



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년10월22일

(11) 등록번호 10-2169060

(24) 등록일자 2020년10월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01S 3/00 (2019.01) G01N 21/84 (2006.01)
 G01N 21/95 (2006.01) G01N 21/956 (2006.01)
 H01S 3/108 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
 H01S 3/0092 (2013.01)
 G01N 21/84 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-7022954
- (22) 출원일자(국제) 2014년01월24일
 심사청구일자 2019년01월24일
- (85) 번역문제출일자 2015년08월24일
- (65) 공개번호 10-2015-0109472
- (43) 공개일자 2015년10월01일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2014/012902
- (87) 국제공개번호 WO 2014/116922
 국제공개일자 2014년07월31일
- (30) 우선권주장
 61/756,209 2013년01월24일 미국(US)
 14/158,615 2014년01월17일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
 JP2001274081 A*
 (뒷면에 계속)

- (73) 특허권자
 케이엘에이 코포레이션
 미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
 놀로지 드라이브
- (72) 발명자
 추앙 영호 알렉스
 미국 캘리포니아주 95014 쿠퍼티노 패럴론 드라이브
 10678
 암스트롱 제이 조셉
 미국 캘리포니아주 94539 프리몬트 갈레고스 애비
 뉴 43141
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
 김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 45 항

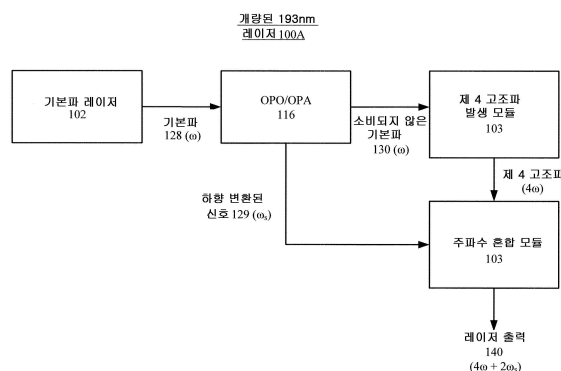
심사관 : 홍성의

(54) 발명의 명칭 193NM 레이저 및 검사 시스템

(57) 요약

대략 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저가, 기본파 레이저, 광학 파라메트릭 발생기, 제 4 고조파 발생기, 및 주파수 혼합 모듈을 포함한다. 기본파 레이저에 커플링되는 광학 파라메트릭 발생기는 하향 변환된 신호를 발생시킬 수 있다. 광학 파라메트릭 발생기 또는 기본파 레이저에 커플링될 수도 있는 제 4 고조파 발생기는 제 4 고조파를 발생시킬 수 있다. 광학 파라메트릭 발생기 및 제 4 고조파 발생기에 커플링되는 주파수 혼합 모듈은, 제 4 고조파와 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수에서 레이저 출력을 발생시킬 수 있다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01N 21/9501 (2013.01)

H01S 3/0078 (2013.01)

H01S 3/1083 (2013.01)

G01N 2021/95676 (2013.01)

(72) 발명자

드리빈스키 블라디미르

미국 캘리포니아주 94551 리버모어 빅 바신 로드
1140

땡 유준

미국 캘리포니아주 95131 산호세 팬 스트리트 1712

피엘덴 존

미국 캘리포니아주 94024 로스 알토스 빅토리아 코
트 2020

(56) 선행기술조사문헌

JP2007086108 A*

JP2008532044 A*

JP2012220388 A*

W02011158927 A1*

W02012173943 A2*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저에 있어서,

기본파 광을 제공하기 위한 기본파 레이저(fundamental laser);

상기 기본파 레이저에 커플링되어, 상기 기본파 광의 일부만이 하향 변환(down conversion) 프로세스에서 소비됨으로써, 하향 변환된 신호를 발생시키는 광학 파라메트릭 발생기;

상기 기본파 광의 소비되지 않은 부분이 상기 광학 파라메트릭 발생기로부터 제 4 고조파 발생기로 지향되도록 상기 광학 파라메트릭 발생기에 커플링되어, 제 4 고조파를 발생시키는 상기 제 4 고조파 발생기; 및

상기 광학 파라메트릭 발생기 및 상기 제 4 고조파 발생기에 커플링되어, 상기 제 4 고조파와 상기 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수의 레이저 출력을 발생시키는 주파수 혼합 모듈을 포함하며,

상기 주파수 혼합 모듈은 2 개의 비선형 결정체들 - 유형-II 변환에 의해 상기 하향 변환된 신호의 주파수와 상기 제 4 고조파의 합과 동일한 주파수를 발생시키도록 구성된 제 1 비선형 결정체, 및 유형-I 변환에 의해 상기 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배와 상기 제 4 고조파의 합과 동일한 주파수를 발생시키도록 구성된 제 2 비선형 결정체 - 을 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 기본파 레이저는 1064.3nm, 1053nm, 1047nm, 또는 1030nm의 기본파 주파수를 발생시키는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 광학 파라메트릭 발생기는 주기적으로 폴링된(periodically polled) 비선형 광학 결정체를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 주기적으로 폴링된 비선형 광학 결정체는, 리튬 니오베이트, 산화 마그네슘 도핑된 리튬 니오베이트, 화학량론적 리튬 탄탈레이트, 산화 마그네슘 도핑된 화학량론적 리튬 탄탈레이트, 및 칼륨 티탄일 포스페이트(potassium titanyl phosphate, KTP) 중 하나인 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 하향 변환된 신호는 1380nm 내지 1612nm의 신호 파장을 갖는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 하향 변환된 신호는 1416nm의 신호 파장을 갖는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 레이저는, 연속파 레이저, Q-스위칭식 레이저, 모드 잠금식 레이저, 또는 준 연속파(quasi-continuous-wave) 레이저 중 하나인 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 광학 파라메트릭 발생기는 광학 파라메트릭 증폭기 또는 광학 파라메트릭 발진기를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 기본파 레이저는 레이저 다이오드 또는 파이버 레이저를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 기본파 레이저는 세슘 리튬 보레이트(cesium lithium borate, CLBO) 결정체를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 주파수 혼합 모듈은 세슘 리튬 보레이트(CLBO) 결정체, 베타 바륨 보레이트(beta barium borate, BBO) 결정체, 또는 리튬 트리보레이트(lithium triborate, LBO) 결정체를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 12

193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저에 있어서,

기본파 광을 제공하기 위한 기본파 레이저;

