



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년06월14일
 (11) 등록번호 10-1989560
 (24) 등록일자 2019년06월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/268 (2006.01) *B23K 26/00* (2014.01)
B23K 26/062 (2014.01) *H01L 21/02* (2006.01)
 (52) CPC특허분류
H01L 21/268 (2013.01)
B23K 26/0006 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2015-7017295
 (22) 출원일자(국제) 2013년12월19일
 심사청구일자 2018년07월03일
 (85) 번역문제출일자 2015년06월29일
 (65) 공개번호 10-2015-0117251
 (43) 공개일자 2015년10월19일
 (86) 국제출원번호 PCT/US2013/076697
 (87) 국제공개번호 WO 2014/105652
 국제공개일자 2014년07월03일
 (30) 우선권주장
 61/747,805 2012년12월31일 미국(US)
 (56) 선행기술조사문헌
 KR1020070026248 A*
 KR1020010033202 A*
 KR1020070091052 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
엔라이트 인크.
 미국, 워싱턴 98665, 벤쿠버, 빌딩 이, 엔이 88 스트리트 5408
 (72) 발명자
마르틴센, 로버트, 지.
 미국, 워싱턴주 98665, 벤쿠버, 빌딩 이, 엔이 88 스트리트 5408
칼슨, 스캇, 알.
 미국, 워싱턴주 98665, 벤쿠버, 빌딩 이, 엔이 88 스트리트 5408
그로스, 켄
 미국, 워싱턴주 98665, 벤쿠버, 빌딩 이, 엔이 88 스트리트 5408
 (74) 대리인
이원희

전체 청구항 수 : 총 22 항

심사관 : 조성수

(54) 발명의 명칭 **LTPS 크리스탈화를 위한 짧은 펄스 섬유 레이저**

(57) 요약

펄스된 섬유 레이저(pulsed fiber lasers)로부터 레이저 펄스는 녹기 및 재크리스탈화를 반복하여 크리스탈(crystalline) 부위의 무질서한 배열을 포함하는 폴리실리콘 층을 생성하기 위하여 무정형(amorphous) 실리콘 층에 지정된다. 10 kHz 내지 10 MHz의 반복 비율에서, 약 500 nm와 1000 nm 사이의 파장 범위에서 약 0.5 내지 5 ns의 레이저 펄스 기간이 사용될 수 있다. 직선 빔(line beam) 강도 균일성은 빔 간섭을 감소시키기 위하여 다모드 섬유에 있는 라만 스퀘어링 또는 레이저 펄스로 형성된 빔의 다른 부분내 단계 지연을 다양화하는 것을 적용하여 레이저 펄스를 스펙트럼적으로 넓게하여 개선될 수 있다.

(52) CPC특허분류

B23K 26/0624 (2015.10)

H01L 21/02532 (2013.01)

H01L 21/02686 (2013.01)

B23K 2103/56 (2018.08)

명세서

청구범위

청구항 1

1 kHz와 10 MHz 사이의 반복 주파수(repetitive frequency)의 섬유 레이저(fiber laser)로부터 반복적인 레이저 펄스에 기반하고 25 ns 미만의 펄스 기간을 가지는 광학 직선 빔(line beam)을 생성하는 단계;

실리콘 층에 실리콘 크리스탈 미립자(silicon crystal grains)를 생성하기 위하여 실리콘 층을 포함하는 기관 및 광학 직선 빔(optical line beam)중 적어도 하나를 스캐닝하여, 반복되는 녹이기 및 재크리스탈화에 의하여 처리된 실리콘 층이 적어도 $5 \text{ cm}^2/\text{V}$ -초의 이동성(mobility)을 갖도록 하는 단계;

적어도 10%의 펄스 에너지가 다수의 비간섭성 광학모드(multiple incoherent optical mode)를 여기(excite)시키도록 주파수(frequency) 이동되는 스펙트럼적으로 강화된 펄스(spectrally enhanced pulse)를 생성하기 위하여 레이저 펄스를 처리하는 단계, 및

기관에 대하여 스펙트럼적으로 강화된 펄스를 지정(directing)하는 단계;

를 포함하는 기관을 처리하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 레이저 펄스는 500 nm와 1000 nm 사이의 스펙트럼 내용(spectral content)을 가지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 반복 주파수는 10 kHz와 10 MHz 사이에 있는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 반복 주파수는 70 kHz와 130 kHz 사이에 있는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 펄스 기간은 10 ns 미만인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 펄스 기간은 1.5 ns 미만인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 처리된 실리콘 층(processed silicon layer)은 적어도 $50 \text{ cm}^2/\text{V}$ -초의 이동성(mobility)을 가지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 처리된 실리콘 층은 적어도 $100 \text{ cm}^2/\text{V}$ -초의 이동성을 가지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 처리된 실리콘 층은 200 nm와 500 nm사이의 평균 미립자(grain) 크기를 가지는 실리콘 크리스탈 미립자를 가지는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 처리된 실리콘 층은 200 nm와 500 nm사이의 미립자(grain) 크기를 가지는 비지향 실리콘 크리스탈 미립자(unoriented silicon crystal grains)를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 기판(substrate)은 적어도 하나의 표면에 a-Si 층을 가지는 투명한 지지(transparent support)를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 기판에 의하여 수용되는 유효 플루언스(effective fluence)는 $20 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 와 $200 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 사이인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 스펙트럼적으로 강화된 펄스는 라만 스퀘터링(Raman scattering)에 의해 생성되고, 적어도 25%의 펄스 에너지는 주파수(frequency) 이동되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 라만 스퀘터링(Raman scattering)은 다모드 광섬유(multimode optical fiber)를 통하여 레이저 펄스를 지정하여 생성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 16

제1항에 있어서, 반복적인 레이저 펄스의 각각의 부분에 상 지연(phase delay)을 적용하고, 상 지연된 광학 펄스를 가지는 직선 빔(line beam)을 형성하는 단계를 추가적으로 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 17

0.5와 2 ns사이의 펄스 기간을 가지고, 펄스 반복 비율은 70과 120 kHz사이이고, 펄스 파장 스펙트럼은 500 nm와 1000 nm사이이고, 및 펄스 에너지는 10과 100 μJ 사이인 레이저 펄스를 제공하기 위하여 구성된 펄스 레이저;

레이저 펄스를 받고 직선 빔(line beam)을 생성하기 위하여 구성된 광학 시스템(optical system);

직선 빔이 기판 표면을 가로질러 스캔되도록 직선 빔(line beam) 및 기판이 각각 서로에 대하여 이동하기 위하여 구성된 스캐닝 어셈블리(scanning assembly) (여기서 반복적인 레이저 펄스가 기판 표면 상에 a-Si 층의 반복적 녹음 및 재크리스탈화를 형성하도록 직선 빔 영역이 선택됨); 및

레이저 펄스를 받고 라만 스퀘터링(Raman scattering)에 기반된 스펙트럼적으로 넓은 펄스를 생성하기 위하여 구성된 레이저 펄스 스펙트럼 증강기(lase pulse spectrum enhancer)

를 포함하는 레이저 어닐링 시스템(laser annealing system).

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

제17항에 있어서, 상기 레이저 펄스 스펙트럼 증강기는 라만 스퀘터링을 제공하기 위하여 구성된 다모드 광섬유를 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 어닐링 시스템.

청구항 21

제17항에 있어서, 상이한 레이저 펄스 부분 사이에 층 지연(phase delay)을 제공하기 위하여 구성된 적어도 2개의 반사 표면을 포함하는 계단모양의 거울 어셈블리(stepped mirror assembly)를 추가적으로 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 어닐링 시스템,

여기서 층 지연은 반사 표면 분리(reflective surface separation)에 기반된다.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 층 지연은 적어도 10 mm의 반사 표면 분리에 해당되는 것을 특징으로 하는 레이저 어닐링 시스템.

청구항 23

제21항에 있어서, 상기 층 지연은 적어도 40 mm의 반사 표면 분리에 해당되는 것을 특징으로 하는 레이저 어닐링 시스템.

청구항 24

200 nm와 500 nm 사이의 크기(dimensions) 및 적어도 $50 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ 의 이동성(mobility)을 가지는 무작위로 지향된 크리стал라인 실리콘 미립자(oriented crystalline silicon grains)를 형성하기 위하여 500 nm와 1000 nm 사이의 파장 스펙트럼을 가지는 다수의 레이저 펄스에 실리콘 층을 노출하는 단계; 및

박막 트랜지스터(thin film transistor)를 정의하기 위하여 노출된 실리콘 층을 처리하는 단계:를 포함하고,

상기 레이저 펄스는 0.5 ns와 5 ns사이의 기간을 가지는 레이저 펄스를 생성하는 펄스 섬유 레이저에 의해 생성되고, 레이저 펄스는 실리콘 층을 노출하기 이전에 다수의 비간섭성 광학모드와 함께 스펙트럼적으로 강화된 펄스를 생성하기 위하여 라만 스퀘터링의 대상이 되는 것을 특징으로 하는 실리콘 층(silicon layer)을 처리하는

방법.

청구항 25

삭제

청구항 26

제20항에 있어서, 다모드 섬유로 연결되는 레이저 펄스를 변화시키기 위하여 구성되는 변환기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 레이저 어닐링 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 박막 트랜지스터(thin film transistors)에 대한 실리콘 층을 형성하기 위한 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 다양한 유형의 실리콘 기판은 태양전지(solar cells) 및 디스플레이 장치를 포함하는 수많은 적용에 사용될 수 있다. 소위 무정형(amorphous) 실리콘 (a-Si)은 높은 해상도 액체 크리스탈 디스플레이에 사용되고 박막(thin film) 트랜지스터가 정의될 수 있는 활동층(active layer)을 제공한다. 무정형(amorphous) 실리콘은 PECVD를 사용하여 박막에 증착될 수 있다. 낮은 온도 폴리실리콘 (LTPS)은 기초를 이루는 기판(underlying substrate)을 가열없이 증착된 a-Si 층을 빠르게 녹이는 고강도 자외선 레이저 펄스를 노출하여 생성될 수 있다. 그런 다음 a-Si 층은 처리하는 동안에 온도 경사에 의존한 크기를 가지는 미립자로 크리스탈화한다. LTPS 층의 통상적 이동은 a-Si와 연결된 0.5 cm²/V-초 이동성보다 우수한, 약 50-150 cm²/V-초 또는 적어도 5 cm²/V-초에 속한다.

