



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년02월10일

(11) 등록번호 10-2215500

(24) 등록일자 2021년02월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 65/04 (2006.01) H01J 61/02 (2006.01)
H01J 61/30 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H01J 65/042 (2013.01)
H01J 61/025 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-7030297

(22) 출원일자(국제) 2017년03월27일

심사청구일자 2020년03월04일

(85) 번역문제출일자 2018년10월19일

(65) 공개번호 10-2018-0122014

(43) 공개일자 2018년11월09일

(86) 국제출원번호 PCT/US2017/024339

(87) 국제공개번호 WO 2017/172631

국제공개일자 2017년10월05일

(30) 우선권주장

62/314,169 2016년03월28일 미국(US)

15/285,333 2016년10월04일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020150065321 A*

US20150208494 A1*

KR1020150093858 A

KR1020160003479 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

케이엘에이 코퍼레이션

미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브

(72) 발명자

추앙 용-호 알렉스

미국 캘리포니아주 95014 쿠퍼티노 사우스 스텔링
로드 10734

루 샤오쉬

미국 캘리포니아주 95132 산 호세 하프 펜스 웨이
1912

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 58 항

심사관 : 이별섭

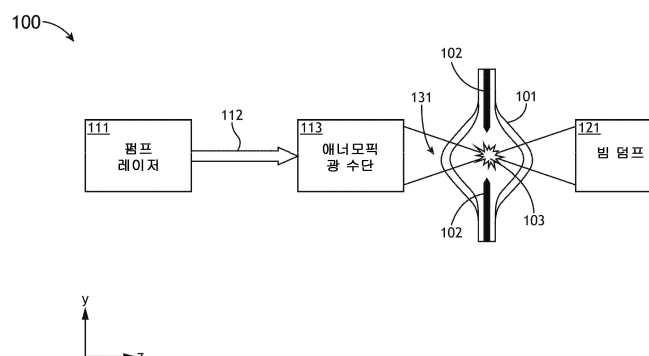
(54) 발명의 명칭 **고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원**

(57) 요약

고휘도 레이저-지속 광대역 광원은 기체 격납 구조와, 기체 격납 구조에 포함된 중성 기체의 약한 흡수 라인에 적어도 근접한 파장의 조명을 포함하는 펌프 빔을 생성하도록 구성된 펌프 레이저를 포함한다. 광대역 광원은 기체 격납 구조의 중심에 또는 그에 근접하게 배치된 대략적으로 타원형인 빔 웨이스트에 펌프 빔의 초점을 맞추도

(뒷면에 계속)

대표도



록 구성된 하나 이상의 애너모픽(anamorphic) 조명 광 수단(optics)을 포함한다. 광대역 광원은 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축에 실질적으로 정렬되는 방향으로 플라즈마에 의해 방출되는 광대역 방사선을 수집하도록 구성된 하나 이상의 제1 집광 수단을 포함한다.

(52) CPC특허분류

H01J 61/302 (2013.01)

(72) 발명자

리오우 저스틴 디안후안

미국 캘리포니아주 95051 산타 클라라 플로라 비스타 애버뉴 3491

필든 존

미국 캘리포니아주 94024 로스 알토스 빅토리아 코트 2020

명세서

청구범위

청구항 1

고휘도의(high brightness) 레이저-지속(laser-sustained) 플라즈마 광대역 광원에 있어서,

기체 격납 구조;

상기 기체 격납 구조에 포함된 중성 기체의 약한 흡수 라인에 적어도 근접한 파장의 조명을 포함하는 펌프 빔을 생성하도록 구성된 펌프 레이저;

상기 기체 격납 구조의 중심에 또는 그에 근접하게 배치된 타원형 빔 웨이스트(elliptical beam waist)에 상기 펌프 빔의 초점을 맞추도록 구성된 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단(anamorphic illumination optics); 및

상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축과 실질적으로 정렬되는 방향으로 상기 플라즈마에 의해 방출되는 광대역 방사선을 수집하도록 구성된 하나 이상의 제1 집광 수단(collection optics)을 포함하는, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 2

제1항에 있어서,

플라즈마 점화 디바이스를 더 포함하는, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 플라즈마 점화 디바이스는 한 세트의 전극들 또는 펄스(pulsed) 레이저 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 기체 격납 구조는 플라즈마 전구(bulb), 플라즈마 셀, 또는 플라즈마 챔버 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 기체는 비활성(inert) 기체, 비활성이 아닌(non-inert) 기체, 또는 둘 이상의 기체들의 혼합물 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 기체는 크세논, 아르곤, 또는 수은 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 펌프 레이저는 광섬유(fiber) 레이저 또는 고체(solid-state) 레이저 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 펄프 빔의 광의 파장은 1070nm인 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 중성 기체에 의해 흡수되지 않은 파장의 광을 포함하는 제2 펄프 빔을 생성하도록 구성된 제2 펄프 레이저를 더 포함하고, 상기 제2 펄프 레이저의 출력 파장은 상기 플라즈마의 이온화된 기체에 의해 흡수되는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제2 펄프 빔의 광의 파장은 515nm와 540nm 사이에 있는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 비원기둥(acylindrical) 렌즈 또는 비구면(aspheric) 렌즈 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 펄프 레이저 또는 상기 기체 격납 구조의 형태 중 적어도 하나에 의해 야기되는 수차(aberration)를 보정하도록 구성된 수차 보정기를 포함하는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 타원형 빔 웨이스트는 적어도 10의 장축(major axis) 대 단축(minor axis)의 비를 갖는 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 짧은 축에 대응하는 방향으로 0.5보다 더 큰 개구수(NA; numerical aperture)를 이용하여, 그리고 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축에 대응하는 방향으로 0.2보다 더 작은 NA를 이용하여, 초점을 맞추도록 구성된 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 타원형 빔 웨이스트의 단축이 5 μ m보다 더 작고 상기 타원형 빔 웨이스트의 장축이 50 μ m와 500 μ m 사이에 있도록 구성된 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 16

제1항에 있어서,

상기 제1 집광 수단의 세트는 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축과 실질적으로 정렬되는 방향으로 상기 광대역 방사선을 수집하도록 구성된 것인, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 17

제1항에 있어서,

상기 제1 집광 수단의 맞은 편의 상기 기체 격납 구조 상에 배치되며, 상기 펌프 레이저의 상기 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 플라즈마에 다시 광대역 방사선의 초점을 맞추도록 구성된 반사기를 더 포함하는, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 펌프 레이저의 상기 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 플라즈마에 흡수되지 않은 펌프 레이저 조명을 반사하고 초점을 맞추도록 구성된 반사기를 더 포함하는, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 19

제1항에 있어서,

상기 제1 집광 수단의 세트의 맞은 편의 상기 기체 격납 구조 상에 있는 플라즈마에 의해 방출되는 조명을 수집하도록 구성된 제2 집광 수단의 세트를 더 포함하는, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마 광대역 광원.

청구항 20

고휘도의 광대역 광을 생성하는 방법에 있어서,

기체 격납 구조에 일정 용량의 기체를 공급하는 단계;

상기 기체 격납 구조의 상기 용량의 기체 내에서 플라즈마를 점화하는 단계;

상기 기체 격납 구조의 상기 기체의 약한 중성 흡수 라인에 적어도 근접한 파장을 가진 조명을 포함하는 펌프 레이저 빔을 생성하는 단계;

상기 기체 격납 구조의 중심에 적어도 근접하게 배치된 타원형 빔 웨이스트를 형성하기 위해 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단을 이용하여 상기 펌프 레이저 빔을 성형(shape)하고 초점을 맞추는 단계; 및

하나 이상의 제1 집광 수단을 이용하여 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축과 실질적으로 정렬되는 방향으로 상기 플라즈마에 의해 방출되는 광대역 방사선을 수집하는 단계를 포함하는, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 기체 격납 구조의 상기 용량의 기체 내에서 플라즈마를 점화하는 단계는, 한 세트의 전극들로부터의 교류 방전(a.c. discharge)을 이용하여 상기 기체 격납 구조의 상기 용량의 기체 내에서 플라즈마를 점화하는 단계를 포함하는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 22

제20항에 있어서,

상기 기체 격납 구조의 상기 용량의 기체 내에서 플라즈마를 점화하는 단계는, 펄스 레이저를 이용하여 상기 기체 격납 구조의 상기 용량의 기체 내에서 플라즈마를 점화하는 단계를 포함하는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 23

제20항에 있어서,

공급되는 상기 기체는 비활성 기체, 비활성이 아닌 기체, 또는 둘 이상의 기체들의 혼합물 중 적어도 하나를 포

합하는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 24

제23항에 있어서,

상기 기체는 크세논, 아르곤, 또는 수은 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 25

제20항에 있어서,

상기 펄스 레이저 빔은 광섬유 레이저 또는 고체 레이저 중 적어도 하나로부터 생성되는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 26

제24항에 있어서, 상기 펄스 레이저 빔의 파장은 1070nm인 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 27

제20항에 있어서,

증정 기체에 의해 흡수되지 않은 출력 파장을 가진 제2 펄스 레이저 빔을 생성하는 단계를 더 포함하고, 상기 제2 펄스 레이저의 출력 파장은 상기 플라스마의 이온화된 기체에 의해 흡수되는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 28

제27항에 있어서,

상기 제2 펄스 레이저 빔의 광의 파장은 515nm와 540nm 사이에 있는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 29

제20항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 비원기둥 렌즈 또는 비구면 렌즈 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 30

제20항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 펄스 레이저 또는 상기 기체 격납 구조의 형태 중 적어도 하나에 의해 야기되는 수차를 보정하도록 구성된 수차 보정기를 포함하는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 31

제20항에 있어서,

상기 타원형 빔 웨이스트는 적어도 10의 장축 대 단축의 비를 갖는 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 32

제31항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 짧은 축에 대응하는 방향으로 0.5보다 더 큰 개구수를 이용하여, 그리고 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축에 대응하는 방향으로 0.2보다 더 작은 NA를 이용하여, 초점을 맞추도록 구성된 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 33

제32항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 타원형 빔 웨이스트의 단축이 $5\mu\text{m}$ 보다 더 작고 상기 타원형 빔 웨이스트의 장축이 $50\mu\text{m}$ 와 $500\mu\text{m}$ 사이에 있도록 구성된 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 34

제20항에 있어서,

상기 제1 집광 수단의 세트는 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축과 실질적으로 정렬되는 방향으로 상기 광대역 방사선을 수집하도록 구성된 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 35

제20항에 있어서,

상기 제1 집광 수단의 맞은 편에 상기 기체 격납 구조 상에 배치된 반사기를 이용하여 상기 펌프 레이저의 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 플라즈마에 다시 광대역 방사선을 반사하는 단계를 더 포함하는, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 36

제20항에 있어서,

상기 펌프 레이저의 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 플라즈마에 흡수되지 않은 펌프 레이저 조명을 반사하고 초점을 맞추는 단계를 더 포함하는, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 37

제20항에 있어서,

제2 집광 수단의 세트를 이용하여 상기 제1 집광 수단의 맞은 편에 상기 기체 격납 구조 상에 있는 플라즈마에 의해 방출되는 광대역 방사선을 수집하는 단계를 더 포함하는, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 38

제20항에 있어서,

상기 애너모픽 조명 광 수단은 또한, 상기 타원형 빔 웨이스트의 장축의 방향으로 가우스(Gaussian)보다 더 편평한 빔 프로파일을 생성하도록 구성된 것인, 고휘도의 광대역 광 생성 방법.

청구항 39

계측 시스템에 있어서,

광원; 및

분광계(spectrometer)를 포함하고,

상기 광원은,

기체 격납 구조;

플라즈마 점화 디바이스;

상기 기체 격납 구조에 포함된 중성 기체의 약한 흡수 라인에 근접한 파장의 조명을 포함하는 펌프 빔을 생성하도록 구성된 펌프 레이저;

상기 기체 격납 구조의 중심에 또는 그에 근접하게 배치된 타원형 빔 웨이스트에 상기 펌프 빔의 초점을 맞추도록 구성된 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단; 및

상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축과 실질적으로 정렬되는 방향으로 상기 플라즈마에 의해 방출되는 광대역 방사선을 수집하도록 구성된 하나 이상의 제1 집광 수단을 포함하며,

상기 분광계는 분산 요소(dispersive element) 및 검출기 어레이를 포함하고,

상기 계측 시스템은, 상기 광원으로부터의 광대역 방사선을 샘플로 지향시키고, 상기 샘플로부터 반사된 광대역

방사선을 상기 분광계로 지향시키도록 구성된 것인, 계측 시스템.

청구항 40

제39항에 있어서,

상기 플라즈마 점화 디바이스는 한 세트의 전극들 또는 펄스 레이저 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 41

제39항에 있어서,

상기 기체 격납 구조는 플라즈마 전구, 플라즈마 셀, 또는 플라즈마 챔버 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 42

제39항에 있어서,

상기 기체는 비활성 기체, 비활성이 아닌 기체, 또는 둘 이상의 기체들의 혼합물 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 43

제42항에 있어서,

상기 기체는 크세논, 아르곤, 또는 수은 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 44

제39항에 있어서,

상기 펌프 레이저는 광섬유 레이저 또는 고체 레이저 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 45

제39항에 있어서,

상기 펌프 빔의 광의 파장은 1070nm인 것인, 계측 시스템.

청구항 46

제39항에 있어서,

상기 중성 기체에 의해 흡수되지 않은 파장의 광을 포함하는 제2 펌프 빔을 생성하도록 구성된 제2 펌프 레이저를 더 포함하고, 상기 제2 펌프 레이저의 출력 파장은 상기 플라즈마의 이온화된 기체에 의해 흡수되는 것인, 계측 시스템.

청구항 47

제46항에 있어서,

상기 제2 펌프 빔의 광의 파장은 515nm와 540nm 사이에 있는 것인, 계측 시스템.

청구항 48

제39항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 비원기둥 렌즈 또는 비구면 렌즈 중 적어도 하나를 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 49

제39항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 펄프 레이저 또는 상기 기체 격납 구조의 형태 중 적어도 하나에 의해 야기되는 수차를 보정하도록 구성된 수차 보정기를 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 50

제39항에 있어서,

상기 타원형 빔 웨이스트는 적어도 10의 장축 대 단축의 비를 갖는 것인, 계측 시스템.

청구항 51

제50항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 짧은 축에 대응하는 방향으로 0.5보다 더 큰 개구수를 이용하여, 그리고 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축에 대응하는 방향으로 0.2보다 더 작은 NA를 이용하여, 초점을 맞추도록 구성된 것인, 계측 시스템.

청구항 52

제50항에 있어서,

상기 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은, 상기 타원형 빔 웨이스트의 단축이 $5\mu\text{m}$ 보다 더 작고 상기 타원형 빔 웨이스트의 장축이 $50\mu\text{m}$ 와 $500\mu\text{m}$ 사이에 있도록 구성된 것인, 계측 시스템.

청구항 53

제39항에 있어서,

상기 제1 집광 수단의 세트는 상기 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축과 실질적으로 정렬되는 방향으로 상기 광대역 방사선을 수집하도록 구성된 것인, 계측 시스템.

청구항 54

제39항에 있어서,

상기 광원은, 상기 제1 집광 수단의 맞은 편에 상기 기체 격납 구조 상에 배치되며, 상기 펄프 레이저의 상기 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 플라즈마에 다시 광대역 방사선의 초점을 맞추도록 구성된 반사기를 더 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 55

제39항에 있어서,

상기 광원은, 상기 펄프 레이저의 상기 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 플라즈마에 흡수되지 않은 펄프 레이저 조명을 반사하고 초점을 맞추도록 구성된 반사기를 더 포함하는 것인, 계측 시스템.

청구항 56

제39항에 있어서,

상기 제1 집광 수단의 세트의 맞은 편에 상기 기체 격납 구조 상에 있는 플라즈마에 의해 방출되는 조명을 수집하도록 구성된 제2 집광 수단의 세트를 더 포함하는, 계측 시스템.

청구항 57

제39항에 있어서,

상기 애너모픽 조명 광 수단은 또한, 상기 타원형 빔 웨이스트의 장축의 방향으로 가우스(Gaussian)보다 더 편평한 빔 프로파일을 생성하도록 구성된 것인, 계측 시스템.

청구항 58

제39항에 있어서, 상기 분산 요소는, 상기 샘플로부터 반사된 광대역 방사선을, 한 방향으로는 파장의 함수로서, 그리고 직교 방향으로는 상기 샘플의 표면에 대하여 상기 광대역 방사선의 입사각의 함수로서 분산시키도록 구성된 것인, 계측 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원의 상호 참조

[0002] 본 출원은, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 병합된 것으로서, 발명자들이 Yung-Ho Alex Chuang, Xiaoxu Lu, Justin Liou, 및 John Fielden이고, 발명의 명칭이 "고휘도의 레이저-펌프 플라즈마 램프(LASER-PUMPED PLASMA LAMPS WITH HIGHER BRIGHTNESS)"이며, 2016년 3월 28일에 출원된 미국 가출원 제62/314,169호에 대해 35 U.S.C. § 119(e) 하의 우선권을 주장한다.

[0003] 기술 분야

[0004] 본 개시내용은 일반적으로 플라즈마 기반 광원들, 보다 상세하게는, 검사 또는 계측 시스템들에서 이용하기 위한 고휘도의 플라즈마 기반 광대역 광원들에 관한 것이다.

배경 기술

[0005] 계속 줄어들고 있는 집적 회로 디바이스 피쳐(feature)들의 특성화(characterization)에 이용되는 개선된 광원들에 대한 필요가 지속적으로 증가하고 있다. 반도체 계측 및 검사 시스템들은 작은 치수(dimension)들의 정밀한 측정을 수행하고/하거나 작은 결함(defect)들을 검출하기 위해 매우 안정적이고, 매우 밝은(고휘도) 광대역 광원들을 필요로 한다. 광원들의 휘도를 증가시키는 것은 높은 처리율 및 높은 감도(sensitivity)를 생성한다.