상기 기본파 레이저에 커플링되어, 상기 기본파 광의 일부만이 하향 변환 프로세스에서 소비됨으로써, 하향 변환된 신호를 발생시키는 광학 파라메트릭 발생기;

상기 기본파 광의 소비되지 않은 부분이 상기 광학 파라메트릭 발생기로부터 제 4 고조파 발생기로 지향되도록 상기 광학 파라메트릭 발생기에 커플링되어, 제 4 고조파를 발생시키는 상기 제 4 고조파 발생기; 및

상기 광학 파라메트릭 발생기 및 상기 제 4 고조파 발생기에 커플링되어, 상기 제 4 고조파와 상기 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수의 레이저 출력을 발생시키는 주파수 혼합 모듈을 포함하며,

상기 주파수 혼합 모듈은 2 개의 비선형 결정체들 - 유형-I 변환에 의해 상기 하향 변환된 신호의 주파수와 상기 제 4 고조파의 합과 동일한 주파수를 발생시키도록 구성된 제 1 비선형 결정체, 및 유형-II 변환에 의해 상기 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배와 상기 제 4 고조파의 합과 동일한 주파수를 발생시키도록 구성된 제 2 비선형 결정체 - 을 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 13

193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저에 있어서,

기본파 레이저;

상기 기본파 레이저에 커플링되어, 제 2 고조파를 발생시키는 주파수 더블링 모듈;

상기 주파수 더블링 모듈에 커플링되어, 제 3 고조파를 발생시키는 주파수 결합기;

상기 주파수 더블링 모듈 및 주파수 결합기 중 하나에 커플링되어, 하향 변환된 신호를 발생시키는 광학 파라메트릭 발생기; 및

상기 광학 파라메트릭 발생기 및 상기 주파수 결합기에 커플링되어, 상기 제 3 고조파와 상기 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수의 레이저 출력을 발생시키는 주파수 혼합 모듈을 포함하는, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 하향 변환된 신호는 818nm 내지 918nm의 신호 파장을 갖는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 15

제 13 항에 있어서,

상기 하향 변환된 신호는 846nm 내지 856nm의 신호 파장을 갖는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 16

검사 시스템에 있어서,

193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저를 포함하고,

상기 레이저는,

기본파 광을 제공하기 위한 기본파 레이저;

상기 기본파 레이저에 커플링되어, 상기 기본파 광의 일부만이 하향 변환 프로세스에서 소비됨으로써, 하향 변환된 신호를 발생시키는 광학 파라메트릭 발생기;

상기 기본파 광의 소비되지 않은 부분이 상기 광학 파라메트릭 발생기로부터 제 4 고조파 발생기로 지향되도록 상기 광학 파라메트릭 발생기에 커플링되어, 제 4 고조파를 발생시키는 상기 제 4 고조파 발생기; 및

상기 광학 파라메트릭 발생기 및 상기 제 4 고조파 발생기에 커플링되어, 상기 제 4 고조파와 상기 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수에서 레이저 출력을 발생시키는 주파수 혼합 모듈을 포함하며,

상기 주파수 혼합 모듈은, 하나의 비선형 결정체가 유형-I 주파수 합산을 수행하고 다른 비선형 결정체가 유형-II 주파수 합산을 수행하도록 구성된 2 개의 비선형 결정체들을 포함하는 것인, 검사 시스템.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 검사 시스템은 암시야(dark-field) 검사 시스템인 것인, 검사 시스템.

청구항 18

제 16 항에 있어서,

조명의 코히어런스를 감소시키기 위해 적어도 하나의 음향-광학 변조기 또는 전기-광학 변조기를 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 19

제 16 항에 있어서,

펄스 반복률을 증가시키기 위한 펄스 레이트 증배기(pulse rate multiplier)를 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 20

제 16 항에 있어서,

동일한 검출기들을 사용하여 반사 및 투과 이미지들을 동시에 집광하기 위한 컴포넌트들을 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 21

제 16 항에 있어서,

검사되고 있는 타겟 상에 조명된 라인을 형성하기 위한 컴포넌트들을 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 22

제 16 항에 있어서,

타겟 상에 다수의 동시에 조명된 스폿들을 형성하기 위한 컴포넌트들을 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 23

검사 시스템에 있어서,

193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저를 포함하고,

상기 레이저는

기본파 레이저;

상기 기본파 레이저에 커플링되어, 제 2 고조파를 발생시키는 제 2 고조파 발생기;

상기 기본파 레이저 및 상기 제 2 고조파 발생기에 커플링되어, 제 3 고조파를 발생시키는 주파수 결합기;

상기 제 2 고조파 발생기에 커플링되어, 하향 변환된 신호를 발생시키는 광학 파라메트릭 발생기; 및

상기 광학 파라메트릭 발생기 및 상기 주파수 결합기에 커플링되어, 상기 제 3 고조파와 상기 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수에서 레이저 출력을 발생시키는 주파수 혼합 모듈을 포함하는 것인, 검사 시스템.

청구항 24

193.4nm 파장의 광을 발생시키는 방법에 있어서,

1064nm의 기본파 파장을 발생시키는 단계;

상기 기본파 파장의 제 1 부분만이 하향 변환 프로세스에서 소비됨으로써 1416nm의 하향 변환된 신호 파장을 발생시키는 단계;

상기 하향 변환 프로세스에서 소비되지 않은 부분인 상기 기본파 파장의 제 2 부분으로부터 제 4 고조파 파장을 발생시키는 단계; 및

상기 제 4 고조파 파장 더하기 상기 하향 변환된 신호 파장의 주파수의 2 배와 동일한 주파수에 대응하는 출력 파장을 발생하기 위해 상기 제 4 고조파 파장 및 상기 하향 변환된 신호 파장을 혼합하는 단계를 포함하며,

상기 혼합하는 단계는 유형-I 주파수 합산과 유형-II 주파수 합산을 포함하는 것인, 193.4nm 파장의 광을 발생시키는 방법.

청구항 25

삭제

청구항 26

193.4nm 파장의 광을 발생시키는 방법에 있어서,

1064nm의 기본파 파장을 발생시키는 단계;

상기 기본파 파장의 부분으로부터 제 2 고조파 파장을 발생시키는 단계;

소비되지 않은 기본파 고조파 파장 및 상기 제 2 고조파 파장의 제 1 부분으로부터 제 3 고조파 파장을 발생시키는 단계;

상기 제 2 고조파 파장의 제 2 부분 및 소비되지 않은 제 2 고조파 파장 중 하나로부터 800nm 내지 950nm 사이의 하향 변환된 신호 파장을 발생시키는 단계; 및

상기 제 3 고조파 파장 더하기 상기 하향 변환된 신호 파장의 주파수의 2 배와 동일한 주파수에 대응하는 출력 파장을 발생시키기 위해 상기 제 3 고조파 파장 및 상기 하향 변환된 신호 파장을 혼합하는 단계를 포함하는, 193.4nm 파장의 광을 발생시키는 방법.

