(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년06월01일
(11) 등록번호 10-2117566
(24) 등록일자 2020년05월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/00 (2019.01) *G02F 1/35* (2006.01)
G02F 1/355 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01S 3/0092 (2013.01)
G02F 1/353 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-7000553
(22) 출원일자(국제) 2014년06월11일
심사청구일자 2019년06월11일
(85) 번역문제출일자 2016년01월08일
(65) 공개번호 10-2016-0018768
(43) 공개일자 2016년02월17일
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/041965
(87) 국제공개번호 WO 2014/201152
국제공개일자 2014년12월18일
(30) 우선권주장
61/833,716 2013년06월11일 미국(US)
14/294,019 2014년06월02일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20050078718 A1*
US20120026578 A1*
JP2009535666 A*
US05742626 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크놀로지 드라이브
(72) 발명자
추앙 융호
미국 캘리포니아주 95014 쿠퍼르티노 패럴론 드라이브 10678
류 샤오수
미국 캘리포니아주 95132 샌호세 해프 펜스 웨이 1912
피엘덴 존
미국 캘리포니아주 94024 로스 알토스 빅토리아 코트 2020
(74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 22 항 심사관 : 조성찬

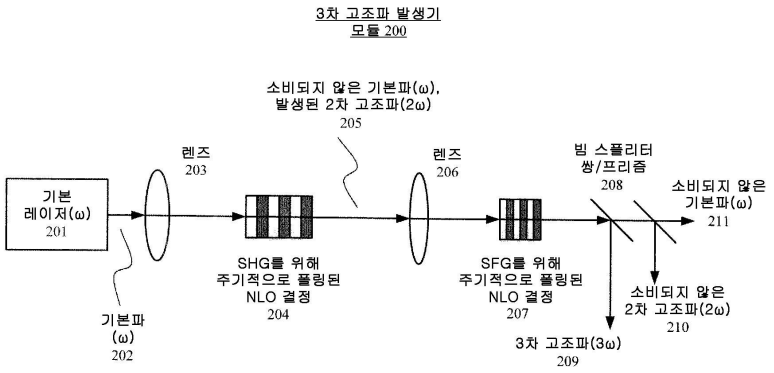
(54) 발명의 명칭 **안정성이 향상된 CW DUV 레이저**

(57) 요 약

심자외선(deep ultra-violet; DUV) 연속파(continuous wave; CW) 레이저는 약 1㎛와 1.1㎛ 사이의 대응하는 파장을 지닌 기본 주파수를 발생하도록 구성된 기본 CW 레이저, 3차 고조파 및 선택적인 2차 고조파를 발생하는 하나 이상의 주기적으로 폴링된(poled) 비선형 광학(non-linear optical; NLO) 결정을 포함하는 3차 고조파 발생

(뒷면에 계속)

대 표 도



기 모듈, 및 4차 고조파 발생기 모듈과 5차 고조파 발생기 모듈 중 하나를 포함한다. 4차 고조파 발생기 모듈은 기본 주파수와 3차 고조파를 조합하여 4차 고조파를 발생하도록 구성된 기본 주파수에서 공진하는 캐비티를 포함한다. 4차 고조파 발생기 모듈은 기본 주파수와 3차 고조파를 조합하여 5차 고조파를 발생하도록 구성된 기본 주파수에서 공진하는 캐비티, 또는 2차 고조파와 3차 고조파를 조합하여 5차 고조파를 발생하도록 구성된 2차 고조파 주파수에서 공진하는 캐비티를 포함한다.

(52) CPC특허분류

G02F 1/3558 (2013.01)

G02F 2001/354 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

심자외선(deep ultra-violet; DUV) 연속파(continuous wave; CW) 레이저에 있어서,

약 1 ㎛와 1.1 ㎛ 사이의 대응하는 파장을 갖는 기본 주파수(fundamental frequency)를 발생하도록 구성된 기본 CW 레이저;

주기적으로 폴링된(poled) 적어도 하나의 제1 비선형 광학(non-linear optical; NLO) 결정을 포함하는 3차 고조파 발생기 모듈 - 상기 3차 고조파 발생기 모듈은 상기 기본 주파수의 제1 부분을 수신하도록 위치되고 3차 고조파를 발생하도록 구성됨 -; 및

4차 고조파 발생기 모듈

을 포함하며,

상기 4차 고조파 발생기 모듈은,

상기 기본 주파수의 상기 약 1 ㎛와 1.1 ㎛ 사이의 대응하는 파장에서 공진하는 캐비티(cavity)를 형성하도록 구성된 복수의 미러(mirror)들;

상기 기본 주파수의 제2 부분이 상기 복수의 미러들에 의해 규정된 캐비티 광 경로를 따라 지향되도록, 상기 캐비티 내에 상기 제2 부분을 결합하도록 구성된 커플러(coupler);

상기 캐비티 광 경로 내에 배치된 제2 NLO 결정;

상기 3차 고조파가 상기 제2 NLO 결정 내부의 상기 제2 부분과 중첩(overlap)되도록, 상기 3차 고조파를 상기 제2 NLO 결정 내부에 포커싱하도록 구성된 하나 이상의 렌즈 - 상기 제2 NLO 결정은, 4차 고조파를 발생시키기 위해 상기 기본 주파수의 상기 제2 부분을 상기 3차 고조파와 조합하도록 구성됨 -; 및

상기 제2 NLO 결정을 떠나는 상기 3차 고조파의 소비되지 않은 부분이 상기 캐비티 내에서 재순환하지 않도록, 상기 소비되지 않은 부분을 상기 캐비티 광 경로로부터 떨어져 반사하도록 구성된 빔 스플리터(beam splitter)

를 포함하고,

상기 제1 부분 및 상기 제2 부분은 상기 기본 CW 레이저로부터 발생된 기본 주파수의 부분들이고, 상기 제1 부분은 상기 제2 부분과 상이한 것인, 심자외선(deep ultra-violet; DUV) 연속파(continuous wave; CW) 레이저.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 3차 고조파 발생기 모듈은 공진 캐비티를 사용하지 않는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 3차 고조파 발생기 모듈은 상기 기본 주파수에서 공진하는 캐비티를 더 포함하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 주기적으로 폴링된 적어도 하나의 제1 NLO 결정은 2차 고조파를 발생하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 주기적으로 폴링된 적어도 하나의 제1 NLO 결정은 상기 3차 고조파를 발생하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 주기적으로 폴링된 적어도 하나의 제1 NLO 결정은 상기 3차 고조파를 직접 발생하기 위한 이중 주기(dual-period)로 폴링된 결정을 포함하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 3차 고조파 발생기 모듈은 두 개의 주기적으로 폴링된 NLO 결정들을 포함하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 주기적으로 폴링된 적어도 하나의 제1 NLO 결정은 3차 고조파 발생 효율을 최대화하도록 온도 제어되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 기본 주파수는 상기 주기적으로 폴링된 적어도 하나의 제1 NLO 결정의 폴링 깊이에 실질적으로 평행한 단축(short axis)을 갖는 타원 빔에 포커싱되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 3차 고조파 발생기 모듈은 2 ㎛보다 긴 도메인 주기로 주기적으로 폴링된 제1 NLO 결정을 사용하여, 상기 3차 고조파의 합 주파수 발생을 위한 3차 의사 위상 매칭(third-order quasi-phase matching)을 달성하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 11

제1항에 있어서,

전자 광학 변조는 3차 고조파 변환 효율을 증대시키는 데에 사용되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저.

청구항 12

심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법에 있어서,

약 1 ㎛와 1.1 ㎛ 사이의 대응하는 파장을 갖는 기본 주파수를 발생하는 단계;

주기적으로 폴링된 제1 NLO 결정을 사용하여 상기 기본 주파수의 제1 부분을 2차 고조파로 변환하는 단계;

3차 고조파를 발생시키도록 상기 기본 주파수의 또 다른 부분을 상기 2차 고조파와 조합하는 단계;

상기 기본 주파수의 제2 부분을, 상기 기본 주파수의 상기 약 1 ㎛와 1.1 ㎛ 사이의 대응하는 파장에서 공진하는 캐비티 내의 상기 3차 고조파와 조합함으로써 4차 고조파를 발생하는 단계 - 상기 4차 고조파를 발생하는 단계는 상기 3차 고조파를 제2 NLO 결정 내부에 포커싱하는 단계를 포함하고, 상기 제2 NLO 결정은, 상기 캐비티 내에 동작가능하게 배치되고 상기 기본 주파수의 상기 제2 부분과 상기 3차 고조파의 합 주파수(sum frequency)

발생을 수행하도록 구성됨 -; 및

상기 제2 NLO 결정을 떠나는 상기 3차 고조파의 소비되지 않은 부분이 상기 캐비티 내에서 재순환하지 않도록, 상기 소비되지 않은 부분을 반사시키는 단계

를 포함하고,

상기 제1 부분 및 상기 제2 부분은 상기 발생된 기본 주파수의 부분들이고, 상기 제1 부분은 상기 제2 부분과 상이한 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

2차 고조파 발생을 위한 상기 주기적으로 폴링된 제1 NLO 결정은 어느 공진 캐비티에도 배치되지 않는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

2차 고조파 발생을 위한 상기 제1 NLO 결정 및 3차 고조파 발생을 위한 또 다른 주기적으로 폴링된 NLO 결정은, 상기 기본 주파수에서 공진하는 또 다른 캐비티 내에 포함되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 2차 고조파 및 상기 3차 고조파는 이중 주기로 폴링된 결정을 사용하여 발생되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 2차 고조파 및 상기 3차 고조파는 두 개의 주기적으로 폴링된 NLO 결정들을 사용하여 발생되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 17

제12항에 있어서,

2차 고조파 발생을 위한 상기 주기적으로 폴링된 제1 NLO 결정은 $LiNbO_3$, SLT, $LiTaO_3$, KTP, KTA, MgO:$LiNbO_3$, 및 MgO:SLT 중의 적어도 하나를 포함하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 18

제12항에 있어서,

상기 주기적으로 폴링된 제1 NLO 결정은 3차 고조파 발생 효율을 최대화하도록 온도 제어되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 19

제12항에 있어서,

상기 기본 주파수는 상기 주기적으로 폴링된 제1 NLO 결정의 폴링 깊이에 실질적으로 평행한 단축을 갖는 타원 빔에 포커싱되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 20

제12항에 있어서,

상기 3차 고조파의 발생은, 2 ㎛보다 긴 도메인 주기로 주기적으로 폴링된 결정을 사용하여 3차 의사 위상 매칭을 달성하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 21

제12항에 있어서,

전자 광학 변조는 3차 고조파 변환 효율을 증대시키는 데에 사용되는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 22

제12항에 있어서,

상기 4차 고조파를 발생하는 단계는, 수소-어닐링된 CLBO, CBO, LBO, LB_4, 또는 BBO를 포함하는 단일 벌크 결정 내부에 상기 3차 고조파를 포커싱하는 단계를 더 포함하는 것인, 심자외선(DUV) 연속파(CW) 레이저 방사선을 발생하는 방법.

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본원은 2013년 6월 11일 추앙(Chuang)등에 의해 출원되고 발명의 명칭이 "안정성이 향상된 CW DUV 레이저(CW DUV LASER WITH IMPROVED STABILITY)"인, 미국 가출원 제61/833,716호의 이익을 주장하며 그 내용 전부가 본원에 참조로서 포함된다.

배 경 기 술

[0002] 반도체 검사 및 계측은 작은 결함을 검출하고 및/또는 작은 치수의 매우 정밀한 측정을 행하기 위해 매우 안정되고 노이즈가 작은 광원을 필요로 한다. 일반적으로, 단파장은 작은 결함 또는 치수에 대해 양호한 감도를 제공하기 때문에, UV 광원, 즉 100nm - 400nm의 파장을 갖는 광원은 매우 중요하다.

[0003] 노이즈가 작고 안정성이 높은 레이저는 가시광 및 근적외선의 파장에 대해 이용가능하다. 하지만, 250mW보다 큰 전력으로 이용가능한 심자외선(DUV) CW 레이저는 극소수이며, 이들 레이저는 고가이고 노이즈가 있으며 장기간 안정성이 열악하며, 빈번한 조정 또는 서비스를 필요로 한다.

[0004] 현재 이용가능한 심자외선(DUV), 즉, 300nm 미만의 파장, CW 레이저는 적외선 (IR;infra-red) 기본 레이저의 4차 고조파를 발생시킴으로써 동작한다. 두 개의 주파수 변환 단계가 사용되는 데, 제1 단계는 2차 고조파를 발생하고 제2 단계는 4차 고조파를 발생한다. 각각의 주파수 변환 단계는 비선형 광학(NLO:non-linear opical) 결정을 사용한다.

[0005] 주파수 배가(doubling) 프로세스는 전계 강도의 제곱에 좌우된다. 상기 결정 내부의 전력 밀도가 낮으면, 변환 프로세스는 매우 비효율적이다. 수 와트 또는 수십 와트의 전력의 적외선 레이저는, NLO 결정에 포커싱되면, 낮은 전력 밀도로 인해 매우 적은 2차 고조파를 산출한다. 이는, 피크 전력 밀도가 평균 전력 밀도보다 수 배 높기 때문에 상당한 양의 2차 고조파를 산출하는 (가장 양호한 경우엔, 입력의 50%가 2차 고조파로 변환될 수 있음), 유사한 평균 전력의 펄스 레이저와 대조된다.

[0006] DUV CW(연속파) 레이저는 공진 캐비티를 사용하여 NLO 결정 내에서 전력 밀도를 증가시킴으로써 변환 효율을 향상시킨다. 2차 고조파로 변환되지 않고 NLO 결정을 통과하는 광의 대부분은 전력 밀도를 증대시키도록 공진 캐비티에서 재순환한다. 2차 고조파는 공진 캐비티로부터 유출될 수 있다. 결국, 전력 밀도는 공진 캐비티 내의 2차 고조파와 손실의 합으로서 공진 캐비티에서 유출하는 전력이 입력 전력과 같게 되는 레벨로 증대한다. 그러므로, 심자외선(DUV) 파장을 발생시키기 위해, 이들 캐비티 중 2개는 직렬로 연결되어야 한다. 제1 공진 캐비티는 IR 기본 레이저를 재순환시킴으로써 2차 고조파(즉, 가시광 파장, 전형적으로는, 532 nm 등의 녹색 파장)를 발생하고, 제2 공진 캐비티는 2차 고조파를 재순환시킴으로써 4차 고조파(즉, 266 nm 등의 심자외선(DUV) 파장)를 발생시킨다.

[0007] 도 1은 두 개의 공진 캐비티를 포함하는 예시적인 심자외선(DUV) CW 레이저(100)를 도시한다. 레이저(100)에서, 2차 고조파 발생용 제1 캐비티는 미러(110, 111, 112, 및 113) 및 NLO 결정(115)을 포함한다. 4차 고조파 발생용 제2 캐비티는 미러(130, 131, 132, 및 133) 및 NLO 결정(135)을 포함한다. 특히, 이들 캐비티는 능동적으로 제어되어야 한다. 제1 캐비티에 대한 제어는 (주파수 f1의 신호를 발생하는) 오실레이터(104), 변조기(103), 포토다이오드(105), 및 (액추에이터 제어 신호(107)를 발생하여 미러(111)의 위치를 제어하는) 동기 검파기(106)를 포함한다. 제2 캐비티에 대한 제어는 (주파수 f2의 신호를 발생하는) 오실레이터(124), 변조기(123), 포토다이오드(125), 및 (액추에이터 제어 신호(127)를 발생하여 미러(131)의 위치를 제어하는) 동기 검파기(126)를 포함한다.

[0008] 레이저는 파장이 1064 nm인 IR 광을 발생하는, 기본 레이저(101)이다. 이 IR 광은 미러(110)를 통해 제1 캐비티에 입사하고, 미러(111 및 112)로부터 반사된 후, NLO 결정(115)에 입사한다. NLO 결정(115)에 입사하는 IR 광의 일부는 532nm 파장의 2차 고조파로 변환된다. 532nm 광은 미러(113)를 통과하여 제2 캐비티에 지향된다. NLO 결정(115)을 통과하는 광의 대부분은 변환되지 않은 채 NLO 결정으로부터 나오고, 532nm 광은 투과시키는 한편 1064nm의 광은 반사하도록 코팅된 미러(113)로부터 반사한다. 미러(113)로부터 반사한 광은 입력 미러(110)에 도달한다. 미러(110)의 코팅은 미러(113)로부터 광선의 입사 각도로 도달하는 IR광에 대해선 고반사성을 갖고 기본 레이저(101)로부터 도달하는 입력 IR 방사선에 대해선 고 투과성을 갖도록 설계된다.