[0006] 이전의 접근 방식에서는, Xe, Ag 또는 Hg 아크(arc) 램프들이 광대역 광을 생성하는 데에 이용되어 왔다. 아크 램프들은 기체를 활성화하고 이온화하여 이를 고온으로 유지하기 위해 전기 방전을 만들어내는 애노드 및 캐소드를 포함하는 한편, 활성화되고 이온화된 기체로부터는 광대역 광이 방출된다. 작동 중에, 애노드 및 캐소드는 매우 뜨거워지며, 그들 표면들에서의 재료의 증발 및 스퍼터링에 의해 마모되기 쉽다. 전극들에서의 재료 손실은 기체 및 엔벨로프(envelope)를 오염시키고 그것의 광 출력을 감소시키거나(특히, 램프 엔벨로프 또는 윈도우 상에 퇴적된 매우 얇은 재료층이라도 UV 투과를 실질적으로 감소시킬 수 있는 UV 파장들에서), 또는 광원의 고장을 초래할 수 있다. 보다 중요하게는, 이러한 아크 램프들은, 반도체 및 관련 산업들 내의 검사 및 계측 애플리케이션들을 포함하는 몇몇 애플리케이션들에 대해 충분한 휘도(스펙트럼 방사 휘도)를 제공하지 않는다. 아크 램프들의 휘도는 달성 가능한 전류 밀도에 의해 제한되며, 이는 결국, 전극들의 과도한 마모 및 비경제적으로 짧은 램프 수명을 회피해야 할 필요성에 의해 부분적으로 제한된다.

[0007] 스펙트럼 방사 휘도 또는 휘도(즉, 단위 파장당 단위 입체각당 단위 면적당 방출되는 광 전력)는 반도체 검사 및 계측 시스템들에서의 사용을 위한 광원들에 있어서 매우 중요하다. 그러한 시스템들은 일반적으로 임의의 한 시간 동안 상대적으로 작은 면적(예컨대, 수 마이크론과 수백 마이크론 사이의 치수를 가진 면적)을 조명한다. 샘플을 검사 또는 측정하는 데에 이용되는 광은, 높은 신호 대 잡음비를 가진 신호의 생성에 필요한 만큼의 반사광 및/또는 산란광을 만들어 내기 위해 충분한 전력을 가지고 그 샘플 상의 작은 면적에 초점이 맞추어져야 한다. 렌즈들, 거울들 등을 포함하는 광 시스템은 스펙트럼 광을 단지 보존할 수 있을 뿐이므로(완전히 무손실인 경우), 작은 면적에 높은 전력을 전달하기 위해 광원에서는 높은 스펙트럼 방사 휘도가 필요하다. 플라즈마 램프의 플라즈마의 전력 및 크기를 단순히 증가시키는 것은 단지 주어진 면적에 전달되는 전력량을 증가시키기에 불충분한 수단을 제공할 뿐이고, 최악의 경우에는, 주어진 면적에 전달될 수 있는 전력을 전혀 증가시키지 못할 수 있는 것이다.

[0008] 아크 램프들은 반도체 산업에서의 중요 검사 및 계측 애플리케이션들을 위한 충분한 휘도가 단순히 부족하다. 수명은 전극들의 고온으로 인해 제한된다. 또한, 아크의 위치가 변하기 쉬울 수 있다.

[0009] 몇몇 검사 및 계측 시스템들에서, 레이저-지속 플라즈마(LSP; laser-sustained plasma) 램프가 구현되어 왔다. LSP 램프는 아크 램프보다 더 밝고, 더 넓은 스펙트럼 범위에 걸쳐서 방사되며, 더 긴 수명을 가질 수 있다. LSP 램프는 종래의 아크 램프와 유사한 가압 기체로 채워지며 두 개의 전극들을 가진 투명 엔벨로프(예컨대, 용융 실리카로 만들어진 엔벨로프)를 포함할 수 있다. 적외선(IR; infra-red) 파장의 레이저 빔은 플라즈마의 중심에 초점이 맞추어질 수 있다. 레이저가 초점이 맞추어지는 지점에 플라즈마 및 고온 기체를 점화하기 위해 고

전압을 인가함으로써 전극들 사이에 짧은 전기 방전이 생성된다. 플라스마 및 고온 기체에 의해 흡수되는 레이저 에너지는 전극들 사이의 전압이 턴오프(turn off)된 이후에 플라스마를 지속시키는 데에 이용된다. 단단히 초점 맞추어진(tightly focused) 레이저는 100 마이크로미터만큼 작은 플라스마 크기 및 10,000K과 20,000K 사이의 플라스마 온도를 생성할 수 있다. 종래의 아크 램프(일반적으로 수 밀리미터(mm)의 아크 길이를 가짐)와 비교하여 작은 크기이며 고온인 플라스마로 인해, LSP 광원들은 훨씬 더 밝으며 짧은 파장들을 가진 광을 더 많이 방출한다. 전극들 사이의 전기 방전은 램프를 작동시키기 위해 단지 짧게만 나가기 때문에, 전극들의 마모가 극적으로 감소되거나 무시할 수 있게 되며, 종래의 아크 램프에 비하여 램프 수명이 크게 증가된다. 또한, 플라스마의 크기가 일반적인 반도체 검사 및 계측 시스템들에 의해 요구되는 광원의 크기에 더욱 적합함에 따라, 종래의 아크 램프에 비하여 집광 효율(collection efficiency)이 더 높을 수 있다.

[0010] LSP 램프들이 아크 램프들보다 밝기는 하지만, 아주 작은 결함들을 검사/측정하는 수요를 충족시키기 위해서는, 기존의 LSP 광원들로는 불충분하다. 단순히 레이저 펌프 전력을 증가시키는 것은 단지 플라스마 및 주변 고온 기체의 크기를 증가시킬 뿐인 한편, 플라스마의 중심부도 크게 뜨거워지지 않는다. 이는, 플라스마를 둘러싸고 있는 고온이지만 대체로 이온화되지 않은 기체에 의해 레이저 펌프 광 전력의 대부분이 흡수됨으로써, 증가된 펌프 전력이 플라스마 코어에 거의 도달하지 않는 결과를 초래하기 때문에 발생한다. 그 결과, LSP 플라스마 광원의 휘도는 높은 펌프 전력들에서 최대치가 되는(saturate) 경향이 있다. 또한, 펌프 레이저 전력이 증가함에 따라, 플라스마는 불안정하게 될 수 있다.

[0011] 따라서, 전술한 바와 같은 종래의 접근법들의 여러 가지 단점들을 치유하는 광대역 광원을 제공하는 것이 바람직할 것이다.

발명의 내용

[0012] 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 레이저-지속 플라스마 광대역 광원이 개시된다. 일 실시예에서, 광원은 기체 격납 구조(gas containment structure)를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 광원은 기체 격납 구조에 포함된 중성 기체의 약한 흡수 라인에 적어도 근접한 파장의 조명을 포함하는 펌프 빔을 생성하도록 구성된 펌프 레이저를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 광원은 기체 격납 구조의 중심에 또는 그에 근접하게 배치된 대략적으로 타원형인(elliptical) 빔 웨이스트에 펌프 빔의 초점을 맞추도록 구성된 하나 이상의 애너모픽(anamorphic) 조명 광 수단(optics)을 포함한다. 또 다른 실시예에서, 광원은 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축에 실질적으로 정렬되는 방향으로 플라스마에 의해 방출되는 광대역 방사선을 수집하도록 구성된 하나 이상의 제1 집광 수단(collection optics)을 포함한다.

[0013] 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 광대역 광을 생성하는 방법이 개시된다. 일 실시예에서, 이 방법은 기체 격납 구조에 일정 용량의(a volume of) 기체를 제공하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 이 방법은 기체 격납 구조의 일정 용량의 기체 내에서 플라스마를 점화하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 이 방법은 기체 격납 구조의 기체의 약한 중성 흡수 라인에 적어도 근접한 파장을 가진 조명을 포함하는 펌프 레이저 빔을 생성하는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 이 방법은 기체 격납 구조의 중심에 적어도 근접하게 배치된 타원형 빔 웨이스트를 형성하기 위해 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단을 이용하여 펌프 레이저 빔을 성형(shape)하고 그 빔의 초점을 맞추는 단계를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 이 방법은 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축에 실질적으로 정렬되는 방향으로 플라스마에 의해 방출되는 광대역 방사선을 수집하는 단계를 포함한다.

[0014] 상기의 일반적인 기술 내용 및 하기의 상세한 기술 내용은 양자 모두 예시적인 것이고 설명하기 위한 것일 뿐이며, 본 개시내용을 반드시 제한하는 것은 아니다. 특징에 병합되어 그 일부를 구성하는 첨부 도면들은 본 개시내용의 대상을 도식화한다. 기술 내용 및 도면들은 함께 본 개시내용의 원리들을 설명하는 데에 이용된다.

도면의 간단한 설명

[0015] 본 개시내용의 여러 이점들은 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 첨부된 도면들을 참조함으로써 더 잘 이해될 수 있다.

도 1a 및 도 1b는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 생성하는 시스템의 단순화된 개략도를 도시한다.

도 1c는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 생성하는 시스템의 펌프 빔의 빔 크기 변경에 관한 개념도를 도시한다.

도 2a 내지 도 2c는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 생성하는 시스템에서의 구현에 적합한 한 세트의 애너모픽 광 수단에 관한 개략도들을 도시한다.

도 3a 및 도 3b는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 생성하는 시스템의 기체 격납 구조의 내부 또는 외부의 구면 거울의 구현을 도시한다.

도 4a는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 흡수되지 않은 펄프 레이저 방사선을 다시 플라즈마에 초점 맞추도록 구성된 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 생성하는 시스템을 도시한다.

도 4b는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 이중 채널 출력을 구비한 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 생성하는 시스템을 도시한다.

도 5는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 광원으로서 생성하는 시스템을 구현하는 검사 및/또는 계측 시스템의 단순화된 개략도를 도시한다.

도 6은 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 광원으로서 생성하는 시스템을 구현하도록 구성된 계측 시스템의 단순화된 개략도를 도시한다.

도 7은 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 고휘도의 LSP 광대역 방사선을 광원으로서 생성하는 시스템을 구현하는 반사 굴절(catadioptric) 이미징 시스템의 단순화된 개략도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이제 첨부 도면들에 도시된 개시 대상물에 대한 참조가 상세하게 이루어질 것이다.
- [0017] 도 1a 내지 도 7을 전체적으로 참조하면, 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따른, 고휘도의 레이저-지속 플라즈마(LSP) 광원이 도시된다.
- [0018] 본 개시내용의 실시예들은 레이저 지속 광대역 방사 광원의 고휘도 플라즈마의 생성에 관한 것이며, 이에 따라, 관련된 계측 및/또는 검사 시스템들의 성능이 개선될 수 있다. 본 개시내용의 실시예들은, 그에 제한되는 것은 아니지만, M^2 및 엔벨로프 형태와 같은 레이저 특성들의 정상 변동(normal variation)에 대해서도 그 치수들이 잘 제어되며, 출력 광이 향하는 방향으로 높은 광 밀도(즉, 불투명도(opacity))를 가진 고온 플라즈마를 생성하는 레이저-지속 플라즈마 광원에 관한 것이다.
- [0019] 본 개시내용의 실시예들은, 단단히 초점 맞추어진 방향의 높은 NA 및 길게 늘어진(elongated) 방향을 따르는 방사선의 집합을 이용하여 선명(sharp)하지만 길게 늘어진 이미지에 펄프 빔의 초점을 맞추는 것에 관한 것이다. 이러한 초점 조정 구성은 집광 평면(collection plane)에서의 플라즈마 크기를 증가시키지 않으면서 펄프 체적 및 집광 깊이(collection depth)를 증가시키는 한편, 높은 펄프 NA는 단단히 초점 맞추어진 방향 및 펄프 빔 전과 방향으로 플라즈마 크기가 감소되게끔 하며, 이에 따라 동일한 에탕듀(etendue) 내의 수집된 방사선이 크게 증가한다. 본 개시내용의 추가 실시예들은 수집되지 않은(uncollected) 플라즈마 방사선 또는 잔여 펄프 전력을 다시 플라즈마로 반사시키고 그 플라즈마에 초점 맞추는 것에 의해 플라즈마 휘도를 향상시키는 것에 관한 것이다. 본 개시내용의 추가 실시예들은 광대역 방사선 및/또는 잔여 펄프 전력이 수집되는 입체각을 증가시킴으로써 결과적으로 펄프 효율을 증가시키기 위한 추가적인 집광/반사기 구성 요소들에 관한 것이다.
- [0020] 향상된 밝기를 가진 플라즈마 광원은 더 짧은 파장 리짐(regime)(예컨대, 약 350nm 보다 더 짧은 파장) 또는 더 긴 IR 파장 리짐(예컨대, 1700nm 보다 더 긴 파장)에서 특히 유리하며, 여기에서, 강도(intensity)는 종래의 접근법들에서 역사적으로 낮다. 짧은 UV 파장들은, 그러한 파장들이 더 긴 파장들보다 작은 피처들에 의해 더 강하게 산란되기 때문에, 반도체 산업에서 이용되는 것들과 같은 검사 및 계측 기구들에서 매우 중요할 수 있다. 또한, 몇몇 재료들(예컨대, 실리콘)이 그러한 짧은 UV 파장들에서 강하게 흡수되는 한편, 다른 재료들(예컨대, 실리콘 이산화물)은 UV 스펙트럼의 많은 부분을 통과할 수 있기 때문에, 샘플 상의 상이한 재료들 사이의 그러한 시스템들에 더 많은 콘트라스트(contrast)가 존재할 수 있다. 더 긴 IR 파장들은, 더 긴 파장이 대부분 흡수되는 매우 깊은 심층 구조들에서의 특성들을 검사 또는 측정하는 데에 이용되는 것들과 같은 검사 및 계측 기구들에서 또한 매우 중요할 수 있다. 이러한 파장들에서 더 높은 방사 휘도(휘도)를 가진 광원은, 더 빠른 또는 감도가 더 높은, 작은 피처들의 측정 또는 검사를 가능하게 할 수 있다.
- [0021] 본 개시내용의 실시예들은 펄프 레이저 광을 양방향으로 초점 맞추기 위한 애너모픽 광 수단을 이용한다. 애너모픽 광 수단의 구현은 플라즈마의 장축(long axis)의 길이가 플라즈마의 단축(short axis)의 초점 조정과는 독

립적으로 용이하게 최적화되게 한다. 장축에 대한 초점 조정의 이용은 펄스 레이저 빔의 M^2 의 변동이, 최대한으로, 단지 플라스마의 장축의 길이에 대한 작은(minor) 효과만을 갖는 것을 또한 보장한다. 이 문서에서 기술되는 광원들은, 예컨대, 전구와 같은 기체 격납 구조에 의해 야기되는 수차(aberration)를 보정하기 위한 광 수단의 이용, 및 더 균일한 플라스마 온도를 생성하기 위해 플라스마의 장축에 대응하는 방향으로 펄스 레이저의 가우스(Gaussian) 프로파일을 수정하기 위한 광 수단의 이용과 같은 추가적인 개선 사항들을 포함할 수 있다.

[0022] 레이저-지속 광원은, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 각각 병합된, 미국 등록특허 제7,435,982호, 미국 공개특허출원 제2005/0167618호, 미국 공개특허출원 제2007/0228300호, 미국 등록특허 제7,705,331호, 미국 공개특허출원 제2011/0291566호, 미국 공개특허출원 제2013/0001438호, 미국 등록특허 제8,517,585호, 미국 등록특허 제8,259,771호, 미국 등록특허 제8,921,814호, 및 미국 공개특허출원 제2015/0282288호에 기술되어 있다.

[0023] 도 1a 및 도 1b는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따른, 고휘도의 LSP 광대역 방사 광원(100)에 관한 단 순화된 개략도를 도시한다. 도 1a는 y-z 평면의 투영(projection)에서의 광원(100)을 도시하는 한편, 도 1b는 x-z 평면의 투영에서의 광원(100)을 도시한다.

[0024] 이 문서에 도시된 좌표계는 단지 예증 및 설명을 위해 제공된 것이다. 본 개시내용의 목적을 위해, z축은 펄스 빔 전파 방향으로 정의되고, y축은 기체 격납 구조/전구의 전극들 또는 마운트 고정장치와 정렬되며, x축은 광 대역 방사 집합의 방향에 대체로 대응한다. 본 개시내용의 여러 실시예들은 그것의 특정 애플리케이션에 편리한 임의의 지향(orientation)으로 이러한 축들과 함께 구성 또는 마운트될 수 있는 것이다.

[0025] 일 실시예에서, 광원(100)은 기체 격납 구조(101)를 포함한다. 기체 격납 구조(101)는 레이저 펄스를 통한 플라스마의 형성에 적합한 기체를 포함할 수 있는 당해 기술 분야에 알려진 임의의 격납 구조를 포함할 수 있다. 예컨대, 기체 격납 구조(101)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 전구, 챔버, 튜브 또는 셀을 포함할 수 있다. 본 개시내용의 많은 부분이 광원(100)의 기체 격납 구조로서의 전구의 구현에 초점을 맞추고 있기는 하지만, 본 개시내용의 여러 실시예들은 임의의 기체 격납 구조로 확장될 수 있는 것이다.