청구항 27

제 12 항에 있어서,

상기 기본파 레이저는 1064.3nm, 1053nm, 1047nm, 또는 1030nm의 기본파 주파수를 발생시키는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 28

제 27 항에 있어서,

상기 광학 파라메트릭 발생기는 주기적으로 폴링된 비선형 광학 결정체를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 29

제 28 항에 있어서,

상기 주기적으로 폴링된 비선형 광학 결정체는, 리튬 니오베이트, 산화 마그네슘 도핑된 리튬 니오베이트, 화학량론적 리튬 탄탈레이트, 산화 마그네슘 도핑된 화학량론적 리튬 탄탈레이트, 및 칼륨 티탄일 포스페이트 (potassium titanyl phosphate, KTP) 중 하나인 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 30

제 27 항에 있어서,

상기 하향 변환된 신호는 1380nm 내지 1612nm의 신호 파장을 갖는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 31

제 30 항에 있어서,

상기 하향 변환된 신호는 1416nm의 신호 파장을 갖는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 32

제 27 항에 있어서,

상기 레이저는, 연속파 레이저, Q-스위칭식 레이저, 모드 잠금식 레이저, 또는 준 연속파(quasi-continuous-wave) 레이저 중 하나인 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 33

제 27 항에 있어서,

상기 광학 파라메트릭 발생기는 광학 파라메트릭 증폭기 또는 광학 파라메트릭 발진기를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 34

제 27 항에 있어서,

상기 기본파 레이저는 레이저 다이오드 또는 파이버 레이저를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 35

제 27 항에 있어서,

상기 기본파 레이저는 세슘 리튬 보레이트(cesium lithium borate, CLB0) 결정체를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 36

제 27 항에 있어서,

상기 주파수 혼합 모듈은 세슘 리튬 보레이트(CLB0) 결정체, 베타 바륨 보레이트(beta barium borate, BBO) 결정체, 또는 리튬 트리보레이트(lithium triborate, LBO) 결정체를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 37

제 27 항에 있어서,

상기 주파수 혼합 모듈은 수소-어닐링된 비선형 결정체를 포함하는 것인, 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저.

청구항 38

검사 시스템에 있어서,

193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저를 포함하고,

상기 레이저는,

기본파 광을 제공하기 위한 기본파 레이저;

상기 기본파 레이저에 커플링되어, 상기 기본파 광의 일부만이 하향 변환 프로세스에서 소비됨으로써, 하향 변환된 신호를 발생시키는 광학 파라메트릭 발생기;

상기 기본파 광의 소비되지 않은 부분이 상기 광학 파라메트릭 발생기로부터 제 4 고조파 발생기로 지향되도록 상기 광학 파라메트릭 발생기에 커플링되어, 제 4 고조파를 발생시키는 상기 제 4 고조파 발생기; 및

상기 광학 파라메트릭 발생기 및 상기 제 4 고조파 발생기에 커플링되어, 상기 제 4 고조파와 상기 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수에서 레이저 출력을 발생시키는 주파수 혼합 모듈을 포함하며,

상기 주파수 혼합 모듈은, 하나의 비선형 결정체가 유형-I 주파수 합산을 수행하고 다른 비선형 결정체가 유형-II 주파수 합산을 수행하도록 구성된 2 개의 비선형 결정체들을 포함고,

상기 검사 시스템은 검출기 및 상기 검출기를 사용하여 반사 및 투과 이미지를 동시에 집광하도록 구성된 옵틱스(optics)를 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 39

제 38 항에 있어서,

상기 검사 시스템은 암시야(dark-field) 검사 시스템인 것인, 검사 시스템.

청구항 40

제 38 항에 있어서,

조명의 코히어런스를 감소시키기 위해 적어도 하나의 음향-광학 변조기 또는 전기-광학 변조기를 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 41

제 38 항에 있어서,

펄스 반복률을 증가시키기 위한 펄스 레이트 증배기(pulse rate multiplier)를 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 42

제 38 항에 있어서,

동일한 검출기들을 사용하여 반사 및 투과 이미지들을 동시에 집광하기 위한 컴포넌트들을 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 43

제 38 항에 있어서,

검사되고 있는 타겟 상에 조명된 라인을 형성하기 위한 컴포넌트들을 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 44

제 38 항에 있어서,

타겟 상에 다수의 동시에 조명된 스폿들을 형성하기 위한 컴포넌트들을 더 포함하는, 검사 시스템.

청구항 45

제 38 항에 있어서,

상기 기본파 레이저는 1064.3nm, 1053nm, 1047nm, 또는 1030nm의 기본파 주파수를 발생시키는 것인, 검사 시스템.

청구항 46

제 13 항에 있어서,

상기 기본파 레이저는 1064.3nm, 1053nm, 1047nm, 또는 1030nm의 기본파 주파수를 발생시키는 것인, 레이저.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

우선권 출원

[0002]

본 출원은 2013년 1월 24일자로 출원되고 본원에 참조로 통합된 미국 특허 가출원 제61/756,209호를 우선권 주장한다.

[0003]

관련 출원

[0004]

본 출원은 발명의 명칭이 "Solid-State Laser and Inspection System Using 193nm Laser"이고 Chuang 등에 의해 2013년 3월 12일자로 출원되고 참조로 본원에 통합된 미국 특허 출원 제13/797,939호에 관련된다.

[0005]

개시물의 분야

[0006]

본 개시물은 레이저에 관한 것이고 구체적으로는 193nm 근처의 방사를 발생시키고 포토마스크들, 레티클들, 및/또는 웨이퍼들의 검사에서 사용하기에 적합한 고체 상태 또는 파이버 레이저(fiber laser)에 관한 것이다. 레이저는 펄스식(pulsed)(Q-스위칭식(Q-switched) 또는 모드 잠금식(mode-locked)) 또는 CW(continuous wave)일 수도 있다.