[0009] 제1 캐비티 내에서 고 전력 밀도를 증대시키기 위해선, 제1 캐비티 주위를 순환한 IR 방사선이 입력 방사선과 동상으로 미러(110)에 도달하는 것이 중요하다. 이러한 동상 도달은 (예를 들어, 압전 트랜스듀서 또는 음성 코일을 사용하여) 기계적으로 미러(111)를 이동시켜서 올바른 캐비티 광 경로 길이를 유지하는 서보 제어를 이용하여 달성될 수 있다. 포토다이오드(105)는 제1 캐비티에서 순환하는 광의 적은 부분을 모니터하여 신호를 서보 제어에 제공한다. 입력 레이저 빔은 주파수 f1으로 변조기(103)에 의해 변조되어 서보 제어에 의해 사용되는 시변 신호를 제공함으로써 제1 캐비티가 조정될 필요가 있는 지의 여부를 판정하고, 조정될 필요가 있는 경우엔, 어느 방향으로 조정되어야 하는 지를 판정한다. 제1 캐비티에 대해 상기 설명한 서보 제어 루프는 흔히 사용되며 PDH(Pound-Drever-Hall) 제어로 알려져 있다. 이 제어의 이론은 드레버(Drever)등에 의한, "Laser phase and frequency stabilization using an optical resonator", Appl. Phys. B 31, pp 97-105 (1983)"에 설명되어 있다. 추가적인 상세 사항은, 1994년 11월 22일 특허 허여되고, 발명의 명칭이 "Laser light beam generating apparatus"인 미국 특허 제 5,367,531호 및 "LIGO Technical note LIGO-T980045-00-D by Black (1998)"에서 알 수 있다.

[0010] 레이저 서보 제어 루프에서 흔히 이용되는 다른 방법은 한쉬-쿨리아드(Hansch-Couillaud(HC)) 기술이다. 이 방법에서, 입사하기 전엔 빔에 대해 어떠한 변조도 필요 없지만, 이 기술은 편광에 감응하는 캐비티에 대해서만 기능을 발휘한다. 이 방법은 총 반사 빔 또는 투과 빔의 편광을 검출하여 캐비티가 공진상태에 있는 지를 판정한다. 이 방법에 대한 추가의 상세사항은 "Laser frequency stabilization by polarization spectroscopy of a reflecting reference cavity", by Haensch and Couillaud, Opt. Commun. 35(3), 441 (1980)"에서 알 수 있다.

[0011] 제2 캐비티는 입력 파장이 532nm이고 출력 파장이 266nm인 것을 제외하곤 제1 캐비티와 실질적으로 유사한 방식으로 동작한다. 제2 캐비티 컴포넌트의 코팅 및 물질은 상기 파장들에 대해 적합하게 선택된다. 레이저(100)에서, 제2 변조기(123)는 제2 캐비티에 입사하기 전에 주파수 f2로 광을 변조한다. 상기 광은 미러(130)를 통해 제2 캐비티에 입사하고, 미러(131 및 132)로 부터 반사된 후, NLO 결정(135)에 입사한다. NLO 결정(135)에 입사하는 광의 일부는 266nm 파장의 4차 고조파로 변환된다. 2662nm 광은 미러(133)를 통과하여 레이저(100)의 출력에 지향된다. NLO 결정(135)을 통과하는 광의 대부분은 변환되지 않은 채 NLO 결정으로부터 나오고, 266nm 광은 투과시키는 한편 532nm의 광은 반사하도록 코팅된 미러(133)로부터 반사한다. 미러(133)로부터 반사한 광은 입력 미러(130)에 도달한다. 미러(130)의 코팅은 미러(133)로부터 광선의 입사 각도로 도달하는 광에 대해선 고반사성을 갖고 변조기(123)로부터 도달하는 입력 광에 대해선 고 투과성을 갖도록 설계된다. 포토다이오드(125)는 순환하는 광의 적은 부분을 모니터한다. 포토다이오드(125)로부터의 광은 동기 검파기(126)에 의해 사용됨으로써 올바른 캐비티 광 경로 길이를 유지하기 위해 미러(131)의 위치를 제어하는 제어 신호(127)를 발생시킨다.

[0012] 일부 실시예(도시되지 않음)에서, 변조기(123) 및 오실레이터(124)는 생략되고 따라서 서보 루프들은 모두 동일 변조 주파수에서 동작한다. 다른 실시예(도시되지 않음)에서, 변조기(103 및 123)는 생략된다. 이 경우, 기본 레이저(101)는 두 개의 모드가 발생하도록

[0013] 레이저를 동작시켜서 변조 출력을 발생시킨다. 이들 두 모드는 적절하게 변조된 출력이 두 모드의 충돌에 의해 발생하도록 파장이 분리되고 상대적인 진폭을 갖도록 선택될 수 있다.

[0014] 하나 또는 두 개의 캐비티는 4개 미러 대신 2개 또는 3개의 미러를 포함할 수 있다.

[0015] 종래 기술의 일부 디바이스에서, UV 출력 파장은 NLO 결정(135)과 미러(133) 사이에 위치된 빔 스플리터(도시되지 않음)에 의해 재순환하는 가시 광으로부터 분리될 수 있다. 종래 기술의 일부 디바이스에서, 주기적으로 폴링된 비선형 광학(NLO) 물질은 주파수 변환에 사용되어 의사 위상(quasi-phase) 매칭으로 녹색 광 및/또는 UV CW 광을 발생한다. 현재 반도체 검사에 유용한 전력 레벨로 DUV 광을 발생할 수 있는 주기적으로 폴링된 물질은 이용할 수 있는 것이 없다.

[0016] 상기 설명한 바와 같이, 종래 기술의 디바이스에서, 두 개의 주파수 배가 캐비티들은 직렬로 사용될 수 있다. 이 경우, 제1 캐비티는 IR 영역의 파장에 대응하는 기본 주파수에서 공진하고 제2 캐비티는 IR 광의 1/2 파장을 갖는 2차 고조파 주파수에 대해 공진한다. 동일 양만큼의 캐비티 광 경로 길이 변화를 위해, 제2 캐비티의 위상 변화는 제1 캐비티에 비해 두 배이다. 결과적으로, 제2 캐비티는 높은 감도로 인해 안정화하기가 더 어렵다. 또한, 제1 캐비티로부터의 노이즈는 전형적으로 제2 캐비티와 결합되고 안정성에 상당한 영향을 미침으로써, 제2 캐비티의 변환 효율을 저하시킨다. 특히, 제2 캐비티의 피드백 루프는 노이즈를 캐비티 자체 및 그 입력 광과 구별하지 못한다. 따라서, 제2 캐비티는 불일치를 보상하려는 시도를 계속한다. 결과적으로, 이 유형의 종래 기

술의 CW DW 레이저는 노이즈가 많고 안정성을 위해 복잡한 서보 제어를 필요로 한다.

[0017] 종래 기술의 디바이스의 다른 제한사항은 캐비티의 피드백 루프는 단지 캐비티 광 경로 길이 변화를 보상하도록 캐비티 길이를 조정할 수 있을 뿐이라는 것이다. 캐비티 초점 또는 수차의 변화는 캐비티 길이를 조정하는 것에 의해선 보상될 수 없다.

[0018] 예를 들어, 비선형 결정 내부의 온도 구배는 그 결정 내부에 비균일한 굴절율 프로파일을 생성한다. 결정의 평균 굴절율의 변화는 캐비티의 평균 광 경로 길이를 변화시키고 물리적인 캐비티 길이 변화에 의해 보상될 수 있다. 그러나, 굴절율에서의 공간 변동은 캐비티 내의 광학 소자의 초점길이를 변화시킬 수 있거나 및/또는 순환하는 레이저 빔의 초점에 있어서의 수차를 생성할 수 있다. 초점의 변화는, 원리적으로는, 캐비티가 초점의 변화를 검출할 수 있는 센서를 포함하고 있으면 캐비티 길이의 변화에 의해 보상될 수 있지만, 필요로 되는 캐비티 길이의 변화는 캐비티가 공진하는 것을 유지하도록 광경로 길이를 유지하는 데에 필요한 캐비티 길이 변화와 같지 않게 된다. 따라서, 초점에 대한 보정은 레이저의 출력 전력이 불안정하게 하거나 불안정하게 되도록 할 것이다. 수차는 상이한 방향에서의 상이한 초점 위치에 의해 초래되므로, 어떠한 캐비티 길이의 변화도 수차를 보상할 수 없다. 초점 및 수차의 변화는, DUV 광은 기본 또는 2차 고조파 광에 의해 유도되는 것보다 NLO 결정 특성에서의 더 큰 변화를 유도할 수 있기 때문에, 제1 캐비티 보단 제2 캐비티에서 더 심각한 문제이다.

[0019] 따라서, 상기한 단점들의 일부 또는 전부를 극복하는 한편, 노이즈가 작고, 장기간 안정성이 양호한, 약 250mW 보다 큰 전력 레벨을 갖는 DUV CW 레이저가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0020] 본원에 설명된 개선된 레이저 시스템 및 연관 기술에 따라, IR 레이저의 기본 주파수의 4차 또는 5차 고조파에 대응하는 주파수를 갖는 심자외선(DUV;deep ultra-violet) 연속파 (CW;continuous wave) 레이저 시스템은 단 하나의 공진 캐비티 또는 두 개의 IR 공진 캐비티를 이용하여 생성될 수 있다. 개선된 레이저 시스템은 종래 기술의 DUV CW 레이저에 비해 덜 복잡한 피드백 루프 및 더욱 양호한 안정성을 갖는다.

과제의 해결 수단

[0021] DUV CW 레이저 시스템은 기본 CW 레이저, 3차 고조파 발생기, 및 4차 고조파 발생기를 포함한다. 기본 CW 레이저는 약 1㎛와 1.1㎛ 사이의 대응하는 파장을 지닌 기본 주파수를 발생하도록 구성된다. 3차 고조파 발생기 모듈은 3차 고조파를 발생하는 적어도 하나의 주기적으로 폴링된 비선형 광학 (NLO:non-linear optical) 결정을 포함한다. 4차 고조파 발생기 모듈은 기본 주파수에서 공진하는 캐비티를 포함한다. 4차 고조파 발생기 모듈은 기본 주파수와 3차 고조파를 조합하여 4차 고조파를 발생하도록 구성된다.

[0022] 다른 DUV CW 레이저 시스템은 기본 CW 레이저, 3차 고조파 발생기, 및 5차 고조파 발생기를 포함한다. 기본 CW 레이저는 약 1㎛와 1.1㎛ 사이의 대응하는 파장을 지닌 기본 주파수를 발생하도록 구성된다. 3차 고조파 발생기 모듈은 3차 고조파를 발생하는 적어도 하나의 주기적으로 폴링된 비선형 광학 결정(NLO)을 포함한다. 5차 고조파 발생기 모듈은 기본 주파수와 3차 고조파를 조합하여 5차 고조파를 발생하기 위한 기본 주파수에서 공진하는 캐비티를 포함한다.

[0023] 또 다른 DUV CW 레이저 시스템은 기본 CW 레이저, 3차 고조파 발생기, 및 5차 고조파 발생기를 갖는다. 기본 CW 레이저는 1㎛와 1.1㎛ 사이의 대응하는 파장을 지닌 기본파를 발생하도록 구성된다. 3차 고조파 발생기 모듈은 2차 고조파 및 3차 고조파를 발생하는 적어도 하나의 주기적으로 폴링된 비선형 광학 결정(NLO)을 포함한다. 5차 고조파 발생기 모듈은 2차 고조파와 3차 고조파를 조합하여 5차 고조파를 발생하기 위한 2차 고조파에서 공진하는 캐비티를 포함한다.

[0024] 다양한 실시예들이 하기의 특징들을 가질 수 있다. 3차 고조파 발생기 모듈은 공진 캐비티를 사용하지 않을 수 있다. 3차 고조파 발생기 모듈은 기본 주파수에서 공진하는 캐비티를 더 포함할 수 있다. 적어도 하나의 주기적으로 폴링된 비선형 광학 결정(NLO)은 2차 고조파 및 3차 고조파를 발생할 수 있다. 적어도 하나의 주기적으로 폴링된 NLO 결정은 3차 고조파의 직접 발생을 위한 이중 주기로 폴링된 결정을 포함할 수 있다. 3차 고조파 발생기 모듈은 두 개의 주기적으로 폴링된 NLO 결정을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 주기적으로 폴링된 NLO 결정은 온도 제어되어 3차 고조파 발생 효율을 최대로 할 수 있다. 기본 주파수는 적어도 하나의 주기적으로 폴링된 NLO 결정의 폴링 깊이에 실질적으로 평행한 단축을 갖는 타원 빔에 포커싱될 수 있다. 3차 고조파 발생기 모

듈은 2㎛보다 긴 도메인 주기로 주기적으로 폴링된 NLO 결정을 사용하여 3차 고조파의 합 주파수 발생을 위한 3차 의사 위상 매칭(quasi-phase matching)을 달성할 수 있다. 전자 광학 변조는 3차 고조파 변환 효율을 향상시키는 데에 사용될 수 있다. 4차 고조파 발생기 모듈은 캐비티에서 3차 고조파를 재순환시키지 않을 수 있다. 5차 고조파 발생기 모듈은 캐비티에서 3차 고조파를 재순환시키지 않을 수 있다. 5차 고조파 발생기 모듈은 캐비티에서 3차 고조파를 재순환시키지 않을 수 있다.

[0025] 약 1㎛ 내지 1.1㎛의 파장에 대응하는 기본 주파수로부터 4차 고조파를 발생하는 방법이 설명된다. 2차 고조파 주파수는 주기적으로 폴링된 NLO 결정을 사용하여 기본 주파수의 일부분을 변환하여 생성된다. 기본 주파수의 다른 부분은 2차 고조파와 조합하여 3차 고조파를 발생시킨다. 4차 고조파는 기본 주파수에서 공진하는 캐비티 내에서 3차 고조파와 기본 주파수의 다른 부분을 조합하여 생성된다. 이 방법에서, 기본 주파수 캐비티 및 2차 고조파 캐비티를 직렬로 사용하는 종래 기술의 시스템에 비해, 2차 고조파에서 공진하지 어떠한 캐비티도 사용되지 않는다. 2차 고조파는 기본 주파수의 1/2인 파장을 갖기 때문에, 2차 고조파에서 공진하는 캐비티는 기본 주파수에서 공진하는 캐비티보다 덜 안정적이고 표류하기가 더 쉽고 불안정하다.

[0026] 약 1㎛ 내지 1.1㎛의 파장에 대응하는 기본 주파수로부터 5차 고조파를 발생하는 방법이 설명된다. 기본 주파수의 일부분은 주기적으로 폴링된 NLO 결정을 사용하여 2차 고조파로 변환된다. 기본 주파수의 다른 부분은 2차 고조파와 조합하여 3차 고조파를 발생시킨다. 4차 고조파는 기본 주파수에서 공진하는 캐비티 내에서 3차 고조파와 기본 주파수의 다른 부분을 조합하여 발생된다. 5차 고조파는 캐비티 내부에서 재순환하는 기본 주파수와 4차 고조파를 조합하여 발생된다.

[0027] 약 1㎛ 내지 1.1㎛의 파장에 대응하는 기본 주파수로부터 5차 고조파를 발생하는 방법이 설명된다. 기본 주파수의 일부분은 주기적으로 폴링된 NLO 결정을 사용하여 2차 고조파로 변환된다. 기본 주파수의 다른 부분은 2차 고조파와 조합하여 3차 고조파를 발생시킨다. 5차 고조파는 2차 고조파에서 공진하는 캐비티 내에서 3차 고조파와 2차 고조파를 조합하여 발생된다.

[0028] 일 실시예에서, 2차 고조파를 발생하는 NLO 결정은 임의의 공진 캐비티 내에 위치되지 않는다. 이 실시예에서, 단 하나의 공진 캐비티, 즉, 4차 및 5차 고조파를 발생하는 캐비티가 사용된다. 다른 실시예에서, 2차 및 3차 고조파를 발생하는 NLO 결정은 기본 주파수에서 공진하는 캐비티 내에 포함된다. 이 실시예에서, 두 개의 공진 캐비티, 즉, 기본 주파수에서만 공진하는 캐비티들이 사용된다.