[0026] 일 실시예에서, 플라스마(103)를 점화 및/또는 지속하는 데에 이용되는 기체는 비활성(inert) 기체(예컨대, 불활성(noble) 기체 또는 불활성이 아닌(non-noble) 기체) 또는 비활성이 아닌(non-inert) 기체(예컨대, 수은)를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 플라스마(103)를 점화 및/또는 지속하는 데에 이용되는 기체는 기체들의 혼합물(예컨대, 비활성 기체들의 혼합물, 비활성 기체와 비활성이 아닌 기체의 혼합물, 또는 비활성이 아닌 기체들의 혼합물)을 포함할 수 있다. 예컨대, 광원(100)의 기체 격납 구조(101)에서의 이용에 적합한 기체들은, 그에 제한되는 것은 아니지만, Xe, Ar, Ne, Kr, He, N₂, H₂O, O₂, H₂, D₂, F₂, CH₄, 하나 이상의 할로젠 금속, 할로젠, Hg, Cd, Zn, Sn, Ga, Fe, Li, Na, ArXe, ArHg, KrHg, XeHg, 및 이들의 임의의 혼합물을 포함할 수 있다. 또한, 기체 혼합물의 흡수 또는 방출을 최적화하기 위해 특정 기체 혼합물이 선택될 수 있는 것이다. 본 개시내용은 기체 격납 구조 내의 플라스마를 지속시키는 데에 적합한 임의의 유형의 기체로 확장되는 것으로 해석되어야 한다.

[0027] 또 다른 실시예에서, 광원(100)은 기체 격납 구조(101)에 포함된 중성 기체의 약한 흡수 라인에 있거나 그에 가까운(즉, 적어도 근접한) 파장을 가진 조명을 포함하는 펄스 빔을 생성하도록 구성된 펄스 레이저(111)를 포함한다. 약한 흡수 라인은 중성 원자의 제1 여기 상태(excited state)보다 1eV 이상 더 높은 에너지 레벨을 가진 여기 상태에서부터 더 높은 에너지 레벨로 전이하는 라인일 수 있다. 예컨대, Xe의 제1 여기 상태는 기저 상태(ground state)보다 약 8.3eV만큼 에너지가 더 높다. 약 120nm와 약 3μm 사이의 파장(즉, 약 10,000K와 약 25,000K 사이의 플라스마 온도)에서 광을 생성하는 데에 특히 유용한 플라스마 온도에서, 기저 상태 보다 9.3eV 이상 (바람직하게는, 9.5eV 이상) 높은 에너지 레벨에 대응하는 여기 상태와 더 높은 상태들 사이의 전이는, 플라스마의 중심 영역으로부터 멀리 떨어져 있는 중성 기체의 상대적으로 작은 부분이 더 높은 에너지의 여기 상태에 있기 때문에, 상대적으로 약한 흡수를 갖는다. 일 실시예에서, 펄스 레이저(111)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 기체 격납 구조(101)에 포함된 기체의 약한 중성 흡수 라인(예컨대, ~1070nm)에 가까운 파장을 이용하여 연속 웨이브(CW; continuous wave) 모드로 작동하는 광섬유 레이저 또는 고체 레이저와 같은, 하나 이상의 CW 레이저들을 포함한다. 예컨대, 광섬유 레이저의 경우에, 펄스 레이저(111)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 이테르븀(Yb)-도핑 광섬유 레이저, 네오디뮴-도핑 이테르븀 알루미늄 가넷(Nd:YAG) 크리스탈 광섬유 레이저, 네오디뮴-도핑 이테르븀 오르소바나듐산염(Nd:YVO₄) 크리스탈 광섬유 레이저, 네오디뮴-도핑 가돌리늄 바나듐산염(Nd:GdVO₄) 크리스탈 광섬유 레이저 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 또 다른 예시로서, 고체 레이저의 경우에, 펄스 레이저(111)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 하나 이상의 다이오드 레이저들을 포함할 수 있다.

- [0028] 또 다른 실시예에서, 광원(100)은 하나 이상의 추가 펌프 레이저들을 포함한다. 하나 이상의 추가 펌프 레이저들은 제1 펌프 레이저(111)와는 상이한 방향을 따라서 배열될 수 있다. 대안으로, 하나 이상의 추가 펌프 레이저들은, 제1 펌프 레이저(111)와 동일한 방향으로부터 기체 격납 구조(101)에 영향을 주기 위하여 제1 펌프 레이저(111)와 일직선을 이루도록 배열될 수 있다.
- [0029] 일 실시예에서, 하나 이상의 추가 레이저들은 녹색 레이저를 포함할 수 있다. 예컨대, 하나 이상의 추가 레이저들은 515nm 와 540nm 사이의 파장을 가진 레이저 방사선을 방출할 수 있고, 적외선 제1 펌프 레이저(111)와 함께 이용될 수 있다. 녹색 광은 중성 기체(고온인 경우에도)에 의해 약하게 흡수될 수 있지만, 이온들에 의해 더 강하게 흡수될 수 있는 것이며, 이에 따라 플라즈마에 의해 주로 흡수될 것이다. 이색성(dichroic) 코팅 요소들(예컨대, 이색성 거울들) 및/또는 이중-파장 코팅 요소들은 두 개의 레이저들을 하나의 경로로 결합시키는 데에 이용될 수 있다. 다수의 레이저 광원들로부터의 빔들의 결합은, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 각각 병합된, 2016년 9월 29일에 출원된 미국 특허출원 제15/280,073호와, 2016년 9월 23일에 출원된 미국 특허출원 제15/274,956호에 기술되어 있다.
- [0030] 또 다른 실시예에서, 광원(100)은 플라즈마 점화 디바이스(102)를 포함한다. 플라즈마 점화 디바이스(102)는 펌프 레이저(111)에 의한 펌핑 이전에 활성화되고 이온화된 기체를 생성할 수 있다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 플라즈마 점화 장치(102)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 하나 이상의 전극들을 포함할 수 있다. 이러한 예에서, 하나 이상의 전극들은, 기체 격납 구조에 포함된 기체로 교류(a.c.)를 방전시킴으로써 플라즈마를 점화하기 위해 수직으로(예컨대, y-방향을 따라서) 배열될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 광원(100)은 플라즈마 점화 레이저를 포함한다. 예컨대, 그에 제한되는 것은 아니지만, Q-스위치(Q-switched) 레이저와 같은 펄스 레이저는 짧은 일련의 높은 피크 전력 펄스들을 이용하여 기체 격납 구조 내에 포함된 기체를 조명할 수 있으며, 이는 플라즈마의 점화를 야기한다. 펄스 레이저를 통한 플라즈마 점화는, 그 전부가 참조에 의해 상기 병합된, 2016년 9월 29일에 출원된 미국 특허출원 제15/280,073호에 기술되어 있다.
- [0031] 또 다른 실시예에서, 광원(100)은 플라즈마(103)에 의해 흡수되지 않은 펌프 빔(112)(또는 추가 펌프 레이저로부터의 추가 펌프 빔)의 임의의 부분을 포획(capture)하도록 배치된 하나 이상의 빔 덤프(dump)(121)들을 포함한다.
- [0032] 또 다른 실시예에서, 광원(100)은 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단(113)을 포함한다. 예컨대, 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단(113)은, 그에 제한되는 것은 아니지만, 비원기둥(acylindrical) 렌즈 또는 비구면(aspheric) 렌즈를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 펌프 레이저(111)에 의해 방출되는 펌프 빔(112)은 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)에 의해 성형되고 그 후 플라즈마(103)를 지속시키기 위해 기체 격납 구조(101)의 중심 부분에 초점 맞추어진다.
- [0033] 일 실시예에서, 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단(113)은, 타원형 빔 웨이스트의 더 짧은 축(예컨대, 단축(minor axis))에 대응하는 방향으로 선택된 개구수(NA; numerical aperture)로 초점 맞추는 한편, 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축(예컨대, 장축(major axis))에 대응하는 방향으로 선택된 NA보다 더 낮은 NA로 초점 맞추도록 배열된다. 일 실시예에서, 기체 격납 구조(101)에 포함된 기체(103)의 약한 중성 흡수 라인에서의 또는 그에 가까운 파장을 가진 펌프 레이저(111)는, 기체 격납 구조(101)의 중심에 또는 그에 근접하여 배치된 대략적으로 타원형인 빔 웨이스트를 형성하기 위해 애너모픽 광 수단(113)에 의해 초점 맞추어진다. 또 다른 실시예에서, 타원형 빔 웨이스트는 적어도 10의 장축 대 단축 비를 가질 수 있다. 또 다른 실시예에서, 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단(113)은, 타원형 빔 웨이스트의 더 짧은 축에 대응하는 방향 및 펌프 빔 전파 방향의 양 방향 모두로 플라즈마 크기를 최소화하기 위해, 타원형 빔 웨이스트의 더 짧은 축에 대응하는 방향으로, 0.5보다 더 큰 개구수(NA)로 빔의 초점을 맞춘다. 또한, 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단(113)은, 길게 늘어진 플라즈마 이미지를 생성하기 위해 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축에 대응하는 방향으로 0.2보다 더 작은 NA로 초점을 맞춘다.
- [0034] 또 다른 실시예에서, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은 결과적인 타원형 빔 웨이스트가 선택된 장축 대 단축 비를 갖도록 구성된다. 예컨대, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은 결과적인 타원형 빔 웨이스트가 적어도 10의 선택된 장축 대 단축 비를 갖도록 구성된다. 일 실시예에서, 애너모픽 광 수단(113)은 타원형 빔 웨이스트가 적어도 10의 장축 대 단축 비를 갖도록 구성되며, 여기에서 타원형 빔 웨이스트의 단축은 5 μ m보다 작고, 타원형 빔 웨이스트의 장축은 50 μ m와 500 μ m의 사이에 있다. 또한, 타원형 빔 웨이스트의 장축에서의 웨이스트 크기는 이용 가능한 펌프 전력에 기초하여 특정 애플리케이션에 대한 최대 임계 파장들에서의 더 높은 휘도에 대해 최적화될 수 있다.

- [0035] 예컨대, 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단(113)은 타원형 빔 웨이스트의 단축에 대응하는 y-방향으로 0.5보다 더 큰 NA로 초점 맞추는 한편(도 1a에서 131로 도시됨), 타원형 빔 웨이스트의 장축에 대응하는 x-방향으로 0.2보다 더 작은 NA로 초점 맞출 수 있다(도 1b에서 132로 도시됨). 이와 관련하여, 결과적인 플라즈마는 y-방향 및 z-방향으로 최소화된 크기 및 x-방향으로 길게 늘어진 형상을 가질 수 있다(도 1b에서 103으로 도시됨).
- [0036] 높은 NA(즉, 큰 펌프 입체각)는 단단히 초점 맞추어진 방향 및 펌프 빔 전파 방향으로 플라즈마 크기를 감소시키는 것에 도움을 준다. 더 높은 NA들에서는, 펌프 강도가 웨이스트 위치 주변에서 더 빠르게 분기(diverge)됨으로써, 레이저 전력 밀도에 대한 지속 가능성 입체각이 초점 위치에 더 가깝게 배치되도록 하며, 이는 더 작은 플라즈마를 야기한다. 펌프 빔을 더 작은 스팟에 초점 맞추는 것도 또한 플라즈마 크기를 감소시킨다. 이와 같이, 펌프 빔이 양호한 빔 품질(즉, 1.0에 가까운 M^2)을 가짐으로써 더 작은 스팟에 초점 맞추어질 수 있으며, 초점에서의 펌프 빔 수차(aberration)가 적절한 애너모픽 광 수단(113)을 이용하여 최소화되는 것이 바람직하다. 수차가 없다면, 더 높은 NA는 더 작은 빔 크기에 이르도록 한다. 양호한 레이저 빔 품질의 이점들로 인해, 광섬유 및 고체 레이저들이 본 개시내용의 실시예들에서 유익하게 이용될 수 있다.
- [0037] 일 실시예에서, 하나 이상의 애너모픽 조명 광 수단은 (예컨대, 제어된 양의 구면 수차를 도입하는 것에 의해) 초점 맞추어진 이미지의 더 긴 축의 방향으로 빔(112)의 가우스(Gaussian) 프로파일을 왜곡하는 하나 이상의 광 요소들(예컨대, 렌즈들)을 포함함으로써, 더 균일한 플라즈마 온도를 달성하기 위해 프로파일의 중심 부분이 가우스보다 더 편평하도록 할 수 있다.
- [0038] 도 1b를 참조하면, 일 실시예에서, 광원(100)은 하나 이상의 제1 집광 수단(105)을 포함한다. 일 실시예에서, 하나 이상의 제1 집광 수단(105)은 플라즈마(103)에 의해 방출되는 광대역 방사선을 수집하도록 구성된다. 예컨대, 도 1b에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 제1 집광 수단(105)은 타원형 빔 웨이스트의 더 긴 축과 실질적으로 정렬되는 방향(예컨대, 플라즈마(103)가 길게 늘어진 x-방향)으로 플라즈마(103)로부터 광대역 방사선을 수집하도록 구성된다. 이러한 방식으로, 하나 이상의 제1 집광 수단(105)에 의해 수집될 수 있는 방사선을 가진 플라즈마(103)의 깊이는 임의의 다른 방향으로부터 방사선을 수집하는 것에 비하여 더 크다(즉, 플라즈마의 불투명도는 수집 방향에서 최대이다). 일 실시예에서, 하나 이상의 제1 집광 수단(105)은 광대역 스펙트럼 범위에 걸친 높은 반사율을 위해 코팅된 거울을 포함한다. 예컨대, 하나 이상의 제1 집광 수단(105)은, 그에 제한되는 것은 아니지만, 포물면 거울, 구면 거울, 또는 타원체 거울을 포함할 수 있다. 하나 이상의 제1 집광 수단(105)은 앞서 열거된 예시들 또는 도 1b에 도시된 구성으로 제한되지 않는 것이다. 오히려, 하나 이상의 제1 집광 수단(105)은 플라즈마(103)로부터 광대역 방사선을 수집하기에 적합한 당해 기술 분야에서 알려진 반사, 굴절 및/또는 회절 광 수단들의 임의의 조합을 포함할 수 있다.
- [0039] 광원(100)은 임의의 수 및 유형의 추가 광 요소들을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 광원(100)은, 검사 도구 또는 계측 도구를 위한 조명계 광 수단과 같은, 하나 이상의 다운스트림 광 수단에 하나 이상의 제1 집광 수단(105)으로부터의 광을 지향시키도록 배열된 하나 이상의 추가 광 요소들을 포함할 수 있다(예컨대, 도 5 내지 도 7 참조). 예컨대, 광원(100)은, 플라즈마(103)에 의해 방출되는 광대역 방사선을 지향 및/또는 조절(condition)하기 위해, 하나 이상의 추가 거울들, 렌즈들, 개구(aperture)들, 대역폭 선택 필터들, 및/또는 편광 성분들 등을 포함할 수 있다.
- [0040] 도 1c는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 애너모픽 광 수단(113)에 의한 조절 이후에 전파 방향(z)을 따르는 x-방향 및 y-방향 양자 모두로의 펌프 빔(112)의 빔 크기 변경에 관한 개념도를 도시한다. 캡션(caption) 114는 x-방향을 펌프 빔(112)을 나타내고 캡션 115는 y-방향을 펌프 빔(112)을 나타내는 것이다. 이러한 예시에서, 웨이스트 위치(116)는 서로에 대하여 잘 정렬되고, 기체 격납 구조(101)의 중심에 또는 그에 근접하여 배치된다. 타원형 빔 웨이스트의 단면은 117로 도시된다. 캡션 118은 y-방향을 웨이스트 직경 $2w_y$ (즉, 타원형 빔 웨이스트의 단축)를 나타내고, 캡션 119는 x-방향을 웨이스트 직경 $2w_x$ (즉, 타원형 빔 웨이스트의 장축)를 나타낸다. 예컨대, 애너모픽 광 수단(113)은 $2w_y$ 가 $5\mu\text{m}$ 보다 작은 한편, $2w_x$ 가 $50\mu\text{m}$ 과 $500\mu\text{m}$ 사이에 있도록 구성될 수 있으며, 이는 이용 가능한 펌프 전력에 기초하여 더 최적화될 수 있다. 빔 크기 및 결과적인 레일리(Rayleigh) 범위는 x-방향에서 매우 크기 때문에, 웨이스트 위치에 대한 허용 오차(tolerance)는 y-방향에 비하여 x-방향에서 완화될 수 있다.
- [0041] 고온 플라즈마의 온도 및 불투명도는 플라즈마로부터 수집된 광의 방사 휘도(radiance)를 관정하는 두 가지 중요한 요인들이다. 광 출력의 수집 방향과 실질적으로 수직인 방향(y 방향)으로 작은 빔 웨이스트에 광의 초점을 매우 단단히 맞추는 것은, 레이저 펌프 에너지가 플라즈마의 코어를 고온으로 가열하는 데에 효율적으로 이용되

는 것을 보장한다. 광 출력의 수집 방향과 실질적으로 평행한 방향(x 방향)으로 더 큰 빔에 광의 초점을 맞추므로써, 이 방향의 불투명도가 증가한다. 불투명도는 가시선(line of sight)을 따르는 고온이며 이온화된 원자들의 수에 달려있기 때문에, 램프의 충전 압력을 증가시키는 것은 불투명도를 더 증가시킬 수 있다. 종래의 짧은-아크(short-arc) Xe 아크 램프들은 약 30 기압(atmosphere)의 상온에서의 충전 압력을 이용할 수 있다. 일 실시예에서, 애너모픽 초점 조정 광 수단은, 수집된 출력 광의 방사 회도를 더 증가시키기 위해 약 40 기압 또는 더 높은 기압의 상온 충전 압력을 가진 전구, 챔버, 셀 또는 튜브와 결합하여 이용된다.

[0042] 도 2a 내지 도 2c는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 광원(100)에서의 구현에 적합한 애너모픽 광 수단(113)에 관한 개략도들을 도시한다.