[0003] 통상적 LTPS 처리는 엑시머 레이저, 또는 소위 엑시머 층 어닐링annealing (ELA)으로 표면 치료에 기반한다. ELA에서, 선-모양, 대략 균일한 레이저 빔(308 nm에서 통상적으로)은 가열되고 녹는 a-Si 층에 약 25 ns의 일련의 펄스 기간으로서 관리된다. 그런다음 용융된 층은 폴리크리스탈라인실리콘 (p-Si) 층을 형성하도록 재크리스탈화된다. 레이저 펄스 에너지 및 빔 균일성은 정확하게 조절되어야만 한다. 표적 a-Si 층의 각각의 영역은 몇가지 엑시머 레이저 펄스에 노출되고, 가열, 녹기, 및 재크리스탈화 과정이 반복된다. 얻은 LTPS 층은 도 1A-1B에 나타난 바와 같이 크리스탈(crystalline) 부위의 직사각형 어레이를 나타낸다. 처리는 대부분 박막(thin film) 트랜지스터 (TFT) 뒤판을 위하여 약 300 nm의 면적을 가지는 크리스탈(crystalline) 부위 또는 “미립자(grains)” 를 생성하는데 일반적으로 표적된다.

[0004] 엑시머 레이저(Excimer lasers)는 생산 장치로서 유지하는데 복잡하고 비싸다. 가장 좋은 엑시머 레이저라도 매우 제한된 서비스 수명을 가지는 경향이 있고, 엑시머 레이저 공간 및 이의 관련된 광학 구성요소의 대체는 방해될 수 있고 비쌀 수 있다. 비록 만족스러운 결과가 얻어지더라도, ELA와 관련된 총 처리 비용은 여전히 높다.

도면의 간단한 설명

[0005] 도 1A-1B는 통상적 엑시머 레이저 어닐된(conventional excimer annealed(ELA)) LTPS 기판을 나타낸다.
 도 2는 펄스된 섬유(fiber) 레이저를 포함하는 대표 처리 시스템의 입체 묘사 도표(block diagram)이다.
 도 3-4는 도 2에 나타난 바와 같은 기구로 처리되는 대표 a-Si 기판을 나타낸다.
 도 5는 라만 스퀘터링(Raman scattering) 기반 넓은 레이저 펄스 스펙트럼으로 구성된 다모드 섬유를 포함하는 레이저시스템의 입체 묘사 도표이다.
 도 6A-6B는 50 μm 봉지름(core 지름)를 가지는 긴 다모드 광학 섬유로 라만 스퀘터링 기반한 증가된 광학 빔 균일성을 나타낸다. 도 6A는 시드레이저(seed laser)와 연과된 출력 강도 분배를 나타내고, 도 6B는 핵 중심으로부터 상쇄된 다모드 섬유에 연결된 펄스된 레이저 빔으로 출력 강도 분배와 라만 스퀘터링에 의해 개선된 강

도 균일성을 나타내는 약 5.9 W의 레이저전력을 나타낸다.

도 7A는 50 μm 핵 섬유(core fiber)의 5 m 및 10 m 길이를 사용하여 투입 평균 전력의 기능으로서 라만 변환효율(Raman conversion efficiency)의 그래프이다.

도 7B는 50 μm 핵 섬유의 5 m 및 10 m 길이를 사용하여 투입 피크 전력의 기능으로서 라만 변환효율(Raman conversion efficiency)의 그래프이다.

도 8A-8B는 25 μm 핵 지름(core diameter) 및 250 μm 클래딩 지름(cladding diameter)을 가지는 10 m 긴 다 모드 광학 섬유에서 라만 스퀘터링에 기반된 증가된 광학 빔 균일성을 나타낸다. 도 8A는 시드레이저(seed laser)와 연관된 출력 강도 분배를 나타내고, 도 8B는 약 5.5 W의 레이저평균 전력에서 다모드 섬유에 연결된 펄스된 레이저 빔으로 출력 강도 분배를 나타내므로, 라만 스퀘터링으로 제공된 빔 개선을 나타낸다.

도 9는 빔 공간 간섭(beam spatial coherence)을 감소시키는데 위치한 계단된 반사의 배열을 나타낸다.

도 10은 빔 공간 간섭(beam spatial coherence)을 감소시키는데 위치한 2개의 반사의 배열을 나타낸다.

도 11A-11B는 각각 15 mm 및 50 mm 분리를 가지는 계단된 반사를 사용하여 간섭효과(interference effects)의 감소를 나타낸다.

도 12는 빔 초점에 위치한 다수 빔 및 분산기를 혼합하는데 위치한 인터리버(interleaver)에 기반된 빔 간섭을 감소시키는 시스템을 나타낸다.

도 13은 플라이 아이 렌즈(fly eye lens)를 포함하는 빔 간섭효과(interference effects)를 감소시키는 광학 시스템(optical 시스템)이다.

도 14는 펄스된 섬유(fiber) 레이저를 사용하여 실리콘 층을 처리하는 대표 방법의 입체 묘사 도표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0006] **관련된 출원에 대한 교차 참조**

[0007] 본 출원은 전문에서 참조로 본 명세서에 포함된, 2012년 12월 31일 출원된, 미국 예비 출원 제 61/747,805호에 우선권을 청구한다.

[0008] **요약**

[0009] 가시광선에서 짧은 광학 펄스는 활동 매트릭스 디스플레이를 위한 높은 이동성(mobility) p-Si TFT 뒤판을 생성 하는데 사용될 수 있다. 532 nm에서 방출되는 펄스된 섬유 레이저는 100 cm²/V-s를 초과하는 전자 이동성을 가진 무작위 기원 실리콘 크리스탈 미립자를 생성하기 위하여 사용될 수 있다.

[0010] 기관을 처리하는 대표 방법은 약 1 kHz와 1 MHz사이, 또는 1kHz와 10 MHz 사이, 또는 10 kHz와 10 MHz 사이의 반복 주파수(frequency)에서 섬유(fiber) 레이저로부터 반복적인 레이저 펄스에 기반된 광학 직선 빔(optical line beam)을 생성하고 약 25 ns 미만(less than)의 펄스 기간을 가지는 것을 포함한다. 실리콘 층 및 광학 직선 빔을 포함하는 기관의 적어도 하나는 처리된 실리콘 층이 적어도 약 50 cm²/V-초 또는 적어도 5 cm²/V-초의 이동성(mobility)을 가지는 것과 같은 실리콘 층에서 실리콘 크리스탈 미립자를 생성하기 위해서 스캔된다. 대표 실시예에서, 레이저 펄스는 약 532 nm의 파장을 가지고 반복 주파수는 약 100 kHz과 200 kHz사이 이다. 통상적으로, 레이저 펄스 기간은 약 10 ns 또는 1.5 ns미만(less than)이다. 일부 실시예에서, 처리된 실리콘 층은 적어도 약 50 cm²/V-s 또는 적어도 5 cm²/V-초 또는 적어도 약 100 cm²/V-s의 이동성을 가진다. 일부 실시예에서, 처리된 실리콘 층은 약 200 nm과 500 nm사이의 평균 미립자(grain) 크기를 가지는 실리콘 크리스탈 미립자를 가지고 실리콘 크리스탈 미립자는 무작위로 기원된다(oriented). 일부 실시예에서, 유효 플루언스는 약 20 mJ/cm²과 200 mJ/cm² 사이 이다. 다른 실시형태에서, 레이저 펄스는 펄스 에너지의 적어도 약 10%가 이동된 주파수인 스펙트럼으로 증강된 펄스를 생성하기 위하여 처리되고, 스펙트럼으로 증강된 펄스는 기관에 직행한다. 일부 실시예에서, 스펙트럼으로 증강된 펄스는 다모드 광학 섬유에서 라만 스퀘터링에 의해 생성되고, 펄스 에너지의 적어도 약 25%는 이동된 주파수이다. 다른 실시예에 따라, 다수의 층 지연은 반복적인 레이저 펄스의 다른 부분에 적용되고, 직선 빔(line beam)은 층 지연 및 스펙트럼으로-증강된 광학 펄스로 형성된다.

[0011] 레이저 어닐링 시스템(Laser annealing 시스템)은 10 kHz와 1 MHz사이 또는 10 kHz와 10 MHz 사이의 반복 비율

에서 10 ns미만의 펄스 기간의 레이저 펄스를 제공하도록 구성된 펄스된 레이저를 포함한다. 광학 시스템(optical 시스템)은 레이저 펄스를 얻고 직선 빔을 생성하기 위하여 구성된다. 스캐닝 어셈블리는 직선 빔이 기관 표면을 가로질러 스캔되도록 직선 빔(line beam) 및 기관이 서로 움직이기 위해서 구성되고, 상기 직선 빔(line beam) 영역은 반복적인 레이저 펄스가 기관 표면 상에 a-Si 층의 반복적으로 녹는 것을 생성하기 위해서 선택된다. 통상적 실시예에서, 레이저 펄스는 약 0.5과 2 ns사이의 기간을 가지고, 펄스 반복 비율은 70과 120 kHz사이 또는 70 내지 130 kHz이고, 펄스 파장은 532 nm이고, 펄스 에너지는 약 10과 100 μ J사이 이다. 일부 실시예에서, 레이저 펄스 스펙트럼 증강기는 레이저 펄스를 얻고 다모드 섬유를 가지는 라만 스퀘터링 기반된 스펙트럼적으로 넓은 펄스를 생성하기 위하여 구성된다. 다른 실시예에서, 적어도 2개의 반사 표면을 포함하는 계단식 거울 어셈블리(steped mirror assembly)는 다른 레이저 펄스 부분 사이의 층 지연을 제공하기 위하여 구성되고, 상기 층 지연은 반사 표면 분리에 기반된다. 통상적 실시형태에서, 층 지연은 적어도 10 mm, 25 mm, 40 mm, 또는 50 mm의 반사 표면 분리에 해당한다.

