218)에 대해 경사각(ϑ')을 갖도록 형성된다. 일 실시예에서, 이온 빔(216)은 초기에 하부 제7 섹션(917_2)으로 지향되어, 예를 들어 도 9a에 도시된 바와 같이 -100 Z-포지션과 정렬될 수 있다.

[0056] [0069] 블록(1006)에서, 이온 빔(216)은 디바이스(900)의 상이한 부분들에서 점증적으로 지향될 수 있다. 예를 들어, 이온 빔(216)은 디바이스(900)의 하부 섹션들(917_2-912_2), 그 다음 중앙 제1 섹션(911), 및 그 다음 상부 섹션들(912_1-917_1)의 격자 재료(212)(제1 재료)에 점증적으로 노출될 수 있다. 이온 빔(216)의 듀티 사이클은, 구조들(906)을 그리고 도 9a에 도시된 윤곽 플롯(940)에 따라 변화하는 깊이들을 갖는 구조들(906) 사이에 트렌치들(905)을 생성하기 위해 도 9b의 듀티 사이클 프로파일(951)에 도시된 바와 같이 변화될 수 있다. 일부 실시예들에서, 이온 빔(216)은 고정 플래튼(206) 상에 배치될 수 있는 디바이스(900)에 걸친 듀티 사이클 프로파일(951)에 따라 듀티 사이클을 변화시키면서 Z-방향으로 스캐닝될 수 있다. 다른 실시예들에서, 디바이스(900)는 이온 빔(216)에 상이한 섹션들을 노출시키기 위해 Z-방향으로 병진될 수 있다.

[0057] [0070] 위에서 언급한 바와 같이, 도 9a에 도시된 윤곽 플롯(940)은 상이한 불연속 깊이들을 갖는 섹션들(예를 들어, 911 및 912_1)을 도시하고 있지만, 섹션들 내의 구조들(906) 사이의 깊이들은 도 9b의 듀티 사이클 프로파일(951)에 도시된 바와 같이 듀티 사이클이 점차적으로 변화함에 따라 인접한 섹션들 사이 및 섹션들 내에서 점차적으로 변할 수 있다. 또한 위에서 언급된 바와 같이, 이온 빔(216)의 듀티 사이클을 변화시키는 것은 Z-방향에서 구조들(906) 사이의 트렌치들(905)의 깊이를 변화시키는 한 가지 방법일 뿐이다. 예를 들어, 다른 실시예들에서는, 구조들 사이의 깊이들이 Z-방향으로 변화하는 구조들을 형성하기 위해 일정한 듀티 사이클을 사용하는 동안, 이온 빔(216)이 디바이스(900)의 상이한 섹션들에 포커싱되는 시간이 Z-방향으로 변화될 수 있다. 또 다른 실시예들에서, 이온 빔(216)을 생성하기 위해 인가된 전력(예를 들어, 전압 및/또는 전류)이 Z-방향에서 도 9a에 도시된 깊이 변화를 생성하기 위해 Z-방향으로 변화될 수 있다.

[0058] [0071] 블록(1006) 이후, 방법(1000)은 상이한 경사각 및/또는 상이한 깊이 변화 프로파일을 갖는 구조들 사이의 트렌치들을 갖는 구조들과 같은 동일한 구조들 또는 상이한 구조들을 갖는 추가 기판들을 프로세싱하기 위해 반복될 수 있다. 다른 기판을 다른 경사각으로 형성되는 구조들을 갖도록 프로세싱하기 위해, 새로운 경사각(ϑ_2')을 기반으로 회전각 방정식으로부터 새로운 회전각(Φ_2)이 결정될 수 있으며, 방법(1000)은 블록(1002)에서 새로운 기판을 위치결정시키기 위해 새로 결정된 회전각(Φ_2)을 사용하여 반복될 수 있다. 예를 들어, 제1

기판은 기판 지지체로부터 제거될 수 있고, 제2 기판은 기판 지지체 상에 위치결정될 수 있다. 제2 기판은 제2 기판이 기판 지지체 상에 위치결정될 때 YZ 평면(또한, 제2 평면으로 지칭됨)을 가로질러 배치된 격자 재료(또한, 제2 재료로 지칭됨)를 가질 수 있다. 제2 기판은 이온 빔(216)에 의해 제2 기판 상에 형성될 제2 복수의 구조들의 격자 벡터(제2 벡터)와 이온 빔 사이의 제2 회전각(Φ_2)으로 위치결정될 수 있다. 제2 벡터는 형성될 제2 복수의 구조들이 제2 평면을 가로질러 연장되는 방향에 수직이다. 그 다음, 제2 기판 상의 격자 재료(제2 재료)는 위에서 설명된 블록들(1004 및 1006)이 반복됨에 따라 이온 빔에 노출될 수 있다.

[0059] [0072] 동일한 경사각으로 형성된 구조들을 갖지만 그러나 구조들 사이의 트렌치들에 대해 상이한 깊이 프로파일을 갖도록 다른 기판을 프로세싱하기 위해, 듀티 사이클 또는 다른 프로세스 파라미터(예를 들어, 노출 시간, 이온 빔(216)을 생성하기 위해 인가된 전력)는 블록(1002)을 참조하여 위에서 설명되고 도 9a에 도시된 바와 같이 기판이 회전각(Φ_1)에서 동일한 포지션에 배치될 수 있는 동안 지정된 깊이 프로파일을 생성하기 위해 블록들(1004 및 1006)에서 수정될 수 있다. 또한, 블록(1002)의 수정된 버전은 블록들(1004, 1006)의 수정된 버전과 결합되어, 다른 기판을 프로세싱하고, 블록들(1002-1006)의 초기 실행으로 제1 기판 상에 형성된 트렌치들 및 구조들과 비교하여 상이한 깊이 프로파일을 갖는 구조들 사이의 트렌치들 및 상이한 경사각을 갖는 구조들을 갖는 디바이스를 생성할 수 있다.

[0060] [0073] 방법(1000)은 또한 단일 기판 상에 상이한 경사각들 및 상이한 깊이 프로파일들을 갖는 상이한 구조들을 형성하기 위해 단일 기판의 분리된 영역들 상에서 수행되고 반복될 수 있다. 예를 들어, 도 7 및 도 10을 참조하면, 방법(1000)은 동작(701)에서, 다시 동작(702)에서, 그리고 동작(703)에서 다시 실행될 수 있다. 동작들(701-703)은 상이한 경사각들로 구조들을 생성하기 위해 사용되는 것으로 위에서 설명되었다. 따라서, 각각의 동작들(701-703)에서 단일 기판의 분리된 영역들에 대해 방법(1000)을 실행하는 것을 사용하여, (1) 블록(701)에서, 제1 복수의 구조들 사이의 깊이가 제1 깊이 프로파일에 따라 변화하는 제1 경사각(ϑ_1')으로 연장되는 제1 복수의 구조들, (2) 블록(702)에서, 제2 복수의 구조들 사이의 깊이가 제2 깊이 프로파일에 따라 변화하는 제2 경사각(ϑ_2')으로 연장되는 제2 복수의 구조들, 및 (3) 블록(703)에서, 제3 복수의 구조들 사이의 깊이가 제3 깊이 프로파일에 따라 변화하는 제3 경사각(ϑ_3')으로 연장되는 제3 복수의 구조들을 형성할 수 있다.