[0043] 예시들 및 도 1a 내지 도 1c의 예시들 및 실시예들에 도시된 좌표계는 도 2a 내지 도 2c로 확장되는 것으로 해석되어야 하는 것이다. 이러한 예시에서, 펌프 빔(112)은 z-방향으로 이동하고, 애너모픽 광 수단(113)에 의해 형성된 타원형 빔 웨이스트는 y-방향으로 높은 NA를 이용하여 매우 작으며 x-방향으로 더 낮은 NA를 이용하여 적어도 10배 더 크다. 본 개시내용의 범주는, 단순히 예증의 목적으로 앞서 제시된, y-방향의 NA와 x-방향의 NA 사이의 예시 비율로 제한되지 않는 것이다.

[0044] 일 실시예에서, 도 2a에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은 y-방향으로 두 개의 원기둥 렌즈들(201, 202)을 포함하는 원기둥 망원경을 포함하는 광 어셈블리이다. 원기둥 렌즈들(201, 202)은 펌프 레이저(111)로부터의 빔(112)을 훨씬 더 큰 크기로 확장시키도록 작용한다. 원기둥 망원경은 콜리메이션(collimation)이 대부분의 난시(astigmatism)를 보정하게끔 설정되도록 구성될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은 비원기둥(acylindrical) 평면 볼록 렌즈(203)를 포함한다. 예컨대, 비원기둥 평면 볼록 렌즈(203)는, 큰 개구 및 짧은 초점 거리를 가질 수 있으며, 기체 격납 구조(101)의 중심에 또는 그에 근접하여 그 웨이스트가 위치한 매우 작은 빔 크기로 높은 NA(예컨대, >0.5)를 이용하여 빔의 초점을 맞추도록 구성될 수 있다. 비원기둥 렌즈(203)는 복잡한 표면 프로파일을 포함할 수 있고, 빔(112)의 광 수차를 상당히 감소시킬 수 있으며, 이에 따라 웨이스트에서의 빔 크기가 최소화된다. x-방향에서, 긴 초점거리를 가진 원기둥 렌즈(204)는, 기체 격납 구조(101)의 중심에 또는 또는 그에 근접하게 그 웨이스트가 또한 위치한 더 큰 빔 크기로 더 낮은 NA를 이용하여 펌프 빔(112)의 초점을 맞춘다.

[0045] 또 다른 실시예에서, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은 하나 이상의 추가 수차 보정기(compensator)들을 포함한다. 예컨대, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은, 기체 격납 구조(101)(예컨대, 전구) 표면의 전도되는(transmissive) 부분의 불규칙한 또는 완벽하지 않은 형태에 의해 생성되는 수차 및/또는 펌프 레이저(111)나 다른 컴포넌트들로부터의 수차들을(x-방향 및/또는 y-방향에서) 보정하기 위해 기체 격납 구조(101) 앞에 배치될 수 있는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 추가적인 수차 보정기들(208)을 포함할 수 있다. NA가 y-방향에서 더 크기 때문에, y-방향에서의 교정이 이미지 품질을 위해 더 중요하다. 이와 같이, 일 실시예에서, 보정기(208)는 y-z 평면으로 지향된 하나 이상의 곡면들을 가진 비원기둥 렌즈를 포함한다. x-y 평면의 결과적인 타원형 빔 웨이스트는 117로 도시된다.

[0046] 또 다른 실시예에서, 도 2b에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은 비구면 렌즈(213)를 포함한다. 예컨대, 펌프 빔(112)을 y-방향으로 더 큰 크기로 확장시키는, 렌즈들(211, 212)을 통한 원기둥 망원경의 적용에 뒤이어, 큰 개구 및 짧은 초점 거리를 가진 비구면 렌즈(213)는, 기체 격납 구조(101)의 중심에 또는 그에 근접하여 그 웨이스트가 위치한 매우 작은 빔 크기로 높은 NA(>0.5)를 이용하여 빔(112)의 초점을 맞출 수 있다. 비구면 렌즈는 더 일반적으로 이용 가능하고/하거나 비원기둥 렌즈에 비하여 비용이 적게 든다. 또 다른 실시예에서, x-방향으로, (204와 유사한) 긴 초점 거리를 가진 원기둥 렌즈(214)가 빔(112)의 초점을 맞출 수 있다. 또 다른 실시예에서, 원기둥 렌즈(214)와 비구면 렌즈(213) 사이에 배치된 평면 오목 원기둥 렌즈(215)는 x-방향으로 비구면 렌즈(213)에 의해 생성되는 전력을 상쇄하도록 구성된다. 이와 관련하여, 전체 렌즈 세트는 도 2a에 도시된 것과 유사한 타원형 빔 웨이스트(117)를 효과적으로 생성한다. 또 다른 실시예에서, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은 하나 이상의 추가 수차 보정기들을 포함한다. 예컨대, 보정기(218)와 같은 하나 이상의 추가 수차 보정기들은, 기체 격납 구조(101)의 전도 부분의 불규칙한 또는 불완전한 형태에 의해 한 방향 또는 양 방향으로 생성된 수차 및/또는 펌프 레이저나 다른 컴포넌트들로부터의 수차들을 보정하기 위해 기체 격납 구조(101) 앞에 추가될 수 있다.

[0047] 또 다른 실시예에서, 도 2c에 도시된 바와 같이, 하나 이상의 애너모픽 광 수단(113)은 빔을 y-방향으로 확장시키기 위해 브루우스터의 각(Brewster's angle)에 가깝게 작동하도록 구성된 두 개의 프리즘들을 포함한다. 일 실시예에서, 프리즘들(221 및 222)은 시스템에 어떠한 전력도 인가하지 않으면서 y-방향으로 빔 크기 및 NA를

조절하도록 조율된다. 이러한 프리즘 쌍(221, 222)은 도 2a의 렌즈들(201, 202)(비원기둥 렌즈(203)가 그 뒤를 이음) 또는 도 2b의 렌즈들(211, 212)(비구면 렌즈(213)가 그 뒤를 이음)에 대한 대체물로 이용될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 애너모픽 광 수단(113)은 추가적인 수차 보정기(228)를 포함한다. 도 2c의 x-방향 구성은 비원기둥 렌즈(203)가 구현될 경우에 도 2a와 동일할 것이다. 또한, 도 2c의 x-방향 구성은 비구면 렌즈(213)가 구현될 경우에 도 2b와 동일할 것이다.

[0048] 도 2a 내지 도 2c에 도시된 컴포넌트들의 수 및 유형은 단지 예증의 목적을 위해 제공된 것이며, 본 개시내용의 범주에 대한 제한으로 해석되어서는 안된다. 예컨대, 도 2a 내지 도 2c의 애너모픽 광 수단(113)은 광학 기술 분야에서 알려진 컴포넌트들의 임의의 수 및 유형을 포함할 수 있다. 예컨대, (도 2a 및 도 2b와 같이) 두 개의 렌즈들을 이용하여 구현되는 원기둥 망원경 대신에, 세 개의 렌즈들을 이용하여 구현되는 무한초점(afocal) 망원경이 빔 직경을 조율하고 초점 조정을 설정하는 데에 이용될 수 있다. 추가 실시예들에서, 애너모픽 광 수단(113)의 하나 이상의 표면들은 레이저 펌프 빔(112)의 투과를 최대화하기 위해 선택되는 코팅에 의해 코팅될 수 있다.

[0049] 도 3a 및 도 3b는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 기체 격납 구조(101) 내부 또는 외부의 구면 거울의 구현을 도시한다. 플라스마(103)가 모든 방향으로 방사하기 때문에, 제1 집광 수단(105) 맞은 편의 기체 격납 구조(101) 측면에 대한 플라스마 방사선이 플라스마(103)를 향하여 다시 반사되고 펌프 레이저 빔(112)의 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 플라스마(103)에 초점이 맞추어지는 경우에, 동일한 입체각 내에서 동일한 한 집광 수단을 이용하여 더 많은 플라스마 방사가 수집될 수 있다.

[0050] 일 실시예에서, 도 3a에 도시된 바와 같이, 광원(100)은 제1 집광 수단(105)의 맞은 편의 기체 격납 구조(101) 상에서 기체 격납 구조의 외부에 배치된 외부 구면 거울(310)을 포함한다. 구면 거울(310)은 플라스마 방사선(312)을 반사하고 이를 다시 플라스마(103)의 중심에 초점 맞추도록 구성될 수 있다. 대안으로, 광원(100)은 제1 집광 수단(105)의 맞은 편의 기체 격납 구조(101) 상에서 기체 격납 구조(101)의 내부 또는 외부 표면 상에 배치된 내부 구면 거울(311)을 포함할 수 있다. 구면 거울(311)은 플라스마 방사선(312)을 반사하고 이를 다시 플라스마(103)의 중심에 초점 맞추도록 또한 구성될 수 있다.

[0051] 일 실시예에서, 반사기들(310, 311)은 기체 격납 구조(101)의 투과 부분(예컨대, 전구)의 외부 표면 또는 내부 표면 상에 광대역 고반사 코팅을 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 반사되는 방사선(312) 중 일부는 플라스마(103)에 의해 흡수됨으로써 플라스마 온도를 증가시키고 회도를 향상시킬 수 있다. 또한, 반사되는 방사선 중 나머지는 플라스마(103)를 통과하고 제1 집광 수단(105)을 향하여 빔 경로를 따라갈 수 있으며, 이는 수집되어 다운스트림 광 요소들로 향한다. 이와 관련하여, 총 수집되는 광대역 빔(306)은 세 개의 부분들, 즉, 1) 플라스마(103)로부터 최초로 방출되어 제1 집광 수단(105)을 향하는 방사, 2) 반사기들(310 또는 311)에 의해 제1 집광 수단(105)을 향하여 반사되고 반사빔(312)의 재흡수에 의해 강화되는 방사선, 및 3) 반사기들(310 또는 311)에 의해 제1 집광 수단(105)을 향하여 반사되고 플라스마(103)를 통해 투과되는 방사선을 포함한다.

[0052] 또 다른 실시예에서, 도 3b에 도시된 바와 같이, 반사기(310 또는 311)는 그 영역이 확장될 수 있다. 일 실시예에서, 반사기는, 들어오는 펌프 빔(112), 잔여 펌프 빔, 및 수집된 플라스마 방사선을 통과시키는 개구들을 가진 완전한(full) 반사 인클로저(321)(또는 인클로저의 일부분)만큼 클 수 있다. 또 다른 실시예에서, 인클로저(321)는 기체 격납 구조의 외부 또는 내부에 배치된 다수의 분리된 거울들을 포함할 수 있다. 대안의 실시예에서, 인클로저(321)는 기체 격납 구조(101)의 전도 부분의 외부 또는 내부 표면 상에 반사 코팅들을 포함할 수 있다. 이러한 예시에서, 플라스마 방사는, 플라스마(103)로 다시 반사되어 펌프 레이저(111)의 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 위치에 초점이 맞추어질 수 있고, 플라스마(103)에 의해 재흡수될 수 있다. 이와 관련하여, 플라스마(103)에 의해 방출되는 광대역 방사선의 양은 광대역 방사선(307)의 수집량만큼 늘어난다. 뿐만 아니라, 인클로저(321)는 LSP 광원(100)을 광원으로 포함하는 광 시스템(예컨대, 검사 시스템 또는 계측 시스템)으로 산란되는 광량을 감소시키는 것을 또한 도울 수 있다.

[0053] 도 4a는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 플라스마(103)를 더 펌프하기 위해 펌프 레이저(111)의 빔 웨이스트와 실질적으로 오버랩되는 플라스마(103)에 흡수되지 않은 펌프 레이저 방사선의 초점을 다시 맞추도록 구성된 광원(100)을 도시한다. 일 실시예에서, 광원(100)은, 레이저(111)로부터 나오는 펌프 빔(112)을 통과시키되, 임의의 후방 반사되는 빔을 빔 덤프(421)로 재지향시키기 위해 빔 경로에 배치되는 광 아이솔레이터(isolate)(411)를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 광원(100)은 애너모픽 광 수단(412)의 추가 세트를 포함할 수 있다. 애너모픽 광 수단(412)은 투과되는 펌프 빔을 별도로 두 방향으로 콜리메이트(collimate)하도록 구성될 수 있다. 예컨대, 애너모픽 광 수단(412)은, 그에 제한되는 것은 아니지만, 도 2a, 도 2b, 또는 도 2c에 도

시된 임의의 광 구성을 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 광원(100)은 하나 이상의 수차 보정기들을 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 콜리메이트 빔(413)은 평면 거울(414)에 의해 다시 반사될 수 있으며 그 후 애너모픽 광 수단(412)을 이용하여 플라즈마(103)의 중심에 다시 초점 맞추어질 수 있다. 펌프 레이저(111)의 초기 플라즈마 흡수가 70%보다 적을 수 있는 것이다. 이와 같이, 펌프 빔(112)의 첫번째 패스(pass)에서 흡수되지 않은 펌프 전력을 이용하는 것은 펌프 레이저(111)의 펌핑 효율을 크게 증가시킬 수 있다.

[0054] 도 4a에 도시된 구성은 본 개시내용의 범주에 대한 제한으로 해석되어서는 안되며 단지 예시의 목적으로 제공된 것이다. 예컨대, 애너모픽 광 수단(412) 및 평면 거울(414)은, 구면 거울 곡률의 중심이 플라즈마(103)의 중심과 일치하도록 배치된 구면 거울에 의해 대체될 수 있다. 이러한 방식으로, 초점 맞추어진 펌프 빔은 반전된 이미지로 동일한 위치에 다시 반사될 수 있다. 단일 구면 거울이 반사된 펌프 빔 이미지에 약간의 수차를 도입할 수 있기는 하지만, 반사된 펌프 빔 이미지로부터 추가 전력이 흡수되기 때문에 플라즈마 온도는 향상될 수 있다.

[0055] 도 4b는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라 이중 채널 출력을 구비한 광원(100)을 도시한다. 일 실시예에서, 광원(100)은 제1 집광 수단(105)의 맞은 편의 기체 격납 구조(101) 상에 방사되는 플라즈마 방사선을 수집하도록 구성된 제2 세트의 집광 수단(425)을 포함한다. 예컨대, 제2 집광 수단(425)은 펌프 빔(112)의 광축을 따라서 제1 집광 수단(105)에 대해 거울면 대칭일 수 있으며, 이에 의해, 펌프 빔(112)의 광축은 플라즈마(103)의 길게 늘어진 방향을 따라서 지향된다. 이와 관련하여, 제2 세트의 집광 수단(425)은 원래의 광대역 빔(106)과 대략적으로 동일한 강도를 가진 또 다른 광대역 빔(426)을 생성한다. 그러한 구성은, 전체 사용 가능한 광 강도가 향상될 수 있고 처리율이 개선될 수 있다는 점에서 다수의 조명 채널들을 가진 계측 또는 검사 시스템들에 있어서 매우 유리할 수 있다. 도 4a에 도시된 구성은 본 개시내용의 범주에 대한 제한으로 해석되어서는 안 되며 단지 예시의 목적으로 제공된 것이다.

[0056] 도 3a 내지 도 4b에 도시된 여러 실시예들은 광원(100)의 전체적인 효율성 및 플라즈마 출력의 휘도를 향상시키기 위해 결합될 수 있는 것이다.

[0057] 본 개시내용의 광원(100)은 당해 기술 분야에서 알려진 임의의 광 시스템에서 광대역 광원으로 구현될 수 있다. 예컨대, 광원(100)은 반도체 웨이퍼 특성화 분야에서 알려진 임의의 검사 툴 또는 계측 툴에 대한 광대역 광원으로 구현될 수 있다.

[0058] 도 5는 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 광대역 광원(100)을 구현하는 검사 시스템(500)의 단순화된 개략도를 도시한다. 시스템(500)이 샘플 검사의 컨텍스트에서 기술되고 있기는 하지만, 시스템(500)은 이미징 기반 계측과 같은 다른 광 특성화 컨텍스트들로 확장될 수 있는 것이다. 일 실시예에서, 검사 시스템(500)은 샘플(508)(예컨대, 웨이퍼, 레티클, 포토마스크 등)을 검사 또는 측정하도록 구성된다. 예컨대, 샘플(508)은 광수단 아래의 샘플(508)의 상이한 영역들의 이동을 가능하게 하기 위해 스테이지(512) 상에 놓여질 수 있다. 또 다른 예시로서, 스테이지(512)는 선형 스테이지(예컨대, X-Y 스테이지) 또는 회전 스테이지(예컨대, R- θ 스테이지)를 포함할 수 있다. 추가 실시예에서, 스테이지(512)는 초점을 유지하기 위해 검사 또는 측정 동안에 샘플(508)의 높이를 조정할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 검사 시스템은 대물 렌즈(505)를 포함한다. 예컨대, 대물 렌즈(505)는 초점을 유지하기 위해 조정될 수 있다.

[0059] 일 실시예에서, 본원에서 앞서 기술된 LSP 광대역 방사 광원(100)이 시스템(500)의 광원(100)으로 구현된다. 예컨대, 광원(100)은 가시광선, 자외선(UV; ultraviolet), 초자외선(DUV; deep ultraviolet) 및/또는 진공 자외선(VUV; vacuum ultraviolet) 방사선을 방출할 수 있다. 일 실시예에서, 시스템(500)은 광원(100)으로부터의 광이 샘플(508)의 표면상으로 지향 및/또는 초점 조정되도록 구성된 광 수단 세트(503)를 포함한다. 예컨대, 광수단 세트(503)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 샘플(508)의 표면 상으로 광의 초점을 맞추기 위한 대물 렌즈(505)를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 광 수단 세트(503)는 샘플(508)로부터 반사 또는 산란되는 광을 수집하기 위한 추가적인 광 컴포넌트들(예컨대, 렌즈 또는 거울)을 포함할 수 있다. 광 수단 세트(503)는 그 후 샘플(508)의 표면으로부터 수집된 광을 검출기 어셈블리(504)의 검출기(506)로 향하게 할 수 있다. 광 수단 세트(503)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 거울, 렌즈, 및/또는 빔 스플리터와 같은, 샘플의 표면을 조명하고 샘플의 표면으로부터 광을 수집하기 위한 당해 기술 분야에서 알려진 임의의 수 및 유형의 광 수단을 포함할 수 있다.