[0012] 실리콘 층을 처리하는 방법은 약 200 nm과 400 nm 사이의 면적 및 적어도 $50 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ 의 실리콘 층에서 이동성(mobility)을 가지는 무작위 기원된 크리스탈(crystalline) 실리콘 미립자를 상당히 형성하기 위하여 약 532 nm의 파장에서 다수의 레이저 펄스에 실리콘 층을 노출하는 것을 포함한다. 노출된 실리콘 층은 박막(thin film) 트랜지스터를 규정하기 위하여 처리된다. 일부 실시예에서, 레이저 펄스는 약 0.5 ns과 2 ns사이의 기간을 가지는 레이저 펄스를 생성하는 펄스된 섬유(fiber) 레이저로 생성되고, 레이저 펄스는 실리콘 층을 노출하기 전에 스펙트럼적으로 증강된 펄스를 생성하기 위하여 라만 스퀘터링에 시행된다. 액체 크리스탈(LCD) 또는 유기 빛- 방출-다이오드(organic light-emitting diodes(OLED))를 수반하는 활동 매트릭스 디스플레이는 상기에 설명된 바와 같이 처리된 실리콘 층을 포함한다.

[0013] 기술의 앞서 말한 다른 목적, 특징, 및 장점은 수반하는 도면에 참조로 진행하는, 하기의 상세 설명으로부터 더욱 명백하게 될것이다.

[0014]

[0015] **상세 설명**

[0016] 하기의 개시는 임의의 방식으로 제한하는 것으로서 해석되지 않는 대표 실시 형태의 내용으로 존재하다. 상기 개시는 단독 및 서로 다양한 조합 및 하위-조합으로 다양한 개시된 실시형태의 모두 신규하고 불명확한 특징 및 측면으로 향한다. 개시된 방법, 장치, 및 시스템은 임의의 특정 측면 또는 특징 또는 이의 조합에 제한하지 않고, 개시된 실시형태는 존재되는 임의의 하나 이상의 특정 장점 또는 해결하고자 하는 문제를 요구하지 않는다.

[0017] 비록 개시된 방법의 작동(operations)이 편리한 제시의 특징, 연속적 순서로 설명되지만, 만약 특정 순서가 하기에 제시된 특정 언어에 의해 요구되지 않는다면, 설명의 상기 방법은 작동의 재배열을 포함한다는 것이 이해되어야만 한다. 예를 들면, 연속적으로 설명된 작동은 일부 경우에서 재배열되거나 동시에 수행될 수 있다. 추가적으로, 단순함을 위하여, 첨부된 도면은 개시된 시스템, 방법, 및 장치가 다른 물건 및 방법과 함께 사용될 수 있는 다양한 방식을 나타낼 수 있다.

[0018] 상기 개시는 개시된 방법을 설명하기 위하여 “생성(produce),” “생산(generate),” “선별(select),” “얻다(receive),” “나타내다(exhibit),” 및 “제공(provide)” 과 같은 용어를 때때로 사용한다. 상기 용어는 수행되는 실제 작동(actual operations)의 고-수준의 추상명사(abstractions)이다. 상기 용어에 해당하는 실제 작동은 특정 성취(implementation)에 의존하여 다양할 수 있고 당업계의 하나의 특정 기술이 의해 쉽게 인식할 수 있다.

[0019] 상기 내용이 달리 분명히 지시하지 않는다면, 단일 형태 “a,” “an,” 및 “the” 는 복수 형태를 포함한다. 상기 용어 “포함한다(include)” 는 “포함한다(comprises).” 를 의미한다. 내용이 달리 분명히 지시하지 않는다면, 상기 용어 “결합된(coupled)” 은 기계적으로(mechanically), 전기적으로(electrically), 또는 전자기로 연결된(electromagnetically connected) 또는 연결된(linked)을 의미하고 설명된 시스템의 의도하는 작동에 영향을 주지 않는 하나 이상의 중간 요소를 통하여 직접 연속(direct connections) 또는 직접 연결(direct links) 및 간접 연속(indirect connections) 또는 간접 연결(indirect links)을 포함한다.

[0020] 특정 용어는 “위(up),” “아래(down),” “상층(upper),” “하층(lower),” 등과 같이 사용될 수 있다. 사용 가능한 경우에, 상기 용어는 상대적 관계로 다룰때 설명의 일부 명료성을 제공하기 위하여, 사용된다. 그러나, 상기 용어는 절대적 관계, 위치, 및/또는 기원을 내포하는 것을 의도한다.

- [0021] 내용이 달리 분명히 지시하지 않는다면, 용어 “또는(or)” 는 기술된 대안적 요소의 단일 요소 또는 2개 이상 요소의 조합을 의미한다.
- [0022] 달리 설명되지 않는다면, 본 명세서에서 사용된 모든 기술적 및 과학적인 용어는 본 개시가 속한 당업계의 하나의 기술에 통상적으로 이해되는 것으로서 동일한 의미를 가진다. 비록 본 명세서에서 설명된 것과 유사하거나 또는 동등한 방법 및 재료(materials)는 본 개시의 연습 또는 테스트에서 사용될 수 있지만, 적합한 방법 및 재료는 하기에 설명된다. 재료, 방법, 및 실시예는 단지 설명하는 것이고 제한하고자 하는 것이 아니다. 본 개시의 다른 특징은 하기의 상세 설명 및 청구항으로부터 명백하다.
- [0023] 달리 지시하지 않는다면, 명세서 또는 청구항에서 사용된 바와 같은, 구성요소, 퍼센트, 온도, 시간 등의 양을 나타내는 모든 수는 용어 “약(about)” 또는 “대략(approximately)” 에 의해 변형되는것으로서 이해된다. 따라서, 달리 지시하지 않는다면, 함축적으로(implicitly) 또는 명쾌하게(explicitly), 수적 한도 제시는 표준 테스트 조건/방법 하의 원하는 성질 추구 및/또는 검출 제한에 의존될 수 있는 근사치(approximations)이다. 논의된 선행기술로부터 실시형태를 직접적 및 명쾌히 구별하는 경우에, 용어 "약(about)"이 재인용되지 않는다면 실시형태 수는 근사치가 아니다.
- [0024] 도 2에 참조로서, 펄스된 섬유 레이저 물질 진행 시스템 200은 광학 시스템(optical 시스템) 204를 형성하는 직선 빔(line beam)에 결합된 펄스된 광학 출력을 생성하는 펄스된 섬유 레이저 202를 포함한다. 표적 206은 직선 빔(line beam)을 얻는데 위치하고 변환단계(translation stage) 208에 보장될 수 있으므로 직선 빔은 표적 206의 표면을 가로질러 단계적(steped)이거나 또는 스캔될 수 있다. 대안적으로, 광학 시스템(optical 시스템) 204를 형성하는 펄스된 섬유 레이저 및 빔은 표적 206에 관하여 단계적(steped)이거나 또는 스캔될 수 있다. 일부 실시예에서, 표적 206은 직선 빔에 투명한 기관 상의 실리콘 층(a-Si와 같은)이다.
- [0025] 펄스된 섬유 레이저 202는 스캔된 직선 빔을 따라 녹고 재크리스탈화되는 국소 표면을 생성하는 전력 수준, 반복 비율, 및 파장을 생성하기 위하여 설정된다. 실시예에서, 펄스된 섬유 레이저 202는 nLIGHT 법인에 의해 생성된 PFL 250 녹색 섬유 레이저이다. 펄스 기간은 약 532 nm의 파장에서 약 60 μJ 까지의 펄스 에너지를 가지는 80-120 kHz의 펄스 반복 비율에서 약 0.7 ns부터 약 1.5 ns까지의 범위일 수 있다. ELA에 대조적으로, 532 nm 방사선의 흡수 깊이(absorption depth)는 짧은 파장 엑시머 방사선(excimer radiation) (약 308 nm)의 흡수 깊이보다 깊고(deepe) 펄스 기간은 상당히 짧다(약 25-60 ns에 반대로서 약 1 ns).
- [0026] 직선 빔(line beam)은 기관 크기, 펄스 에너지, 및 바람직한 빔 중복에 기반된 선택된 표적 영역의 노출을 위하여 설정될 수 있다. 스캐닝 속도(Scanning speed)는 원하는 표적 플루언스를 생성하기 위하여 선택된다. 통상적으로, 유효 플루언스(effective fluences)은 약 10 mJ/cm²로부터 약 1000 mJ/cm²까지, 약 20 mJ/cm² 부터 약 500 mJ/cm²까지 또는 약 50 mJ/cm²부터 약 125 mJ/cm²까지의 범위이다.
- [0027] 스캔 비율, 직선 빔(line beam) 크기, 및 펄스 에너지와 같은 노출 파라미터는 선택되는 노출 플루언스 및 직선 빔(line beam) 중복을 생성하기 위하여 설립될 수 있다. 높은 플루언스(higher fluences)와 연관된 단일 영역에서 녹기 및 재크리스탈화의 증가된 수는 큰 미립자(grain) 크기를 생성하는 경향이 있고, 따라서 노출은 선택될 수 있다.
- [0028] 실리콘이 308 nm(2x10⁵/cm의 서열 상에서)에서 적은 흡음계수(absorption coefficient) (2x10⁴/cm의 서열 상에서)을 가지기 때문에, 도 2의 섬유 레이저 시스템 202는 532 nm에서 광학 펄스를 생성한다. 532 nm보다 다른 파장이 선택될 수 있고, 노출 파라미터는 다른 흡음계수(absorption coefficients)에 기반되어 맞추어 질 수 있다. 파장 및/또는 400 nm와 1 μm사이 또는 500 nm와 1 μm의 파장의 조합에서 노출은 편리하다.
- [0029] 도 3-4는 도 2와 같은 장치로 진행되는 a-Si 기관을 나타낸다. 재크리스탈화된 Si 미립자는 명백하고 직선 빔으로 간섭효과(interference effects)와 연관된 크기 변형(variations)을 나타낸다. 직선 빔 및 스캔 방향이 지적되었다. Si 미립자가 펄스된 섬유(fiber) 레이저를 가지는 녹색 레이저 어닐링을 사용하여 형성된 반면, Si 미립자는 직사각형 어레이로 배열되지 않는다. ELA LTPS의 전기 성질은 Si 미립자의 직사각형 어레이에 대하여 기원(orientation)에 의존된다. 반대로, GLA로 얻어지는 무작위 또는 유사-무작위 배열된(quasi-randomly arranged) Si 미립자는 Si 층 기원의 기능으로서 전기 성질에서 변화(variation)기 없거나 거의 나타내지 않는다. 상기 층(layers)으로, TFT 어레이에 정렬된 폴리실리콘 층은 제작(fabrication)을 단순하게 하는, 대부분 제작과정에서 빠질수 있다. 도 3-4에 나타난 바와 같이, 균일한 미립자 크기는 균일한 노출을 요구할 수 있고, 빔 균일성은 미립자 크기 일관성을 개선하기 위하여 하기에 논의된 바와 같이 추가적으로 증강된다.