[0061] [0074] 일부 실시예들에서, 구조들 사이의 깊이들이 다중 차원들로 변화하는 구조들을 갖는 디바이스가 형성될 수 있다. 구조들 사이의 깊이들이 다중 차원들로 변화하는 구조들을 갖는 디바이스는, 예를 들어 구조들이 도파관 결합기의 하나 이상의 격자들을 형성하기 위해 사용되는 경우, 디바이스를 통해 결합된 광에 대한 제어를 향상시킬 수 있다. 디바이스(예를 들어, 도파관 결합기)를 통한 광 결합의 이러한 향상된 제어는 도파관 결합기로부터, 예를 들어 도파관 결합기를 포함하는 증강 현실 디바이스의 사용자에게 출력되는 이미지들의 품질을 더욱 개선시킬 수 있다. 도 11a 내지 도 11d 및 도 12는, 형성된 디바이스가, 다중 차원들로 변화하는 깊이 프로파일을 갖는 구조들 사이에 트렌치들을 갖는 구조들을 포함하는 디바이스 및 관련 방법의 일 실시예를 설명된다.

[0062] [0075] 도 11a는, 일 실시예에 따른, 구조들(예를 들어, 하나 이상의 격자들의 핀들) 사이의 깊이들이 다중 차원들로 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스(1101)의 윤곽 플롯(1140)의 평면도이다. 디바이스(1101)는 YZ 평면을 가로질러 연장될 수 있고, X-방향으로 깊이를 갖는 구조들 사이에 트렌치들을 포함할 수 있고, 여기서 트렌치들의 깊이는 Y-방향 및 Z-방향에 걸쳐 변화한다. 디바이스(1101) 상의 상이한 위치들에 있는 구조들 사이의 트렌치들의 깊이는 디바이스(1101)의 윤곽 플롯(1140)에서 구조들 사이의 트렌치들의 상대적 깊이들이 어떻게 변화하는지를 보여주는 깊이 차트(930)를 참조하여 결정될 수 있다.

[0063] [0076] 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 구조들 사이의 깊이들이 다중 차원들로 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스라 함은, 깊이 변화의 방향을 설명하기 위해 사용될 수 있는 단일 차원이 존재하지 않고 이로 인해 깊이가 변화하는 이 단일 차원에 수직인 차원이 존재하지 않는 디바이스를 의미한다. 예를 들어, 도 11a를 참조하면, 깊이가 변화하는 차원은 존재하지 않으며, 이로 인해 깊이가 또한 변화하는 수직 차원도 또한 존재하지 않다. 또한, 적어도 일부 실시예들에서, 구조들 사이의 깊이들이 다중 차원들로 변화하는 구조들을 포함하는 디바이스라 함은, 도 11a에 도시된 바와 같이 깊이가 중심점(C)을 중심으로 360 도를 포함하는 방향들로 변화하는, 중심점(C)을 포함하는 디바이스를 의미할 수 있다.

[0064] [0077] 별도로 도시되지 않고 요구되지는 않지만, 디바이스(1101)의 구조들은 도 9c를 참조하여 위에서 설명된

구조들(906)과 유사한 형상(예를 들어, 동일한 경사각(ϑ'))을 가질 수 있다. 또한, 디바이스(1101)의 다른 피처들은 위에서 설명된 디바이스(900)의 대응하는 피처들과 동일할 수 있다. 예를 들어, 도 9c를 참조하면, 디바이스(1101)는 또한 기판(210)과 격자 재료(212) 사이에 배치된 에칭 정지 층(211), 및 격자 재료(212) 위에 배치된 하드마스크 층(213)과 함께 기판(210) 위에 배치된 격자 재료(212)를 포함할 수 있다. 디바이스(1101)는 도 2a를 참조하여 위에서 설명된 경사 에칭 시스템(200)에 의해 형성될 수 있다.

[0065] [0078] 디바이스(1101)는 (1) 디바이스(1101)의 격자 재료(212)를 제1 회전각(Φ_1)(도 11b)에서 이온 빔(216)(도 2a)에 노출시키고 그리고 그 후 (2) 디바이스(1101)의 격자 재료(212)를 제2 회전각(Φ_2)(도 11c)에서 이온 빔(216)에 노출시킴으로써, 구조들 사이의 깊이들이 복수의 방향으로 변화하는 구조들을 갖도록 형성될 수 있다.

[0066] [0079] 도 11b는, 일 실시예에 따른, 디바이스(1101)가 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정될 때 디바이스(1101)의 격자 재료(212)를 이온 빔(216)(도 2a)에 노출시킴으로써 야기되는, 구조들 사이의 깊이의 변화를 보여주는 디바이스(1101)의 윤곽 플롯(940)의 평면도이다. 윤곽 플롯(940)은 도 9a와 동일한 윤곽 플롯이다.

[0067] [0080] 도 11c는, 일 실시예에 따른, 디바이스(1101)가 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정될 때 디바이스(1101)의 격자 재료(212)를 이온 빔(216)(도 2a)에 노출시킴으로써 야기되는, 구조들 사이의 깊이의 변화를 보여주는 디바이스(1101)의 윤곽 플롯(1240)의 평면도이다. 도 11b, 도 11c의 윤곽 플롯들(940, 1240)은 각각 이전에 노출되지 않은 격자 재료(212)를 이온 빔(216)에 노출시킴으로써 야기되는 깊이 변화를 나타낸다. 따라서, 도 11b, 도 11c의 윤곽 플롯들(940, 1240)은, 각각 단일 노출로 인한, 디바이스(1101) 상의 구조들 사이의 깊이(예를 들어, 트렌치들의 깊이) 변화들의 결과들을 보여주므로, 따라서 디바이스(1101)의 깊이 변화들에 대한 이러한 개별 노출들의 개별 효과들을 더 쉽게 이해할 수 있다. 도 11a는, 도 11b의 윤곽 플롯(940)에 따라 구조들 사이의 깊이들을 갖는 구조들을 생성하는 노출과 도 11c의 윤곽 플롯(1240)에 따라 구조들 사이의 깊이들을 갖는 구조들을 생성하는 노출의 조합으로 인한, 디바이스(1101) 상의 구조들 사이의 깊이 변화들의 결과들을 보여준다. 이러한 조합된 노출 프로세스는 구조들 사이의 깊이가 다중 차원들(즉, Y-방향 및 Z-방향)로 변화하는 구조들을 생성한다. 이러한 조합된 노출 프로세스는 도 12의 프로세스 흐름도를 참조하여 더 자세히 설명된다.

[0068] [0081] 도 11d는, 일 실시예에 따른, 도 11b, 도 11c의 윤곽 플롯들(940, 1240)에 도시된 구조들 사이의 깊이 변화를 생성하기 위해 이온 빔(216)의 듀티 사이클이 디바이스(1101)에 걸쳐 어떻게 변화될 수 있는지에 대한 플롯(1150)을 도시한다. 도 11b의 윤곽 플롯(940)에 따라 구조들 사이의 깊이 변화를 갖는 구조들을 생성하기 위해, 이온 빔(216)의 듀티 사이클은 도 9b에 이전에 도시된 듀티 사이클 프로파일(951)에 따라 디바이스(1101)에 걸쳐 도 11b의 Z-방향으로 변화될 수 있다. 윤곽 플롯(940) 및 듀티 사이클 프로파일(951)에 따라 깊이 변화를 생성하는 것과 관련된 추가 세부사항들은 도 9a 및 도 9b를 참조하여 위에서 설명되었고, 여기서 반복되지 않는다.