[0060] 검출기 어셈블리(504)의 검출기(506)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, CCD 검출기, TDI-CCD 검출기 등과 같은 당해 기술 분야에서 알려진 임의의 광 검출기를 포함할 수 있다. 예컨대, 검출기(506)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 2차원 어레이 센서 또는 1차원 라인(line) 센서를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 검출기(50

6)의 출력은 검출기(506)의 출력을 분석하는 하나 이상의 프로세서들(514)에 제공된다. 예컨대, 프로세서(514)는 캐리어 매체(516)(예컨대, 메모리) 상에 저장될 수 있는 프로그램 명령어(518)에 의해 구성될 수 있다.

[0061] 일 실시예에서, 시스템(500)은 샘플(508) 상의 라인을 조명하고, 이에 대응하여, 검출기(506)는 하나 이상의 암시야(dark-field) 및/또는 명시야(bright-field) 수집 채널들에서 산란 및/또는 반사된 광을 수집한다. 이와 관련하여, 검출기(506)는 라인 센서 또는 전자 충격(electron-bombarded) 라인 센서를 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 시스템(500)은 샘플(508) 상의 다수의 스팟들을 조명하고, 이에 대응하여, 검출기(506)는 하나 이상의 암시야 및/또는 명시야 수집 채널들에서 산란 및/또는 반사된 광을 수집한다. 이와 관련하여, 검출기(506)는 2차원 어레이 센서 또는 전자 충격 2차원 어레이 센서를 포함할 수 있다.

[0062] 웨이퍼 검사 또는 계측에 관한 세부 사항은 2012년 7월 9일에 출원된 미국 특허출원 제13/554,954호(Romanovsky 외); 2011년 6월 7일에 등록된 미국 특허등록 제7,957,066호(Armstrong 외); 2008년 3월 18일에 등록된 미국 특허등록 제7,345,825호(Chuang 외); 1999년 12월 7일에 등록된 미국 특허등록 제5,999,310호(Shafer 외); 및 2009년 4월 28일에 등록된 미국 특허등록 제7,525,649호(Leong 외)에 기술되어 있으며, 이들은 각각 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 통합된다.

[0063] 도 6은 본 개시내용의 하나 이상의 실시예에 따라, 광대역 방사 광원(100)을 구현하는 계측 시스템(600)의 단순화된 개략도를 도시한다.

[0064] 일 실시예에서, 계측 시스템(600)은 최대 6개의 상이한 비접촉(non-contact) 광 측정 서브시스템들로 구성되고, 본원에서 기술된 바와 같이, LSP 광대역 방사선 광원(100)을 포함할 수 있다. 예컨대, 계측 시스템(600)은 빔 프로파일 엘립소미터(BPE; Beam Profile Ellipsometer)(610), 빔 프로파일 반사계(BPR; Beam Profile Reflectometer)(612), 광대역 반사 분광계(BRS; Broadband Reflective Spectrometer)(614), 초자외선(DUV) 반사 분광계(616), 광대역 분광 엘립소미터(BSE; Broadband Spectroscopic Ellipsometer)(618), 및 참조 엘립소미터(602)를 포함할 수 있다. 이러한 6개의 광 측정 디바이스들은 3개의 광원들, 즉, 레이저들(620, 690) 및 광대역 광원(100)만을 이용할 수 있다. 또 다른 예시로서, 레이저(620)는 프로브(probe) 빔(624)을 생성할 수 있고 광대역 광원(100)은 프로브 빔(626)(이는 렌즈(628)에 의해 콜리메이트되고 거울(629)에 의해 프로브 빔(624)과 동일한 경로를 따라서 지향됨)을 생성할 수 있다. 예컨대, 레이저(620)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 670nm에 가까운 파장과 같은 가시광선 또는 근적외선(near IR) 파장으로 선형 편광된(linearly polarized) 3mW 빔을 방출하는 고체 레이저 다이오드일 수 있다. 전술한 바와 같이, 광대역 광원(100)은 이 문서에서 앞서 기술된 광대역 LSP 광원을 포함할 수 있다. 예컨대, 광대역 광원(100)은 200nm 내지 800nm 또는 더 넓은 스펙트럼을 포괄하는 다색성(polychromatic) 빔을 생성할 수 있다.

[0065] 일 실시예에서, 계측 시스템(600)은 프로브 빔들(624, 626)을 포함한다. 예컨대, 프로브 빔들(624, 626)은 거울(630)에 의해 반사될 수 있고, 거울(642)을 통과하여 샘플(604)로 향할 수 있다. 또 다른 예시로서, 프로브 빔들(624, 626)은 렌즈(632) 또는 렌즈(633)를 이용하여 샘플(604)의 표면 상에 초점이 맞추어질 수 있다. 예컨대, 두 개의 렌즈들(632, 633)은 터릿(turret)(미도시)에 마운트될 수 있고 대안으로 프로브 빔들(624, 626)의 경로로 이동 가능할 수 있다. 또한, 렌즈(632)는, 샘플 표면에 대하여 넓게 펼쳐진 입사각을 생성하고 직경이 약 1 마이크로인 스팟 크기를 생성하기 위해 높은 개구수(numerical aperture)(약 0.90 NA)를 가진 구면 현미경 대물 렌즈일 수 있다. 렌즈(633)는 더 낮은 개구수(약 0.4 NA)를 가진 반사 렌즈일 수 있으며 초자외선을 약 10 내지 15 마이크로인 스팟 크기에 초점 맞출 수 있다.

[0066] 또 다른 실시예에서, 빔 프로파일 엘립소메트리(BPE; Beam Profile Ellipsometry)(610)는 사분의 일(quarter) 파장판(634), 편광기(636), 렌즈(638), 및 쿼드(quad) 검출기(640)를 포함한다. 작동 중에, 선형 편광된 프로브 빔(624)은 렌즈(632)에 의해 샘플(604) 상에 초점이 맞추어질 수 있다. 예컨대, 샘플 표면으로부터 반사된 광은 위로 렌즈(632)를 통과하고, 거울들(642, 630, 및 644)을 통과하며, 거울(646)에 의해 BPE(610)로 지향될 수 있다. 반사된 프로브 빔 내의 광선들의 위치는 샘플의 표면에 대한 특정 입사각들에 대응할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 사분의 일 파장판(634)은 빔의 편광 상태들 중 하나의 위상을 90도만큼 지연시킬 수 있다. 또한, 선형 편광기(636)는 빔의 두 개의 편광 상태들이 서로 간섭하게끔 만들 수 있다. 최대 신호에 있어서, 편광기(636)의 축은 사분의 일 파장판(634)의 빠른 축(fast axis) 및 느린 축(slow axis)에 대하여 45도의 각도로 지향될 수 있다. 쿼드 검출기(640)는, 각각이 프로브 빔의 한 쿼터를 차단(intercept)하며 해당 쿼드런트(quadrant)에 미치는 프로브 빔의 일부분의 전력에 비례하는 별도의 출력 신호를 생성하는, 4개의 방사상으로 배치된 쿼드런트들을 가진 쿼드-셀(quad-cell) 검출기일 수 있다. 각 쿼드런트로부터의 출력 신호들은 프로세서(648)에 전송될 수 있다. 빔의 편광 상태의 변화를 모니터링함으로써, Ψ 및 Δ 와 같은 엘립소메트릭 정보가 관

정될 수 있는 것이다. 이러한 정보를 판정하기 위해, 프로세서(648)는 정반대로 마주보고 있는 쿼드런트들의 출력 신호들의 합들 사이의 차이를 얻으며, 이는 매우 얇은 막들에 대한 막 두께에 따라 선형적으로 변화하는 값이다. 빔 프로파일 엘립소메트리는 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 통합된 1993년 1월 19일에 등록된 미국 특허등록 제5,181,080호(Fanton 외)에서 논의된다.

[0067] 또 다른 실시예에서, BPR(612)은 샘플의 반사율을 측정하기 위해 렌즈(650), 빔 스플리터(652), 및 두 개의 선형 검출기 어레이들(654 및 656)을 포함한다. 작동 중에, 선형 편광된 프로브 빔(624)은, 빔 내의 여러 광선들이 입사각들의 범위에서 샘플 표면에 미치면서, 렌즈(632)에 의해 샘플(604) 상에 초점이 맞추어질 수 있다. 샘플 표면으로부터 반사되는 광은 위로 렌즈(632)를 통과하고, 거울(642 및 630)을 통과하며, 거울(644)에 의해 BPR(612)로 지향될 수 있다. 반사된 프로브 빔 내의 광선들의 위치는 샘플의 표면에 대한 특정 입사각들에 대응할 수 있다. 렌즈(650)는 빔을 2차원적으로 공간 확산시킬 수 있다. 빔 스플리터(652)는 빔의 S 및 P 성분들을 분리시킬 수 있고, 검출기 어레이들(654 및 655)은 S 및 P 편광된 광에 대한 정보를 격리시키기 위해 서로 직교하도록 지향될 수 있다. 입사 광선들의 더 큰 각도들은 어레이들의 마주보는 말단부들에 더 가깝게 줄어들 수 있다. 다이오드 어레이들의 각 요소로부터의 출력은 여러 입사각들에 대응할 수 있다. 검출기 어레이들(654, 656)은 샘플 표면에 대하여 입사각의 함수로(as a function of) 반사된 프로브 빔에 걸쳐서 강도를 측정할 수 있다. 프로세서(648)는 검출기 어레이들(654, 656)의 출력을 수신할 수 있고, 다양한 유형의 모델링 알고리즘들을 이용함으로써 이러한 각도 의존적 강도 측정치들에 기초하여 박막 층(608)의 두께 및/또는 굴절률을 도출할 수 있다. 예컨대, 최소 제곱법(least square fitting) 루틴과 같은 반복적인 프로세스들을 이용하는 최적화 루틴들이 채택될 수 있다. 최적화 루틴의 이러한 유형에 관한 한 예시는, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 통합된, "빔-프로파일 반사도를 이용한 박막의 멀티파라미터 측정"(Fanton 외, Applied Physics 학술지, Vol.73, No.11, p.7035, 1993)에 기술되어 있다. 또 다른 예시는, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 통합된, "분광 광도법 및 빔 프로파일 반사 측정법을 이용한 실리콘 온 인슐레이터 막 스택의 6개 층들의 동시 측정"(Leng 외, Applied Physics 학술지, Vol.81, No.8, p.3570, 1997)에 언급되어 있다. 빔 프로파일 반사 측정법(BPR; Beam Profile Reflectometry)은, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 통합된, 1991년 3월 12일에 등록된 미국 특허등록 제4,999,014호(Gold 외)에서 논의된다.

[0068] 또 다른 실시예에서, BRS(614)는 광의 다수의 파장들을 이용하여 샘플(604)을 동시에 검사(probe)한다. 일 실시예에서, BRS(614)는 렌즈(632)를 이용하고 광대역 분광계(658)를 포함한다. 광대역 분광계(658)는 당해 기술분야에 알려진 임의의 광대역 분광계를 포함할 수 있다. 일 실시예에서, 분광계(658)는 렌즈(660), 개구(662), 분산 요소(dispersive element)(664), 및 검출기 어레이(666)를 포함할 수 있다. 작동 중에, 광대역 광원(100)으로부터의 프로브 빔(626)은 렌즈(632)에 의해 샘플(604) 상에 초점 맞추어질 수 있다. 샘플의 표면으로부터 반사된 광은 위로 렌즈(632)를 통과할 수 있으며, 거울(642)에 의해 (거울(684)을 통과하여) 분광계(658)로 지향될 수 있다. 렌즈(660)는 분석할 샘플 표면 상의 시야(field of view)에 스폿을 정의할 수 있는 개구(662)를 통해 프로브 빔의 초점을 맞출 수 있다. 회절 격자, 프리즘, 또는 홀로그램 판과 같은 분산 요소(664)는, 검출기 어레이(666)에 포함된 개별 검출기 요소들에 대하여 파장의 함수로(as a function of) 빔을 각을 이루어(angularly) 분산시킬 수 있다. 여러 검출기 요소들은 프로브 빔에 포함된 광의 여러 파장들의 광 강도를 측정할 수 있다. 예컨대, 여러 검출기 요소들은 광의 여러 파장들의 광 강도를 동시에 측정할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 검출기 어레이(666)는 전하 결합 소자(CCD; charge-coupled device) 카메라, 또는 적절한 분산적인 또는 다른 방법으로 파장 선택적인 광 수단을 가진 광전자 증배기(photomultiplier)일 수 있다. 단일 검출기 요소를 이용하여 여러 파장들을 연속적으로(한 번에 하나의 파장씩) 측정하기 위해 단색화 장치(monochromator)가 이용될 수 있는 것이다. 또한, 분산 요소(664)는 한 방향에서 파장의 함수로, 그리고 직교 방향에서 샘플 표면에 대하여 입사각의 함수로 광을 분산시키도록 또한 구성됨으로써, 파장 및 입사각 양자 모두의 함수로 동시 측정이 가능하도록 할 수 있다. 프로세서(648)는 검출기 어레이(666)에 의해 측정된 강도 정보를 프로세싱할 수 있다. BRS(614)는 광의 다수의 파장들을 이용하여 샘플(604)을 동시에 검사할 수 있다.

[0069] 또 다른 실시예에서, DUV(616)가 집속(focusing) 렌즈(632) 대신에 반사 렌즈(633)를 이용하는 것을 제외하고는, DUV(616)는 프로브 빔(626)을 분석하기 위해 BRS(614)와 동일한 분광계(658)를 이용한다. DUV(616)를 작동시키기 위해, 렌즈들(632, 633)을 포함하는 터릿이 회전됨으로써, 반사 렌즈(633)가 프로브 빔(626)에서 정렬될 수 있도록 한다. 일부 실시예들에서, 고체 대물 렌즈들은 UV 광을 샘플 상에 충분히 초점 맞출 수 없기 때문에 반사 렌즈(633)가 필요할 수 있다.

[0070] 또 다른 실시예에서, BSE(618)는 편광기(670), 집속(focusing) 거울(672), 콜리메이팅 거울(674), 회전 보정기(676), 및 분석기(680)를 포함한다. 작동 중에, 거울(682)은 프로브 빔(626)의 적어도 일부를, 프로브 빔에 대

하여 알려진 편광 상태, 바람직하게는 선형 편광을 생성하는 편광기(670)에 지향시킬 수 있다. 집속 거울(672)은 사선으로 기울어진 각도(oblique angle)(예컨대, 샘플 표면의 법선(normal)에 대하여 약 70도)로 샘플 표면에 빔의 초점을 맞출 수 있다. 반사빔은, 샘플의 막(608) 및 기관(606)의 성분 및 두께에 기초하여, 샘플과 상호 작용한 이후에 일반적으로 혼합 선형 및 원편광(circular polarization) 상태를 가질 수 있다. 반사빔은 빔을 회전 보정기(676)에 지향시키는 콜리메이팅 거울(674)에 의해 콜리메이트될 수 있다. 회전 보정기(676)는 한쌍의 상호 직교하는 편광된 광 빔 컴포넌트들 사이에 상대적인 위상 지연 δ (위상 리타레이션)을 도입할 수 있다. 회전 보정기(676)는, 바람직하게는 전기 모터(678)에 의해, 빔의 전파 방향과 실질적으로 평행한 축에 대하여 각속도 ω 로 회전될 수 있다. 분석기(680)(예컨대, 또 다른 선형 편광기)는 그에 입사하는 편광 상태들을 혼합할 수 있다. 분석기(680)에 의해 투과되는 광을 측정함으로써, 반사된 프로브 빔의 편광 상태가 판정될 수 있다. 거울(684)은, 보정기/분석기 조합을 통과하는 반사된 프로브 빔의 광의 여러 파장들의 강도를 동시에 측정하는 분광계(658)로 빔을 지향시킬 수 있다. 프로세서(648)는 엘립소메트릭 값들 Ψ 및 Δ 와 같은 샘플 특성들을 얻기 위해, 검출기(666)의 출력을 수신하고, 파장의 함수로 그리고 그 회전축에 대하여 회전 보정기(676)의 방위(회전)각의 함수로 검출기(666)에 의해 측정된 강도 정보를 프로세싱할 수 있다. 광대역 분광 엘립소메트리는, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 통합된, 1999년 3월 2일에 등록된 미국 특허 등록 제5,877,859호(Aspnes 외)에 기술되어 있다.

[0071] 또 다른 실시예에서, 검출기/카메라(686)는 거울(646) 위에 배치되며, 정렬 및 초점 조정 목적을 위해 샘플(604)에서 반사된 빔들을 보는 데에 이용될 수 있다.

[0072] 또 다른 실시예에서, BPE(610), BPR(612), BRS(614), DUV(616) 및/또는 BSE(618)를 교정(calibrate)하기 위해, 계측 시스템(600)은 참조 샘플(604)와 함께 이용되는 파장 고정(stable) 교정 참조 엘립소미터(602)를 포함한다. 예컨대, 엘립소미터(602)는 광원(690), 편광기(692), 렌즈(694, 696), 회전 보정기(698), 분석기(603), 및 검출기(605)를 포함할 수 있다.