[0029] 일 실시예에서, 2차 고조파 및 3차 고조파를 발생하는 NLO 결정은 어떠한 공진 캐비티 내에도 위치되지 않는다. 이 실시예에서, 2차 고조파에서 공진하는 단 하나의 캐비티, 즉, 5차 고조파를 발생하는 캐비티가 사용된다. 다른 실시예에서, 2차 및 3차 고조파를 발생하는 NLO 결정은 기본 주파수에서 공진하는 캐비티 내에 포함된다. 이 실시예에서, 종래 기술의 디바이스에서와 같이, 두 개의 공진 캐비티가 사용되는 데, 하나의 공진 캐비티는 기본 주파수에서 공진하고 2차 고조파에서 공진하는 다른 하나의 공진 캐비티가 뒤따른다. 특히, 이 구성은 종래 기술의 디바이스에 비해 더욱 고차의 주파수를 발생한다.

[0030] 기본 주파수가 1064㎛의 파장을 발생시키면, 4차 고조파 주파수는 266㎛의 파장에 대응하고 5차 고조파는 약 213㎛의 파장에 대응하게 된다는 것을 알아야 한다. 기본 주파수의 레이징 매체는 이터븀 도핑된(ytterbium-doped) 광섬유, 네오디뮴 도핑된(neodymium-doped) 결정, 네오디뮴 도핑된 이트륨 알루미늄 가닛(neodymium-doped yttrium aluminum garnet) 결정, 네오디뮴 도핑된 이트륨 오쏘바나데이트(neodymium-doped yttrium orthovanadate) 결정 또는 네오디뮴 도핑된 가돌리늄 반다데이트(neodymium-doped gadolinium vanadate)를 포함한다.

[0031] 직접 3차 고조파 발생은 광 매체의 작은 $\chi^{(3)}$ 비선형성 및 위상 일치 제약 조건으로 인해 어렵다. 따라서, 본원에 개시된 개선된 레이저에서는, 입력 빔의 주파수 배가 및 후속하는 합 주파수 발생으로 시작되는, 종속 접속 프로세스에 의해 실현되는 데, 이들 두 프로세스는 $\chi^{(2)}$ 비선형성을 갖는 비선형 결정 물질을 기초한다.

[0032] 3차 고조파 발생기 모듈의 일 실시예에서, 주기적으로 폴링된 결정은 의사-위상 매칭(QPM)에 사용된다. 벌크 NLO 결정을 갖는 완전히 위상이 일치된 경우에 비해, QPM은 모든 상호작용하는 파에 대해 동일한 편광 방향을 이용할 수 있도록 하고, 이는 흔히 비선형 텐서보다 강한 요소를 사용하는 것에 대응한다. 변환 효율은 임계 위상 매칭보다 상당히 높을 수 있다. 전파 방향은 결정 광축을 따를 수 있고, 이에 따라 공간 벗어남이 회피되고, 수용각이 크게 된다. 더욱이, 주기적으로 폴링된 결정은 상이하게 지향된 도메인은 서로 상쇄하는 경향이 있기 때문에 광굴절이 축소될 수 있다.

[0033] 폴링 주기는 특정한 비선형 프로세스들이 의사 위상 매칭될 수 있는 파장을 결정한다. 올바른 폴링 주기의 계산은, 예를 들어, 근사화 셀마이어(Sellmeier) 등식으로부터 획득된 굴절율 값들을 기초로 한다.

[0034] 기본 주파수를 발생하고 고품질의 주기적으로 폴링된 결정을 사용하는 고전력 단일 주파수 IR 레이저를 이용하여, 단일 패스 방법은 후속하는 합 주파수 발생 단계에 대해 충분한 3차 고조파 주파수를 발생할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 두 개의 공진 캐비티를 포함하는 예시적인 종래 기술의 심자외선 (deep-UV) CW 레이저를 도시한다.

도 2a는 단일 경로 구성에 있어서 예시적인 3차 고조파 발생기 모듈을 도시한다.

도 2b는 효율적인 3차 고조파 발생을 위해 단일한 결정을 갖는 다른 예시적인 3차 고조파 발생기 모듈을 도시한다.

도 2c는 3차 고조파 발생용 기본 전력을 향상시키도록 공진 캐비티를 포함하는 또다른 예시적인 3차 고조파 발생기 모듈을 도시한다.

도 3은 보타이(bow-tie) 캐비티를 포함하는 예시적인 4차 고조파 발생기 모듈을 도시한다.

도 4는 4차 고조파 발생기 모듈로부터의 4차 고조파와 보타이 캐비티 내의 기본 주파수의 소모되지 않은 부분을 조합하여 5차 고조파를 발생하도록 구성된, 예시적인 5차 고조파 발생기 모듈을 도시한다.

도 5는 3차 고조파 발생기 모듈로부터의 3차 고조파와 2차 고조파의 소모되지 않은 부분(및/또는 2차 고조파)의 조합에 있어서 합 주파수 발생을 수행함으로써 5차 고조파를 발생하도록 구성된, 예시적인 다른 5차 고조파 발생기 모듈을 도시한다.

도 6은 기판을 투과 및 기판으로부터 반사된 광을 측정하도록 구성된 예시적인 레티클 또는 포토마스크 검사 시스템을 도시한다.

도 7은 상이한 파장 또는 파장 범위를 가지며 상이한 파장 범위에 대해 최적화된 상이한 대물렌즈(objectives)를 지닌 다수의 광원을 포함하는 예시적인 검사 시스템을 예시한다.

도 8은 암시야(dark-field) 및 명시야(bright-field) 검사 모드를 갖춘 예시적인 반사굴절 이미징 시스템을 도시한다.

도 9a 및 9b는 경사 라인 조명을 갖춘 암시야 검사 시스템을 도시한다.

도 10은 표면상의 이상을 검사하는 데에 이용될 수 있는 표면 검사 시스템을 도시한다.

도 11은 수직 및 경사 조명 빔을 사용하여 이상 검출을 구현하도록 구성된 검사 시스템을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 도 2a는 단일 펌핑 경로 구성에 있어서 예시적인 3차 고조파 발생기 모듈(200)을 도시한다. 이 실시예에서, 주파수 ω에서 동작하는 기본 레이저(201)는 기본파(202)을 발생한다. 렌즈(203)는 기본(202)을 2차 고조파 발생(SHG;second harmonic genenration)을 위해 제1 주기적으로 폴링된 NLO 결정(204)에 포커싱하도록 위치된다. 무색 렌즈(206)는 소비되지 않은 기본파(ω) 및 발생된 2차 고조파(2ω)(205)를 합 주파수 발생(SFG;sum frequency genenration)을 위해 NLO 결정(204)으로부터 제2 주기적으로 폴링된 NLO 결정(207)에 포커싱하도록 위치된다. 렌즈(206)는 일부 실시예에선 더블릿(doublet) 렌즈를 포함할 수 있다. NLO 결정(204, 207)의 표면 및 렌즈(203,206)의 표면은 하나 이상의 주파수에서 높은 투과율을 갖도록 적절하게 코팅될 수 있음을 알아야 한다. 빔 스플리터 쌍(208)(또는 프리즘)은 발생된 3차 고조파(3ω)(209), 소비되지 않은 2차 고조파(2ω)(210), 및 소비되지 않은 기본(ω)(211)을 분리시키는 데에 사용될 수 있다.

[0037] 일부 실시예에선, 하나 이상의 NLO 결정(204,207)은 리튬 니오베이트 ($LiNbO_3$), 화학양론 리튬 탄탈레이트 (SLT), 리튬 탄탈레이트 ($LiTaO_3$), 포타슘 티타닐 포스페이트 (KTP), 포타슘 티타닐 아스네이트 (KTA), 및/또는 산화 마그네슘 도핑된 리튬 니오베이트($MgO:LiNbO_3$) 또는 산화 마그네슘 도핑된 화학양론 리튬 탄탈레이트 (MgO:SLT)등의 도핑된 물질을 포함할 수 있다. 본원에 설명된 개선된 레이저 시스템의 일부 실시예에선, 10 mm 보다 긴 결정이 사용되어 $0.012\%/W^2$보다 높은 변환 효율을 달성할 수 있다.

[0038] 일 실시예에서, NLO 결정(204,207)의 온도는 위상 매칭 효율을 최대화하도록 제어된다. 다른 실시예에서, 렌즈(203,206)는 각각의 빔을 주기적으로 폴링된 NLO 결정의 깊이 방향을 따라서 단축을 갖는 타원형에 포커싱할 수 있는 데 이는 특히, 요구되는 폴링 주기가 짧은 경우에, 결정 내부의 깊은 곳 보단 표면 근처에 훨씬 적은 수의 결함을 갖도록, 폴링 주기가 보다 균일할 수 있기 때문이다. 예를 들어, 기본파 및 2차 고조파를 약 200㎛의 빔 직경에 포커싱하는 대신, 이들 고조파는 결정의 상면에 실질적으로 평행하게 지향된 약 400㎛의 주 축 및 결정의 상면에 실질적으로 수직인 약 100㎛의 부축을 갖는, 타원형상에 포커싱될 수도 있다. 폴링된 결정의 가장 균일한 영역은 표면의 약 100㎛ 이내에 있기 때문에, 타원형상의 부축을 약 100㎛ 이하로 유지하는 것은 변환 효율 및 결정의 수명을 향상시킬 수 있다. 바람직한 실시예에서, 두 고조파들의 작은 상대적 변위가 변환 효율에 최소의 영향을 미치도록 하기 위해 고조파들 중 하나는 다른 고조파보다 약간 큰 스폿에 포커싱될 것이다. 2차 고조파 전력보다 더 많은 기본파 전력을 이용할 수 있기 때문에, 2차 고조파를 기본파보다 더 엄밀하게 포커싱하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 기본파는 400㎛ x 100㎛ 타원에 포커싱될 수 있고, 2차 고조파는 380㎛ x 80㎛ 타원에 포커싱될 수 있다.

[0039] UV 합 주파수의 효율적인 발생을 위한 1차 의사-위상 매칭(QPM) 조건은 전형적으로 약 2㎛ 미만인 도메인 주기를 갖는다. 일부 실시예는 약 2㎛보다 긴 도메인 주기를 갖는 합 주파수 발생 단계의 3차 의사-위상 매칭을 사용한다. 3차 의사-위상 매칭이 소정의 결정 길이에 대해 덜 효율적인 변환을 초래하더라도, 상기 긴 도메인 주기는, 주기적으로 폴링된 NLO 결정의 제작을 단순화하는 한편, 3차 고조파 발생기 모듈에 대해 충분히 효율적이다.

[0040] 도 2b는 효율적인 3차 고조파 발생을 위해 단일한 결정을 갖는 다른 예시적인 3차 고조파 발생기 모듈(220)을 도시한다. 이 실시예에서, 주파수 ω에서 동작하는 기본 레이저(201)는 기본파(222)를 발생한다. 렌즈(223)는 기본파(222)를 2차 및 3차 고조파 발생을 위해 이중 주기적으로(dual-periodic) 폴링된 NLO 결정(204)에 포커싱하도록 위치된다. 이러한 결정은 종속 접속된 의사-위상 매칭된 상호작용을 통해, 두 개의 개별적인 광학 파라미터 프로세스, 즉 주파수 배가 및 합 주파수 발생의 결합을 허용함으로써, 초격자 결정 샘플로부터 직접 3차 고조파를 발생할 수 있도록 한다. 이중 주기 및 초격자 폴링된 NLO 물질에 대한 이론적인 설명은, 안토노시안(Antonosyan)등에 의한 ""Phase-reversed structures in superlattice of nonlinear materials", http://arxiv.org/abs/1109.2751v1 (2011)"를 참조하시요. 이중 주기 리튬 탄탈레이트 구조의 예는 리우(Liu) 등에 의한 "Quasi-Cw Ultraviolet Generation in a Dual-periodic $LiTaO_3$ Superlattice by Frequency Tripling", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 40, pp 6841-6844 (2001)"를 참조하시요. 이들 두 논문은 본원에 참조로서 통합된다. 이중 주기 폴링된 NLO 결정(224)은 두 개의 벌크 결정 또는 직렬로 된 주기적으로 폴링된 결정들을 이용하는 것보다 3차 고조파 발생에 대해 더 높은 효율과 간명한 광 경로를 가질 수 있다. 이중 주기 폴링된 NLO 결정(224)의 표면 및/또는 렌즈(223)의 표면은 하나 이상의 주파수에서 높은 투과성을 갖도록 적절하게 코팅될 수 있다. 빔 스플리터 쌍(225)(또는 프리즘)은 발생된 3차 고조파(3ω)(226), 소비되지 않은 2차 고조파(2ω)(227), 및 소비되지 않은 기본(ω)(228)을 분리시키는 데에 사용될 수 있다.

[0041] 일부 실시예에서, 전자광학 효과는 의사 매칭 조건 및 결합파의 에너지 분포를 조작하기 위해 채용됨으로써 비선형 변환 효율을 개선시킬 수 있다. 이것은 NLO 결정의 길이를 따라서 DC 전계를 인가함으로써 달성될 수 있다. 이러한 DC 전계의 인가가 비선형 변환을 향상시키는 방법은 본 명세서에서 참조로서 통합되는 후앙(Huang)등에 의한, "Effect of electro-optic modulation on coupled quasi-phase-matched frequency conversion", Applied Optics, vol. 23, pp 4980-4984 (2005)를 참조하시요.

[0042] 도 2c는 3차 고조파 발생용 기본 전력을 향상시키도록 공진 캐비티를 포함하는 또다른 예시적인 3차 고조파 발생기 모듈(230)을 도시한다. 이 실시예에서, 주파수 ω에서 동작하는 기본 레이저(231)는 기본파(232)를 발생한다. 만곡 미러등의 입력 커플러(233)는 기본(232)을 2차 고조파 발생을 위해 주기적으로 폴링된 제1 NLO 결정(234)에 포커싱하도록 위치된다. 무색 렌즈(236)(또는 더블릿 렌즈)는 발생된 2차 고조파(2ω) 및 기본파(ω)를 합 주파수 발생(SFG;sum harmonic genenration)을 위해 NLO 결정(204)으로부터 주기적으로 폴링된 제2 NLO 결정(207)에 포커싱하도록 위치된다. NLO 결정(234, 237)의 표면 및 렌즈(236)의 표면은 하나 이상의 주파수에서 높은 투과율을 갖도록 적절하게 코팅될 수 있다. 2차 고조파 및 3차 고조파는 기본파(ω)에 대해 고 반사성을 갖고 2차 고조파 및 3차 고조파에 대해 고 투과성을 갖는 출력 커플러(238)를 통해 캐비티로부터 결합된다. 일 실시예에서, 출력 커플러(238)는 미러에 의해 구현될 수 있다. 빔 스플리터 쌍(239)(또는 프리즘)은 소비되지 않은 2차 고조파(2ω)(240) 및 3차 고조파(3ω)(241)를 분리할 수 있다. 출력 커플러(238)로부터 반사된 후, 나머지 기본(ω)(242)는 프리즘(243)을 통과하고, 입력 커플러(233)에 복귀하여, 캐비티 내부를 순환함에 따라 시준된다. 일 실시예에서, 프리즘(243)은 캐비티 길이 피드백 제어를 위해 압전 트랜스듀서(PET:piezo-electric

transducer)(244)에 부착된다.

[0043] 일부 실시예에서, 2차 고조파(2ω) 및 3차 고조파(3ω) 광은 빔 스플리터를 출력 커플러(238) 앞에 추가하여 공진하는 기본(ω)으로부터 분리되어 출력 커플러(238)의 복잡한 코팅 및 있을 수 있는 손상을 회피할 수 있다. 도 2c는 입력 커플러(233), 출력 커플러(238), 및 프리즘(243)을 포함하는 삼각형 캐비티를 도시하고 있지만, 보타이형 캐비티 또는 장방형 캐비티를 포함하여 임의의 형상의 캐비티일 수 있다

[0044] 일 실시예에서, 프리즘(243)은 하나 이상의 미러에 의해 대체될 수 있다. 다른 실시예에서, 프리즘(243)은 브루스터 각, 또는 브루스터 각에 근사한 각의 입력 및 출력 표면을 가짐으로써, 반반사 코팅을 불필요하게 한다. 프리즘(243)은 캐비티 길이 제어를 위해 전후로 이동될 수 있고, 프리즘(243) 외부의 경로 방향은 변하지 않는다는 것을 알아야 한다. 또다른 실시예에서, 두 개의 주기적으로 폴링된 NLO 결정 대신에 이중 주기로 폴링된 NLO 결정이 사용될 수 있고, 이에 의해 도 2b를 참조하여 설명한 바와 같이, 효율이 높고 보다 단순한 광 경로를 가질 수 있다.