[0069] [0082] 도 11c의 윤곽 플롯(1240)에 따라 구조들 사이의 깊이 변화를 갖는 구조들을 생성하기 위해, 이온 빔(216)의 듀티 사이클은 듀티 사이클 프로파일(1151)에 따라 디바이스(1101)에 걸쳐 도 11c의 Z-방향으로 변화될 수 있다. 듀티 사이클 프로파일(1151)은 이온 빔(216)의 듀티 사이클이 -100 Z-포지션에서 약 0.1의 낮은 듀티 사이클로부터 +100 Z-포지션에서 약 0.8의 높은 듀티 사이클까지 점차적으로 어떻게 증가될 수 있는지를 보여준다. 이온 빔(216)의 듀티 사이클은 듀티 사이클 프로파일(1151)을 따라 선형 기울기 또는 실질적으로 선형 기울기로 증가할 수 있다. 도 11c의 윤곽 플롯(1240)에 도시된 바와 같이, Z-방향으로 듀티 사이클이 증가함에 따라 구조들 사이의 깊이(예를 들어, 트렌치들의 깊이)가 증가한다. 예를 들어, 윤곽 플롯(1240)은 구조들 사이의 깊이가 제1 섹션(1211)으로부터 제7 섹션(1217)으로 점차적으로 증가하는 7 개의 섹션들(1211-1217)을 보여준다.

[0070] [0083] 도 11c에 도시된 윤곽 플롯(1240)은 상이한 불연속 깊이들을 갖는 섹션들을 나타내지만, 섹션들(1211-1217)의 깊이들은 도 11d의 듀티 사이클 프로파일(1151)에 도시된 바와 같이 듀티 사이클이 점차적으로 변경됨에 따라 인접한 섹션들 사이 및 섹션들 내에서 점차적으로 변경될 수 있다. 또한 위에서 언급된 바와 같이, 이온 빔(216)의 듀티 사이클을 변화시키는 것은 구조들 사이의 깊이를 변화시키는 한 가지 방법일 뿐이다. 예를 들어, 다른 실시예들에서는, 구조들 사이의 깊이들이 변화하는 구조들을 형성하기 위해 일정한 듀티 사이클을 사용하는 동안 이온 빔(216)이 디바이스(1101)의 상이한 부분들에 포커싱되는 시간이 변화될 수 있다. 또 다른 실시예들에서, 이온 빔(216)을 생성하기 위해 인가되는 전력(예를 들어, 전압 및/또는 전류)이 도 11c의 윤곽

플롯(1240)에 도시된 깊이 변화를 생성하기 위해 변화될 수 있다.

[0071] [0084] 도 12는, 일 실시예에 따른, 도 11a에 도시된 디바이스(1101)를 형성하기 위한 방법(1200)의 프로세스 흐름도이다. 이 방법(1200)은 도 2a, 도 3, 도 10, 도 11a 내지 도 11d, 및 도 12를 참조하여 설명된다.

[0072] [0085] 이 방법(1200)은 도 10을 참조하여 위에서 설명된 방법(1000)을 실행함으로써 시작된다. 이 방법(1000)이 방법(1200)의 시작 부분에서 반복되지만, 몇 가지 차이점들은 주목할 가치가 있다. 방법(1000)은 디바이스(900)에서 수행되는 반면, 방법(1200)은 디바이스(1101)에서 수행된다. 명료성을 위해, 방법(1000)의 동작들은, 방법(1000)이 디바이스(1101) 상에서 방법(1200)의 일부로서 어떻게 수행되는지를 명확히 하기 위해 여기에서 반복된다.

[0073] [0086] 블록(1002)에서, 디바이스(1101)는 제1 회전각(Φ_1)에서 플래튼(206) 상에 이온 빔(216)(도 2a)의 경로에 위치결정된다. 제1 회전각(Φ_1)은 디바이스(1101) 상에 형성될 구조들의 제2 이온 빔 각도(ϑ)(도 2a 참조) 및 원하는 경사각(ϑ')(예를 들어, 도 9c 참조)를 기초로 하여 회전각 방정식 [$\Phi_1 = \cos^{-1}(\tan(\vartheta')/\tan(\vartheta))$]으로부터 결정될 수 있다. 일부 실시예들에서, 노치(907)는 디바이스(1101)가 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정되도록 정렬하기 위해 사용될 수 있다.

[0074] [0087] 블록(1004)에서, 제1 시간 기간의 시작에서, 이온 빔(216)은, 디바이스(1101)가 이온 빔(216)과 격자 벡터(예를 들어, 격자 벡터(308))(또한, 제1 벡터로 지칭됨) 사이의 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정될 때 격자 재료(212)(제1 재료)에 구조들을 형성하기 위해 기판(210)의 표면 법선(218)에 대한 제2 이온 빔 각도(ϑ)로 YZ 평면(제1 평면)을 가로질러 배치된 격자 재료(212)(제1 재료)를 이온 빔(216)에 노출시키도록 인가된다. 격자 벡터(예를 들어, 격자 벡터(308))(제1 벡터)는 제1 복수의 구조들이 YZ 평면(제1 평면)을 가로질러 연장되는 방향에 수직이다. 구조들은 디바이스(1101)의 표면 법선(218)에 대해 경사각(ϑ')을 갖도록 형성된다. 필수는 아니지만, 도시된 바와 같은 제1 회전각(Φ_1)은 도 9a를 참조하여 위에서 설명된 회전각(Φ_1)과 동일하다. 따라서, 블록(1002)에서 디바이스(1101) 상에 형성된 구조들의 경사각(ϑ')은 도 9c에 도시된 구조들(906)의 경사각(ϑ')과 동일한 각도를 갖도록 형성된다. 일 실시예에서, 이온 빔(216)은 초기에 하부 제7 섹션(917_2)으로 지향되어, 예를 들어 도 11b에 도시된 바와 같이 -100 Z-포지션과 정렬될 수 있다.

[0075] [0088] 블록(1006)에서, 이온 빔(216)은 디바이스(1101)의 상이한 부분들에서 점증적으로 지향될 수 있다. 예를 들어, 이온 빔(216)은 디바이스(900)의 하부 섹션들(917_2-912_2), 그 다음 중앙 제1 섹션(911), 및 그 다음 상부 섹션들(912_1-917_1)의 격자 재료에 점증적으로 노출될 수 있다. 이온 빔(216)의 듀티 사이클은, 도 11b에 도시된 윤곽 플롯(940)에 따라 구조들 사이의 깊이들이 변화하는 구조들을 생성하기 위해 도 11d의 듀티 사이클 프로파일(951)에 도시된 바와 같이 변화될 수 있다. 일부 실시예들에서, 이온 빔(216)은 고정 플래튼(206) 상에 배치될 수 있는 디바이스(1101)에 걸쳐 듀티 사이클 프로파일(951)에 따라 듀티 사이클을 변화시키면서 Z-방향으로 스캐닝될 수 있다. 다른 실시예들에서, 디바이스(1101)는 이온 빔(216)에 상이한 섹션들을 노출시키기 위해 Z-방향으로 병진될 수 있다.