[0073] 일 실시예에서, 광원(690)(예컨대, 하나 이상의 레이저들)은 알려진 고정 파장 및 고정 강도를 가진 유사-단색성(quasi-monochromatic) 프로브 빔(607)을 생성한다. 예컨대, 알려진 상수 또는 측정 값인 빔(607)의 파장이 프로세서(648)에 제공됨으로써, 엘립소미터(602)가 시스템(600)의 광 측정 디바이스들을 정확하게 교정할 수 있도록 할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 빔(607)은 알려진 편광 상태를 생성하기 위해 편광기(692)와 상호 작용한다. 예컨대, 편광기(692)는, 그에 제한되는 것은 아니지만, 쿼츠 로송 프리즘(quartz Rochon prism)을 포함하는 선형 편광기일 수 있다. 편광은 선형 편광 또는 완전한(complete) 편광으로도 제한되지 않는 것이다. 또 다른 예시로, 편광기(692)는 또한 방해석(calcite)으로 만든 것일 수 있다.

[0074] 편광기(692)로부터 나오는 선형 편광된 빔과 연관된 전기 벡터(vector)의 평면이 입사 평면(빔(607)의 전파 방향 및 샘플(604)의 표면에 대한 법선에 의해 정의됨)에 대하여 알려진 각도에 있도록, 편광기(692)의 방위각이 지향될 수 있다. P 및 S 편광된 성분들의 반사된 강도들이 대략적으로 밸런싱될 때 감도가 최적화되기 때문에 방위각은 바람직하게는 약 30도가 되도록 선택된다. 광원(690)이 바람직한 알려진 편광 상태를 가진 광을 방출하는 경우에 편광기(692)는 생략될 수 있는 것이다.

[0075] 또 다른 실시예에서, 빔(607)은 사선으로 기울어진 각도로 렌즈(694)에 의해 샘플(604) 상에 초점이 맞추어진다. 예컨대, 샘플 성질에 대한 감도가 재료의 브루스터(Brewster)각 또는 준브루스터(pseudo-Brewster)각 근처에서 최대화되기 때문에 빔(607)은 샘플 표면의 법선에 대해 약 70도의 각도로 샘플(604)에 닿을 수 있다. 엘립소메트릭 원리에 기초하여, 반사빔은, 입사빔의 선형 편광 상태와 비교하면, 샘플과의 상호 작용 이후에 일반적으로 혼합 선형 및 원편광 상태를 가질 수 있다. 렌즈(696)는 빔(607)이 샘플(604)에서 반사된 이후에 그 빔(607)을 콜리메이트할 수 있다.

[0076] 또 다른 실시예에서, 빔(607)은 그 후, 한 쌍의 상호 직교하는 편광된 광 빔 성분들 사이에 상대적인 위상 지연 δ_r (위상 리타레이션)을 도입하는 회전 보정기(지연기)(698)를 통과한다. 위상 지연의 양은 파장, 보정기를 형성하는 데에 이용되는 재료의 분산 특성, 및/또는 보정기의 두께에 관한 함수일 수 있다. 예컨대, 보정기(698)는 빔(607)의 전파 방향과 실질적으로 평행한 축에 대하여 각속도 ω_r 로 회전될 수 있다(예컨대, 전기 모터(601)에 의해 회전됨). 보정기(698)는 당해 기술 분야에서 알려진 임의의 파장판(wave-plate) 보정기(예컨대, 수정 결정판(crystal quartz))일 수 있다. 보정기(698)의 두께 및 재료는 빔의 바람직한 위상 지연이 유도되도록 선택될 수 있다. 일 실시예에서, 보정기(698)는 정반대 대칭성(opposite handedness)의 수정 결정판과 같은 이방성(anisotropic) 재료(예컨대, 복굴절 재료)의 두 개의 평행 판들로 만들어진 이중판(bi-plate) 보정기일 수 있으며, 여기에서, 두 개의 판들의 빠른 축들은 서로 수직이고, 두께는, 광원(690)에 의해 생성되는 파장에

대한 순 1차(net first-order) 지연을 인식할 만큼 충분히 다르면서, 거의 동일하다.

- [0077] 또 다른 실시예에서, 빔(607)은 그 후, 그에 입사하는 편광 상태들을 혼합하는 역할을 하는 분석기(603)와 상호 작용한다. 예컨대, 분석기(603)는, 바람직하게는 입사 평면에 대하여 45도의 방위각으로 지향된 또 다른 선형 편광기일 수 있다. 그러나, 입사 편광 상태들을 대략적으로 혼합하는 역할을 하는 임의의 광 디바이스가 분석기로 이용될 수 있다. 분석기(603)는 퀴즈 로송 프리즘 또는 윌라스턴(Wollaston) 프리즘일 수 있다.
- [0078] 보정기(698)는 (도 6에 도시된 바와 같이) 샘플(604)과 분석기(603) 사이, 또는 샘플(604)과 편광기(692) 사이 중 어느 하나에 배치될 수 있는 것이다. 또한, 편광기(670), 렌즈들(694, 696), 보정기(698), 및 분석기(603)는 광원(690)에 의해 생성된 광의 특정 파장에 대하여 그들의 구성에서 모두 최적화될 수 있는 것이며, 이는 엘립소미터(602)의 정확도를 최대화한다.
- [0079] 또 다른 실시예에서, 빔(607)은 그 후, 보정기/분석기 조합을 통과하는 빔의 강도를 측정하는 검출기(605)에 입사한다. 예컨대, 프로세서(648)는, 분석기 그리고 이에 따라 샘플의 엘립소메트릭 파라미터들과의 상호 작용 이후에 광의 편광 상태를 판정하기 위해 검출기(605)에 의해 측정된 강도 정보를 프로세싱할 수 있다. 이러한 정보 프로세싱은 그 회전축에 대한 보정기의 방위(회전)각에 관한 함수로 빔 강도를 측정하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 보정기 회전각에 관한 함수로의 강도의 측정은, 보정기 각속도가 대개 알려져 있으며 상수이기 때문에, 실질적으로 시간에 관한 함수로의 빔(607) 강도의 측정일 수 있다.
- [0080] 분광계(658)에 의해 이루어진 파장 측정을 교정하는 데에 광원(690)의 출력이 또한 이용될 수 있는 것이다. 빔(607)을 위의 거울(642)로 그리고 분산 요소(664)로 지향시키기 위해, 샘플(604)이 기울어지거나(tipped), 또는 기울어진 거울에 의해 대체될 수 있다. 광원(690)에 의해 생성된 광의 정확한 파장을 인지함으로써, 프로세서(648)는 어느 픽셀(들)이 광의 그 파장에 대응하는지를 판정하는 것에 의해 검출기(666)의 출력을 교정할 수 있다.
- [0081] 본 개시내용의 엘립소미터(602)를 교정하는 것은, 단지 예시의 목적을 위해 제공된, 앞서 논의된 특정한 회전 보정기 엘립소미터 구성에 제한되지 않는 것이다. 또한, 본 개시내용의 범주는, 샘플과의 상호 작용 이후에 빔의 편광 상태를 측정하고 비접촉(non-contact) 광 측정 디바이스들을 교정하기 위해 샘플(604)에 대하여 필요한 정보를 제공하는, (알려진 파장을 가진) 광원(690)과 함께인 임의의 엘립소미터 구성에까지 미칠 수 있는 것이다. 예컨대, 또 다른 엘립소메트릭 구성은 보정기(698)를 회전하는 것 대신에, 모터(601)로 편광기(692) 또는 분석기(603)를 회전하는 것을 포함할 수 있다.
- [0082] 계측 시스템은, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 병합된 2001년 10월 2일에 등록된 미국 특허등록 제6,297,880호(Rosencwaig)에 기술되어 있다. 계측 시스템을 이용하여 수행되는 스캐터로메트리(scatterometry) 측정은, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 병합된 2002년 8월 6일에 등록된 미국 특허등록 제6,429,943호(Opsal 외)에 기술되어 있다. 분광 엘립소미터 및 분광 광도계를 포함하는 계측 시스템은, 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 병합된 1997년 3월 4일에 등록된 미국 특허등록 제5,608,526호(Piwonka-Corle 외)에 기술되어 있다.
- [0083] 도 7은 본 개시내용의 하나 이상의 실시예들에 따라, 광대역 광원(100)을 구현하는 반사 굴절 이미징 시스템(700)의 단순화된 개략도를 도시한다.
- [0084] 반사 굴절 이미징 시스템(700)은 검사 시스템으로 구성될 수 있다. 일 실시예에서, 시스템(700)은 명시야 검사 모드 및 선택적인 암시야 검사 모드를 포함한다. 또 다른 실시예에서, 시스템(700)은, 이 문서에서 앞서 기술된 바와 같이, 레이저(701) 및 광대역 광원(100)을 포함한다.
- [0085] 일 실시예에서, 선택적인 암시야 모드에서, 적응(adaptation) 광 수단(702)은 검사되고 있는 표면 상의 레이저 조명 빔 크기 및 프로파일을 제어한다. 또 다른 실시예에서, 반사 굴절 이미징 시스템(700)은 기계적 하우징(704)을 포함한다. 예컨대, 기계적 하우징(704)은, 샘플(708)의 표면에 대한 수직 입사로 광축을 따라 레이저를 재지향(redirect)하기 위해 개구, 윈도우(703), 및 프리즘(705)을 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 프리즘(705)은 샘플(708)의 표면 피쳐들로부터의 거울 반사를 대물 렌즈(objective)(706)의 밖으로 지향시킨다. 예컨대, 대물 렌즈(706)는 샘플(708)에 의해 산란된 광을 수집하여 이를 센서(709) 상에 초점 맞출 수 있다. 또한, 대물 렌즈(706)의 렌즈들은, 선택적으로 줌(zoom) 기능을 포함할 수 있는, 반사 굴절 대물 렌즈(712), 집속 렌즈 그룹(713), 및 튜브 렌즈 섹션(714)의 일반적인 형태로 제공될 수 있다. 레이저(701)는 이 문서에서 기술된 바와 같이 대역폭 제어를 통합시킬 수 있다.
- [0086] 또 다른 실시예에서, 명시야 모드에서, 광대역 광원(100)은, 그 광을 집속 렌즈 그룹(713) 및 반사 굴절 대물 렌즈(712)를 향해 반사시키는 빔 스플리터(710)로 광대역 광을 지향시킬 수 있다. 예컨대, 반사 굴절 대물 렌즈

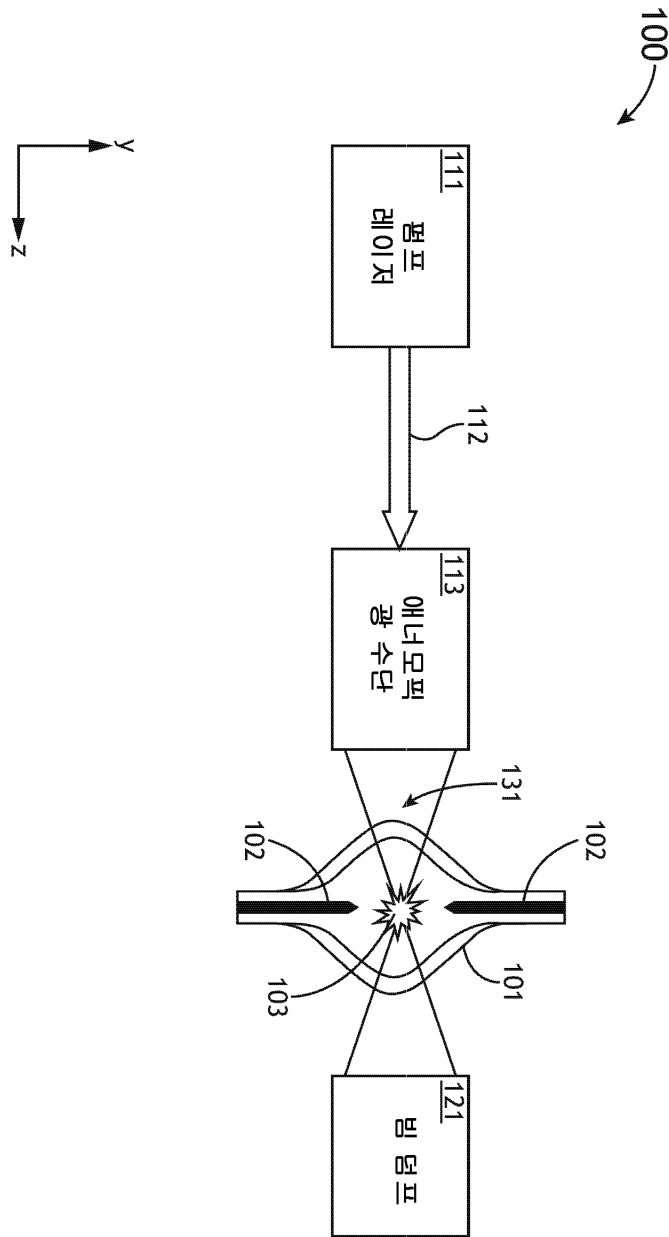
(712)는 광대역 광을 이용하여 샘플(708)을 조명할 수 있다. 샘플로부터 반사되거나 또는 산란되는 광은 대물 렌즈(706)에 의해 수집되어 센서(709) 상에 초점 맞추어질 수 있다. 또 다른 실시예에서, 광대역 광원(100)은 반사 굴절 대물 렌즈(712)에 관하여 샘플(708)의 높이를 제어하는 신호를 제공하기 위한 자동 초점 조정 시스템을 또한 포함할 수 있다. 반사 굴절 이미징 시스템은 그 전부가 참조에 의해 이 문서에 병합된 2008년 3월 18일에 등록된 미국 특허등록 제7,345,825호에 기술되어 있다.

[0087] 본원에서 기술되는 대상물은 때때로 다른 컴포넌트들 내에 포함되거나, 또는 다른 컴포넌트들과 연결된 상이한 컴포넌트들을 나타낸다. 그러한 묘사되는 아키텍처들은 단지 예시적인 것이라는 점과, 사실상 동일한 기능을 달성하는 여러 다른 아키텍처들이 구현될 수 있다는 점이 이해될 것이다. 개념적인 의미에서, 동일한 기능을 달성하기 위한 컴포넌트들의 임의의 배열은 사실상 원하는 기능이 달성되도록 "연관된 것"이다. 따라서, 특정 기능을 달성하기 위해 이 문서에서 결합된 임의의 두 개의 컴포넌트들은, 아키텍처 또는 중간(intermedial) 컴포넌트들과 관계 없이, 원하는 기능이 달성되도록 서로 "연관되어 있는 것"으로 보여질 수 있다. 이와 유사하게, 그렇게 연관되어 있는 임의의 두 개의 컴포넌트들은 원하는 기능을 달성하기 위해 서로 "연결된 것" 또는 "결합된 것"으로 또한 볼 수 있으며, 그렇게 연관되어 있을 수 있는 임의의 두 개의 컴포넌트들은 원하는 기능을 달성하기 위해 서로 "결합 가능한 것"으로 또한 볼 수 있다. 결합 가능한 것의 특정 예시들은, 그에 제한되는 것은 아니지만, 물리적으로 상호 작용 가능하고/하거나 물리적으로 상호 작용하는 컴포넌트들, 및/또는 무선으로 상호 작용 가능하고/하거나 무선으로 상호 작용하는 컴포넌트들, 및/또는 논리적으로 상호 작용 가능하고/하거나 논리적으로 상호 작용하는 컴포넌트들을 포함한다.

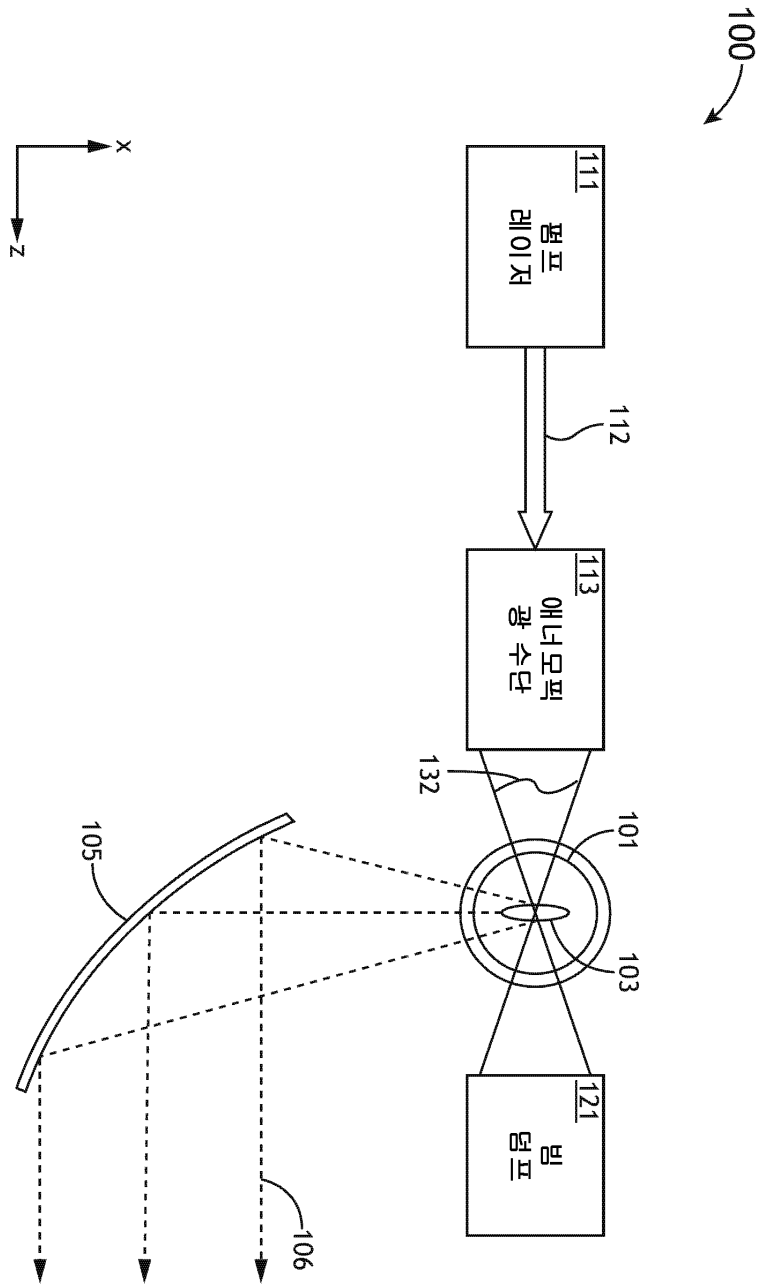
[0088] 본 개시내용 및 그에 수반되는 많은 이점들은 전술한 내용에 의해 이해될 것이며, 개시된 대상물로부터 벗어나지 않으면서 또는 그 주요 이점들을 모두 희생시키지 않으면서, 컴포넌트들의 형태, 구성, 및 배열에 있어서 다양한 변경들이 이루어질 수 있다는 점이 명확하게 될 것이다. 기술되는 형태는 단지 설명하기 위한 것이며, 이하의 청구범위는 그러한 변경들을 포괄하고 포함하기 위한 것이다. 또한, 본 개시내용이 첨부된 청구범위에 의해 정의된다는 점이 이해될 것이다.