- [0030] 직선 빔은 간섭에 기인한 회절(diffraction) 또는 작은반점(speckle)과 같은 간섭효과(interference effects)를 나타낼 수 있다. 빔 간섭(beam coherence)은 하기에 개시된 바와 같은 몇가지 방식으로 감소될 수 있고, 이런 접근의 하나 이상은 직선 빔(line beam) 균일성을 개선하고 간섭효과(interference effects)에 기인한 빔 강도 변형(variations)을 감소시키는데 사용될 수 있다. 도 5에 언급하여, 라만 증강된 레이저 시스템 500(Raman enhanced laser system 500)은 광학 시스템 504를 형성하는 빔에 일련의 레이저펄스를 지시하는데 위치한 펄스된 섬유 레이저 502를 포함한다. 시드 레이저 원천 501은 레이저 펄스 형성을 초기화하기 위하여 펄스된 섬유 레이저 502에 결합된다. 광학 시스템 504를 형성하는 빔(beam forming optical system 504)은 레이저펄스를 다모드 섬유(MMF) 506으로 초점을 맞추고, 빔 광학 508은 MMF 506으로부터 출력 펄스(output pulses)를 얻고, 재료 진행(material processing)을 위한 직선 빔 또는 다른 빔 모양을 형성하기 위하여 설정될 수 있다. 등글고 원기둥 광학 요소의 조합이 사용될 수 있다. MMF 506은 여기된(excited) 섬유 모드의 수를 증가시키기 위하여 일반적으로 코일된다.
- [0031] MMF 506은 라만 스퀘터링 기반된 레이저 펄스 스펙트럼을 넓게 하기위하여 선택된다. 레이저 전력 및 MMF 길이는 편리한 파라미터이다. 532 nm의 레이저 펄스를 위하여, 출력 펄스는 라만 스퀘터링에 의해 스펙트럼적으로 증강되도록 생성된다. 라만 스퀘터링은 비직선(강도 의존적) 효과이기 때문에, 레이저전력은 적합한 라만 변환(Raman conversion)을 얻기 위하여 선택된다. 추가적으로, MMF 길이는 라만 스퀘터링을 증강시키기 위하여 적합한 상호작용 길이를 제공하기 위하여 선택될 수 있다. 다수의 다른 스트로크 파장(Stokes wavelength)을 여기하여, MMF 506에 있는 다수의 비간섭성 모드(incoherent modes)가 여기되었다(excite). 일부 실시예에서, 압전기 변환기 510(piezoelectric transducer 510)은 다양한 레이저 펄스를 MMF 504로 연결하는데 위치된다. 레이저 펄스 반복 비율에 따른 진동 비율(vibrations rates)은 바람직하다.
- [0032] 도 6A는 시드 레이저전력 단독에 해당하는 MMF 506의 출력에서 강도 분배를 나타낸다. 강도 변형(variations)은 두드러진다. 도 6B는 라만 스퀘터링을 생성하기 위해 충분한, 5.9 W의 레이저출력 전력에서 강도 분배를 나타낸다. 균일성에서 개선은 명백하다. 도 7A-7B는 532 nm의 펄스된 레이저 및 약 1 ns의 펄스 길이를 위하여 50 μm 핵 지름(core diameter) MMF의 5 m 및 10 m 길이를 위한 주입 평균 전력 및 주입 피크 전력의 기능으로서 라만 변환 효율(Raman conversion efficiencies)을 나타낸다. 적합한 평균 및/또는 피크 전력은 약간의 간섭 효과를 초점하기 위하여 보다 적은 간섭이 있는 출력 빔을 제공하기 위하여 바람직한 변환 효율을 얻도록 선택될 수 있다.
- [0033] 다른 실시예에서, 다른 핵 지름의 섬유는 피크 강도를 증가시키고 라만 변환 효율을 증강시키기 위하여 사용될 수 있다. 도 8A는 5 m 길이를 가지는 25 μm 핵/250 μm 피복(clad) 지름 섬유의 출력에서 시드 빛(seed light)의 강도 분배를 나타낸다. 도 8B는 라만 스퀘터링을 생성하기에 충분한, 5.5 W의 레이저출력 전력에서 단독의 라만 이동된 빛(광학 필터로 제거된 532 nm 부분)의 강도 분배를 나타낸다. 이전의 실시예에서와 같이, 균일성에서 개선은 명백하다.
- [0034] 상기 접근에서, 빔 간섭은 비직선 과정(라만 스퀘터링)을 사용하여 펄스 스펙트럼 대역폭(pulse spectral bandwidth)을 확장하여 감소된다. 다른 실시예에서, 개선된 직선 빔 균일성은 빔의 일부분에서 단계 지연(phase delays)를 도입하여 얻을 수 있다. 도 9에 대한 참조와 같이, 주입 레이저 빔 910은 반사된 빔 930을 생성하기 위하여 설정된 오프셋 반사기(offset reflectors) 901-908의 스택 900(stack 900)에 지시된다. 스택된 반사기(stacked reflector) 901-908의 각각의 각각의 반사기 표면을 포함한다. 예를 들면, 반사기 901은 각각의 표면 921을 포함한다. 주입 빔 축 922을 따라 반사기 표면 공간(surface spacing) d 는 각각의 빔 부분에 적용된 계단화된 단계 차이와 연관되어 있다. 표면 공간 d 는 빔 간섭을 감소시키는, 예를 들면, 빔 간섭 길이를 감소시키기 위하여 선택될 수 있다. 하나의 실시예에서, 표면 공간 d 는 빔 간섭 길이를 적어도 약 0.1, 0.2, 0.5, 1, 또는 2 배되도록 선택된다. 반사기의 수는 다양할 수 있고, 반사기는 멀리 떨어질 수 있고 도 9에 나타낸 바와 같이 함께 스택되지 않는다(not stacked). 공간(Spacing)은 균일할 필요는 없고, 반사 표면은 임의로(arbitrarily) 또는 증가 또는 감소하는 공간으로 간격될 수 있다.
- [0035] 도 10에 대한 참조와 같이, 반사기 짝 1002(reflector pair 1002)는 축 1004을 따라서 레이저 빔 주입의 공간의 간섭을 감소시키기 위하여 설정된다. 첫번째 거울 1006 및 두번째 거울 1008은 거리 d 에 의해 분리되고 반사 표면 1007, 1009를 가진다. 반사 표면 1007은 100% 반사율(reflectivity)에 접근하기 위하여 설정될 수 있고, 반사 표면 1009는 부분적으로 반사되기 위하여 설정되고 일련의 반사된 빔 부분은 축 1021-1024를 따라서 지시된다. 반사 표면은 더욱 반사를 경험하게 하는 빔 부분을 위한 낮거나 또는 높은 반사율(reflectance)을 다양하게 하는 것을 가질 수 있다. 축 1021-1024와 연관된 빔 부분의 진폭(Amplitude)은 적합한 다양한 반사를 공급하여 선택될 수 있다. 다른 실시예에서, 반사 표면 1109의 반사율은 위치의 기능으로서 의존된 파장 일 수

있고 각각의 축 1021-1028는 상이한 파장 범위와 연관되어 있다. 반사 표면 공간은 간섭 길이에 기반하여 통상적으로 선택된다.

[0036] 도 11A-11B는 각각 5 mm 및 50 mm 계단화된 거울 지연(steppped mirror delays)과 연관된 직선 빔의 교차 섹션이다. 간섭효과(interference effects)는 50 mm 계단화된 거울 지연으로 큰 감소로, 감소된다.

[0037] 도 12는 반사 스트립 1212, 1214, 1216을 가지는 인터리브 1201(interleave 1201)에 지시되는 빔 1201-1206을 조합하기 위하여 구축된 광학시스템 1200을 나타낸다. 조합된 빔은 하나 이상의 등궤고(spherical) 원기둥(cylindrical)의 광학 요소를 포함하고 xyz 좌표계(조직화된 시스템) 1240의, 각각 x-축 및 y-축을 따라 확장하는 빔 초점 1222, 1226을 생성하는 광학 시스템 1220에 축 1218을 따라 지시된다. 회전할 수 있는 분산기 1224(rotatable diffuser 1224)는 초점 1222, 1236의 하나에 또는 근처에 위치되고 방향 1223으로 회전하기 위해서 모터 또는 다른 장치에 결합된다. 광학 시스템 1230은 분산된 광학 빔을 얻기 위하여 위치되고 광학 모양을 하는 표적 또는 다른 빔에 광학 빔을 지시한다. 통상적 실시예에서, 회전할 수 있는 분산기 1224는 빔의 더욱 균일한 교차 섹션이 좁아지는 빔 초점에 또는 근처에 위치된다. 회전할 수 있는 분산기 1224는 가장자리 또는 대략 중심 굴대(central shaft)로부터 회전될 수 있고, 광학 빔을 차단하는 것을 피하기 위하여 놓은 기계를 움직인다.