[0076] [0089] 블록(1208)에서, 디바이스(1101)는 제2 시간 기간 동안 이온 빔(216)과 구조들의 격자 벡터(제1 벡터) 사이의 제2 회전각(Φ_2)으로 플래튼(206) 상에 위치결정된다. 제2 회전각(Φ_2)은 제1 회전각(Φ_1)의 음의 각도일 수 있다. 제2 회전각(Φ_2)은 또한 제1 회전각(Φ_1)과 합동(congruent)인 것으로 설명될 수 있다. 일부 실시예들에서, 격자 벡터(예를 들어, 도 3의 격자 벡터(308) 참조)는 노치(907)(도 9a 참조)와 정렬될 수 있다. 격자 벡터와 정렬된 노치(907)를 갖는 이들 실시예들에서, 디바이스(1101)는 방법(1200)의 블록(1002) 동안 노치(907)에 대해 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정될 수 있고, 그 후 블록(1208)에서 제1 회전각(Φ_1)의 음의 각도(즉, 제2 회전각(Φ_2))에 위치결정될 수 있다. 예를 들어, 도 11b, 도 11c를 참조하면, 방법(1200)의 블록(1002)에서, 디바이스(1101)는 +55° 에 위치결정될 수 있고, 블록(1208)에서 디바이스(1101)는 -55° 에 위치결정될 수 있다. 디바이스(1101)를 제1 회전각(Φ_1)의 음의 각도인 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정시키면, 디바이스(1101)가

제1 회전각(Φ_1)에 위치결정될 때 생성되는 구조들과 동일한 경사각(ϑ')을 갖는 디바이스(1101) 상의 구조들을 생성한다.

[0077] [0090] 블록(1210)에서, 제2 시간 기간의 시작에서, 이온 빔(216)은, 디바이스(1101)가 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정될 때 격자 재료(212)에 구조들을 형성하기 위해, 기판(210)의 표면 법선(218)에 대한 제2 이온 빔 각도(ϑ)로 격자 재료(212)를 이온 빔(216)에 노출시키도록 인가된다. 구조들은 디바이스(1101)의 표면 법선(218)에 대해 경사각(ϑ')을 갖도록 형성된다. 일 실시예에서, 이온 빔(216)은 초기에 제1 섹션(1211)으로 지향되어, 예를 들어 도 11c에 도시된 바와 같이 -100 Z-포지션과 정렬될 수 있다.

[0078] [0091] 블록(1212)에서, 이온 빔(216)은 디바이스(1101)의 상이한 부분들에서 점증적으로 지향될 수 있다. 예를 들어, 이온 빔(216)은 제1 섹션(1211)에서 시작하여 제7 섹션(1217)으로 끝나는 섹션들(1211-1217)의 격자 재료에 점증적으로 노출될 수 있다. 일부 실시예들에서, 이온 빔(216)은 고정 플래튼(206) 상에 배치될 수 있는 디바이스(1101)에 걸친 듀티 사이클 프로파일(1151)에 따라 듀티 사이클을 변화시키면서 Z-방향으로 스캐닝될 수 있다. 다른 실시예들에서, 디바이스(1101)는 이온 빔(216)에 상이한 섹션들을 노출시키기 위해 Z-방향으로 병진될 수 있다.

[0079] [0092] 이온 빔(216)의 듀티 사이클은, 도 11c에 도시된 윤곽 플롯(1240)에 따라 구조들 사이의 깊이들이 변화하는 구조들을 생성하기 위해 도 11d의 듀티 사이클 프로파일(1151)에 도시된 바와 같이 변화될 수 있다. 위에서 설명된 바와 같이 윤곽 플롯(1240)은 이전에 노출되지 않은 격자 재료 상의 구조들 사이의 깊이를 나타낸다는 점에 유의해야 한다. 또한, 도 11a의 윤곽 플롯(1140)은 제1 듀티 사이클 프로파일(951)에 따른 제1 노출(즉, 방법(1200)의 블록들(1002-1006))과 제2 듀티 사이클 프로파일(1151)에 따른 제2 노출(즉, 방법(1200)의 블록들(1208-1212))의 조합으로 인한 구조들 사이의 깊이를 나타낸다.

[0080] [0093] 도 11b 및 도 11c에 도시된 바와 같이 -100 Z-포지션으로부터 +100 Z-포지션으로 격자 재료(212)를 노출시키는 것은, 격자 재료(212)의 다른 부분들은 단 하나의 노출에만 노출시키면서, 격자 재료(212)의 일부 부분들은 2 개의 노출들에 노출시키는 결과를 낳는다. 예를 들어, 격자 재료(212)의 중앙 부분(1181)(도 11a)은 도 11b에 도시된 바와 같이 디바이스가 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정될 때 이온 빔(216)에 노출되고, 격자 재료(212)의 중앙 부분(1181)(도 11a)은 도 11c에 도시된 바와 같이 디바이스(1101)가 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정될 때 이온 빔(216)에 노출된다. 반대로, 격자 재료(212)의 제1 부분(1191)(도 11a)은 도 11b에 도시된 바와 같이 디바이스가 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정될 때 이온 빔(216)에 노출되지만, 격자 재료(212)의 제1 부분(1191)(도 11a)은 도 11c에 도시된 바와 같이 디바이스(1101)가 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정될 때 이온 빔(216)에 노출되지 않는다. 유사하게, 격자 재료(212)의 제2 부분(1192)(도 11a)은 도 11b에 도시된 바와 같이 디바이스가 제1 회전각(Φ_1)에 위치결정될 때 이온 빔(216)에 노출되지 않지만, 격자 재료(212)의 제2 부분(1192)(도 11a)은 도 11c에 도시된 바와 같이 디바이스(1101)가 제2 회전각(Φ_2)에 위치결정될 때 이온 빔(216)에 노출된다. 이중 노출 영역들(예를 들어, 중앙 부분(1181))과 단일 노출 영역들(예를 들어, 부분들(1191, 1192)) 사이에서 이온 빔(216)에 대한 격자 재료(212)의 노출을 변화시키면, 단일 노출만을 또는 이중 노출만을 사용하는 프로세스에 비해 방법(1200)에 의해 생성된 구조들의 깊이 프로파일에 대한 추가 제어가 가능하게 될 수 있다.