배경 기술

- [0007] 관련 기술
- [0008] 193nm에서 광을 발생시키는 엑시머 레이저들이 당해 분야에서 잘 알려져 있다. 유감스럽게도, 이러한 레이저들은 검사 응용들에 만족스럽게 적합하지 않은데, 그것들의 낮은 레이저 펄스 반복률(repetition rate)들과 그것들의 레이징(lasing) 매체에서의 그것들의 유독성 및 부식성 가스들의 사용 때문이고, 이는 높은 소유 비용으로 이어진다.
- [0009] 193nm 근처의 광을 발생시키는 고체 상태 및 파이버 레이저들이 또한 알려져 있다. 예시적인 레이저들은 2 개의 상이한 기본파 파장들 또는 기본파(fundamental)의 제 8 고조파를 사용하는데, 그것들 중 어느 하나는 비싸거나 또는 다량 생산이 되지 않는 재료들 또는 레이저들을 필요로 한다. 더구나, 이들 레이저들의 대부분은 매우 낮은 파워 출력을 갖고 수 MHz 이하의 레이저 펄스 반복률들로 제한된다.
- [0010] 그러므로, 레이저에 대한 그리고 바람직하게는 193nm 근처에서 방사를 발생시키고 포토마스크들, 레티클들, 및/또는 웨이퍼들의 검사에서 사용하기에 적합한 고체 상태 또는 파이버 레이저에 대한 필요가 발생하였다. 명백히, 이러한 고속의 검사들은 다수의 MHz의 (예컨대 일부 경우들에서 50 MHz보다 더 큰) 최소 레이저 펄스 반복률들을 종종 필요로 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

- [0011] 대략 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 레이저가 설명된다. 이 레이저는 기본파 레이저, 광학 파라메트릭 발생기, 제 4 고조파 발생기, 및 주파수 혼합 모듈을 포함한다. 기본파 레이저에 커플링되는 광학 파라메트릭 발생기는 하향 변환된 신호를 발생시킬 수 있다. 광학 파라메트릭 발생기에 커플링되는 제 4 고조파 발생기는 제 4 고조파를 발생시킬 수 있다. 광학 파라메트릭 발생기 및 제 4 고조파 발생기에 커플링되는 주파수 혼합 모듈은, 제 4 고조파와 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수의 레이저 출력을 발생시킬 수 있다. 명백히, 주파수 혼합 모듈은 2 개의 비선형 결정체들을 포함한다. 하나의 실시형태에서, 제 1 비선형 결정체가 제 4 고조파와 유형-II 변환에 의한 하향 변환된 신호의 주파수의 합과 동일한 주파수를 발생시키도록 구성되고, 제 2 비선형 결정체가 제 4 고조파와 유형-I 변환에 의한 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수를 발생시키도록 구성된다.
- [0012] 대략 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 다른 레이저가 설명되어 있다. 이 레이저는 기본파 레이저, 제 1 및 제 2 주파수 더블링 모듈들, 광학 파라메트릭 발생기, 및 주파수 혼합 모듈을 포함한다. 기본파 레이저에 커플링되는 제 1 주파수 더블링 모듈은 제 2 고조파를 발생시킬 수 있다. 제 1 주파수 더블링 모듈에 커플링되는 제 2 주파수 더블링 모듈은 제 4 고조파를 발생시킬 수 있다. 제 1 주파수 더블링 모듈 또는 기본파 레이저에 커플링되는 광학 파라메트릭 발생기는 하향 변환된 신호를 발생시킬 수 있다. 광학 파라메트릭 발생기 및 제 2 주파수 더블링 모듈에 커플링되는 주파수 혼합 모듈은, 제 4 고조파와 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수의 레이저 출력을 발생시킬 수 있다. 명백히, 주파수 혼합 모듈은 2 개의 비선형 결정체들을 포함한다. 하나의 실시형태에서, 제 1 비선형 결정체가 제 4 고조파와 유형-I 변환에 의한 하향 변환된 신호의 주파수의 합과 동일한 주파수를 발생시키도록 구성되고, 제 2 비선형 결정체가 제 4 고조파와 유형-II 변환에 의한 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수를 발생시키도록 구성된다.
- [0013] 대략 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 또 다른 레이저가 설명되어 있다. 이 레이저는 기본파 레이저, 주파수 더블링 모듈, 주파수 결합기, 광학 파라메트릭 발생기, 및 주파수 혼합 모듈을 포함한다. 기본파 레이저에 커플링되는 주파수 더블링 모듈은 제 2 고조파를 발생시킬 수 있다. 주파수 더블링 모듈에 커플링되는 주파수 결합기는 제 3 고조파를 발생시킬 수 있다. 주파수 더블링 모듈 또는 주파수 결합기에 커플링되는 광학 파라메트릭 발생기는 하향 변환된 신호를 발생시킬 수 있다. 광학 파라메트릭 발생기 및 주파수 결합기에 커플링되는 주파수 혼합 모듈은, 제 3 고조파와 하향 변환된 신호의 주파수의 2 배의 합과 동일한 주파수의 레이저 출력을 발생시킬 수 있다.