[0038] 도 13은 축 1301을 따라 펄스된 레이저 빔 전파(beam propagating)를 얻기 위하여 위치된 플라이-아이 렌즈 1302(fly-eye 렌즈 1302) 또는 분산기(diffuser)를 포함하는 광학 시스템 1300을 나타낸다. 렌즈 1304는 플라이-아이 렌즈 1302에 생성된 빔 부분을 얻고 직선 모양 렌즈 1312에 빔 부분에 지시한다. 예를 들면, 플라이-아이 렌즈 요소 1304는 빔 부분 1310에 렌즈 1304에 확장된 빔 부분 1308을 생성한다. 직선 모양(원기둥) 렌즈 1312는 빔 부분을 얻고 플라이-아이 렌즈에 의해 생성된 중복 빔 부분에 기반된 직선 이미지 1312를 형성한다. 렌즈 1304, 1312는 단일 요소 또는 다수-요소 렌즈일 수 있고, 반사, 굴절, 홀로그래픽(holographic), 또는 다른 광학 요소 또는 이의 조합은 빔 모양을 위하여 사용될 수 있다.

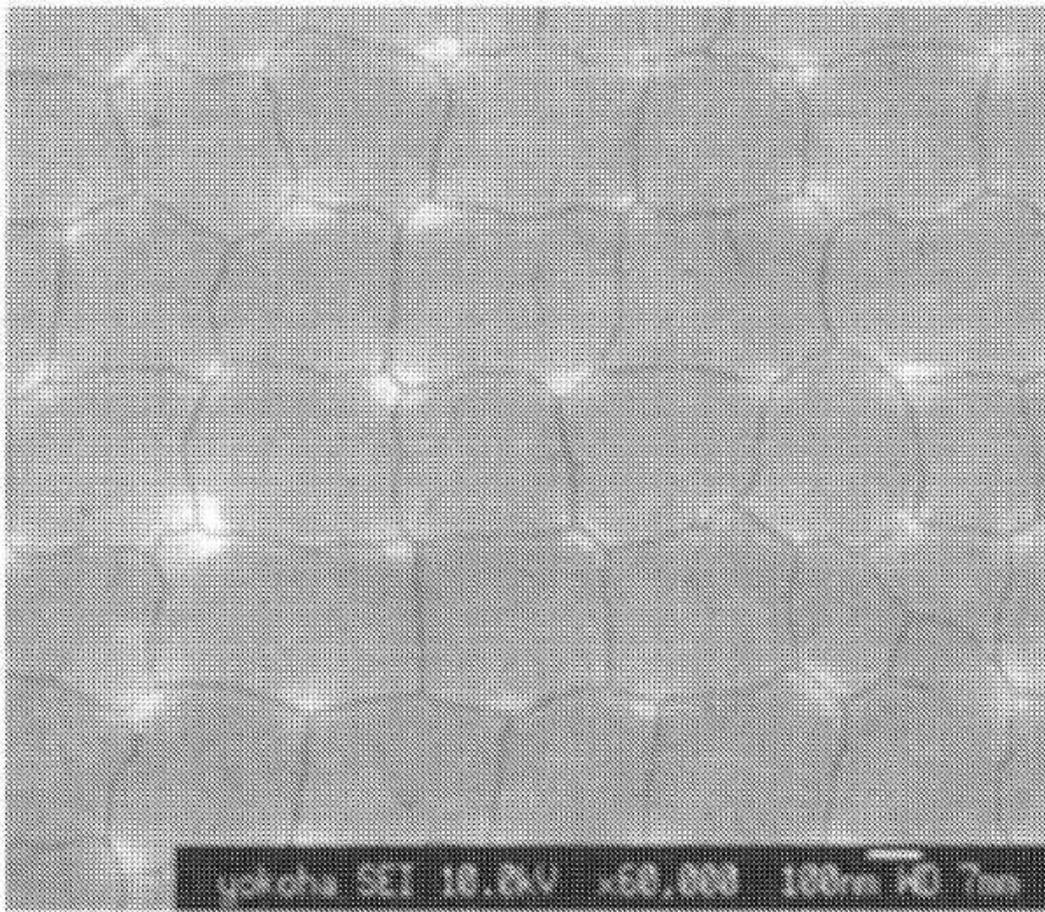
[0039] 도 14에 참조와 함께, 대표 진행 방법 1400은 1402에서 섬유 레이저 펄스 기간, 펄스 에너지, 및 반복 비율을 선별하는 것을 포함한다. 직선 빔 모양은 의도하는 기관의 펄스 에너지 및 크기에 기반된 1404에서 선택된다. 1406에서, 스캔비율은 레이저 펄스 사이의 원하는 중복 영역에 기반하여 선택된다. 빔 리플(Beam ripple)은 라만 스펙터링 또는 다른 빔 부분에 단계 지연의 도입에 의해, 또는 분산기 또는 플라이-아이-렌즈를 사용하여 감소된다. 1410에서, 기관은 빔이 기관에 관하여 스캔되는 것처럼 노출되고, 기관은 빔, 또는 이의 조합에 대하여 스캔된다. 1412에서 기관은 평가된다. 예를 들면, a-Si 층에 관하여, 층은 크리스탈 미립자(grain) 크기 또는 이동성(mobility)에 기반되어 평가될 수 있다. 만약 노출된 층이 만족스럽지 않다면, 노출은 1402에 복귀되어 설정될 수 있다. 그렇지 않다면, 과정은 1414에서 계속된다.

[0040] 개시된 기술의 원칙이 적용될 수 있는 많은 가능한 실시형태의 관점에서, 설명된 실시형태는 단지 바람직한 실시예인것을 인식해야만 하고 본 개시의 범위를 제한하는 것으로서 간주되어서는 안된다. 본 출원인은 첨부된 청구항의 범위 및 정신 내에 있는 모든 것을 청구한다.

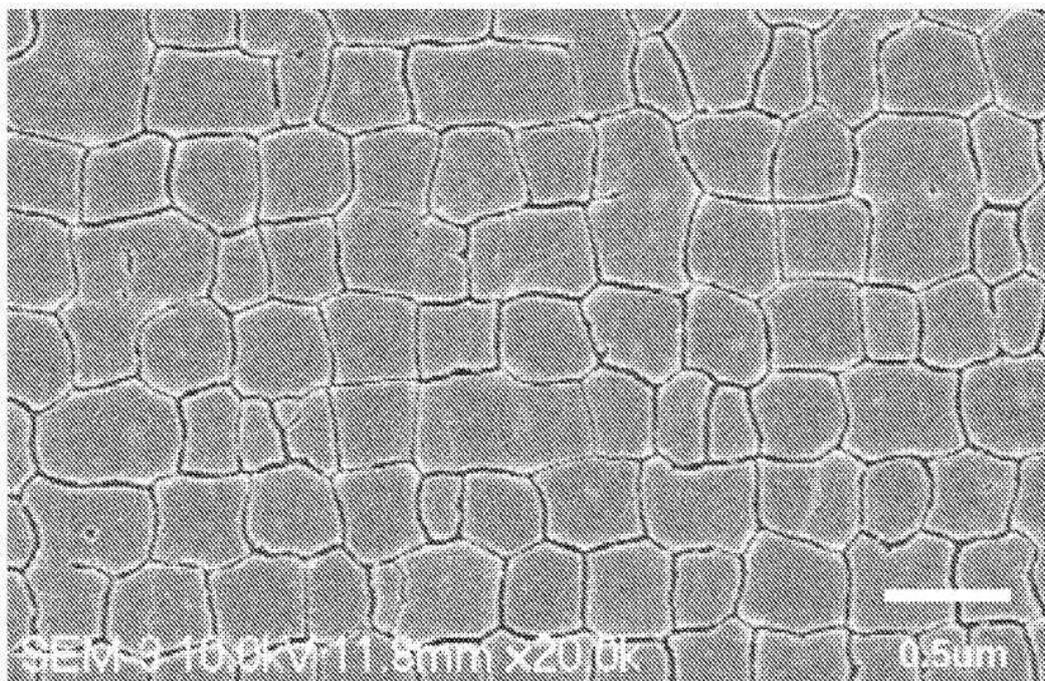
[0041]