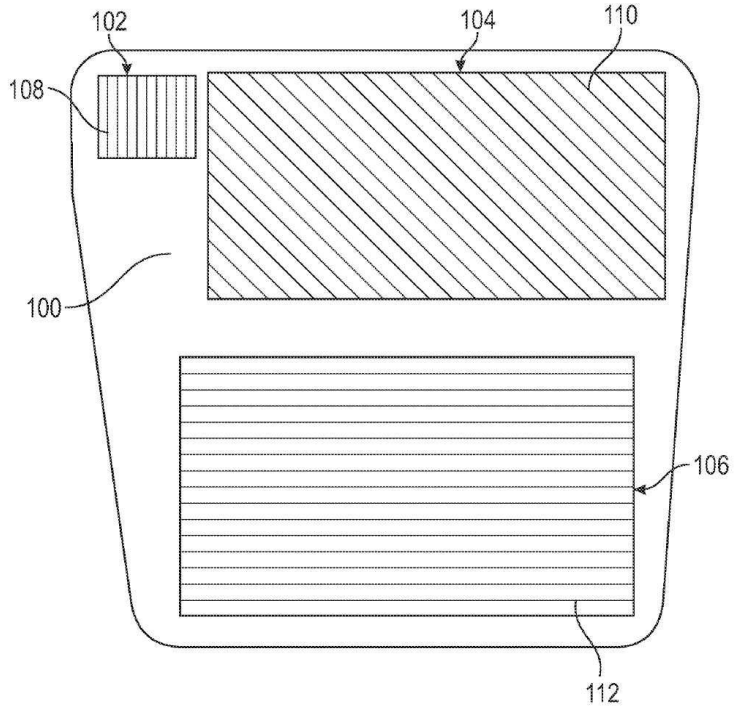
[0081] [0094] 방법(1200)은 제1 노출(즉, 방법(1200)의 블록들(1002-1006))을 위한 제1 듀티 사이클 프로파일(951) 및 제2 노출(즉, 방법(1200)의 블록들(1208-1212))을 위한 제2 듀티 사이클 프로파일(1151)을 사용하는 것으로 설명된다. 그러나, 듀티 사이클이 격자 재료의 일부에 걸쳐 일정하더라도, 제1 회전각(Φ_1) 및 제2 회전각(Φ_2)과 같은 2 개의 회전각들에서의 2 개의 노출들을 사용하는 것으로부터 이점들이 또한 얻어질 수도 있다. 예를 들어, 이온 빔(216)의 동일한 듀티 사이클이 2 개의 노출들을 위해 중앙 부분(1181) 상에 사용되는 경우, 구조들(예를 들어, 하나 이상의 격자들의 핀들)의 측벽들의 거칠기가 감소될 수 있다(즉, 더 매끄럽게 만들어짐). 예를 들어, 도 9c를 참조하면, 제1 표면(901) 및 제2 표면(902)의 거칠기는 동일한 듀티 사이클에서, 예를 들어 위에서 설명된 제1 회전각(Φ_1) 및 제2 회전각(Φ_2)에서 2 개의 노출들을 수행함으로써 개선될 수 있다. 동일한 듀티 사이클에서 이러한 이중 노출 프로세스는 구조들 사이의 가변 깊이가 필요하지 않은 경우에도 또한 이점들을 제공할 수 있다. 예를 들어, 제1 회전각(Φ_1)에서의 제1 노출이 격자 재료(212)를 에칭 정지 층(211)까지

제거하는 경우(도 2a), 제2 회전각(Φ_2)(즉, 제1 회전각(Φ_1)의 음의 각도)에서의 제2 노출은 구조들 사이의 깊이에 영향을 미치지 않으면서 구조들의 측벽들의 거칠기를 개선시킬 수 있다.

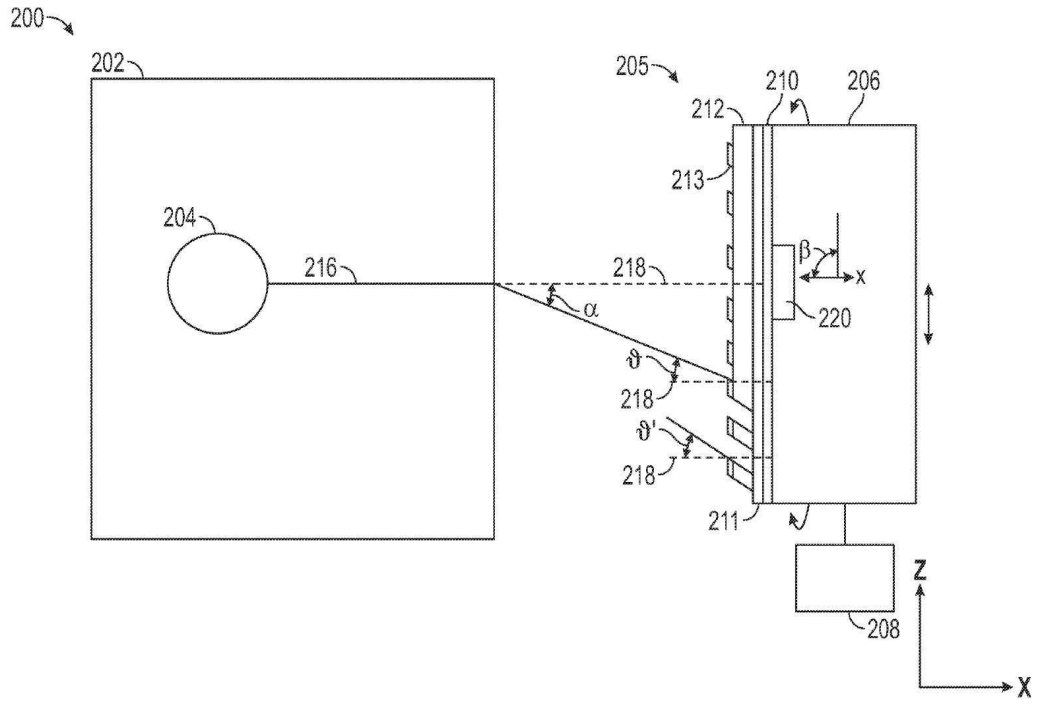
[0082] [0095] 전술한 바가 본 개시내용의 예들에 관한 것이지만, 본 개시내용의 다른 그리고 추가적인 예들이, 본 개시내용의 기본적인 범위를 벗어나지 않으면서 안출될 수 있고, 본 개시내용의 범위는 뒤따르는 청구항들에 의해 결정된다.