[0045] 도 3은 보타이(bow-tie) 캐비티를 포함하는 4차 고조파 발생기 모듈(300)을 도시한다. 이 실시예에서, 기본파(ω)를 보타이 캐비티에 포커싱하여 결합하기 위해, 기본파(ω)(301)는 보타이 캐비티에 입사하기 전에 하나 이상의 모드 매칭 렌즈(302)를 통과한다. 보타이 캐비티는 입력 커플러(303), 미러(304, 305, 306) 및 NLO 결정(309)을 포함한다. 일 실시예에서, 입력 커플러(303)는 미러에 의해 구현된다. 상기 모듈(300)에서, 3차 고조파(3ω)(307)는 미러(305), 예를 들어, 만곡된 다이크로익 미러를 통해 보타이 캐비티에 입사하고 합 주파수 발생을 위해 NLO 결정(309) 내부에서 기본 주파수(ω)와 중첩한다. 미러(305)는 고효율로 기본 주파수를 반사하는 한편 3차 고조파가 효율적으로 통과하도록 적합하게 코팅될 수 있다.

[0046] 이 실시예에서, NLO 결정(309)은 수소 어닐링된(hydrogen-annealed) 세슘 리튬 보레이트(CLBO), 세슘 트리보레이트(CBO), 리튬 트리보레이트(LBO), 리튬 테트라보레이트(LB4) 또는 베타 바륨 보레이트(BBO)등의 물질을 포함하는 단일 벌크 결정이다. NLO 결정(309)용 단일 벌크 결정의 이점은 주기적으로 폴링된 결정에서 단파장의 4차 고조파를 발생시키기 위해 매우 짧은 폴링 주기를 필요로 한다는 것이다. 이러한 짧은 폴링 주기는 요구되는 품질을 갖추어 제작하기가 어렵거나 고가일 수 있다. NLO 결정(309)의 양 표면은 3차 고조파(3ω) 및 4차 고조파(4ω)에 대해 고 투과성을 갖도록 적절하게 코팅되고 기본 주파수(ω)에 대해 브루스터 각으로 커팅(Brewster-cut)될 수 있다.

[0047] 렌즈 또는 렌즈들(308)은 NLO 결정(309)의 중심 근처에 3차 고조파(3ω)를 포커싱한다. 빔 스플리터(또는 프리즘 또는 다이크로익 미러)(310)는 4차 고조파(4ω) 및 소비되지 않은 3차 고조파(3ω)를 캐비티 밖으로 반사한다. 4차 고조파(4ω) 및 3차 고조파(3ω)는 빔 스플리터(또는 프리즘)(311)에 의해 더욱 분리된다. 이 실시예에서, 소비되지 않은 기본파(ω)(314)는 빔 스플리터(310)를 통과하여 캐비티 내부에서 순환함으로써 강도를 증대시킨다. 기본파(ω)(314)이 충분히 강하면, 3차 고조파(3ω)로부터 4차 고조파(4ω)로의 변환 효율은 매우 높다. 이 실시예에서, 4차 고조파 주파수는 기본 주파수에서 공진하는 캐비티만을 사용하여 발생된다.

[0048] 일부 실시예에서, 보타이 캐비티를 갖는 대신, 델타형 또는 정재파(standing-wave) 캐비티등의 기타 형상의 캐비티가 사용된다. 정재파 캐비티가 사용되는 경우, 4차 고조파는 주입된 3차 고조파광과 동일한 방향으로 발생된다.

[0049] 상기한 바와 같이 발생된 2차 고조파, 3차 고조파, 및 4차 고조파를 사용하면 기본의 5차 고조파에 대응하는 파장보다 짧은 파장을 발생시킬 수 있다. 짧은 파장은 다양한 검사 응용분야의 해상도를 더욱 향상시킬 수 있다.

[0050] 도 4는 4차 고조파 발생기 모듈로부터의 4차 고조파와 보타이 캐비티 내의 기본 주파수의 소모되지 않은 부분을 조합하여 5차 고조파를 발생하도록 구성된, 예시적인 5차 고조파 발생기 모듈(400)(도 3 참조)을 도시한다. 모드 매칭 렌즈(또는 렌즈들)(402)는 기본파(401)를 캐비티 내로 포커싱하여 결합한다. 미러(입력 커플러)(403)(404, 405, 및 406)를 포함하는 캐비티는 기본 주파수에서 공진한다. 3차 고조파(3ω)(407)는 미러(만곡된 다이크로익 미러)(405)를 통과하여 제1 NLO 결정(409)내에서 기본 주파수(ω)와 중첩된다. 렌즈(408)는 NLO 결정(409)의 중심 근처에 3차 고조파(3ω)를 포커싱한다. NLO 결정(409)은 기본 주파수(ω)와 3차 고조파(3ω)를 합하여 4차 고조파(4ω)를 생성한다. 빔 스플리터(410)는 4차 고조파(4ω) 및 소비되지 않은 기본 주파수(ω)를 효율적으로 투과시키면서 소비되지 않은 3차 고조파(3ω)를 반사한다. 무색 렌즈(412)(또는 더불릿)는 NLO 결정(409)의 중심 근처에 4차 고조파(4ω) 및 소비되지 않은 기본 주파수(ω)를 포커싱하여 주파수 합산에 의해 5차 고조파(5ω)를 발생한다. NLO 결정(409)은 CLBO, CBO, LB4, BBO등을 포함할 수 있는 반면에, NLO 결정(413)은 CLBO, LB4 또는 BBO를 포함할 수 있다. 빔 스플리터(414)(또는 다이크로익 미러 또는 프리즘)는 기본

주파수(ω)(418)를 통과시키고 발생된 캐비티로부터의 5차 고조파(5ω)(417) 및 임의의 소비되지 않은 4차 고조파(4ω)(416)를 캐비티 밖으로 방향을 전환시킨다. 다이크로익 빔 스플리터(415)(또는 프리즘)는 4차 고조파(4ω)(416)와 5차 고조파(5ω)(417)를 분리한다. 일부 실시예에서, 기본, 4차 고조파, 및 5차 고조파는 단일한 빔 스플리터(또는 프리즘)에 의해 서로 분리될 수 있다. 빔 스플리터(414)를 통과하는 소비되지 않은 기본 광(ω)(418) 보타이 캐비티 내부를 순환한다. 이 실시예에서, 5차 고조파 주파수는 기본 주파수에서 공진하는 캐비티만을 사용하여 발생된다.

[0051] 도 5는 예시적인 다른 5차 고조파 발생기 모듈(500)을 도시한다. 이 실시예에서, NLO 결정(509)은 3차 고조파 발생기 모듈(507)(예를 들어, 도 2b 참조)로부터의 3차 고조파(3ω)와 2차 고조파(2ω)(513)의 소비되지 않은 부분(및/또는 2차 고조파(501))의 조합에 있어서 합 주파수 발생을 수행하여 5차 고조파(514)를 발생할 수 있다. 변환 효율을 향상시키기 위해, 2차 고조파(501)는 미러(입력 커플러)(503) 및 (504, 505, 506) 및 NLO 결정(509)을 포함하는 공진 캐비티 내에 결합된다. 3차 고조파(3ω)(507)는 미러(505)(예를 들어, 만곡된 다이크로익 미러)를 통해 캐비티에 입사하고 NLO 결정(509) 내부의 2차 고조파(2ω)(513)와 중첩된다. 미러(505)는 2차 고조파(501, 513)를 효율적으로 반사하는 한편 3차 고조파(507)를 효율적으로 통과시키도록 코팅된다. 따라서, 이 구성은 캐비티가 기본 고조파(ω) 대신 2차 고조파(2ω)에 대해 공진하는 것을 제외하곤, 4차 고조파 발생기 모듈(예를 들어, 도 3 참조)과 실질적으로 유사하다. 일 실시예에서, NLO 결정(509)은 BBO를 포함하는 데이는, BBO는 2차 고조파 및 3차 고조파의 주파수 합산을 위해 위상 매칭할 수 있기 때문이다. NLO 결정(309)의 양 표면은 2차 고조파(2ω)에 대해 브루스터 각으로 커팅될 수 있고 3차 고조파(2ω) 및 5차 고조파(2ω)의 고투과율을 위해 적절하게 코팅될 수 있다. 모드 매칭 렌즈(또는 렌즈들)(502)는 2차 고조파(501)를 캐비티 내로 포커싱하여 결합한다. 렌즈(또는 렌즈들)(508)는 NLO 결정(509)의 중심 근처에 3차 고조파(3ω)를 포커싱한다. 빔 스플리터(510) (또는 다이크로익 미러 또는 프리즘)은 캐비티 밖으로 소비되지 않은 3차 고조파(3ω) 및 5차 고조파(5ω)를 반사한다. 이들 두 상이한 고조파(512 및 514)는 다른 빔 스플리터 또는 프리즘(511)과 분리될 수 있다. 일부 실시예에서, 2차, 3차, 및 5차 고조파는 각각 단일한 프리즘 또는 빔 스플리터에 의해 서로 분리될 수 있다.

[0052] 5차 고조파 발생기 모듈(500)이 200 또는 220(이들 중 어느 것도 캐비티를 사용하지 않음)등의 3차 고조파 발생기 모듈과 조합되면, 5차 고조파는 종래 기술의 디바이스에 적어도 두 개의 캐비티가 있는 것에 비해 단 하나의 캐비티만을 사용하여 발생된다. 5차 고조파 발생기 모듈(500)이 (단일 캐비티만을 사용하는) 3차 고조파 발생기 모듈과 조합되는 경우, 5차 고조파는 기본 주파수에서 공진하는 하나의 캐비티와 2차 고조파 주파수에서 공진하는 또 다른 캐비티에 의해 발생된다. 두 개의 공진 캐비티를 사용하는 종래 기술의 CW 레이저는 4차 고조파만을 발생한다. 따라서, 각각 기본 주파수와 2차 고조파 주파수에서 공진하는 두 개의 캐비티를 포함하는 실시예는 동일한 수의 캐비티에 대해 더 짧은 파장을 발생시키는 이점을 갖는다.

[0053] 종래 기술의 CW 레이저에서와같이, 캐비티는 표준 PDH (Pound-Drever-Hall) 또는 HC (Haensch-Couillaud) 잠금 기술로 안정화될 수 있다. 캐비티 길이는 제어 신호(도시하지 않음)를 통해 미러(도 3의 미러(304), 도 4의 미러(404), 도 5의 미러(504)등)) 또는 프리즘(도 2b의 프리즘(225)등)의 위치를 조정함으로써 공진을 유지하도록 조정된다. PZT, 음성 코일 또는 기타 매커니즘은 가동 컴포넌트의 위치를 조정하기 위해 사용될 수 있다.

[0054] 당업자는 3차 고조파 발생을 위한 기타 변환 효율 개선 방법 및 후속하는 합 주파수 발생 단계가 본 발명의 범위에 속한다는 것을 이해하게 될 것이다.

[0055] 기본 IR 레이저의 4차 고조파를 발생시키는 본원에 설명된 개선된 레이저의 실시예들은 2차 고조파 주파수에서 공진하는 캐비티를 필요로 하지 않으며, 상기 캐비티는 기본 주파수에서 공진하는 캐비티에 비해 덜 안정적이고 표류하기 쉽다. 일 실시예에서, 기본 주파수에서 공진하는 단 하나의 캐비티만이 기본 IR 레이저의 4차 고조파를 발생시키는 데에 사용된다. 다른 실시예에서, 두 개의 공진 캐비티가 기본 IR 레이저의 4차 고조파를 발생시키는 데에 사용되지만, 이들 두 캐비티는 모두 기본 주파수에서만 공진한다.

[0056] 기본 IR 레이저의 5차 고조파를 발생시키는 본원에 설명된 개선된 레이저의 실시예들은 두 개의 캐비티를 사용하는 종래 기술의 디바이스보다 더 짧은 파장을 발생시킨다. 기본 IR 레이저의 5차 고조파를 발생시키는 제1 실시예는 기본 주파수에서 공진하는 단 하나의 캐비티만을 사용한다. 기본 IR 레이저의 5차 고조파를 발생시키는 제2 실시예는, 두 개의 캐비티가 모두 기본 주파수에서 공진하는 두 개의 캐비티를 사용한다. 기본 IR 레이저의 5차 고조파를 발생시키는 제3 실시예는 2차 고조파 주파수에서 공진하는 단 하나의 캐비티만을 사용한다. 기본 IR 레이저의 5차 고조파를 발생시키는 제4 실시예는 2차 고조파 주파수에서 공진하는 공진 캐비티 앞에 기본 주파수에서 공진하는 캐비티를 사용하여 5차 고조파에서 더 높은 전력을 발생시킬 수 있다.

[0057] 종래 기술의 디바이스에 비해, 개선된 CW 레이저 시스템은 훨씬 양호한 안정성을 갖는 덜 복잡한 피드백 루프를 갖게 되고 및/또는 짧은 파장에 대응하는 더 높은 주파수를 발생한다.

[0058] 도 6 내지 도 11은 상기 설명한 개선된 DUV CW 레이저를 포함할 수 있는 예시적인, 웨이퍼 검사, 레티클 또는 포토마스크 검사 및 계측 시스템을 도시한다. 검사 또는 계측 시스템에 사용되는 경우, 이들 레이저는, 본원에 참조로서 통합되고, 함께 출원 계류중인, 2009년 9월 29일 출원된 PCT 출원 번호 WO/2010/037106호로서, 발명의 명칭이 "ILLUMINATION SUBSYSTEMS OF A METROLOGY SYSTEM, METROLOGY SYSTEMS, AND METHODS FOR ILLUMINATING A SPECIMEN FOR METROLOGY MEASUREMENTS", 및 본원에 참조로서 통합되고, 함께 출원 계류중인, 2011년 9월 22일 출원된 미국 특허 출원 제13/073,986호 발명의 명칭이 "ILLUMINATING A SPECIMEN FOR METROLOGY OR INSPECTION"를 참조하시요.

[0059] 도 6은 기판을 투과 및 기판으로부터 반사된 광을 측정하도록 구성된 예시적인 레티클 또는 포토마스크 검사 시스템(600)을 도시한다. 시스템(600)은 일반적으로 제1 광학 장치(651) 및 제2 광학 장치(657)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 제1 광학 장치(651)는 적어도 광원(652), 검사 광학 소자(654), 및 기준 광학 소자(656)를 포함하고 제2 광학 장치(657)는 적어도 투과광 광학계(658), 투과광 검출기(660), 반사광 광학계(662) 및 반사광 검출기(664)를 포함한다. 일 바람직한 실시예에서, 광원(652)은 상기 설명한 개선된 레이저중의 하나를 포함한다.

[0060] 광원(652)은 광 빔을 편향시켜서 포커싱하도록 배열된 음향 광학 디바이스(670)를 통과하는 광 빔을 방사하도록 구성된다. 음향 광학 디바이스(670)는 한 쌍의 음향 광학 요소, 예를 들어, Y 방향에서 광을 편향시키고 Z 방향에서 광을 포커싱하는, 음향 광학 프리스캐너 또는 음향 광학 스캐너 쌍을 포함할 수 있다. 예를 들어, 대부분의 음향 광학 디바이스는 RF 신호를 석영 또는 TeO_2와 같은 크리스탈에 송신함으로써 동작한다. 이 RF 신호는 음파가 크리스탈을 통해 진행하게 한다. 진행하는 음파로 인해, 크리스탈은 비대칭성이 되고, 이는 크리스탈 전체에서 굴절율이 변화하게 한다. 이러한 굴절율 변화는 입사 빔이 발진 방식으로 편향되는 포커싱된 진행하는 스폿을 형성하게 한다.

[0061] 광빔이 음향 광학 디바이스(670)로부터 나오는 경우, 광빔은 한 쌍의 1/4 파 판(672) 및 릴레이 렌즈(674)를 통과한다. 릴레이 렌즈(674)는 광빔을 시준하도록 배열된다. 시준된 광빔은 회절 격자(676)에 도달할 때까지 자신의 경로에서 계속 진행한다. 회절 격자(676)는 광빔을 분출(flare out)하도록, 더욱 구체적으로는 광빔을, 서로 공간적으로 구별가능한(공간적으로 개별적인) 3개의 개별 빔들로 분리하기 위해 배열된다. 대부분의 경우에, 공간적으로 개별적인 빔들은 또한 등간격으로 이격되고 실질적으로 동일한 광 강도를 갖도록 배열된다.