도면

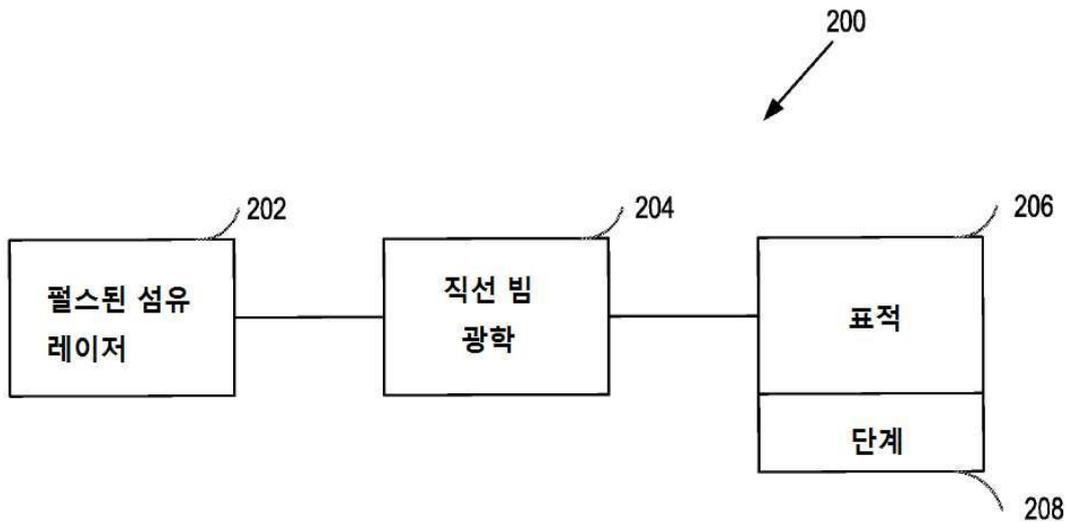
도면1a



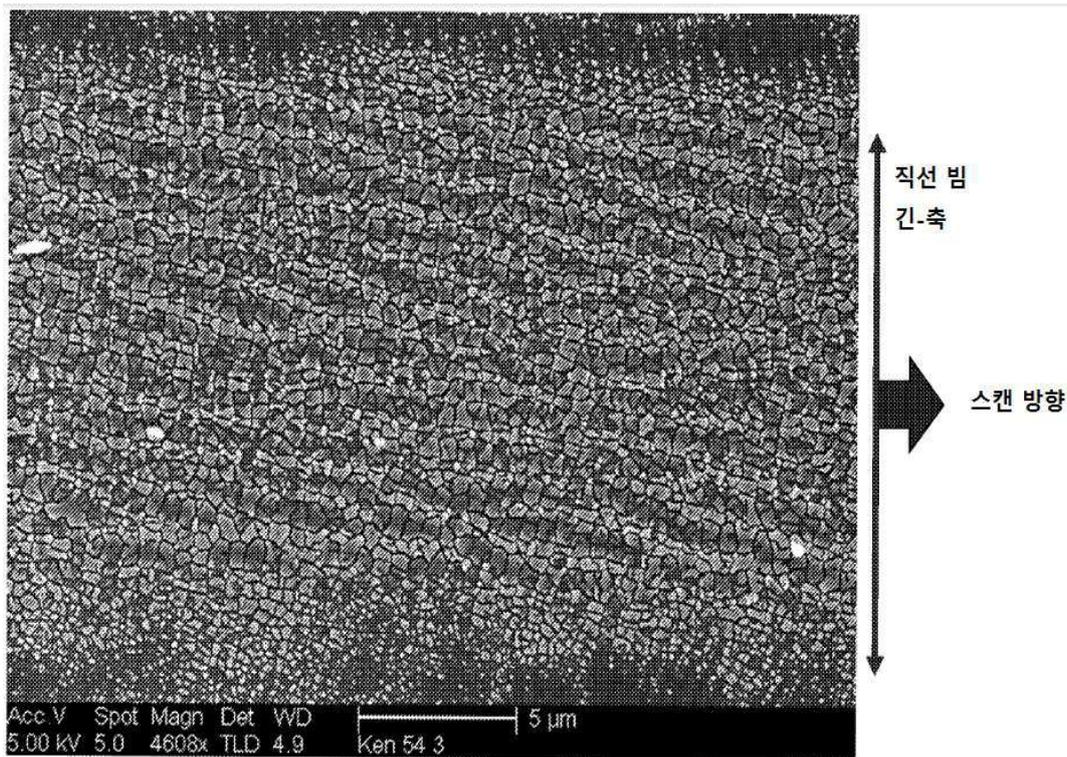
도면1b



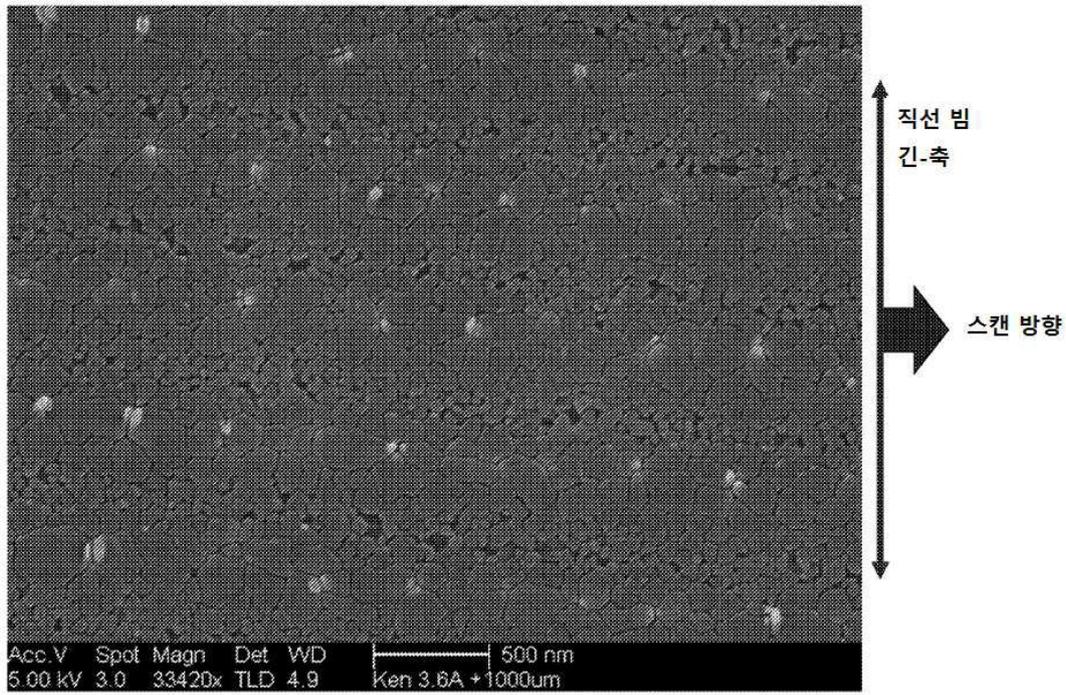
도면2



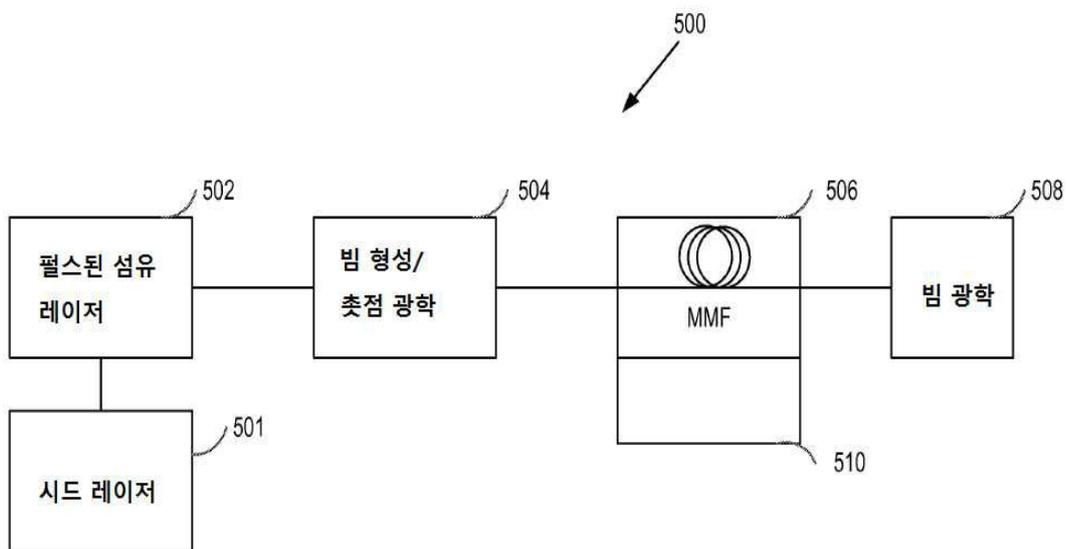
도면3



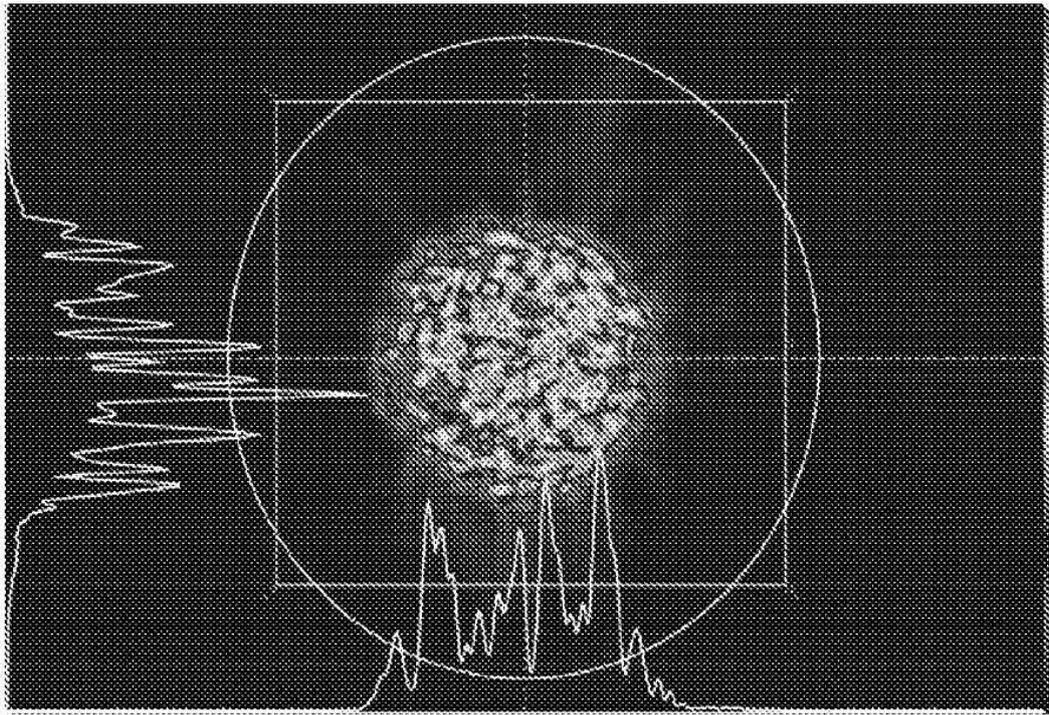
도면4



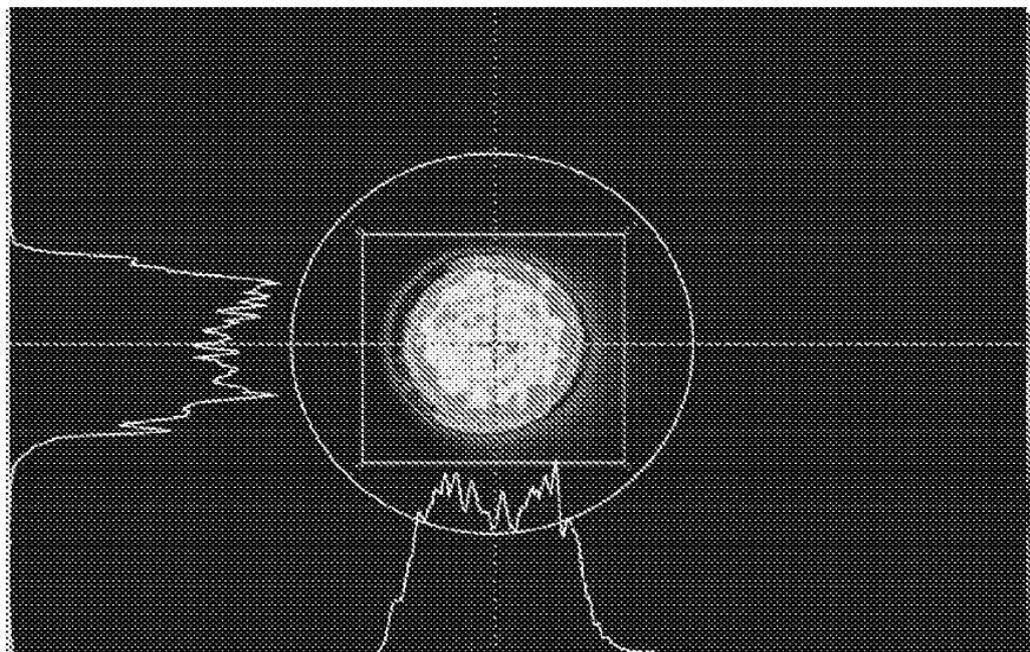