- [0014] 이들 193.4nm 레이저들은 쉽사리 입수가가능하고 비교적 저렴한 컴포넌트들을 사용하여 구축될 수 있다. 예를 들어, 설명되는 다양한 실시형태들에서 사용되는 기본파 레이저는 대략 1064.3nm, 대략 1053nm, 대략 1047nm, 또는 대략 1030nm의 기본파 주파수를 발생시킬 수 있다. 이들 기본파 레이저들은 전력 및 반복률의 다양한 조합들에서 합리적인 가격으로 쉽사리 입수가가능하다. 기본파 레이저는 레이저 다이오드 또는 파이버 레이저를 포함할 수 있다.
- [0015] 광학 파라메트릭 증폭기(optical parametric amplifier, OPA)로서 또는 광학 파라메트릭 발진기(optical parametric oscillator, OPO)로서 구현되는 광학 파라메트릭 발생기는, 주기적으로 폴링된(periodically polled) 비선형 광학 결정체를 포함할 수 있다. 예시적인 주기적으로 폴링된 비선형 결정체들은 리튬 니오베이트(lithium niobate, LN), 산화 마그네슘 도핑된 리튬 니오베이트(magnesium-oxide doped lithium niobate, Mg:LN), 화학량론적 리튬 탄탈레이트(stoichiometric lithium tantalate, SLT), 산화 마그네슘 도핑된 화학량론적 리튬 탄탈레이트(magnesium-oxide doped stoichiometric lithium tantalate, Mg:SLT), 또는 칼륨 티탄일 포스페이트(potassium titanyl phosphate, KTP)로부터 형성될 수 있다.
- [0016] 광학 파라메트릭 발생기에 의해 발생된 하향 변환된 신호는 대략 1380nm 내지 1612nm, 1416nm, 818nm 내지 918nm, 및 846nm 내지 856nm 중 하나의 신호 파장을 갖는다.
- [0017] 주파수 혼합 모듈은 세슘 리튬 보레이트(cesium lithium borate, CLBO) 결정체, 베타 바륨 보레이트(beta barium borate, BBO) 결정체, 또는 리튬 트리보레이트(lithium triborate, LBO) 결정체를 포함할 수 있다. 하나의 예시적인 혼합 기법에서, 대략 266nm 파장에서의 제 4 고조파는 대략 224nm의 파장을 발생시키기 위해 대략 1416nm의 하향 변환된 신호(적외선 광)와 혼합된다. 그 다음에 대략 224nm 광은 대략 193nm의 파장을 발생시키기 위해 하향 변환된 신호와 재결합된다. 이들 2 개의 주파수 혼합 스테이지들은 193nm 레이저의 전반적인 높은 효율 및 안정성에 기여한다. 몇몇 바람직한 실시형태들에서, 이들 2 개의 주파수 혼합 스테이지들은 100 °C 근처의 온도에서 이들 2 개의 변환들을 높은 효율(예컨대 비선형 계수들이 대략 0.5 내지 1 pm V⁻¹일 수 있음) 및 작은 워크오프(walk-off) 각도들로 수행할 수 있는 CLBO 결정체들을 포함할 수 있다. 하나의 실시형태에서, CLBO에서의 유형-II 혼합은 대략 224nm 파장을 발생시키는 변환 스테이지를 위해 사용될 수 있으며, 대략 193nm 파장을 발생시키는 CLBO에서의 유형-I 혼합이 뒤따른다. 다른 실시형태에서, CLBO에서의 유형-I 혼합은 대략 224nm 파장을 발생시키는 변환 스테이지를 위해 사용될 수 있으며, 대략 193nm 파장을 발생시키는 CLBO에서의 유형-II 혼합이 뒤따른다. 일부 실시형태들에서, 이들 2 개의 주파수 혼합 스테이지들 중 하나 또는 양쪽 모두가 CLBO 이외의 비선형 광학 결정체, 이를테면 BBO(beta barium borate) 또는 LBO(lithium triborate)를 사용하여 수행될 수도 있다.
- [0018] 본원에서 설명되는 대략 193.4nm의 출력 파장을 발생시키는 개량된 레이저들은 연속파 레이저들, Q-스위칭식 레이저들, 모드 잠금식 레이저들, 또는 준 연속파(quasi-continuous-wave) 레이저들일 수 있다. 제 8 고조파 레이저들에 비하여, 이들 개량된 레이저들은 상당히 저렴하고, 더 긴 수명 및 양호한 소유 비용을 갖는다. 더구나, 낮은 반복률 레이저들과 비교하여, 이들 개량된 레이저들은 연관된 검사 시스템의 조명 옵틱스를 상당히 단순화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1a, 도 1b, 및 도 1c는 예시적인 개량된 193nm 레이저들의 블록도들을 도시한다.
- 도 1d는 도 1a 및 도 1b에 도시된 개량된 193nm 레이저들에 대한 예시적인 파장 범위들의 테이블을 도시한다.
- 도 1e는 도 1c에 도시된 개량된 193nm 레이저에 대한 예시적인 파장 범위들의 테이블을 도시한다.
- 도 2는 제 4 고조파 발생기의 하나의 실시형태를 도시한다.
- 도 3은 주파수 혼합기 모듈의 하나의 실시형태를 도시한다.
- 도 4a와 도 4b는 개량된 193nm 레이저들에서 사용될 수 있는 주파수 혼합기들의 몇몇 실시형태들을 도시한다.
- 도 5는 시드(seed) 레이저가 안정화된 협대역 시드 레이저 광을 발생시킬 수 있는 예시적인 증폭기 모듈을 도시한다.
- 도 6은 주파수 ω_s 에서 하향 변환된 신호를 발생시키도록 구성된 예시적인 OPO/OPA를 도시한다.
- 도 7은 하나의 센서 상의 이미지 또는 신호의 2 개의 채널들을 동시에 검출하는 레티클, 포토마스크, 또는 웨이

퍼 검사 시스템을 도시한다.

도 8은 다수의 대물렌즈들과 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저들 중 하나를 포함하는 예시적인 검사 시스템을 도시한다.

도 9는 반사굴절(catadioptric) 이미징 시스템에 대한 수직 입사 레이저 암시야(dark-field) 조명의 추가를 도시한다.

도 10a는 표면의 영역들을 검사하기 위한 조명 시스템 및 집광 시스템을 포함하는 표면 검사 장치를 도시한다.

도 10b는 표면 검사 장치에 대한 집광 시스템들의 예시적인 어레이를 도시한다.

도 11은 표면 상의 비정상성(anomaly)들을 검사하는데 사용될 수 있는 표면 검사 시스템을 도시한다.

도 12는 수직 및 경사 조명 빔들 양쪽 모두를 사용하여 비정상성 검출을 구현하도록 구성된 검사 시스템을 도시한다.

도 13은 검사 또는 계측(metrology) 시스템에서 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저와 함께 사용하기 위한 예시적인 펄스 증배기를 도시한다.