도면

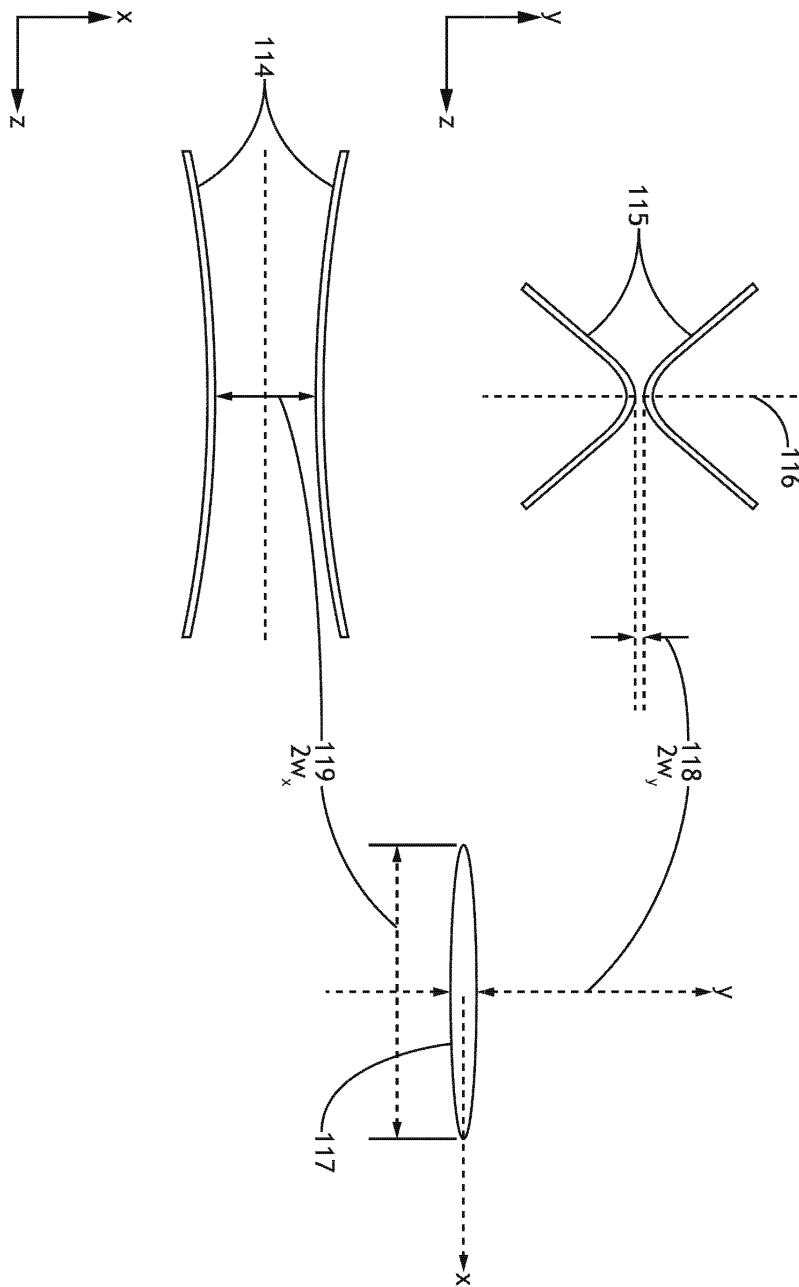
도면1a



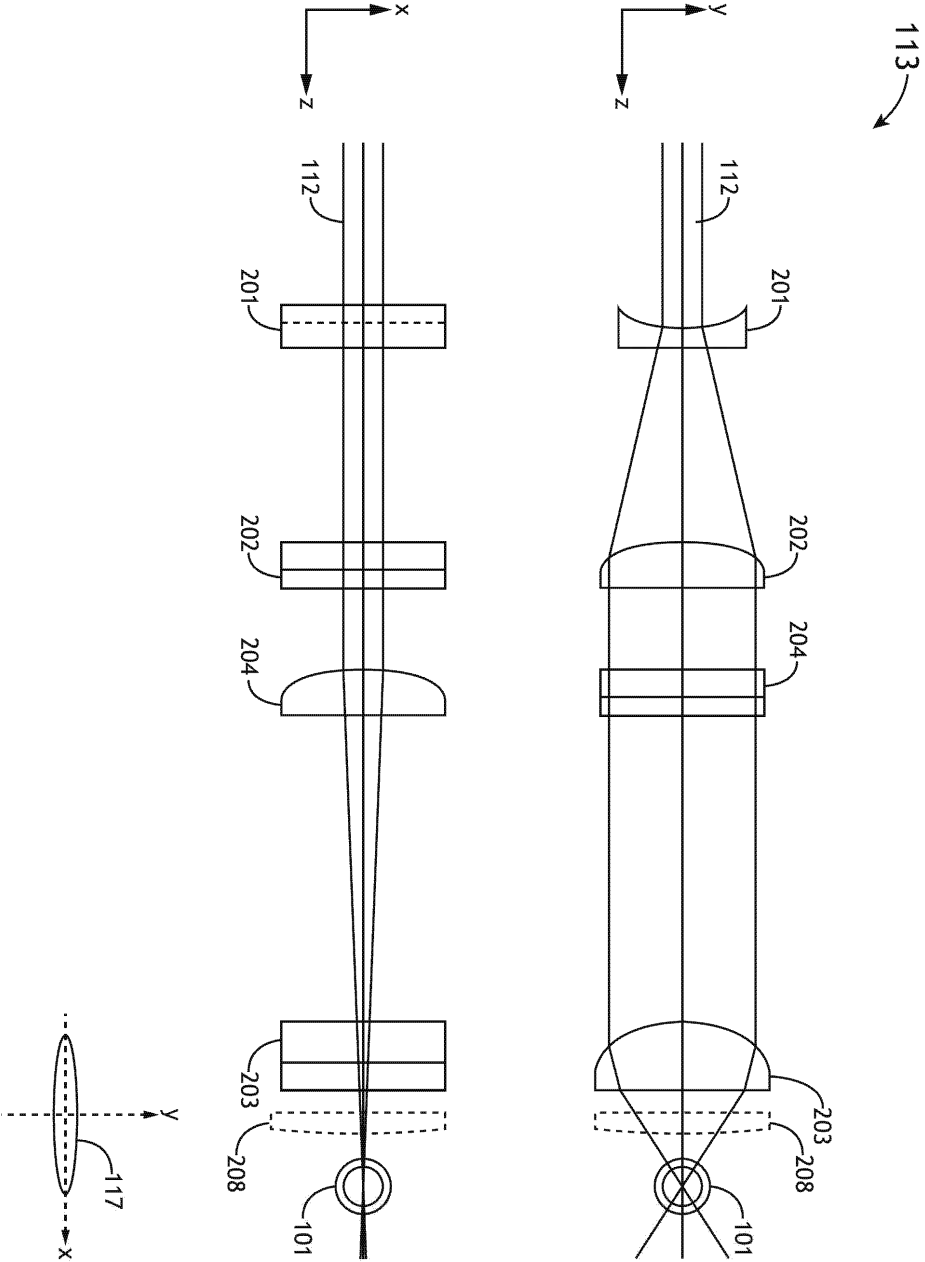
도면1b



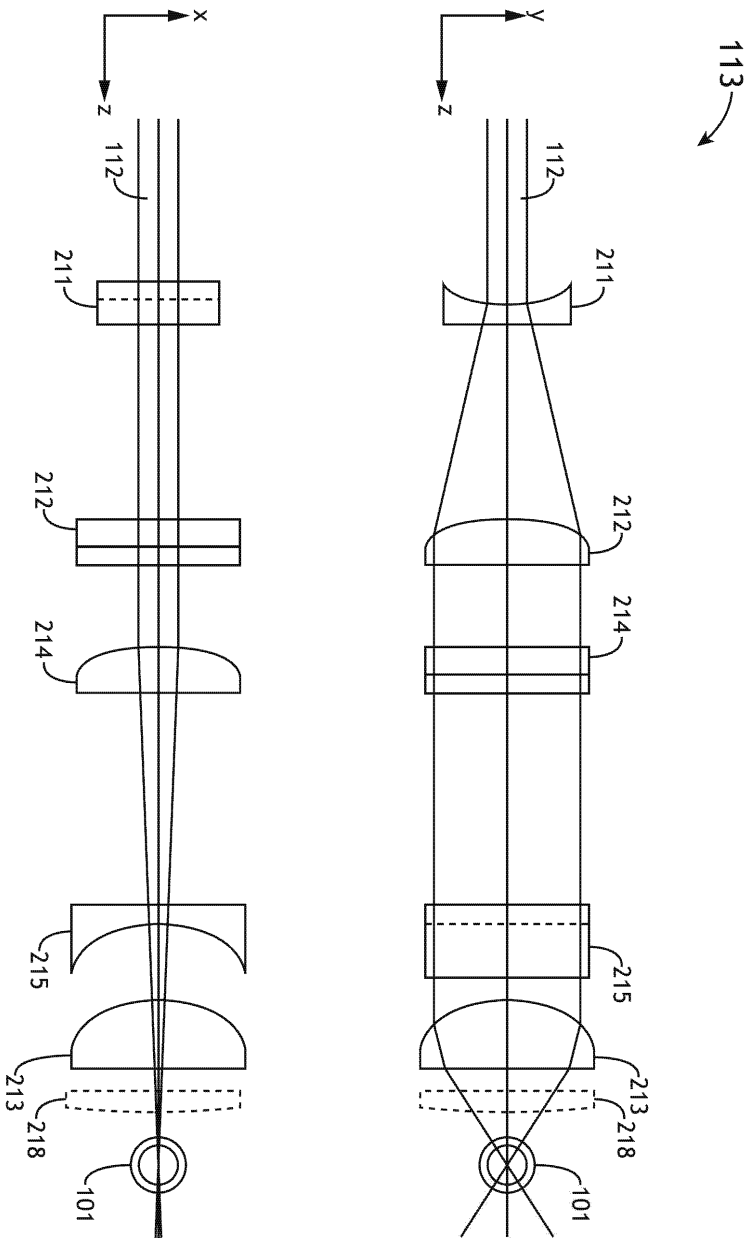
도면1c



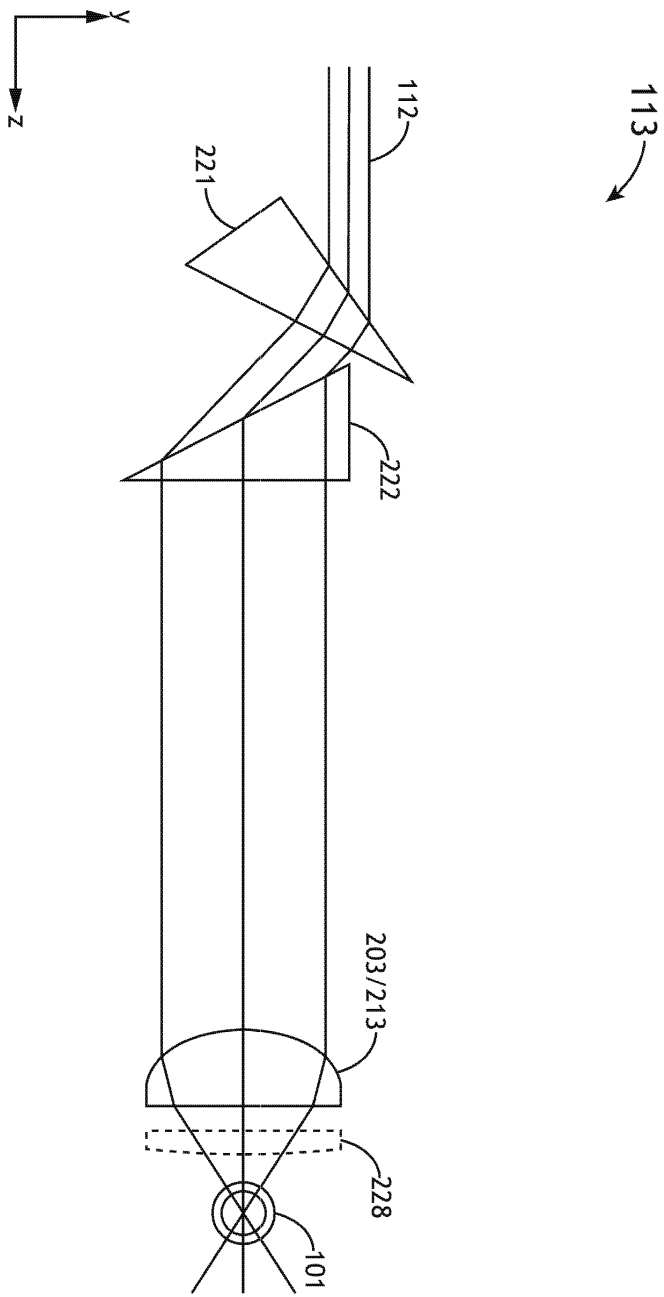
도면2a



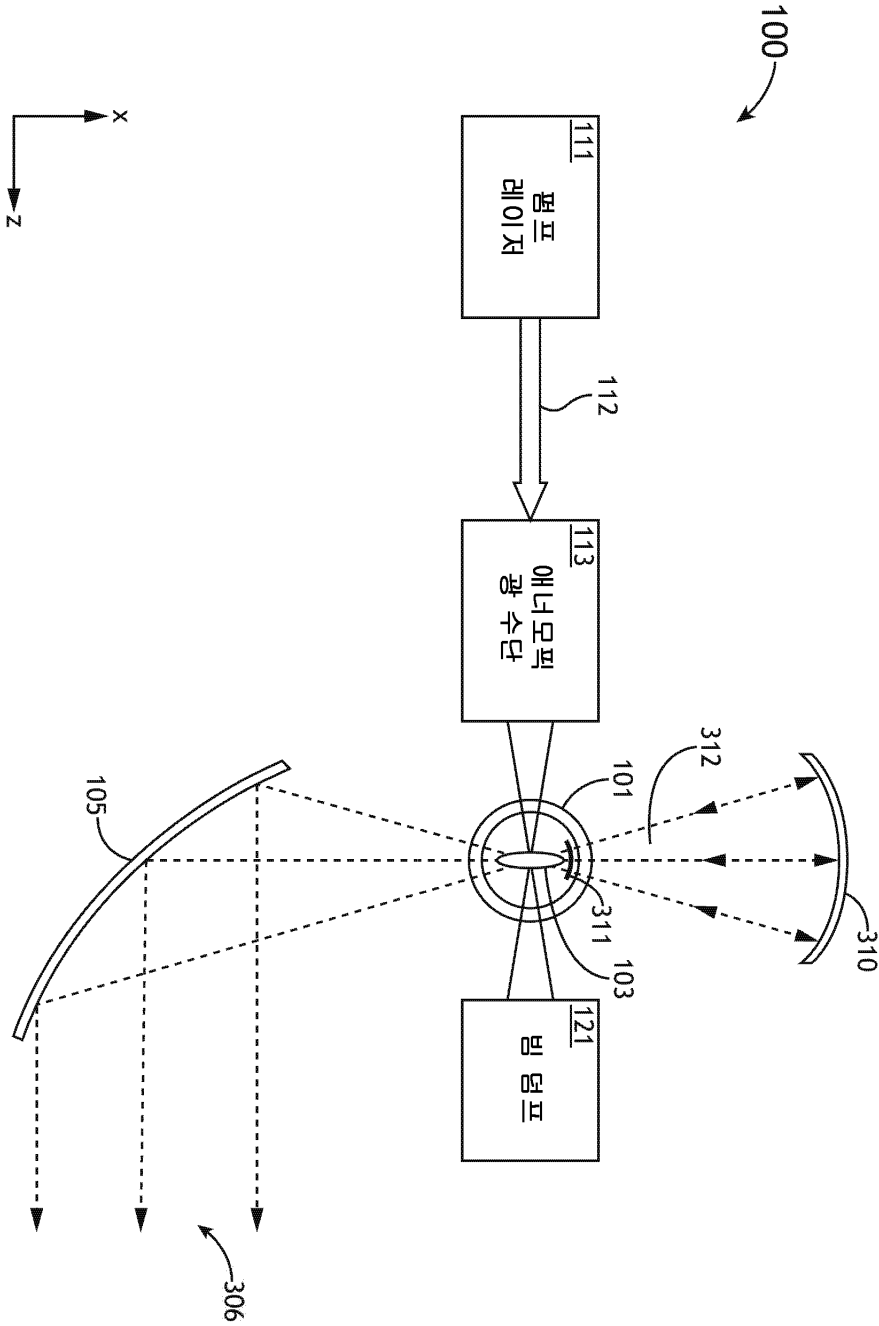
도면2b