[0062] 회절 격자(676)를 떠났을 때, 3개의 빔들은 애퍼처(680)를 통과하고 빔 스플리터 큐브(682)에 도달할 때까지 계속 진행한다. 빔 스플리터 큐브(682)(1/4파 파판(672)과 조합하여)는 빔들을 두 개의 경로, 즉, 하나의 경로는 하향으로 지향되고 다른 하나의 경로는 우측으로 지향되는 경로(도 6의 도면의 구성에서)로 분할하도록 배열된다. 하향으로 지향된 경로는 빔의 제1 광 부분을 기판(612)으로 분배되고 반면에 우측으로 지향되는 경로는 빔의 제2 광 부분을 기준 광학계(656)에 분배하는 데에 사용된다. 대부분의 실시예에서, 광의 대부분은 기판(612)에 분배되고, 광의 분배 백분율은 각각의 광학 검사 시스템의 특정한 설계에 따라 변동할 수 있을지라도, 광의 소량의 백분율은 기준 광학계(656)에 분배된다. 일 실시예에서, 기준 광학계(656)는 기준 집속 렌즈(614) 및 기준 검출기(616)를 포함할 수 있다. 기준 집속 렌즈(614)는 빔의 일부분을 모아서 광 강도를 측정하도록 배열된 기준 검출기(616)상에 지향시키도록 배열된다. 기준 광학계는 일반적으로 당업계에 공지되어 있고 설명의 간략화를 위해 상세히 설명하지는 않는다.

[0063] 빔 스플리터(682)로부터 하향으로 지향된 3개의 빔은 광을 재지향시키고 확대하는 여러 개의 렌즈 요소를 포함하는 텔리스코프(688)에 의해 수광된다. 일 실시예에서, 텔리스코프(688)는 터릿(turret) 상에서 회전하는 복수의 텔리스코프를 포함하는 텔리스코프 시스템의 일부이다. 예를 들어, 3개의 텔리스코프가 사용될 수 있다. 이들 텔리스코프의 목적은 기판상의 스캐닝 스폿의 크기를 변동시키고 이에 따라 최소 검출가능한 결함 크기를 선택할 수 있도록 한다. 더욱 구체적으로는, 각각의 텔리스코프는 일반적으로는 상이한 픽셀 크기를 표현한다. 이와 같이, 하나의 텔리스코프는 검사를 고속화하고 감도가 낮게 되도록 하는(예를 들어, 저 해상도) 큰 스폿 크기를 생성할 수 있고, 반면에 다른 텔리스코프는 검사를 저속화하고 감도가 높게 되도록 하는(예를 들어, 고 해상도) 작은 스폿 크기를 생성할 수 있다.

[0064] 텔리스코프(688)로부터, 3개의 빔들은 기판(612)의 표면에 빔을 포커싱하도록 배열된 대물 렌즈((690)를 통과한다. 빔이 3개의 개별 스폿으로서 표면과 교차함에 따라, 반사된 광빔 및 투과된 광빔 모두가 발생될 수 있다. 투과된 광빔은 기판(612)을 통과하는 반면에, 반사된 광빔은 기판에서 반사한다. 예를 들어, 반사된 광빔은 기

판의 불투명 표면을 반사하고 투과된 광빔은 기판의 투명 영역을 투과할 수 있다. 투과된 광빔은 투과광 광학계(658)에 의해 수집되고 반사된 광빔은 반사광 광학계(662)에 의해 수집된다.

[0065] 투과된 광 광학계(658)에 대해, 투과된 광빔은, 기판(612)을 통과한 후, 제1 투과 렌즈(696)에 의해 수집되어 구면 수차 보정 렌즈(698)의 도움으로 투과 프리즘(610)에 포커싱된다. 프리즘(610)은 투과된 광 빔을 재위치지정하고 구부리도록 구성된 투과된 광빔의 각각에 대한 패싯(facet)을 갖도록 구성된다. 대부분의 경우에, 프리즘(610)은 빔들 각각이 투과 광 검출기 장치(660)(3개의 개별 검출기를 갖는 것으로 도시됨)내의 단일 검출기로 떨어지도록 빔들을 분리하는 데에 사용된다. 따라서, 빔들이 프리즘(610)을 나가는 경우, 빔들은, 분리된 빔들의 각각을 투과 광의 강도를 측정하도록 배열된 3개 검출기 중의 하나에 개별적으로 포커싱하는 제2 투과 렌즈(602)를 통과한다.

[0066] 반사 광 광학계(662)에 대해, 반사된 광빔은, 기판(612)을 반사한 후, 대물 렌즈(690)에 의해 수집되고 대물 렌즈(690)는 그 후 상기 빔을 텔리스코프(688)를 향해 지향시킨다. 텔리스코프(688)에 도달하기 전에, 빔은 1/4 파 파판(604)을 통과한다. 일반적인 용어로, 대물 렌즈(690) 및 텔리스코프(688)는 수집된 빔들을 입사 빔이 조작되는 방법과 관련하여 광학적으로 반전되는 방식으로 조작한다. 즉, 대물 렌즈(690)는 빔들을 재시준하고 텔리스코프(688)는 빔의 사이즈를 축소시킨다. 빔이 텔리스코프(688)를 떠나는 경우, 빔은 빔 스플리터 큐브(682)에 도달할 때까지 (후방으로) 계속 진행한다. 빔 스플리터(682)는 1/4 파 파판과 작용하여 빔이 중앙 경로(606)에 지향되어 지도록 구성될 수 있다

[0067] 경로(606)상에서 계속 진행하는 빔은 그 후, 반사된 광빔들의 각각에 대한 패싯을 포함하는 반사 프리즘(609) 상에 각각의 빔을 포커싱하는 제1 반사 렌즈(608)에 의해 수집된다. 반사 프리즘(609)은 반사된 광빔을 재위치지정하고 구부리도록 구성된다. 투과 프리즘(608)과 유사하게, 반사 프리즘(609)은 빔들 각각이 반사 광 검출기 장치(664) 내의 단일 검출기로 떨어지도록 빔들을 분리하는 데에 사용된다. 도시된 바와 같이, 반사 광 검출기 장치(664)는 3개의 별개의 개별적인 검출기를 포함한다. 빔들이 반사 프리즘(609)을 나가는 경우, 빔들은 분리된 빔들의 각각을 반사 광의 강도를 측정하도록 배열된 3개 검출기 중의 하나에 개별적으로 포커싱하는 제2 반사 렌즈(611)를 통과한다.

[0068] 상기한 광학 어셈블리에 의해 제작될 수 있는 여러 검사 모드가 있다. 예를 들어, 광학 어셈블리는 투과 광 검사 모드, 반사 광 검사 모드, 동시 검사 모드를 이용할 수 있다. 투과 광 검사 모드에 대해, 투과 모드 검출은 전형적으로 투명 영역 및 불투명 영역을 갖는 종래의 광학 마스크와 같은 기판상에서의 결함 검출을 위해 사용될 수 있다. 광 빔이 마스크(또는 기판(612))를 주사함에 따라, 광은 투명 지점에서 마스크를 관통하고 마스크 뒤에 위치하고, 제1 투과 렌즈(696), 제2 투과 렌즈(696), 구면 수차 렌즈(698), 및 프리즘(610)을 포함하는 투과 광학계(658)에 의해 수집된 광빔의 각각의 강도를 측정하는 투과 광 검출기(660)에 의해 검출된다.

[0069] 반사 광 검사 모드에 대해, 반사 광 검사는 크로뮴, 현상된 포토레지스트 또는 기타 특징의 형태로 화상 정보를 포함하는 투명 또는 불투명 기판상에서 수행될 수 있다. 기판(612)에 의해 반사된 광은 검사 광학 소자(654)와 동일한 광 경로를 따라 통과하지만, 편광 빔 스플리터(682)에 의해 검출기(664)로 방향이 전환된다. 더욱 구체적으로는, 제1 반사 렌즈(608), 프리즘(609), 및 제2 반사 렌즈(609)는 전환된 광빔으로부터의 광을 검출기(664)에 투사한다. 반사 광 검사 모드는 기판 표면의 불투명한 상면의 오염을 검출하기 위해서도 사용될 수 있다.

[0070] 동시 검사 모드에 대해, 투과 광 및 반사 광 모두는 결함의 존재 및/또는 유형을 판정하기 위해 이용된다. 시스템의 두 개의 측정값은 투과 광 검출기(660)에 의해 감지된 것으로서 기판(612)을 통해 투과된 광 빔의 강도 및 반사 광 검출기(664)에 의해 검출된 것으로서 반사된 광 빔의 강도이다. 이들 두 측정값은 기판(612)상의 대응하는 지점에 있는 결함의 유형을 판정하도록 처리될 수 있다.

[0071] 더욱 구체적으로는, 동시적인 투과 및 반사 검출은, 반사 검출기의 출력이 결함의 유형을 나타내 보이는 데에 사용될 수 있는 반면에, 투과 검출기에 의해 감지된 불투명 결함의 존재를 나타내 보일 수 있다. 한 예로서, 기판상의 크롬 도트 또는 입자는 모두 투과 검출기로부의 낮은 투과 광 지시를 나타내는 결과가 되지만, 반사 크롬 결함은 높은 반사 광 지시를 나타내는 결과가 되고 입자는 동일한 반사 광 검출기로부터의 낮은 반사 광 지시를 나타내는 결과가 된다. 따라서, 반사 및 투과 검출을 모두 이용함으로써, 결함에 대해 반사 또는 투과 특성 중 하나에 의해서만 검사되었을 경우엔 행해질 수 없었던 크롬 기하학적 특징의 최상부의 입자를 찾을 수 있다. 또한, 반사 또는 투과 광 강도의 비율과 같은, 특정 유형의 결함에 대한 시그너처를 판정할 수 있다. 이 정보는 자동적으로 결함을 분류하는 데에 사용될 수 있다.

[0072] 발명의 명칭이 "MULTIPLE BEAM INSPECTION APPARATUS"이고, 그 내용 전부가 본원에 참조로서 포함된 2008년 4월1일 특허 허여된 미국 특허 제7,352,457호에는 시스템(600)에 대해 더 많은 상세사항이 설명되어 있다. 본 개시의 발명성있는 레이저를 이용할 수 있는 레티클 및 포토마스크 검사 시스템에 대한 상세사항은 본원에 참조로서 포함된 미국 특허 제5,563,702호를 참조하시요. 본 개시의 개선된 레이저를 이용하는 레티클 또는 포토마스크 검사 시스템은 본원에 참조로서 포함된 미국 특허 제7,528,8943호에 개시된 바와 같이 단일 검출기상의 레티클 또는 포토마스크로 부터 반사 이미지 및 투과 이미지를 동시에 검출할 수 있다.

[0073] 도 7은 상이한 파장 또는 파장 범위를 가지며 상이한 파장 범위에 대해 최적화된 상이한 대물렌즈를 갖춘 다수의 광원을 포함하는 예시적인 검사 시스템(700)을 예시한다. 검사 시스템(700)에서, 레이저 광원(701)으로부터의 조명은 조명 서브시스템의 다수의 구성부분에 보내진다. 조명 서브시스템의 제1 부분은 요소(702a 내지 706a)를 포함한다. 렌즈(702a)는 레이저(701)로부터의 광을 포커싱한다. 렌즈(702a)로부터의 광은 그 후 미러(703a)로부터 반사한다. 미러(702a)는 조명을 위한 목적으로 이 위치에 배치되고, 다른 곳에 위치될 수도 있다. 미러(703a)로부터의 광은 그 후 렌즈(704a)에 의해 수집되고, 이것은 조명 동공 평면(705a)을 형성한다. 애퍼처, 필터, 또는 광을 수정하는 기타 디바이스는 검사 모드의 필요조건에 좌우되어 동공 평면(705a)에 위치될 수 있다. 동공 평면(705a)으로부터의 광은 그 후 렌즈(706a)를 통과하고 조명 필드 평면(707)을 형성한다.

[0074] 조명 서브시스템의 제2 부분은 요소(702b 내지 706b)를 포함한다. 렌즈(702b)는 레이저(701)로부터의 광을 포커싱한다. 렌즈(702b)로부터의 광은 그 후 미러(703b)로부터 반사한다. 미러(703b)로부터의 광은 그 후 렌즈(704b)에 의해 수집되고, 이것은 조명 동공 평면(705b)을 형성한다. 애퍼처, 필터, 또는 광을 수정하는 기타 디바이스는 검사 모드의 필요조건에 좌우되어 동공 평면(705b)에 위치될 수 있다. 동공 평면(705b)으로부터의 광은 그 후 렌즈(706b)를 통과하고 조명 필드 평면(707)을 형성한다. 제2 부분으로부터의 광은 미러 또는 반사면에 의해 재지향됨으로써 조명 필드 평면(707)에서의 조명 필드 광 에너지는 조합된 조명 부분으로 이루어 진다.

[0075] 필드 평면 광은 그 후 빔스플리터(710)에 의해 반사하기 전에 렌즈(709)에 의해 수집된다. 렌즈(706a 및 709)는 대물 동공 평면(711)에서 제1 조명 동공 평면(705a)의 이미지를 형성한다. 마찬가지로, 렌즈(706b 및 709)는 대물 동공 평면(711)에서 제2 조명 동공 평면(705b)의 이미지를 형성한다. 대물렌즈(712)(또는 대안으로 713)는 그 후 동공 광을 모아서 샘플(714)에서 조명 필드 평면(707)의 이미지를 형성한다. 대물렌즈(712) 또는 대물렌즈(713)는 샘플(714)의 가까이에 위치될 수 있다. 샘플(714)은, 샘플을 소망하는 위치에 위치시킬 수 있는, 스테이지(도시하지 않음)상에서 이동할 수 있다. 샘플(714)로부터 반사 및 산란된 광은 고 MA 반사굴절 대물렌즈(712) 또는 대물렌즈(713)에 의해 수집된다. 대물 동공 평면(711)에서 반사 광 동공을 형성한 후, 광 에너지는 이미징 서브시스템에서 내부 필드(716)를 형성하기 전에 빔 스플리터(710) 및 렌즈(715)를 통과한다. 내부 이미징 필드는 샘플(714)의 이미지이고 조명 필드(707)에 대응한다. 이 필드는 조명 필드에 대응하는 다수의 필드로 공간적으로 분리될 수 있다. 이들 필드의 각각은 별개의 이미징 모드를 지원할 수 있다.

[0076] 이들 필드 중의 하나는 미러(717)를 사용하여 재지향될 수 있다. 재지향된 광은 다른 이미징 동공(719b)을 형성하기 전에 렌즈(718b)를 통과한다. 이 이미징 동공은 동공(711)의 이미지이고 조명 동공(705b)에 대응한다. 애퍼처, 필터, 또는 광을 수정하는 기타 디바이스는 검사 모드의 필요조건에 좌우되어 동공 평면(705a)에 위치될 수 있다. 동공 평면(705a)으로부터의 광은 렌즈(720)를 통과하고 센서(721b)상에 이미지를 형성한다. 마찬가지의 방식으로, 미러 또는 반사면(717)에 의해 통과하는 광은 렌즈(718a)에 의해 수집되어 이미징 동공(719a)을 형성한다. 이미징 동공(719a)으로부터의 광은 검출기(721a)상에 이미지를 형성하기 전에 렌즈(720a)에 의해 수집된다. 검출기(721a)상에 이미징된 광은 센서(712b)상에 이미징된 광과는 상이한 이미징 모드에서 사용될 수 있다.

[0077] 시스템(700)에 채용된 조명 서브시스템은 레이저 광원(701), 수집 광학 소자(702a, 702b, 703a, 703b, 704a, 및 704b), 동공 평면(705a 및 705b)에 가까이 위치해 있는 빔 성형 컴포넌트, 및 릴레이 광학소자(706a 및 706b, 및 709)로 구성된다. 내부 필드 평면(707)은 렌즈(706a 및 706b)와 렌즈(709) 사이에 위치된다. 한 구성에서, 레이저 광원(701)은 상기 설명한 개선된 레이저 중의 하나를 포함할 수 있다.

[0078] 레이저 광원(701)에 대해, 투과의 두 지점 또는 두 각도를 갖는 단일의 균등한 블록으로서 도시되었지만, 실제로는 이것은, 예를 들어, 요소(702a-706a)를 통과하는 제1 주파수에서의 레이저 광 에너지 등의 제1 채널의 광 에너지와 광학 요소(702b-706h)를 통과하는 제2 주파수에서의 레이저 광 에너지 등의 제2채널의 광 에너지인, 두 개 채널의 조명을 제공할 수 있는 레이저 광원을 나타낸다. 한 채널 내의 명필드 조명 및 다른 채널의 암 필드 모드와 같은 상이한 광 조명 모드가 채용될 수 있다.