도 14는 검사 또는 계측 시스템에서 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저와 함께 사용하기 위한 코히어런스 감소 서브시스템을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 도 1a는 예시적인 개량된 193nm 레이저(100A)의 블록도를 도시한다. 레이저(100A)에서, 주파수 ω 에서 동작하는 기본파 레이저(102)가 (업계에서 "기본파(fundamental)"라고 지칭되는) 기본파 광(128)을 발생시킬 수 있다. 하나의 실시형태에서, 주파수 ω (기본파)는 1064nm 근처의 적외선 파장에 해당할 수도 있다. 파장이 본원에서 제한 없이 사용될 때, 이러한 파장은 진공 광 파장이라 지칭된다는 것에 주의한다. 예시적인 기본파 레이저(102)가 Nd:YAG(neodymium-doped yttrium aluminum garnate) 레이징 매체 또는 Nd-도핑된 이트륨 오소바나데이트(yttrium orthovanadate) 레이징 매체를 사용하는 레이저에 의해 또는 이트륨-도핑된 파이버 레이저에 의해 구현될 수 있다. 적합한 기본파 레이저들은 (80MHz 및 120MHz의 반복률들을 갖는 팔라딘 패밀리에서의 모델들을 포함하는) 코히어런트 아이앤씨., (익스플로러 패밀리에서의 모델들을 포함하는) 뉴포트 코오퍼레이션, 및 다른 제조자들로부터의 펄스식(Q-스위칭식 또는 모드-잠금식) 또는 CW(continuous wave)로서 상업적으로 입수가 가능하다. 이러한 기본파 레이저들에 대한 레이저 파워 레벨들은 밀리وات부터 수십 와트 이상까지의 범위일 수 있다.
- [0021] 레이저(100A)에서, 기본파(128)는 광학 파라메트릭 발생기, 예컨대 광학 파라메트릭 발진기 또는 광학 파라메트릭 증폭기(OPO/OPA)(116)를 향해 진행된다. OPO/OPA(116)는 기본파 광(128)의 부분을 주파수 ω_s 의 하향 변환된 신호(129)로 하향 변환할 수 있다. 일부 바람직한 실시형태들에서, ω_s 에 대응하는 파장은 대략 1416nm(예컨대, 약 1330nm부터 약 1612nm까지의 범위 내, 약 1378nm부터 1461nm까지의 범위 내, 또는 약 1413nm부터 약 1417nm까지의 범위 내)이다.
- [0022] 일부 실시형태들에서, 기본파(128)의 단지 부분만이 하향 변환 프로세스에서 소비된다. 그런 실시형태들에서, 기본파 광(128)의 소비되지 않은 부분, 즉, 소비되지 않은 기본파(130)가 제 4 고조파 발생 모듈(103)로 진행된다. 모듈(103)(아래에서 더 상세히 설명됨)은 소비되지 않은 기본파(ω)로부터 제 4 고조파(4ω)를 발생시키는 다수의 주파수 변환 스테이지들을 통상 포함한다. 이 제 4 고조파(4ω)는 4ω 및 $2\omega_s$ 의 합과 실질적으로 동일한 주파수를 갖는 레이저 출력(140)을 생성하기 위해 주파수 혼합 모듈(118)에서 하향 변환된 신호(129)와 결합될 수 있다. 일부 실시형태들에서, 레이저 출력(140)의 출력 파장은 193.368nm와 실질적으로 동일하다. 다른 실시형태들에서, 출력 파장은 대략 190nm 및 200nm 사이 또는 대략 192nm 및 195nm 사이에 있다.
- [0023] 도 1b는 대체적인 개량된 193nm 레이저(100B)의 블록도를 도시한다. 이 실시형태에서, 기본파(ω)(위에서 언급된 레이저들 중 임의의 것에 의해 발생됨)는 제 2 고조파(2ω)를 발생시키는 제 1 주파수 더블링 모듈(110)로 진행된다. 제 1 주파수 더블링 모듈(110)에 의해 출력된 소비되지 않은 기본파는 OPO/OPA(116)로 진행될 수 있는데, OPO/OPA는 결국 하향 변환된 신호(ω_s)를 발생시킨다. 위에서 언급했듯이, 하향 변환된 신호(ω_s)의 파장은 대략 1416nm(예컨대 약 1330nm부터 약 1612nm까지의 범위 내, 약 1380nm부터 1461nm까지의 범위 내, 또는 약 1413nm부터 약 1417nm까지의 범위 내)이다.