도면5



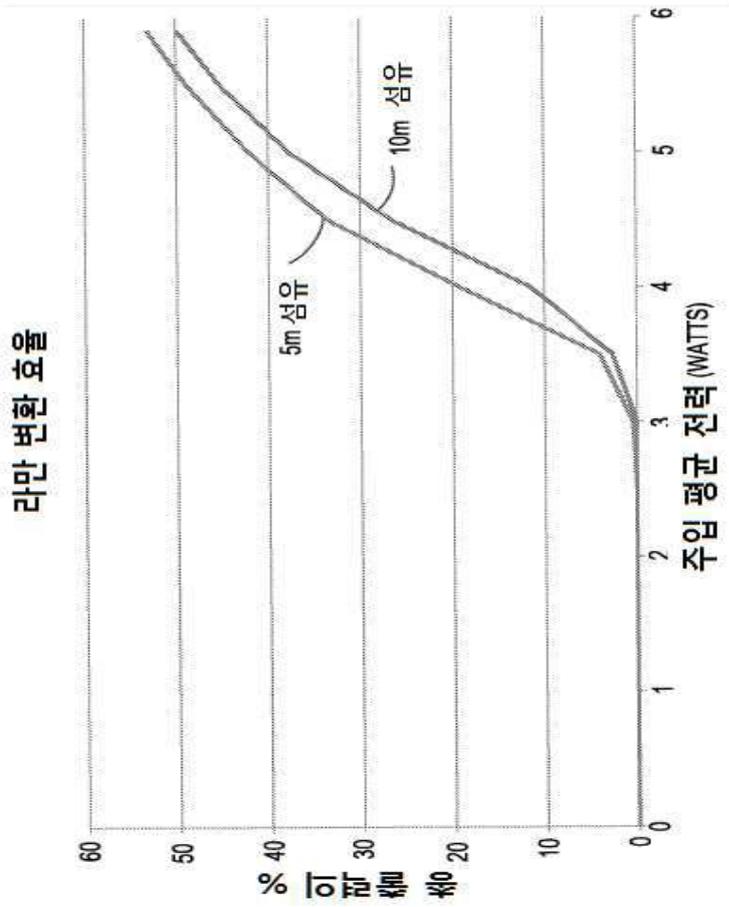
도면6a



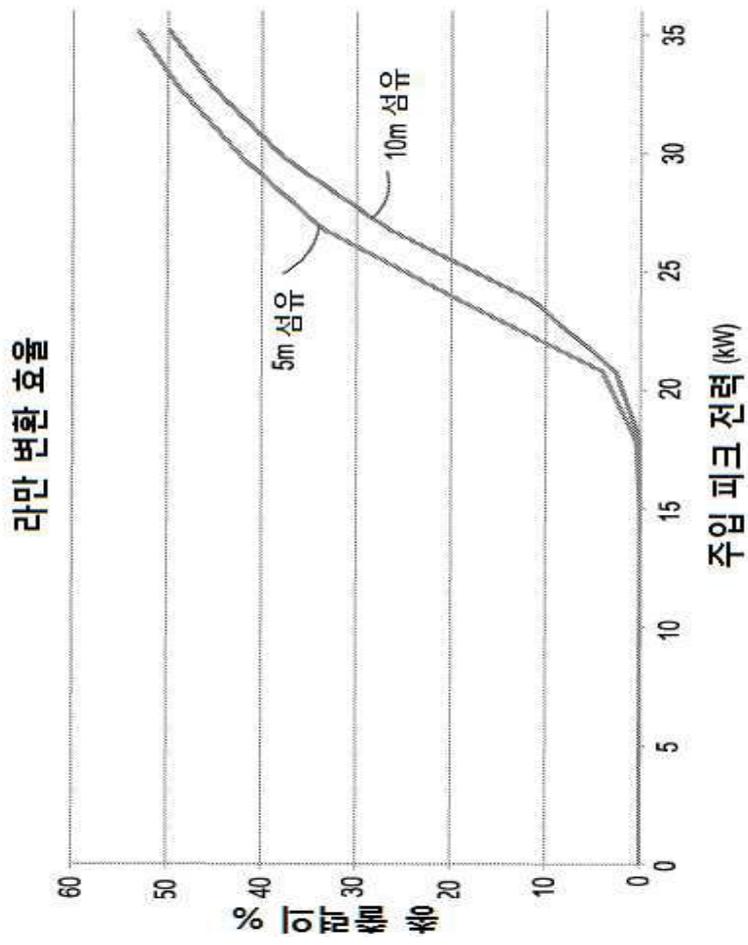
도면6b



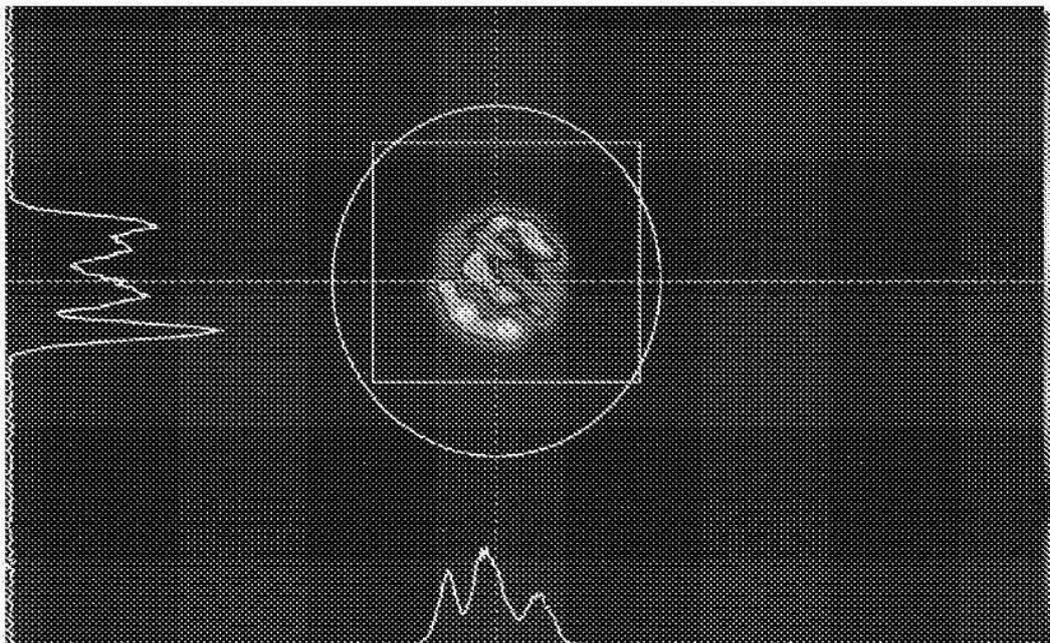
도면7a



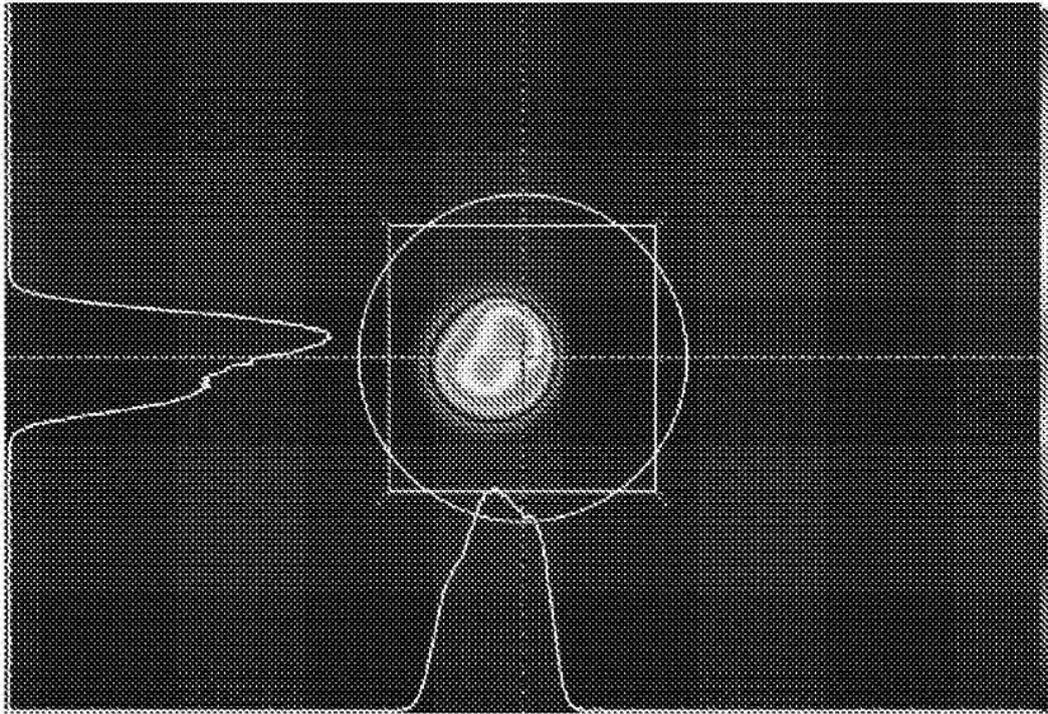
도면7b



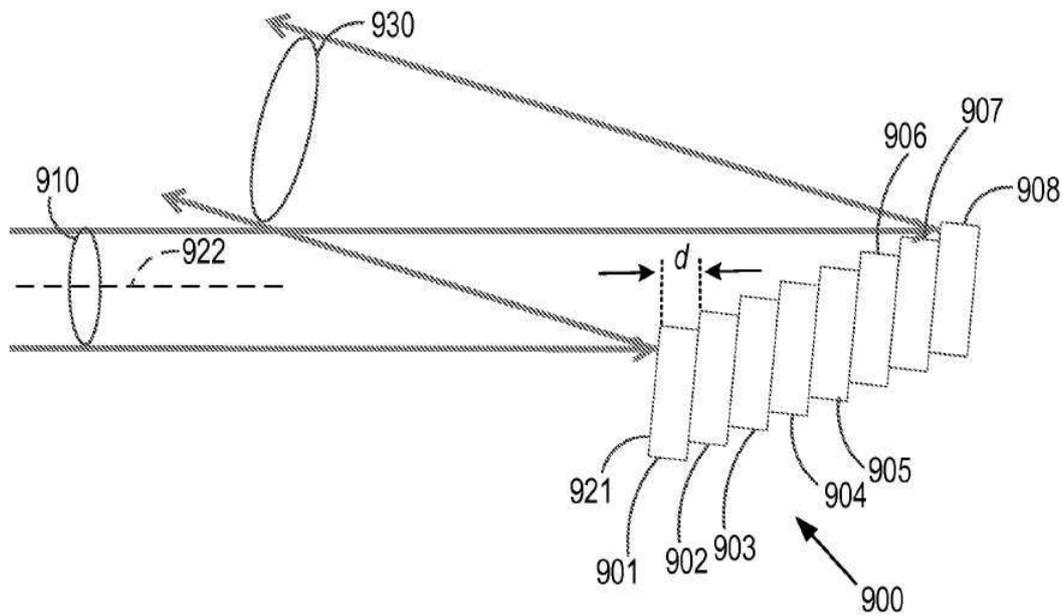
도면8a