도면

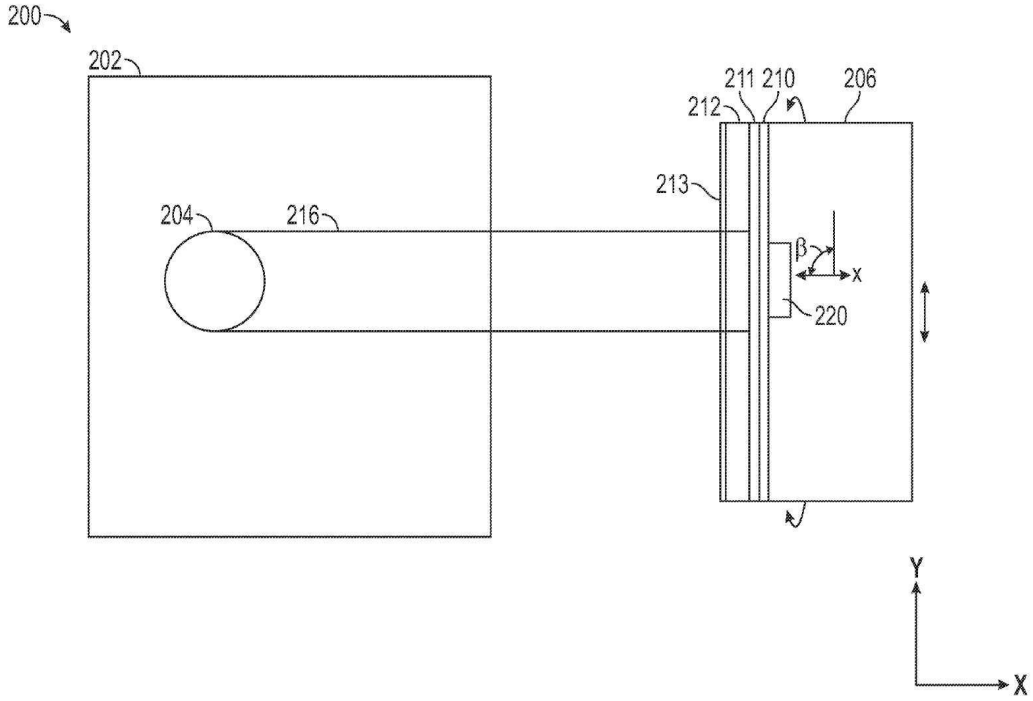
도면1



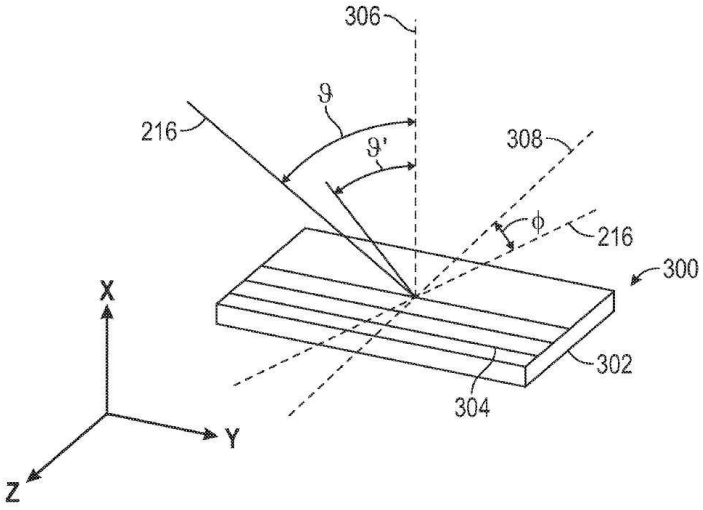
도면2a



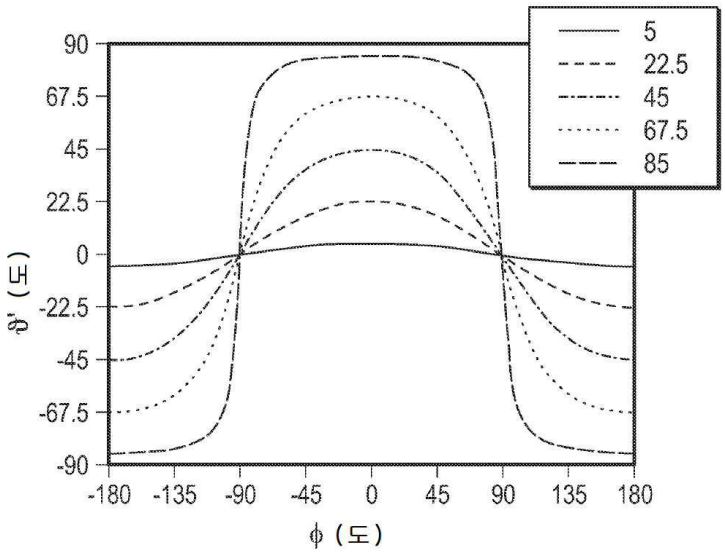
도면2b


200
202
211 210
206
212
213
204
216
β
x
220
Y
X

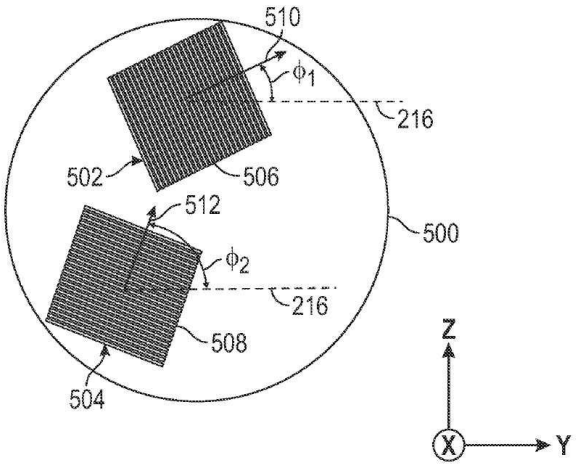
도면3


306
ϑ
216
ϑ'
308
ϕ
216
300
X
302
304
Y
Z

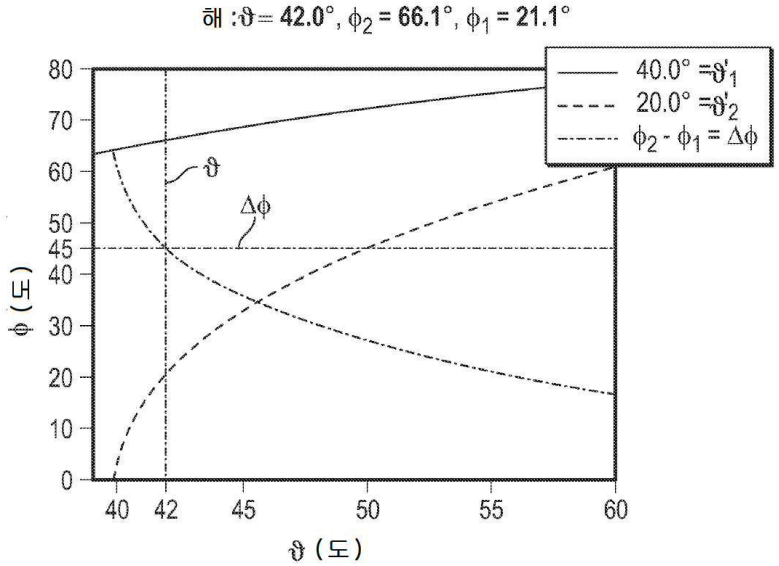
도면4


5
22.5
45
67.5
85
90
67.5
45
22.5
0
-22.5
-45
-67.5
-90
ϑ' (도)
-180 -135 -90 -45 0 45 90 135 180
ϕ (도)

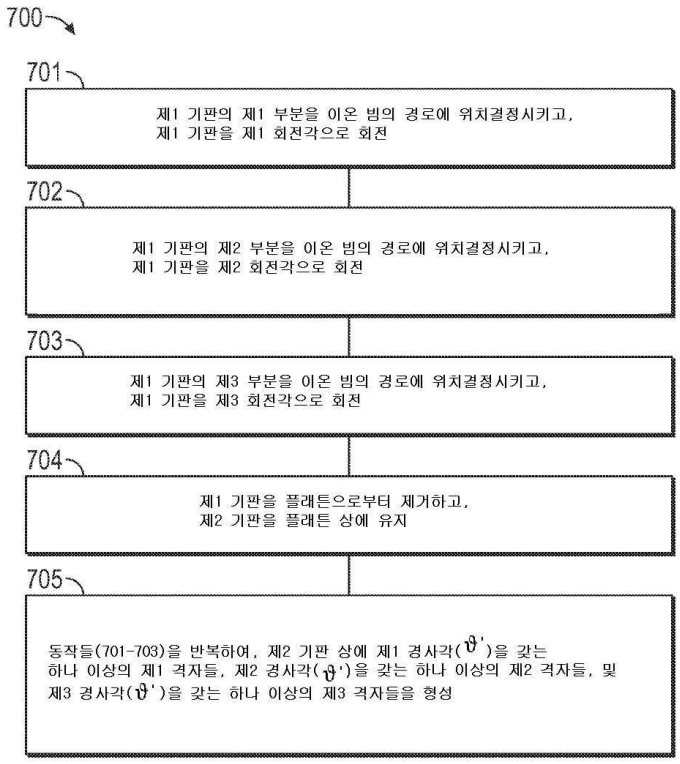
도면5


510
ϕ1
216
502
506
512
500
ϕ2
216
508
504
Z
X
Y

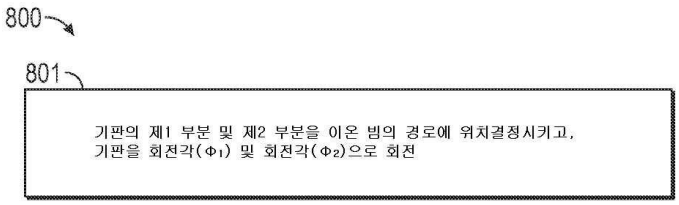
도면6


해 :ϑ = 42.0°, ϕ2 = 66.1°, ϕ1 = 21.1°
40.0° =ϑ'1
20.0° =ϑ'2
ϕ2 - ϕ1 = Δϕ
ϑ
Δϕ
80
70
60
50
45
40
30
20
10
0
ϕ (도)
40 42 45 50 55 60
ϑ (도)