- [0024] 제 1 주파수 더블링 모듈(110)에 의해 발생된 제 2 고조파(2ω)는 제 4 고조파(4ω)를 발생시키는 제 2 주파수 더블링 모듈(112)로 진행된다. 주파수 혼합 모듈(103)은 제 4 고조파(4ω) 및 하향 변환된 신호(ω_s)를 결합하여 4ω 및 $2\omega_s$ 의 합과 대략적으로 동일한 주파수를 갖는 레이저 출력(140)을 생성할 수 있다. 위에서 언급했듯이, 일부 실시형태들에서, 이 출력 파장은 193.368nm와 대략적으로 동일하다. 다른 실시형태들에서, 출력 파장은 대략 190nm와 200nm 사이 또는 대략 192nm와 195nm 사이에 있다.
- [0025] 또 다른 실시형태에서, 기본파 레이저(102)에 의해 출력된 기본파(ω)는 2 개의 부분들로 분할될 수 있다. 하나의 부분은 제 1 주파수 더블링 모듈(110)로 진행되고, 다른 부분(화살표 109에 의해 도시됨)은 OPO/OPA(116)로 진행된다. 따라서, 이 실시형태에서, 제 1 주파수 더블링 모듈(110)에 의해 출력된 소비되지 않은 기본파(ω)는 OPO/OPA(116)로 진행되지 않는다. 제 2 주파수 더블링 모듈(112) 및 OPO/OPA(116)는 양쪽 모두가, 도 1b에 도시된 바와 같이, 주파수 혼합 모듈(103)에 여전히 커플링되어 있다. 실질적으로 유사한 파장들이 이 수정된 실시형태에서 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저(100B)에서와 같이 사용되고 발생된다.
- [0026] 도 1d는 도 1a 및 도 1b에 도시된 개량된 193nm 레이저들에 대한 (nm 단위의) 예시적인 파장 범위들의 테이블을 도시한다. 각각의 기본파 레이저 유형에 대해, 예시적인 단파장 기본파와 예시적인 장파장 기본파가, 소망의 출력 파장(테이블에서 도시된 예에서 193.4nm)에 대해 필요한 고조파들 및 하향 변환된 신호에 대응하는 파장들과 함께 도시되어 있다. 기본파 레이저의 정확한 파장은 레이징 매체의 정확한 조성, 레이징 매체의 동작 온도, 및 광학 공동(optical cavity)의 설계를 포함한 많은 요인들에 의존한다. 주어진 레이징 매체의 동일한 레이저 라인을 사용하는 2 개의 레이저들은 앞서 언급된 및 다른 요인들로 인해 1nm의 10분의 몇 또는 수 nm만큼 상이한 파장들에서 동작할 수도 있다. 적절한 당업자는 테이블에서 열거된 것들과 가까운 임의의 기본파 파장으로부터 소망의 출력 파장을 생성하기 위하여 하향 변환된 신호에 대한 적절한 파장을 선택하는 방법을 이해할 것이다. 마찬가지로, 소망의 출력 파장이 193.4nm로부터 수 nm만큼 상이하다면, 소망의 출력 파장은 하향 변환된 신호에 대한 파장의 적절한 조정에 의해 또한 달성될 수 있다.
- [0027] 도 1c는 개량된 193nm 레이저(100C)의 다른 대체 실시형태를 도시한다. 이 실시형태에서, 기본파 레이저(102)로부터 출력된 기본파(ω)는 제 2 고조파(2ω)를 발생시키는 주파수 더블링 모듈(110)로 진행된다. 기본파(ω)는 위에서 언급된 레이저들 중 임의의 것에 의해 발생될 수도 있다. 주파수 더블링 모듈(110)에 의해 소비되지 않은 기본파(ω)의 부분파, 제 2 고조파(2ω)는 그 다음에 제 3 고조파(3ω)를 발생시키는 주파수 결합기(133)로 진행된다.
- [0028] 주파수 결합기(133)에 의해 소비되지 않은 제 2 고조파(2ω)는 그 다음에 주파수(ω_s)를 갖는 하향 변환된 신호(132)를 발생시키는 OPO/OPA(136)로 진행된다. 하나의 수정된 실시형태(화살표 140으로 도시됨)에서, 제 2 고조파(2ω)의 부분은 주파수 더블링 모듈(110)의 출력으로부터 직접 취해지고 (즉, 주파수 결합기(133)의 출력으로부터 소비되지 않은 제 2 고조파를 취하는 대신임) OPO/OPA(136)로 진행된다. 일부 실시형태들에서, 하향 변환된 신호(132)의 파장은 대략 850nm(예컨대 약 818nm부터 약 918nm까지의 범위 내, 또는 약 836nm부터 867nm까지의 범위 내, 또는 약 846nm부터 약 856nm까지의 범위 내)이다. ω_s 에 대해 선택된 정확한 파장은 기본파 레이저의 정확한 파장과 소망의 출력 파장에 의존한다는 것에 주의한다. 동일한 유형의 상이한 기본파 레이저들은 상이한 레이징 매체 온도들, 레이징 매체 조성 변동들, 및 레이저 공동(laser cavity) 설계에서의 다른 작은 차이들로 인해 nm의 10분의 몇만큼 파장이 상이할 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 193nm의 수 nm 내의 출력 파장이 192nm와 195nm 사이 또는 190nm와 200nm 사이의 출력 파장과 같은 개량된 193nm 레이저를 사용하는 것이 가능하다.
- [0029] 주파수 혼합 모듈(138)이 3ω 및 $2\omega_s$ 의 합과 실질적으로 동일한 주파수에 대응하는 파장에서 레이저 출력(150)을 생성하기 위해 제 3 고조파(3ω)와 하향 변환된 신호(132)(ω_s)를 결합할 수 있다. 일부 실시형태들에서, 이 출력 파장은 193.368nm와 실질적으로 동일하다. 다른 실시형태들에서, 이 출력 파장은 대략 190nm와 200nm 사이 또는 대략 192nm와 195nm 사이에 있다. 일부 실시형태들에서, 주파수 혼합 모듈(138)은 3ω 및 ω_s 를 혼합하여 이들 2 개의 주파수들의 합을 (ω 가 대략 1064nm의 파장에 대응할 때) 대략 250nm의 파장에서 생성하는 CLBO 결정체를 구비할 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 주파수 혼합 모듈(138)은 $3\omega + \omega_s$ 와 ω_s 의 합을 혼합하여 레이저 출력(150)(하나의 바람직한 실시형태에서 대략 193.4nm의 파장에 대응함)을 생성하기 위해 BBO, KBBF(Potassium beryllium fluoroborate) 또는 KBO(potassium pentaborate tetrahydride) 결정체를 추가로 포함할 수도 있다. 도 1e는 도 1c에 도시된 개량된 193nm 레이저에 대한 (nm 단위의) 예시적인 파장 범위들의 테

이블을 도시한다. 도 1e는 도 1a 및 도 1b의 개량된 193nm 레이저들에 대해 도 1d에서 도시된 것과 유사한 정보를 도시한다. 도 1d에 대한 위의 상세한 설명을 참조한다.

[0030] 도 2는 제 4 고조파 발생기(200)의 바람직한 실시형태를 도시한다. 주파수 ω 에서의 기본파(201)는 제 1 주파수 더블링 모듈(202)에 의해 제 2 고조파(2ω)(202A)로 변환된다. 제 2 고조파(202A)는 제 2 주파수 더블링 모듈(203)에 의해 제 4 고조파(4ω)(203A)로 변환된다. 각각 제 1 주파수 더블링 모듈(202) 및 제 2 주파수 더블링 모듈(203)에서 사용되지 않는 소비되지 않은 기본파(202B) 및 소비되지 않은 제 2 고조파(203B)는 이들 모듈들에 의해 따로따로 출력될 수도 있다.

[0031] 제 4 고조파 발생기(200)의 하나의 바람직한 실시형태에서, 제 2 고조파 발생 모듈(202)은 주파수 변환을 위한 LBO 결정체를 포함할 수도 있다. 다른 실시형태들에서, 제 2 고조파 발생 모듈(202)은 주파수 변환을 위한 CLBO, BBO, 또는 다른 비선형 결정체를 포함할 수도 있다. 제 4 고조파 발생기(200)의 하나의 바람직한 실시형태에서, 제 4 고조파 발생 모듈(203)은 주파수 변환을 위한 CLBO 결정체를 포함할 수도 있다. 다른 실시형태들에서, 제 4 고조파 발생 모듈(203)은 주파수 변환을 위한 BBO 또는 다른 비선형 결정체를 포함할 수도 있다.

[0032] 도 3은 주파수 혼합기 모듈(300)의 바람직한 실시형태를 도시한다. 주파수 혼합기 모듈(300)에서, 제 1 주파수 혼합기(302)가 제 4 고조파(4ω)(301A) 및 하향 변환된 신호(ω_s)(301B)를 수신하여 4ω 및 ω_s 의 합과 동일한 주파수에서 합 주파수(303A)를 발생시킨다. 합 주파수(303A)와 ω_s 의 주파수에서의 소비되지 않은 신호(303B)는 제 2 주파수 혼합기(304)로 진행되는데, 제 2 주파수 혼합기는 $4\omega + 2\omega_s$ 의 주파수에서 레이저 출력(305)을 발생시킨다. 몇몇 실시형태들에서, 제 1 주파수 혼합기(302)는 소비되지 않은 제 4 고조파(303C)를 제 2 주파수 혼합기(304)로부터 멀어지도록 진행시킨다. 다른 실시형태들에서, 소비되지 않은 제 4 고조파(303C)는 제 2 주파수 혼합기(304)로 전해질 수 있는데, 그들 실시형태들에서, 제 2 주파수 혼합기(304)의 편광이 레이저 출력(305)의 발생에 영향을 주지 않거나 또는 거의 주지 않도록 배향되기 때문이다.