[0079] 레이저 광원(701)으로부터의 광 에너지는 90도로 이격되어 방사되는 것으로 도시되고, 광학 요소(702a-706a) 및

광학 요소(702b-706h)는 90도 각도로 지향되어 있지만, 실제로는, 광은 반드시 두 방향으로 지향되는 것은 아니고 여러 방향으로 방사될 수 있으며, 상기 컴포넌트들은 도시된 것과는 상이하게 방향이 지워질 수 있다. 따라서, 도 7은 단순히 채용된 컴포넌트들을 나타내는 것이고 도시된 각도 및 거리들은 반드시 나타낸 크기이어야 할 필요는 없고 설계를 위해 구체적으로 요구되지는 않는다.

[0080] 동공 평면(705a 및 705b)에 가까이에 위치한 요소들은 애퍼처 성형의 개념을 이용하여 현재 시스템에 채용될 수 있다. 이 설계를 이용하여, 균일한 조명 또는 거의 균일한 조명뿐만 아니라, 개별 지점 조명, 링 조명, 4극자 조명, 또는 기타 원하는 패턴의 조명이 실현될 수 있다.

[0081] 대물렌즈를 위한 다양한 구현들이 일반적인 이미징 서브시스템에 채용될 수 있다. 단일 고정 대물렌즈가 사용될 수도 있다. 단일 대물렌즈는 원하는 모든 이미징 및 검사 모드를 지원할 수 있다. 이러한 설계는 이미징 시스템이 상대적으로 넓은 필드 사이즈 및 상대적으로 높은 수치 개를 지원하는 경우 달성될 수 있다. 수치 개구는 동공평면(705a, 705b, 719a, 및 719b)에 위치된 내부 애퍼처를 이용함으로써 원하는 값으로 축소될 수 있다.

[0082] 다수의 대물렌즈는 또한 도 7에 도시된 바와 같이 사용될 수 있다. 예를 들어, 두 개의 대물렌즈(712 및 713)가 도시되어 있지만, 임의의 갯수도 가능하다. 상기한 설계에서의 각각의 대물렌즈는 레이저 광원(701)에 의해 산출되는 각각의 파장에 대해 최적화될 수 있다. 이들 대물렌즈(712 및 713)는 고정된 위치를 갖거나 또는 샘플(714)에 가까운 위치로 이동될 수 있다. 다수의 대물렌즈를 샘플 가까이에 이동시키기 위해서, 회전식 터릿이 표준 마이크로스코프에 공통인 것으로서 사용될 수 있다. 샘플의 가까이에 대물렌즈를 이동시키기 위한 다른 설계는, 대물렌즈를 스테이지상에서 측방으로 평행이동시키는 것, 및 각도계를 이용하여 대물렌즈를 원호 상에서 평행이동시키는 것을 포함하지만 이에 한정되지는 않는다. 또한, 고정된 대물렌즈 및 터릿상의 다수의 대물렌즈의 임의의 조합이 본 시스템에 따라 달성될 수 있다.

[0083] 이 구성의 최대 수치 개구는 0.97에 근사하거나 넘을 수 있지만, 이보다 높은 경우가 있을 수 있다. 높은 NA의 반사 굴절 이미징 시스템으로 가능한 조명 각도 및 수집 각도의 넓은 범위는 그 넓은 필드 크기와 조합하여, 시스템이 다수의 검사 모드를 동시에 지원할 수 있도록 한다. 상기한 이전 단락들로부터 알 수 있는 바와 같이, 다수의 이미징 모드는 조명 디바이스와 결합하여 단일 광학 시스템 또는 머신을 이용하여 구현될 수 있다. 조명 및 수집을 위해 개시된 높은 NA는 이미징 모드가 동일한 광학 시스템을 사용하여 구현될 수 있도록 허용함으로써, 상이한 유형의 결함 또는 샘플들에 대한 최적 이미징이 될 수 있도록 한다.

[0084] 이미징 서브시스템은 또한 중간 이미징 형성 광학소자(715)를 포함한다. 이미징 형성 광학소자(715)의 목적은 샘플(715)의 내부 이미지를 형성하기 위한 것이다. 이 내부 이미지(716)에서, 미러(717)는 검사 양식 중의 하나에 대응하는 광을 재지향시키도록 위치될 수 있다. 이미징 모드를 위한 광은 공간적으로 분리되어 있기 때문에 이 위치에서 광을 재지향시킬 수 있다. 이미징 형성 광학 소자(718)(718a 및 718b) 및 (720)(720a 및 720b)는 가변초점 줌, 포커싱 광학 소자를 갖춘 다수의 무한초점 튜브 렌즈, 또는 다수의 이미지 형성 자성 튜브를 포함하여 여러 상이한 형태로 구현될 수 있다. 발명의 명칭이 "SPLIT FIELD INSPECTION SYSTEM USING SMALL CATADIOPTRIC OBJECTIVES"이고 본원에 그 내용 전부가 참조로서 포함된, 2009년 7월 16일 공개된 미국 출원 공보 번호 2009/0180176호의 공보에는 검사 시스템(700)이 더욱 상세히 설명되어 있다.

[0085] 도 8은 암시야 및 명시야 검사 모드를 갖춘 예시적인 반사굴절 촬상 시스템(800)을 도시한다. 시스템(800)에서, 조명 블록은 레이저(801), 검사중인 표면상의 프로파일 및 조명 빔 사이즈를 제어하는 적응 광학 소자(802), 기계 하우징(804)내의 애퍼처 및 윈도우(803), 및 레이저를 샘플(808)의 표면에 대해 수직입사 각으로 광축을 따라 재지향시키는 프리즘(805)을 포함한다. 프리즘(805)은 또한 샘플(808)의 표면 특징으로부터의 정반사 및 대물렌즈(806)의 광학 표면으로부터의 반사를 광 경로를 따라 이미지 평면(809)에 재지향시킨다. 대물렌즈(806)용 렌즈는 반사굴절 대물렌즈, 포커싱 렌즈군, 및 줌잉 튜브 렌즈부(807)의 일반적인 형태로 제공될 수 있다. 바람직한 실시예에서, 레이저(801)는 상기 설명한 개선된 레이저중의 하나에 구현될 수 있다. 도 8은 발명의 명칭이 "Beam delivery system for laser dark-field illumination in a catadioptric optical system"이고 본원에 그 내용 전부가 참조로서 포함된, 2007년 1월 4일 공개된 미국 출원 공보번호 2007/0002465호의 공보에는 더욱 상세히 설명되어 있다.

[0086] 도 9a 및 9b는 경사 라인 조명을 갖춘 암시야 검사 시스템을 도시한다. 이 검사 시스템은 도시된 바와 같이 오프 축 및 거의 수직인 파의 수집을 포함하는 두 개 또는 세 개의 상이한 수집 시스템을 갖는다. 이 암시야 검사 시스템은 수직 입사 라인 조명(도시되지 않음)도 포함할 수 있다. 도 9a 및 9b에 도시된 시스템의 설명을 포함하는 더욱 상세한 사항은 발명의 명칭이 "Surface inspection system using laser line illumination with two dimensional imaging"이고 본원에 그 내용 전부가 참조로서 포함된, 2009년 4월 28일 특허 허여된 미국 특허 제

7,525,649호에 더욱 상세히 설명되어 있다.

[0087] 도 9a는 표면(911)의 영역을 검사하기 위한 조명 시스템(901) 및 수집 시스템(910)을 포함하는 표면 검사 장치(900)를 도시한다. 도 9a에 도시된 바와 같이, 레이저 시스템(920)은 광 빔(902)을 빔 성형 광학소자(903)를 통해 지향시킨다. 바람직한 실시예에서, 레이저 시스템(920)은 상기 설명한 레이저들 중의 하나를 포함한다. 제1 빔 성형 광학 소자(903)는 표면(911)에 포커싱되는, 레이저 시스템으로부터의 빔을 수광하도록 구성된다.

[0088] 빔 성형 광학 소자(903)는 그 주 평면이 샘플 표면(911)에 실질적으로 평행하도록 지향되고, 그 결과, 조명 라인(905)이 빔 성형 광학소자(903)의 초점면의 표면(911)에 형성된다. 또한, 광 빔(902) 및 포커싱된 빔(904)은 표면(911)에 비수직인 입사 각도에서 지향된다. 특히, 광 빔(902) 및 포커싱된 빔(904)은 표면(911)에 수직인 방향으로부터 약 1°내지 85°사이의 각도로 지향될 수 있다. 이러한 방식으로, 조명 라인(905)은 실질적으로 포커싱된 빔(904)의 입사평면내에 있다.

[0089] 수집 시스템(910)은 조명 라인(905)으로부터 산란된 광을 수집하기 위한 렌즈(912) 및 렌즈(912)로부터 나오는 광을, 감광 검출기의 어레이로 구성되는 전하결합 디바이스(CCD)와 같은 디바이스에 포커싱하기 위한 렌즈(913)를 포함한다. 일실시예에서, CCD(914)는 선형 검출기 어레이를 포함할 수 있다. 그러한 경우에, CCD(914) 내부의 선형 검출기 어레이는 조명 라인(905)에 평행하게 지향될 수 있다. 일실시예에서, 다수의 수집 시스템이 포함될 수 있지만, 각각의 수집 시스템은 동일한 컴포넌트를 포함하지만, 방향이 다르다.

[0090] 예를 들어, 도 9b는 표면 검사 장치를 위한 예시적인 수집 시스템들(931, 932 및 933)의 어레이(여기서, 조명 시스템(901)과 유사한 조명 시스템은 간명을 위해 도시되지 않았다)를 도시한다. 수집 시스템(931) 내의 제1 광학 소자는 샘플(911)의 표면으로부터 제1방향으로 산란된 광을 수집한다. 수집 시스템(932) 내의 제2 광학 소자는 샘플(911)의 표면으로부터 제2 방향으로 산란된 광을 수집한다. 수집 시스템(933) 내의 제3 광학 소자는 샘플(911)의 표면으로부터 제3 방향으로 산란된 광을 수집한다. 제1, 제2, 및 제3 경로들은 샘플(911)의 상기 표면에 상이한 각도로 반사한다. 샘플(911)을 지지하는 플랫폼(921)은 광학 소자와 샘플(911) 사이의 상대 이동을 초래하는 데에 사용될 수 있고 이에 따라 샘플(911)의 전체 표면이 스캐닝될 수 있다.

[0091] 이 레이저는 도 10 및 도 11에 도시된 바와 같은 패터닝되지 않은 웨이퍼용 검사 시스템에 사용될 수도 있다. 이러한 검사 시스템은 상기 도면에 도시된 바와 같이, 경사 및/또는 수직 입사 조명 및 커다란 수집 입체각을 포함할 수 있다.

[0092] 도 10은 표면상의 이상을 검사하는 데에 이용될 수 있는 표면 검사 시스템을 도시한다. 이 실시예에서, 표면(1001)은 상기 설명한 개선된 레이저들 중의 하나에 의해 발생된 레이저 빔을 포함하는 레이저 시스템(1030)의 실질적으로 고정되어 있는 조명 디바이스에 의해 조명될 수 있다. 레이저 시스템(1030)의 출력은 연속적으로 편광 광학 소자(1021), 빔 익스팬더 및 애퍼처(1022), 및 빔 형성 광학소자(1023)를 통과하여 빔을 확대 및 포커싱시킬 수 있다.

[0093] 결과로서 초래되는 포커싱된 레이저 빔(1002)은 빔 폴딩 성분(1003)에 의해 반사되고 빔 편향기(1004)가 빔(1005)을 표면을 조명하기 위해 표면(1001)으로 지향시킨다. 바람직한 실시예에서, 빔(1005)은 표면(1001)에 대해 거의 수직 또는 직각이지만, 다른 실시예에선, 빔(1005)은 표면(1001)에 약간 경사진 각도에 있을 수 있다.

[0094] 일 실시예에서, 빔(1005)은 표면(1001)에 대해 거의 수직 또는 직각이고 빔 편향기(1004)는 표면(1001)으로부터의 정반사된 빔을 빔 회전 성분(1003)을 향해 반사함으로써, 정반사된 빔이 검출기에 도달하는 것을 방지하는 실드로서의 기능을 한다. 정반사의 방향은 샘플의 표면(1001)에 수직인 라인(SR)을 따르는 방향이다. 빔(1005)은 표면(1001)에 대해 거의 수직인 실시예에서, 라인(SR)은 조명 빔(1005)의 방향과 일치하고, 여기서 공통 기준 라인 또는 방향은 본원에서 검사 시스템(1000)의 축으로서 언급된다. 빔(1005)은 표면(1001)에 약간 경사진 각도에 있고 정반사(SR)의 방향은 빔(1005)의 유입 방향과 일치하지 않을 수 있다. 이 경우, 표면 수직의 방향을 나타내는 라인(SR)은 검사 시스템(1000)의 수집 부의 주축으로서 언급된다.

[0095] 작은 입자에 의해 산란된 광은 미러(1006)에 의해 수집되어 애퍼처(1007) 및 검출기(1008)를 향해 지향된다. 큰 입자에 의해 산란된 광은 렌즈(1009)에 의해 수집되어 애퍼처(1010) 및 검출기(1011)를 향해 지향된다. 큰 입자들의 일부는, 수집되어 검출기(1008)로 지향된 광을 산란시키고 마찬가지로 작은 입자들의 일부는, 수집되어 검출기(1011)로 지향된 광을 산란시키지만, 이 산란 광의 강도는 각각의 검출기가 검출하려는 산란 광의 강도보다 상대적으로 낮다. 일 실시예에서, 검출기(1011)는 감광 엘리먼트의 어레이를 포함할 수 있고, 감광 엘리먼트의 어레이의 각각의 감광 엘리먼트는 조명 라인의 대응하는 확대된 이미지 부분을 검출하도록 구성된다. 일 실시예에서, 검사 시스템은 패터닝되지 않은 웨이퍼 상의 결함 검출에 사용하기 위해 구성될 수 있다. 도 10은 발명의

명칭이 "Process and assembly for nondestructive surface inspection"이고 본원에 그 내용 전부가 참조로서 포함된, 2001년 8월 7일 특허 허여된 미국 특허 제6,271,916호에 더욱 상세히 설명되어 있다.

[0096] 도 11은 수직 및 경사 조명 빔을 사용하여 이상 검출을 구현하도록 구성된 검사 시스템(1100)을 도시한다. 이 구성에서, 상기 설명한 개선된 레이저들 중 하나를 포함하는 레이저 시스템(1130)은 레이저 빔(1101)을 제공한다. 렌즈(1102)는 공간 필터(1103)를 통하여 빔(1101)을 포커싱하고 렌즈(1104)는 상기 빔을 시준하여 편광 빔 스플리터(1105)에 보낸다. 빔 스플리터(1105)는 제1 편광 성분을 수직 조명 채널에 통과시키고 제2 편광 성분을 경사 조명 채널에 통과시키는 데, 여기서, 상기 제1 편광 성분과 제2 편광 성분은 서로 직교한다. 수직 조명 채널(1106)에서, 제1 편광 성분은 광학 소자(1107)에 의해 포커싱되고 미러(1108)에 의해 샘플(1109)의 표면을 향해 반사된다. 샘플(1109)에 의해 산란된 방사선은 포물면경(1110)에 의해 수집되어 광다중화기 튜브 또는 검출기(1111)에 의해 포커싱된다.