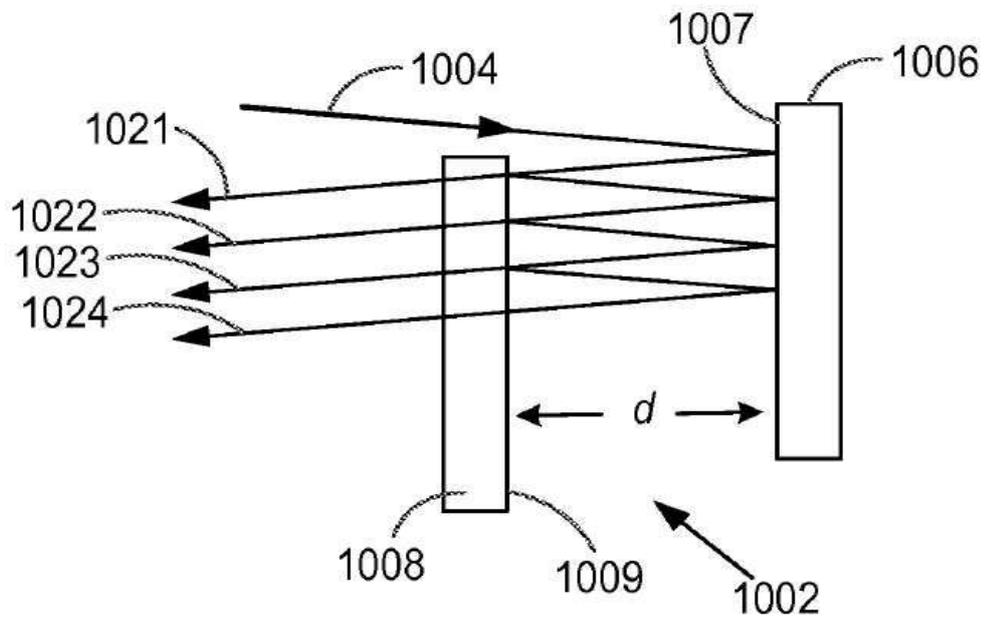
도면8b



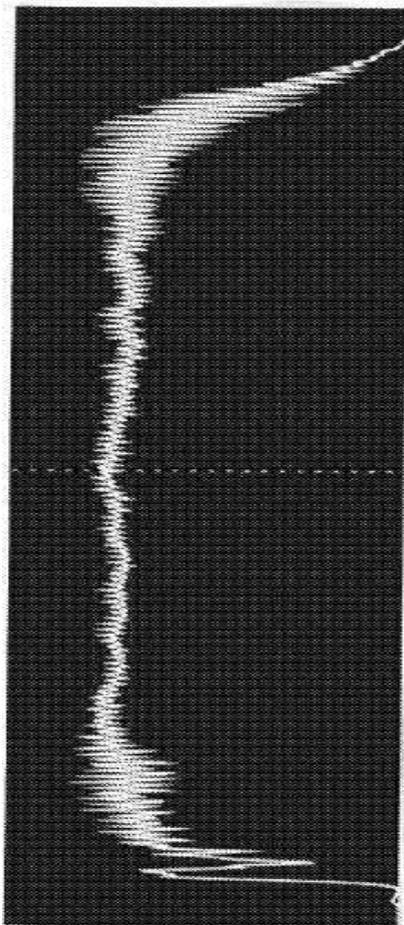
도면9



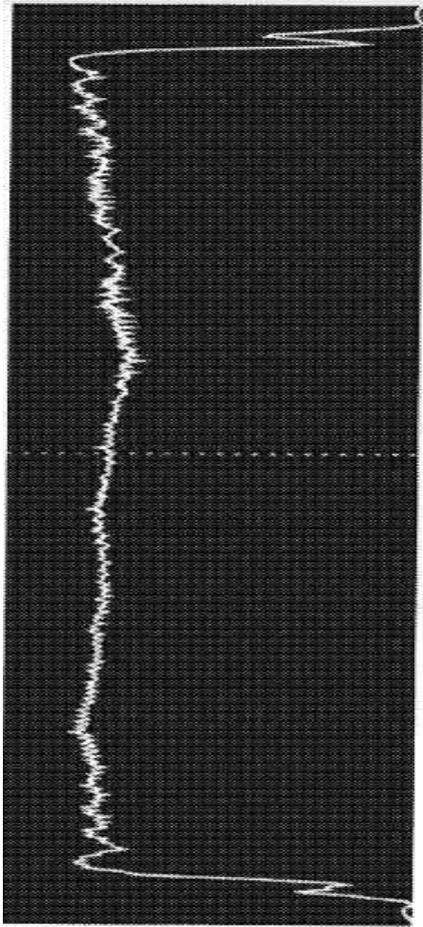
도면10



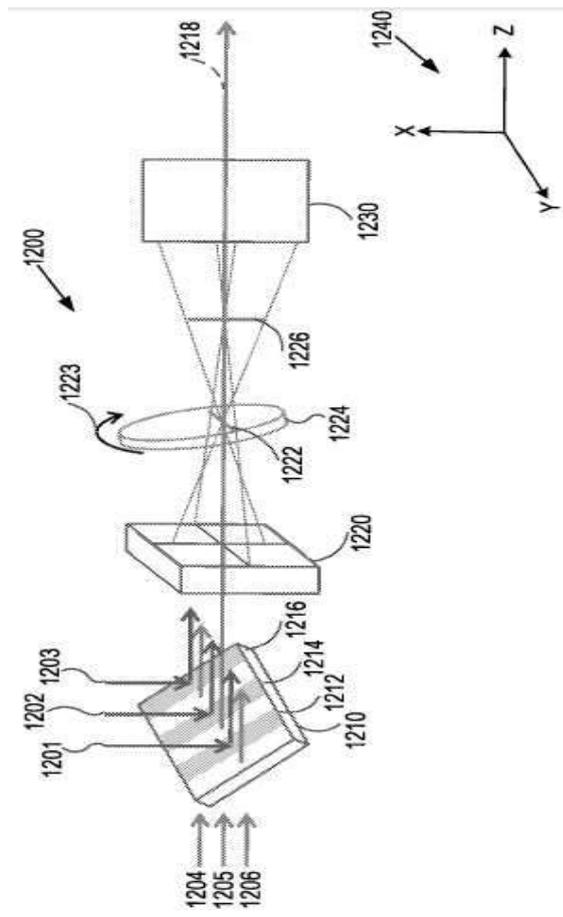
도면11a



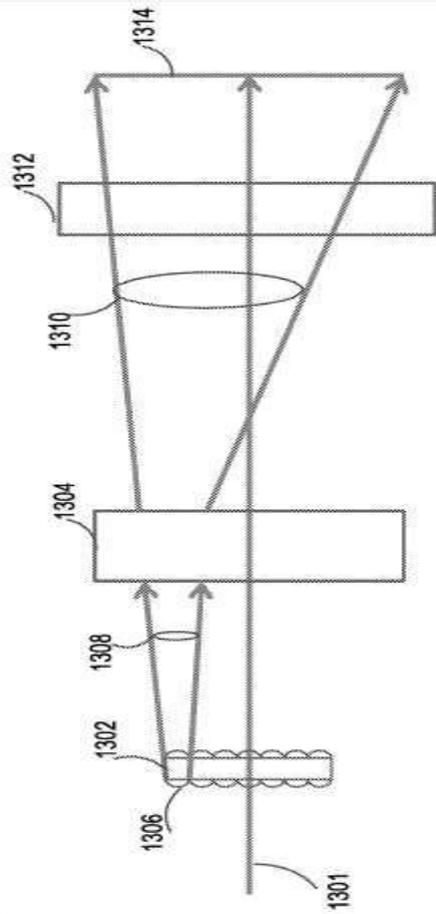
도면11b



도면12



도면13



도면14