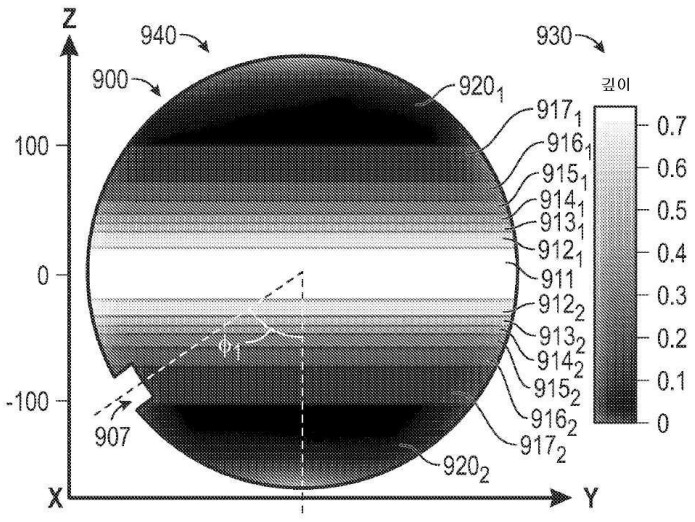
도면7


700
701
제1 기판의 제1 부분을 이온 빔의 경로에 위치결정시키고,
제1 기판을 제1 회전각으로 회전
702
제1 기판의 제2 부분을 이온 빔의 경로에 위치결정시키고,
제1 기판을 제2 회전각으로 회전
703
제1 기판의 제3 부분을 이온 빔의 경로에 위치결정시키고,
제1 기판을 제3 회전각으로 회전
704
제1 기판을 플래튼으로부터 제거하고,
제2 기판을 플래튼 상에 유지
705
동작들(701-703)을 반복하여, 제2 기판 상에 제1 경사각(ϑ')을 갖는
하나 이상의 제1 격자들, 제2 경사각(ϑ')을 갖는 하나 이상의 제2 격자들, 및
제3 경사각(ϑ')을 갖는 하나 이상의 제3 격자들을 형성

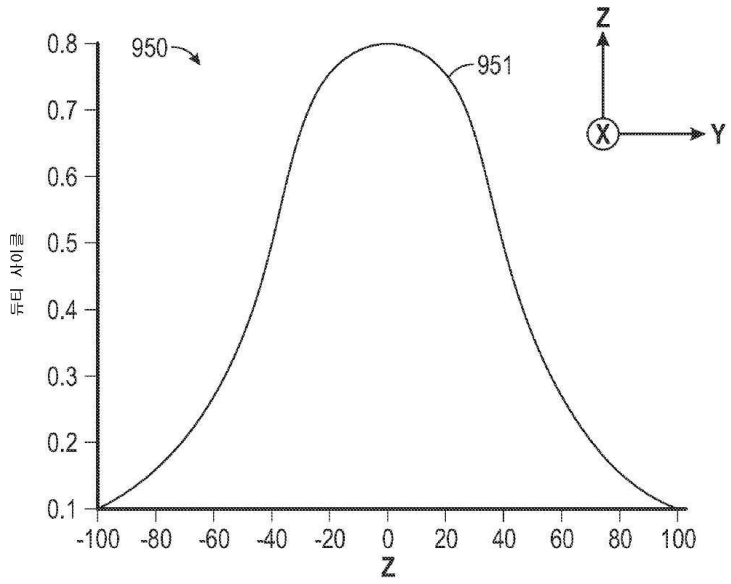
도면8


800
801
기판의 제1 부분 및 제2 부분을 이온 빔의 경로에 위치결정시키고,
기판을 회전각(Φ1) 및 회전각(Φ2)으로 회전

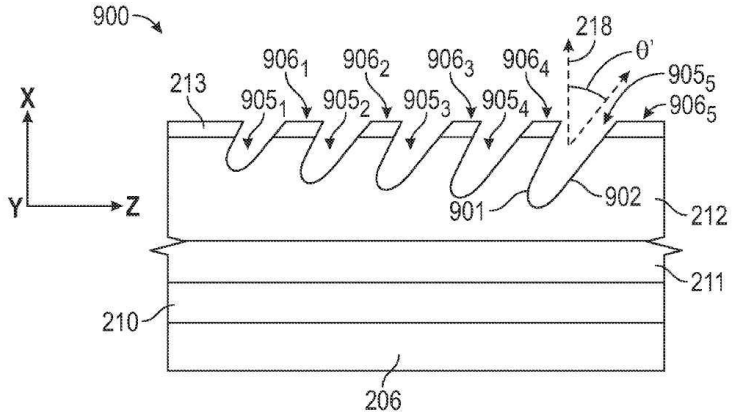
도면9a


Z
940
930
900
920₁
깊이
917₁
916₁
915₁
914₁
913₁
912₁
911
912₂
913₂
914₂
915₂
916₂
917₂
920₂
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
100
0
-100
Φ1
907
X
Y