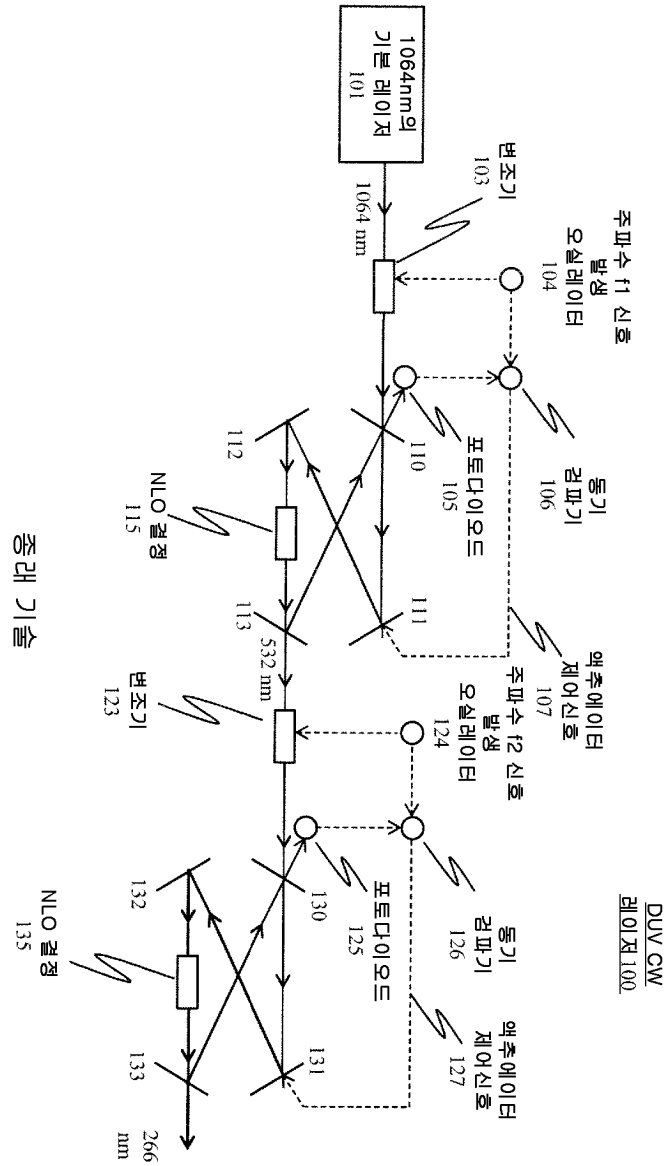
[0097] 경사 조명 채널(1112)에서, 제2 편광 성분은 빔 스플리터(1105)에 의해, 1/2파장 판을 통해 빔을 반사하는 미러(1113)에 반사되고 광학 소자(1107)에 의해 샘플(1109)에 포커싱된다. 경사 채널(112)에서 경사 조명 미러로부터 나오는 방사선 및 샘플(1109)에 의해 산란된 방사선도 포물면경(1110)에 의해 수집되어 광다중화기 튜브 또는 검출기(1111)에 포커싱된다. 일부 실시예들에서, 검출기(1111)는 광다중화기 튜브, 애벌런치 검출기, 선형 어레이 검출기, 전자 폭격 선형 어레이 검출기 및 이미지 강화(image-intensified) 선형 어레이 검출기 중의 하나를 포함한다. 검출기(1111)는 입구에 애퍼처를 갖는다. 애퍼처 및 조명된 스폿 또는 (표면(1109)상의 수직 및 경사 조명 채널로부터의) 라인은 바람직하게 포물면경(1110)의 초점들에 있다.

[0098] 포물면경(1110)은 샘플(1109)로부터의 산란 방사선을 시준 빔(1116)으로 시준한다. 시준 빔(1116)은 그 후 대물 렌즈(1117)에 의해 포커싱되어 분석기(1118)를 통해 검출기(1111)로 간다. 타원형상 이외의 형상을 갖는 만곡된 미러 처리된 표면도 사용될 수 있음을 알아야 한다. 기기(1120)는 빔들이 샘플(1109)의 표면에 걸쳐서 스캐닝되도록 빔들 및 샘플(1109) 사이에 상대 이동을 제공할 수 있다. 도 11에 도시된 것과 유사한 검사 시스템은 발명의 명칭이 "Sample inspection system"이고 본원에 그 내용 전부가 참조로서 포함된, 2001년 3월 13일 특허 허여된 미국 특허 제6,201,601호에 더욱 상세히 설명되어 있다.

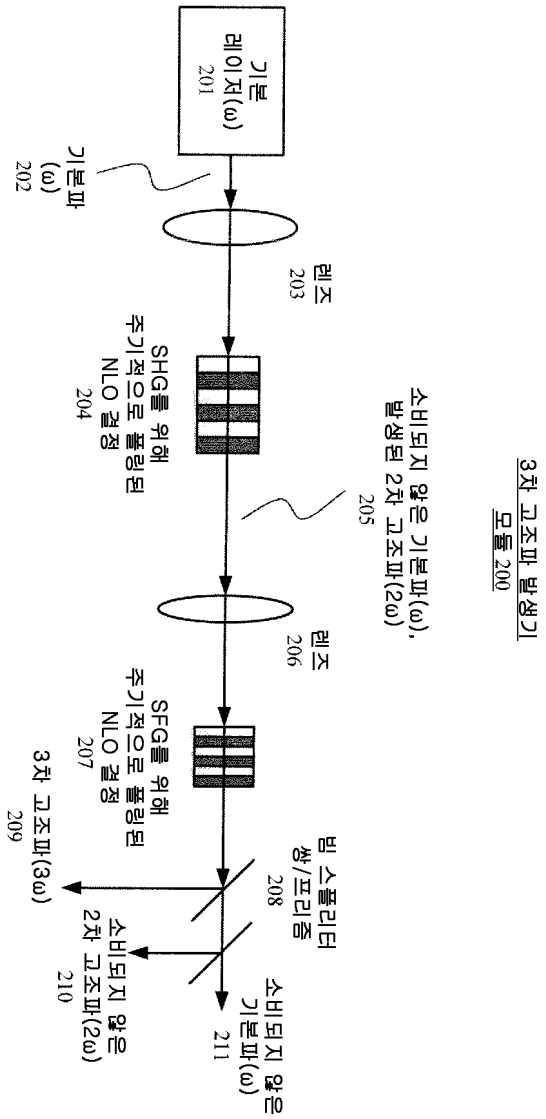
[0099] 상기에서 설명한 본 발명의 구조체 및 방법들의 다양한 실시예들은 단지 본 발명의 원리를 설명하기 위한 예시적인 것이고, 본 발명의 범위를 설명한 특정 실시예들에 한정하는 것을 의도하진 않는다. 예를 들어, 기본 레이저는 상기 나열한 특정 레이저 유형에 제한될 필요는 없다. 상기 설명한 기본 레이저의 유형 외에, 기본 레이저는 다이오드 레이저, 광섬유 레이저, 네오디뮴 도핑된 이트륨 플루오라이드 레이저, 또는 약 1 ㎛ 내지 약 1.1 ㎛ 사이의 파장에 대응하는 기본 주파수를 발생하는 임의의 종류의 레이저를 포함할 수 있다. 상기 나열한 것 이외의 NLO 결정들의 유형은 하나 이상의 고조파 발생기 모듈의 내부에 포함될 수 있다. 상기 설명한 고조파 발생기 모듈들 중의 일부는 공진 캐비티를 포함한다. 당업계에 공지된 임의의 유형의 광 공진 캐비티로서 2개, 3개 또는 4개 미러들 또는 프리즘을 포함하는 공진 캐비티들이 사용될 수 있다. 임의의 렌즈, 프리즘, 빔 스플리터 또는 기타 광학 성분들은 발명의 명칭이 "High damage threshold frequency conversion system"이고 본원에 그 내용 전부가 참조로서 포함된, 2014년 4월 29일 특허 허여된 미국 특허 제8,711,460호에 설명된 바와 같은 브루스터 각 광학 소자들을 포함할 수 있다. 이와 같이, 본 발명은 하기의 특허청구범위 및 그 등가물에 의해서만 제한된다.

도면

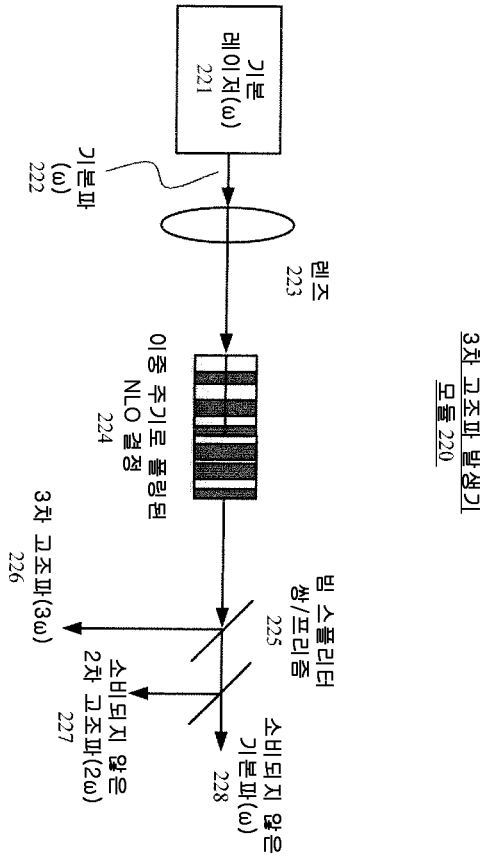
도면1


종래 기술
DUV CW 레이저 100
1064nm의 기본 레이저 101
1064 nm
변조기 103
주파수 f1 신호 발생 오실레이터 104
동기 검파기 106
위상 에이터 제어신호 107
포토다이오드 105
110
111
112
113
NLO 결정 115
532 nm
변조기 123
주파수 f2 신호 발생 오실레이터 124
동기 검파기 126
위상 에이터 제어신호 127
포토다이오드 125
130
131
132
133
NLO 결정 135
266 nm

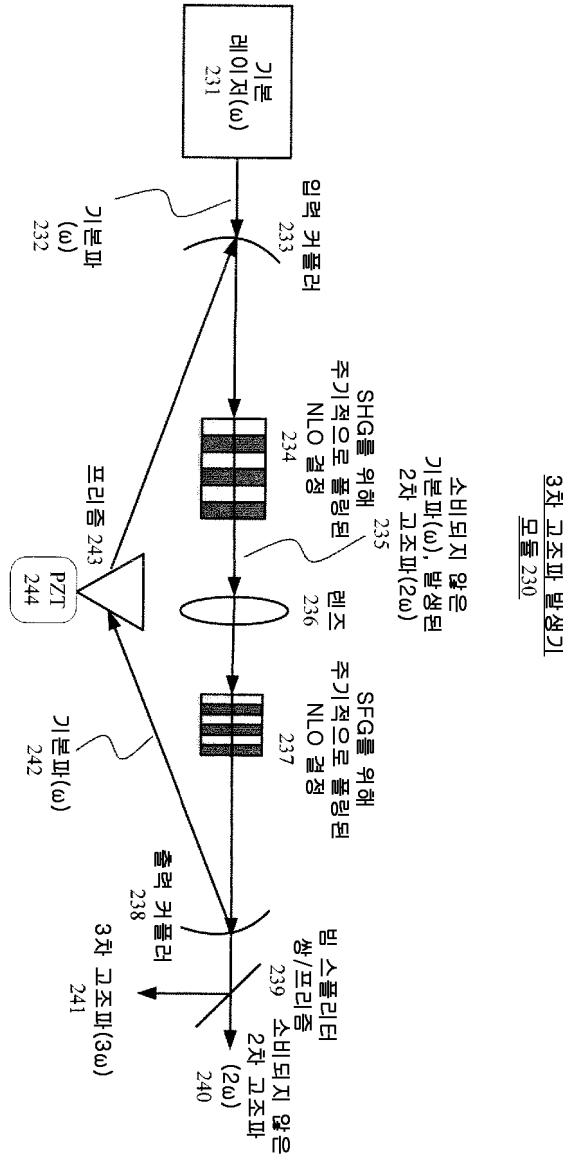
도면2a


3차 고조파 발생기
모듈 200
기본
레이저(ω)
201
기본파
(ω)
202
렌즈
203
SHG를 위해
주기적으로 폴링된
NLO 결정
204
소비되지 않은 기본파(ω),
발생된 2차 고조파(2ω)
205
렌즈
206
SFG를 위해
주기적으로 폴링된
NLO 결정
207
빔 스플리터
쌍/프리즘
208
3차 고조파(3ω)
209
소비되지 않은
2차 고조파(2ω)
210
소비되지 않은
기본파(ω)
211

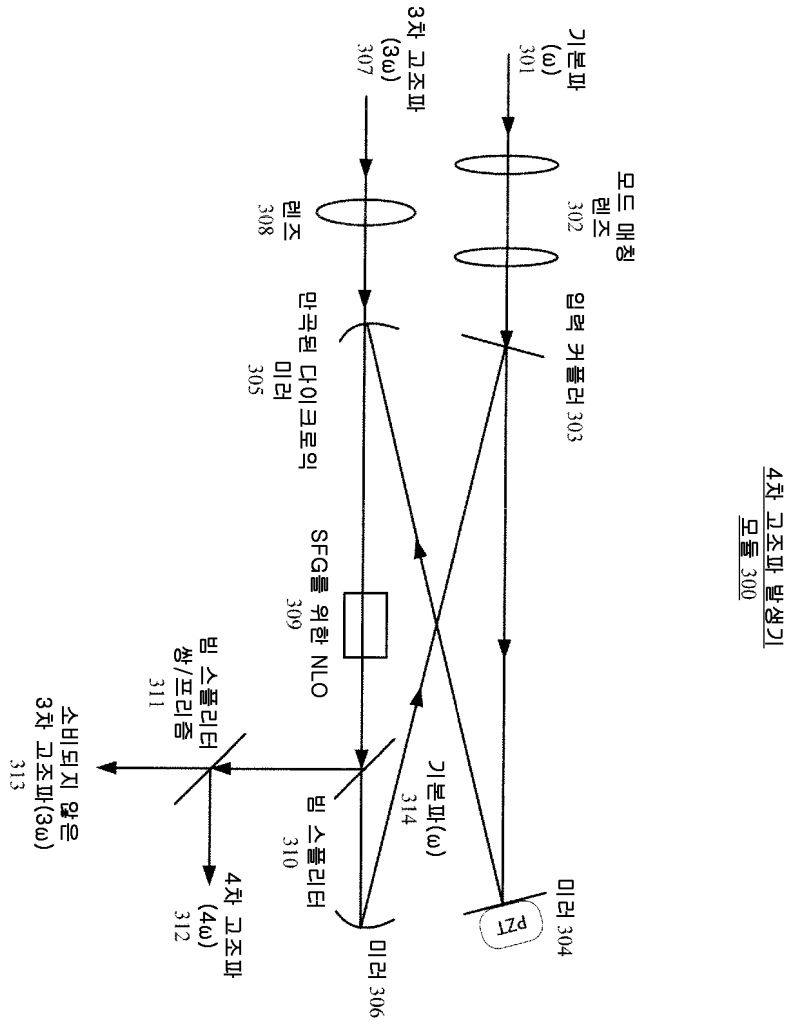
도면2b


3차 고조파 발생기
모듈 220
기본
레이저(ω)
221
기본파
(ω)
222
렌즈
223
이중 주기로 폴링된
NLO 결정
224
빔 스플리터
쌍/프리즘
225
3차 고조파(3ω)
226
소비되지 않은
2차 고조파(2ω)
227
소비되지 않은
기본파(ω)
228

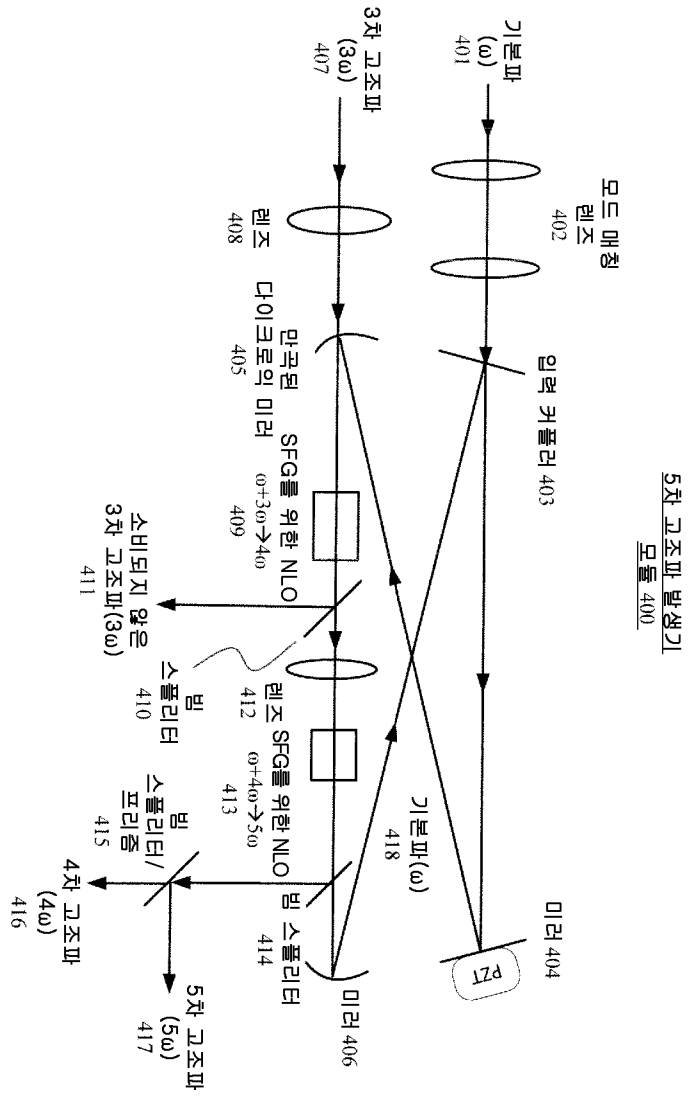
도면2c


기본 레이저(ω) 231
기본파 (ω) 232
입력 커플러 233
SHG를 위해 주기적으로 폴링된 NLO 결정 234
소비되지 않은 기본파(ω), 발생된 2차 고조파(2ω) 235
렌즈 236
SFG를 위해 주기적으로 폴링된 NLO 결정 237
출력 커플러 238
빔 스플리터 쌍/프리즘 239
소비되지 않은 2차 고조파 (2ω) 240
3차 고조파(3ω) 241
기본파(ω) 242
프리즘 243
PZT 244
3차 고조파 발생기 모듈 230