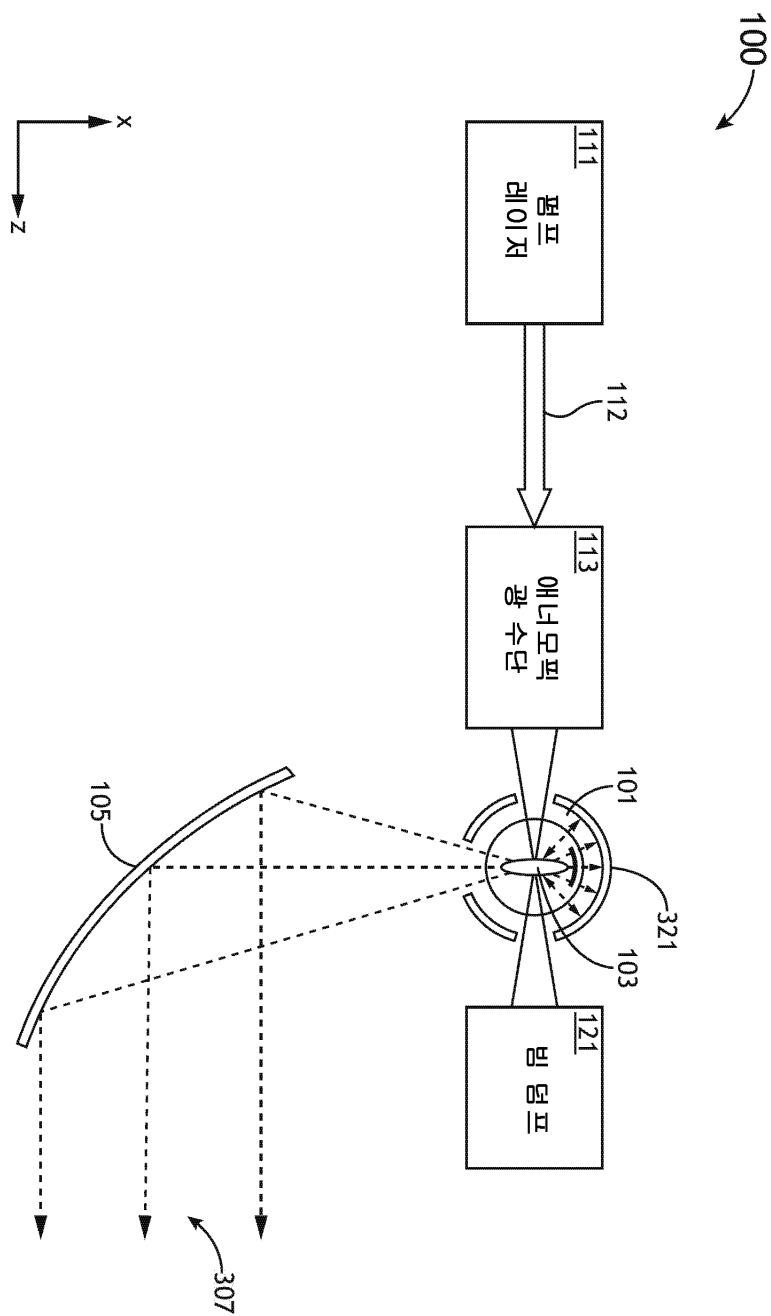
도면2c



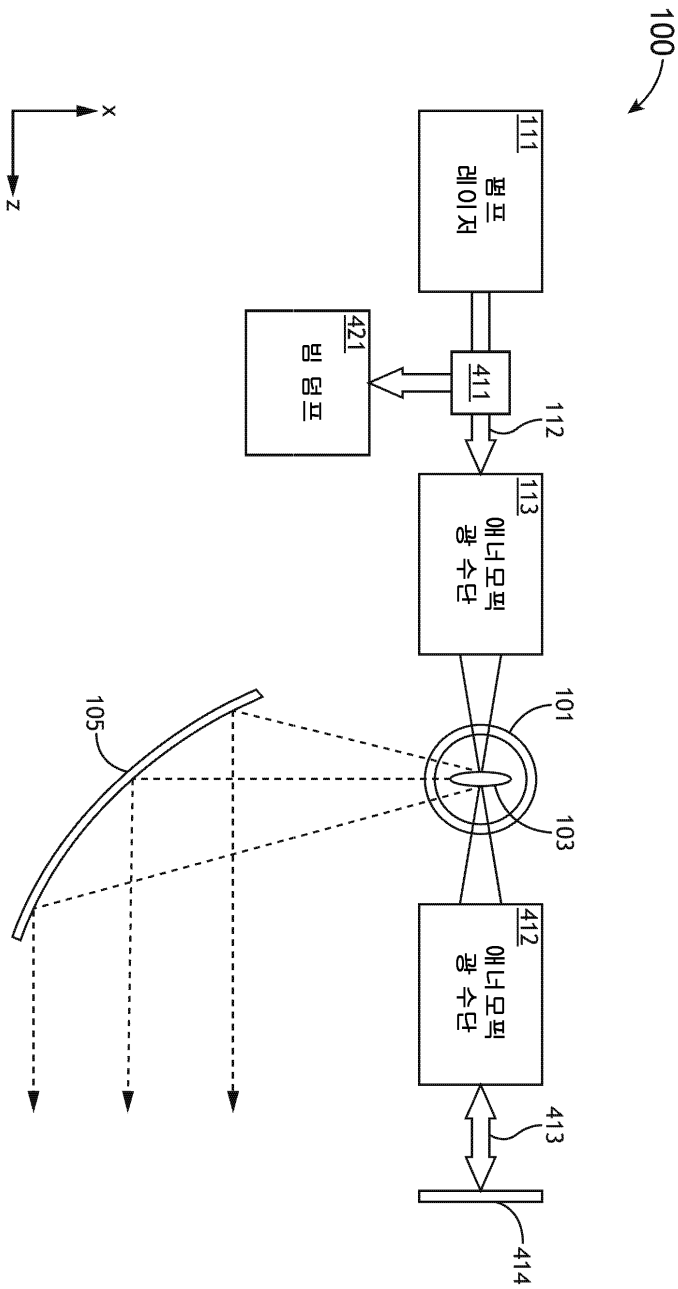
도면3a



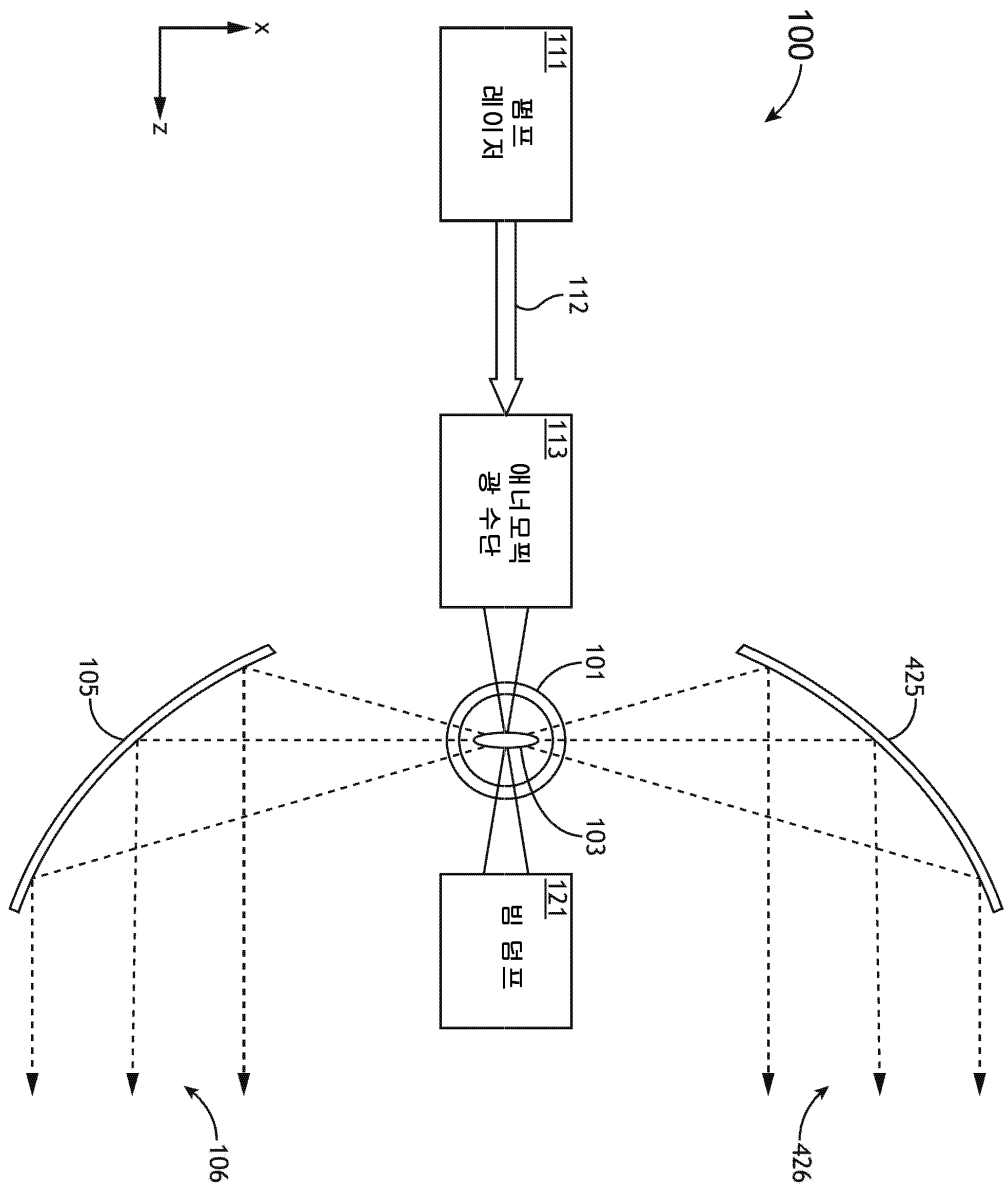
도면3b



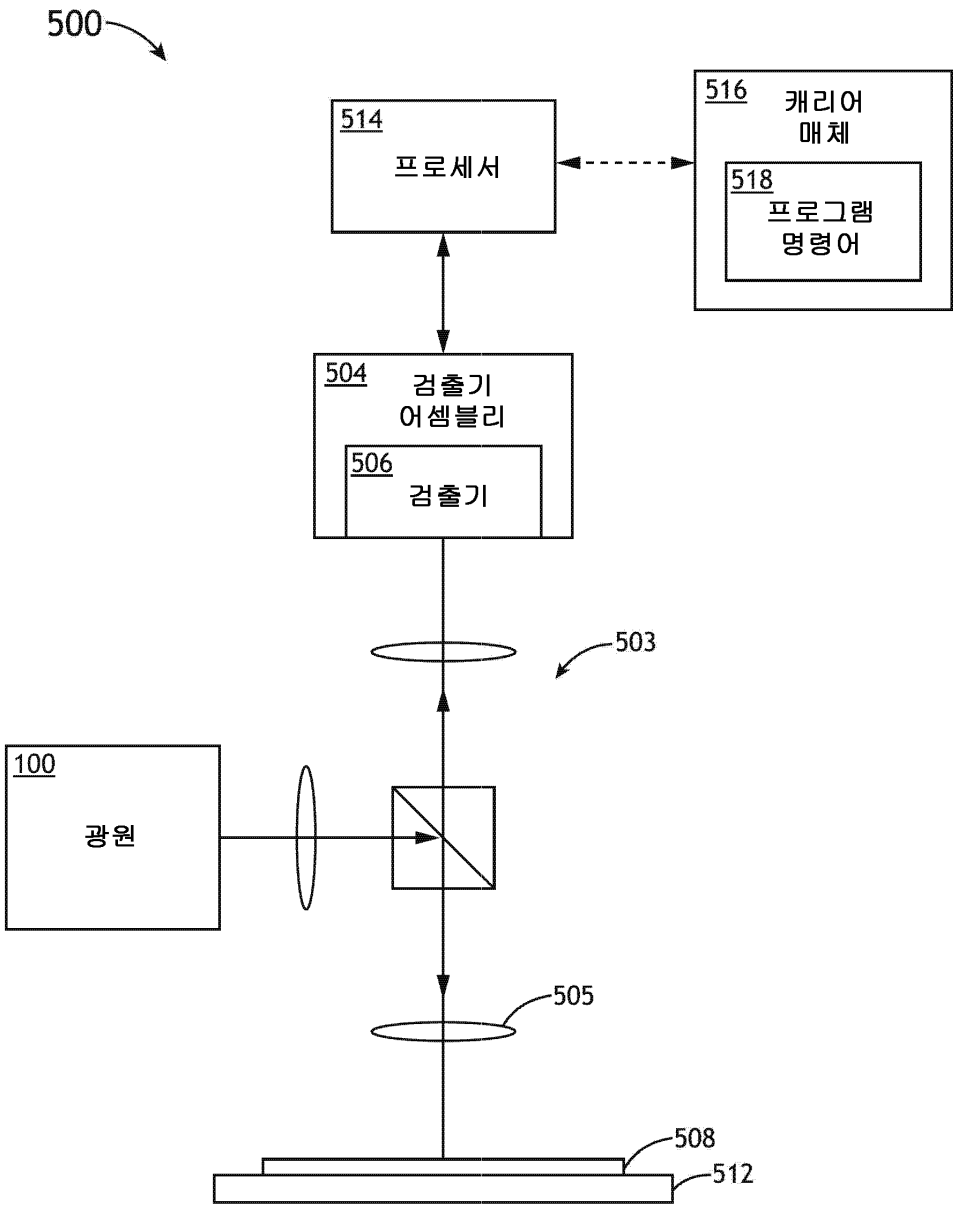
도면4a



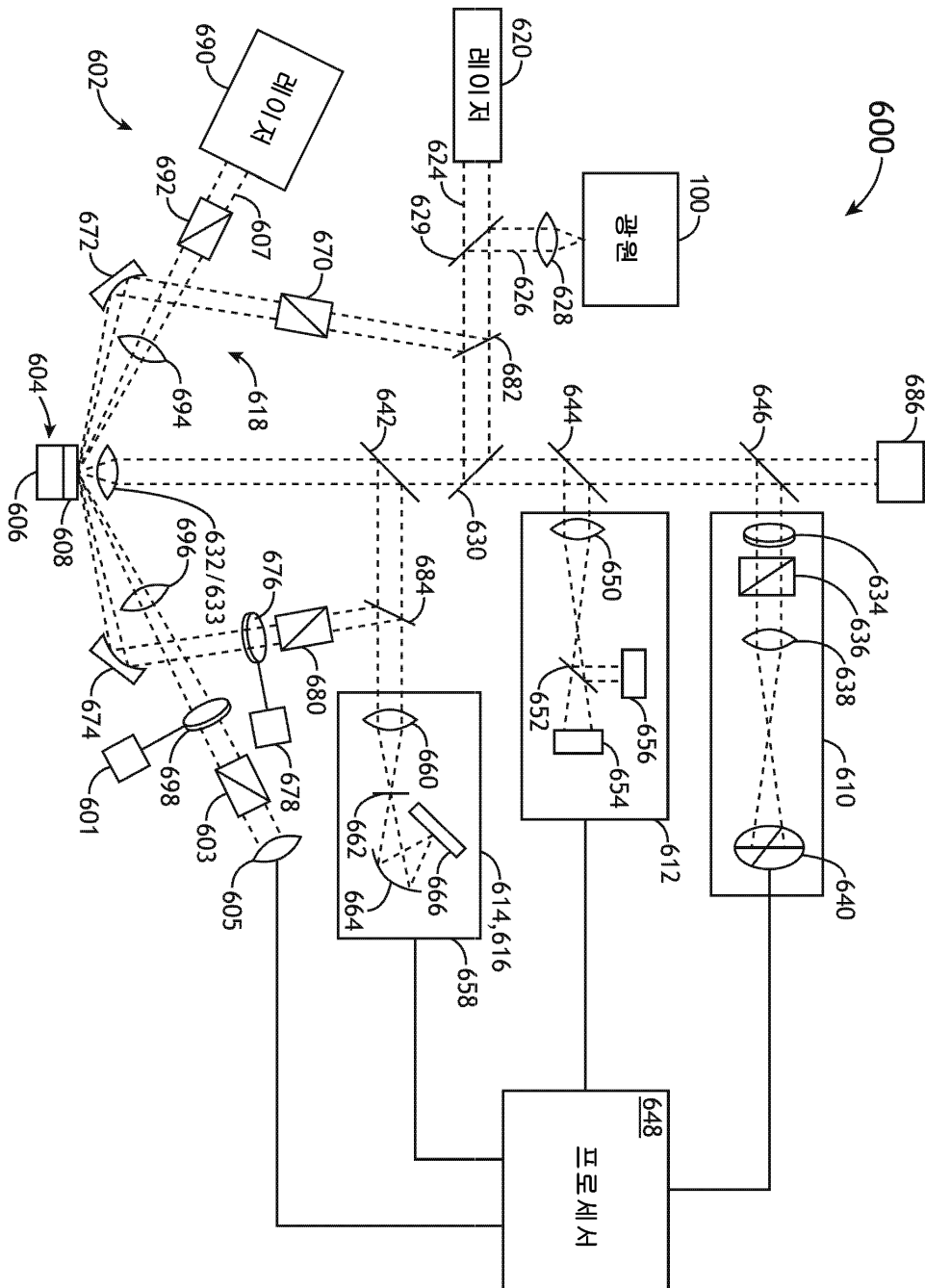
도면4b



도면5



도면6



도면7