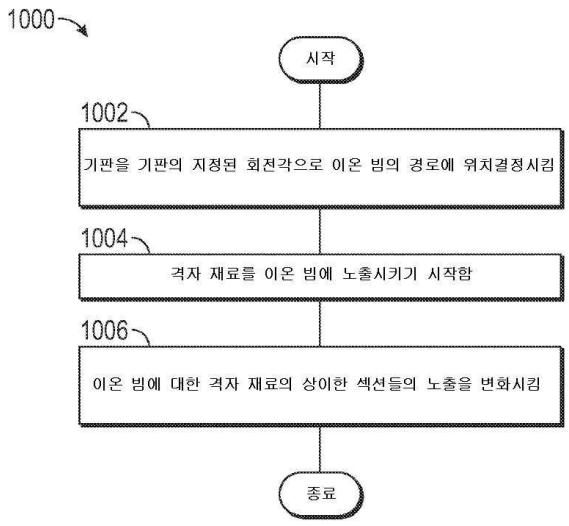
도면9b



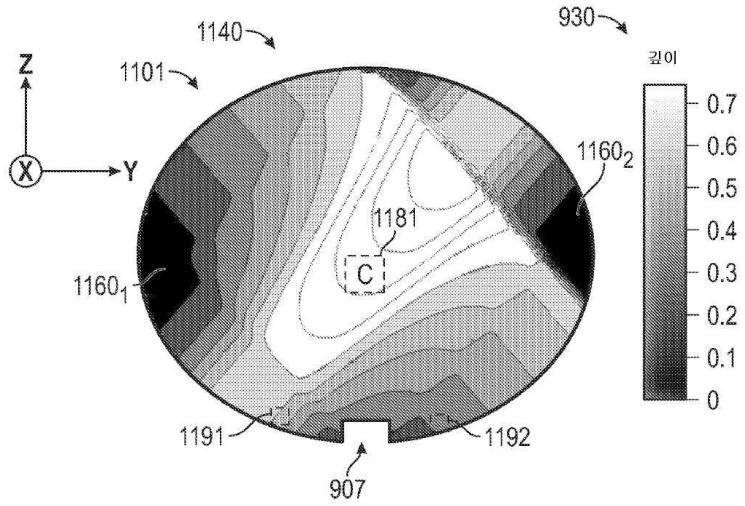
도면9c



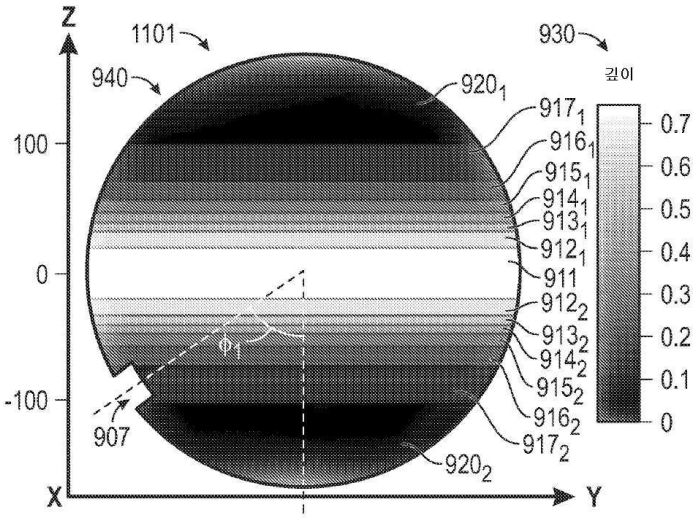
도면10



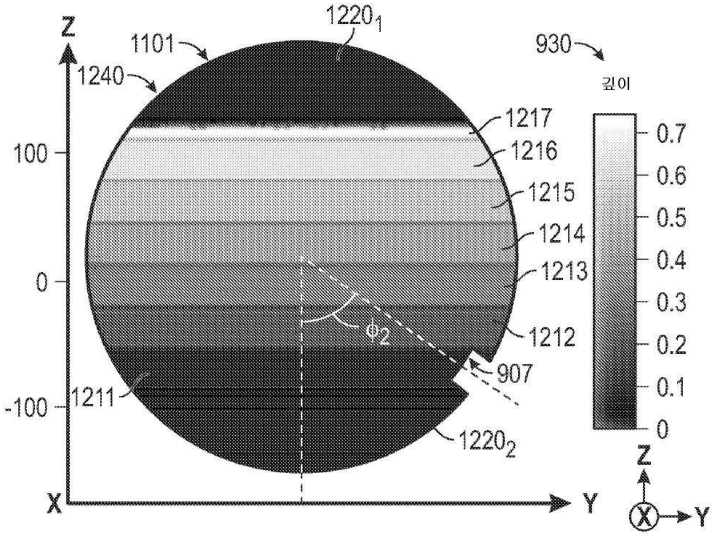
도면11a



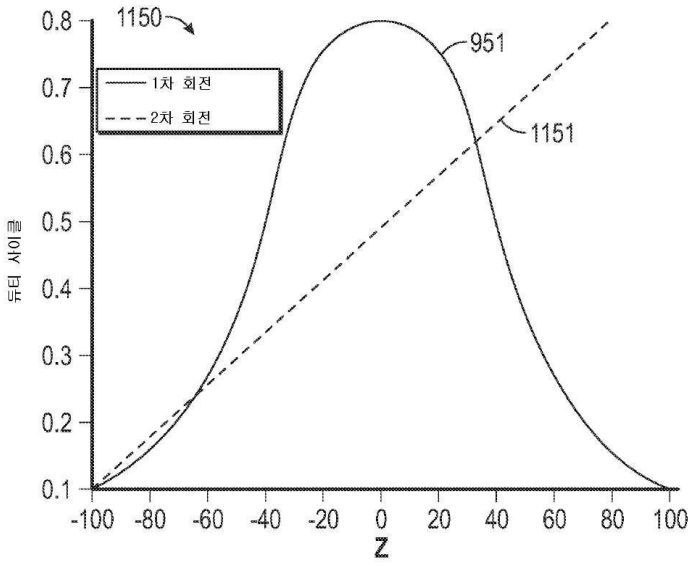
도면11b



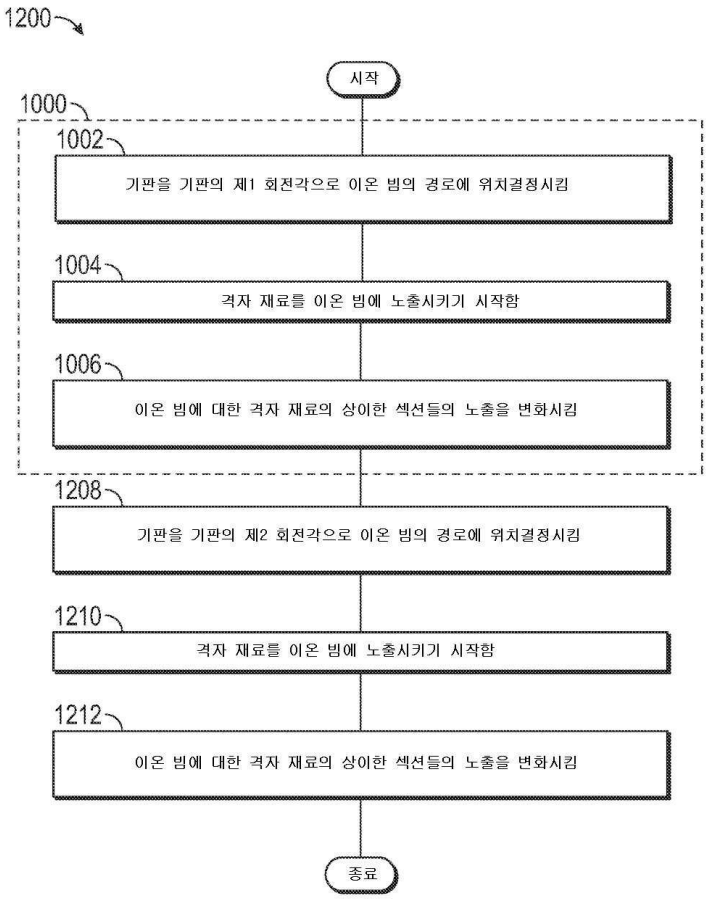
도면11c



도면11d


1150
951
1151
1차 회전
2차 회전
듀티 사이클
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
-100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100
Z

도면12


1200
시작
1000
1002
기판을 기판의 제1 회전각으로 이온 빔의 경로에 위치결정시킴
1004
격자 재료를 이온 빔에 노출시키기 시작함
1006
이온 빔에 대한 격자 재료의 상이한 섹션들의 노출을 변화시킴
1208
기판을 기판의 제2 회전각으로 이온 빔의 경로에 위치결정시킴
1210
격자 재료를 이온 빔에 노출시키기 시작함
1212
이온 빔에 대한 격자 재료의 상이한 섹션들의 노출을 변화시킴
종료