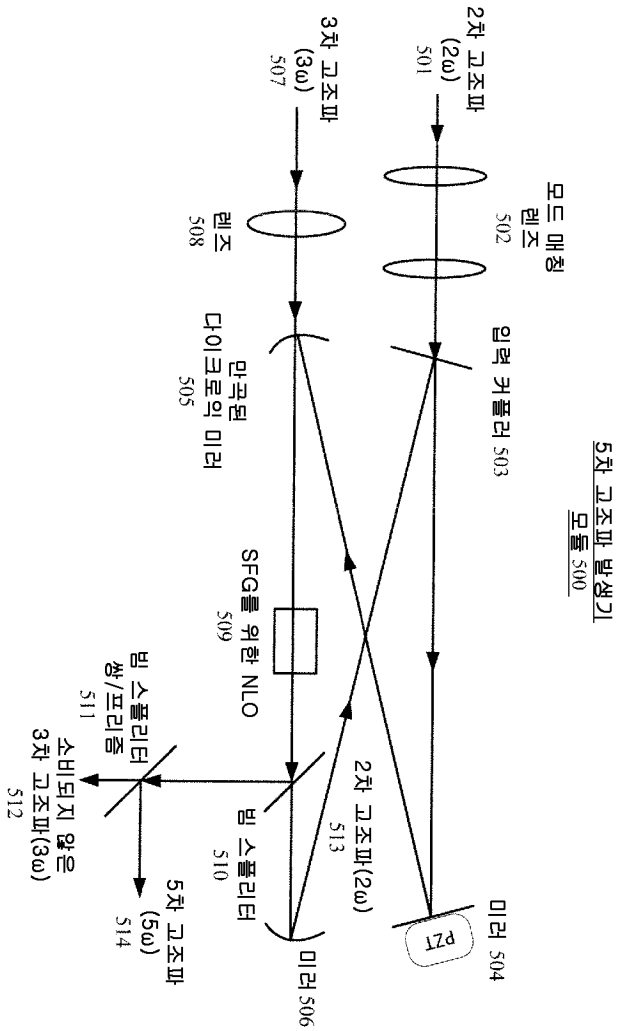
도면3


4차 고조파 발생기
모듈 300
기본파
(ω)
301
모드 매칭
렌즈
302
입력 커플러 303
미러 304
PZT
3차 고조파
(3ω)
307
렌즈
308
만곡된 다이크로익
미러
305
SFG를 위한 NLO
309
빔 스플리터
310
미러 306
기본파(ω)
314
빔 스플리터/
쌍프리즘
311
4차 고조파
(4ω)
312
소비되지 않은
3차 고조파(3ω)
313

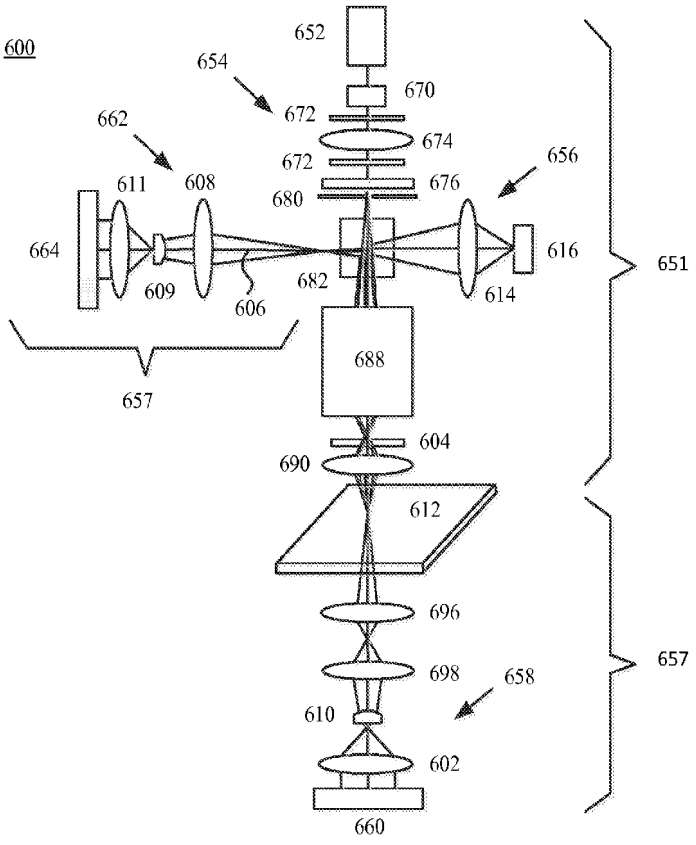
도면4


5차 고조파 발생기 모듈 400
기본파 (ω) 401
모드 매칭 렌즈 402
입력 커플러 403
미러 404
PZT
기본파(ω) 418
미러 406
3차 고조파 (3ω) 407
렌즈 408
만곡된 다이크로익 미러 405
SFG를 위한 NLO ω+3ω→4ω 409
소비되지 않은 3차 고조파(3ω) 411
빔 스플리터 410
렌즈 412
SFG를 위한 NLO ω+4ω→5ω 413
빔 스플리터 414
빔 스플리터/ 프리즘 415
4차 고조파 (4ω) 416
5차 고조파 (5ω) 417

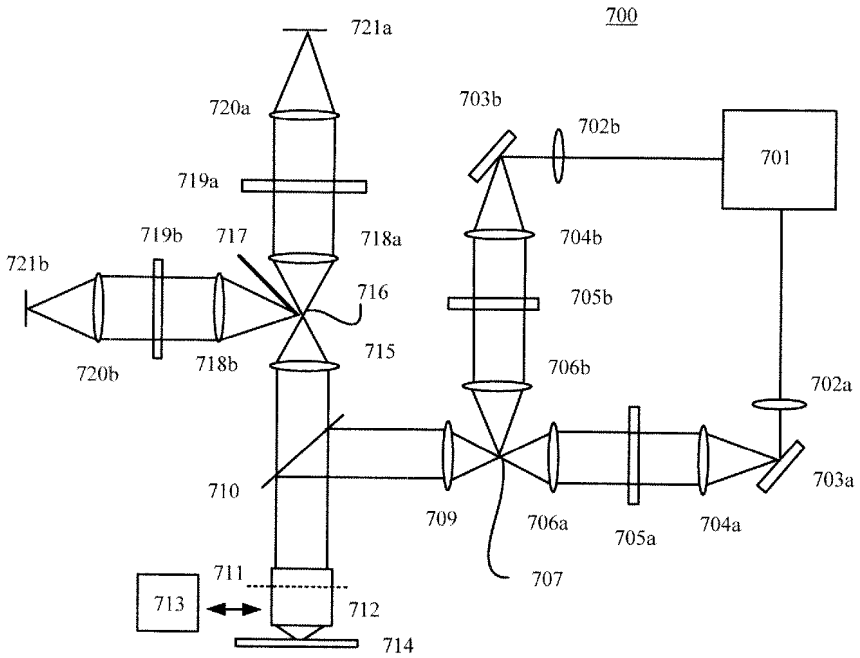
도면5


5차 고조파 발생기 모듈 500
2차 고조파 (2ω) 501
모드 매칭 렌즈 502
입력 커플러 503
미러 504
PZT
3차 고조파 (3ω) 507
렌즈 508
만곡된 다이크로익 미러 505
SFG를 위한 NLO 509
빔 스플리터 510
2차 고조파(2ω) 513
미러 506
빔 스플리터/프리즘 511
소비되지 않은 3차 고조파(3ω) 512
5차 고조파 (5ω) 514

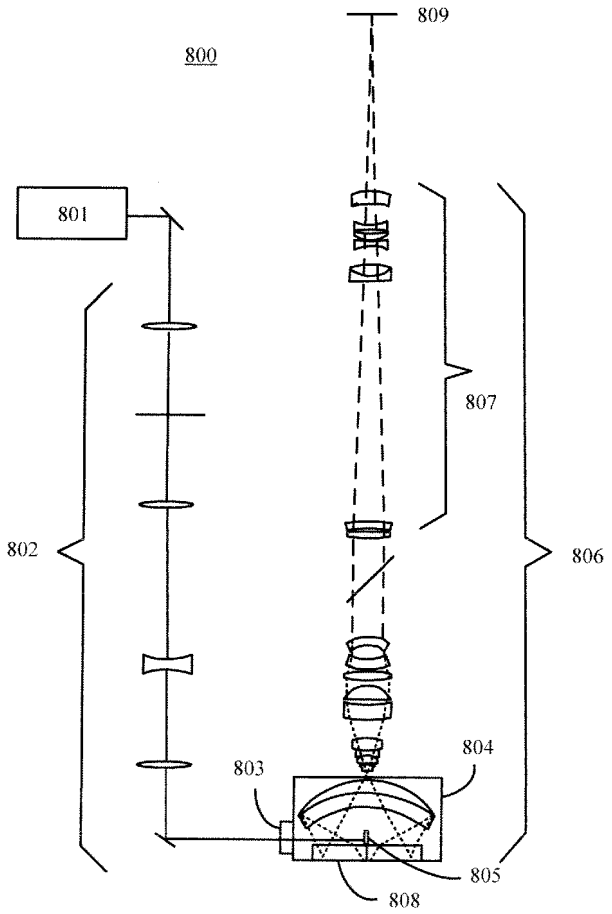
도면6


600
652
654
670
662
672
674
672
656
611
608
676
680
664
616
651
609
606
682
614
688
657
604
690
612
696
657
698
658
610
602
660

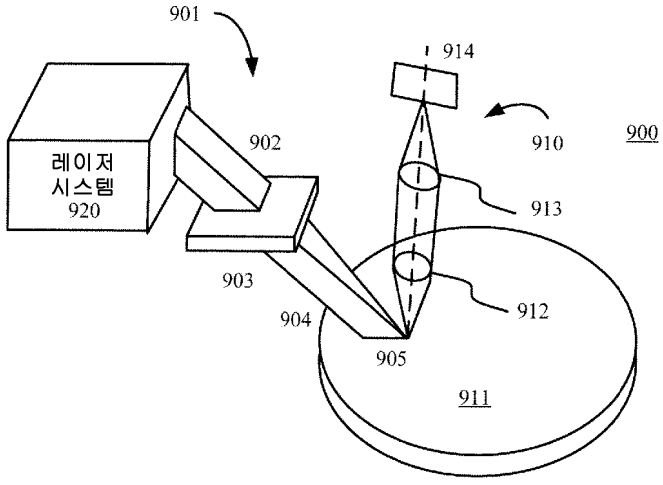
도면7


700
721a
720a
703b
702b
701
719a
719b
717
718a
704b
721b
716
705b
715
720b
718b
706b
702a
710
703a
709
706a
705a
704a
707
711
713
712
714

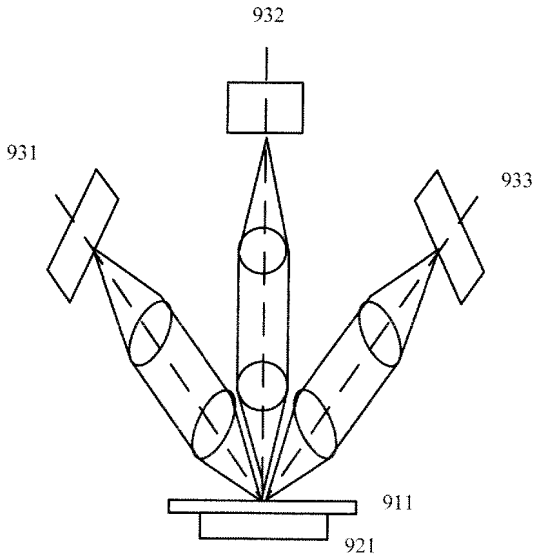
도면8


809
800
801
807
802
806
804
803
805
808

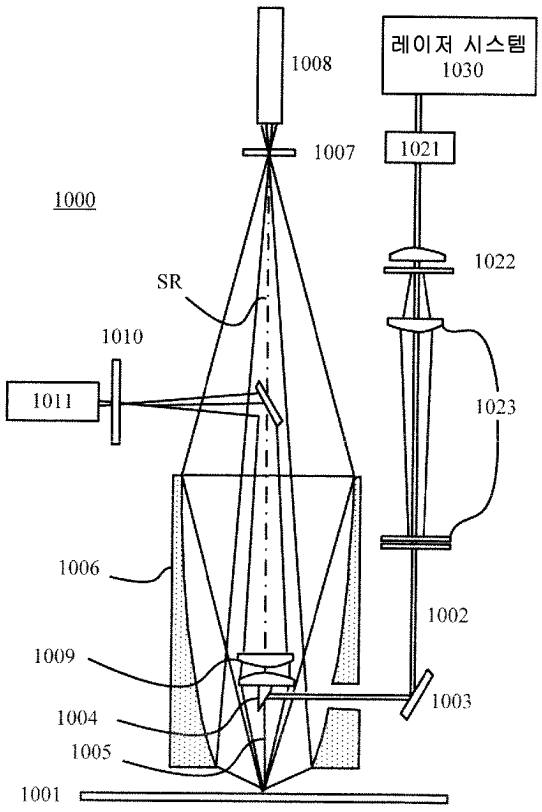
도면9a


901
914
902
910
900
레이저
시스템
920
913
903
912
904
905
911

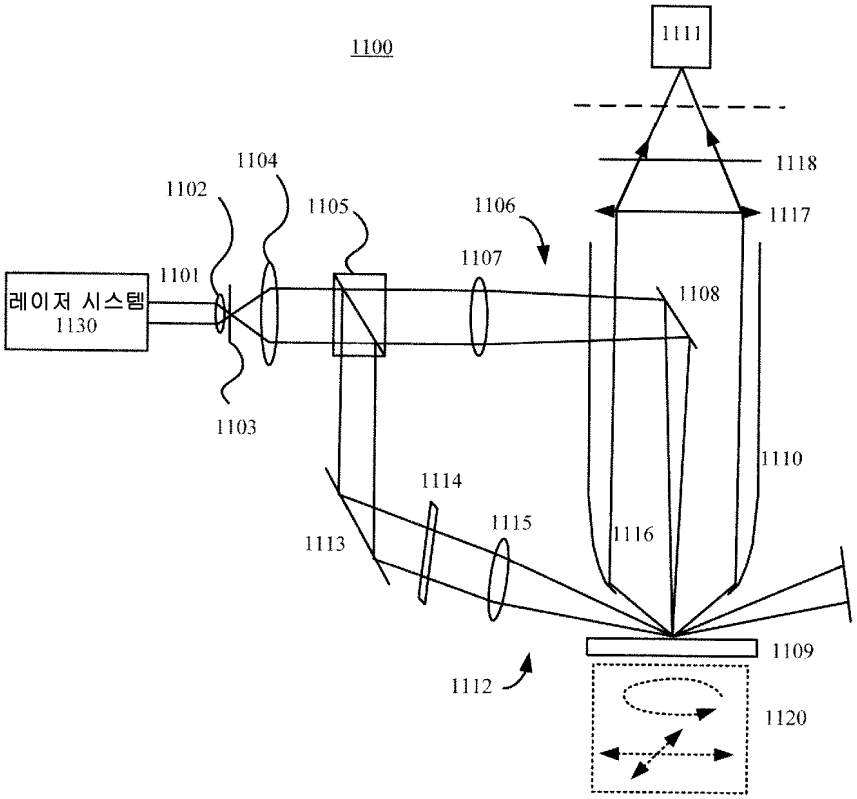
도면9b


932
931
933
911
921

도면10


1008
레이저 시스템
1030
1007
1021
1000
1022
SR
1010
1011
1023
1006
1002
1009
1003
1004
1005
1001

도면11


1100
1111
1118
1117
1104
1102
1105
1106
1107
1108
1101
레이저 시스템
1130
1103
1110
1114
1115
1116
1113
1109
1112
1120