[0033] 바람직한 실시형태들에서, 합 주파수(303A)는 대략 224nm의 파장과 동등한 주파수이다. 일부 실시형태들에서, 합 주파수(303A)는 223.95nm의 파장에 해당하는 주파수와 실질적으로 동일하다. 다른 실시형태들에서, 합 주파수(303A)는 대략 221nm부터 대략 229nm까지의 범위의 파장에 해당하는 주파수이다. 또 다른 실시형태들에서, 합 주파수(303A)는 대략 222nm부터 대략 226nm까지의 범위의 파장에 해당하는 주파수이다. 바람직한 실시형태들에서, 주파수 혼합기(302)가 주파수 변환을 위한 CLBO 결정체를 포함한다. 바람직한 실시형태들에서, 주파수 혼합기(304)는 주파수 변환을 위한 CLBO 결정체를 포함한다.

[0034] 주파수 혼합 모듈(138)(도 1c)의 입력들이 제 4 고조파(4ω) 및 신호 주파수(ω_s) 대신에 제 3 고조파(3ω) 및 신호 주파수(ω_s)라는 점을 제외하면, 주파수 혼합 모듈(138)은 주파수 혼합 모듈(300)에 대해 도 1에 예시된 것과 유사한 방식으로 구현될 수도 있다는 것에 주의한다. 주파수 혼합기들(302 및 304)에서 사용하기 위한 몇몇 적절한 결정체들이 위에서 설명되어 있다. 특히, 주파수 혼합 모듈(300)이 주파수 혼합 모듈(138)을 위해 사용될 때, CLBO는 193.4nm 근처의 파장을 발생시키기 위해 주파수 혼합기(304)에서 사용될 수 없는데, 그것이 위상 일치하지 않기 때문이라는 것에 주의한다. 위에서 언급했듯이, BBO, 또는 다른 비선형 결정체는, 이 경우 주파수 혼합기(304)에서 사용되어야만 한다.

[0035] 도 1a, 도 1b, 도 1c, 도 2, 및 도 3에 도시된 실시형태들 중 임의의 것에서, 거울들은 기본파 또는 다른 파장들을 필요한 대로 진행시키는데 사용되어야만 한다. 예를 들어, 프리즘들, 빔 스플리터들, 빔 결합기들 및 이색(dichroic) 코팅된 거울들이, 필요에 따라 빔들을 분리하고 결합하는데 사용될 수도 있다. 거울들 및 빔 스플리터들의 다양한 조합들이 상이한 주파수 발생기들 및 혼합기들 간에 다양한 파장들을 임의의 적절한 시퀀스로 분리하고 라우팅하는데 사용될 수도 있다. 주파수 변환 결정체들 및 프리즘들의 면들은 반사방지 코팅을 사용하는 일 없이 반사를 최소화 또는 제어하기 위하여 입력 파장에 대한 브루스터(Brewster)의 각도와 대략적으로 또는 실질적으로 동일한 각도에서 절단될 수도 있다. 이 절단은 UV 방사가 입사하는 표면들에 대해 특히 유익할 수 있는데, 반사방지 코팅들이 UV에 노출될 때 저하될 수도 있고 따라서 이러한 표면들 상에서 사용된다면 레이저의 신뢰도를 저하시킬 수도 있기 때문이다. 다음의 주파수 변환 또는 주파수 혼합 스테이지의 적절한 결정체 축과 편광을 정렬하기 위해 파장판들 또는 다른 광학 엘리먼트들이 파장들 중 임의의 것의 편광을 필요한 대로 회전시키는데 사용될 수도 있다.

[0036] 도 1a, 도 1b, 및 도 1c는 기본파 주파수의 4 배(도 1c에 대한 기본파 주파수의 3 배) 더하기 신호 주파수의 2 배와 실질적으로 동일한 주파수를 발생시키기 위한 다양한 개량된 레이저들을 도시하는데, 신호 주파수는 기본파로부터의 하향 변환(도 1c에서의 제 2 고조파로부터의 하향 변환)에 의해 생성된다. 기본파 주파수의 4 배

더하기 신호 주파수의 2 배 또는 기본파 주파수의 3 배 더하기 신호 주파수의 2 배를 발생시키기 위한 위에서 설명된 것들과 유사한 다른 레이저 실시형태들이 본 발명의 범위 내에서 가능하고 본 발명의 범위 내에 있다.

[0037]

위에서 설명된 도면들은 컴포넌트들의 실제 물리적 레이아웃을 나타낸다는 의미는 아니다. 위에서 설명된 도면들은 프로세스에 수반되는 메인 광학 모듈들을 도시하지만, 모든 광학 엘리먼트를 도시하는 것은 아니다. 적절한 당업자는 위에서 설명된 도면들 및 그것들의 연관된 설명들로부터 개량된 레이저를 만들어 내는 방법을 이해할 것이다. 더 많거나 더 적은 거울들 또는 프리즘들이 광을 필요한 곳으로 진행시키는데 사용될 수도 있다는 것이 이해된다. 렌즈들 및/또는 곡선형 거울들은 비선형 결정체들 내부 또는 근접한 적절한 곳의 실질적으로 원형 또는 타원형 단면들의 초점들에 빔 웨이스트(beam waist)를 포커싱하는데 사용될 수도 있다. 프리즘들, 격자들 또는 회절성 광학 엘리먼트들이 각각의 주파수 변환기 또는 혼합기 모듈의 출력들에서 필요로 할 때 상이한 파장들을 조향(steer) 또는 분리하는데 사용될 수도 있다. 프리즘들, 코팅된 거울들, 또는 다른 엘리먼트들은 주파수 변환기들 및 혼합기들에 대한 입력들에서 적절한 대로 상이한 파장들을 결합하는데 사용될 수도 있다. 빔 스플리터들 또는 코팅된 거울들은 하나의 파장을 2 개의 빔들로 분리하는데 적절한 대로 사용될 수도 있다. 필터들은 임의의 스테이지의 출력에서 원하지 않는 파장들을 차단하는데 사용될 수도 있다. 파장판들은 편광을 필요한 대로 회전시키는데 사용될 수도 있다. 다른 광학 엘리먼트들이 적절한 대로 사용될 수도 있다. 2012년 5월 17일자로 출원되고 참조로 본원에 통합된 발명의 명칭이 "High Damage Threshold Frequency Conversion System"인 미국 특허 출원 제13/293,485호는, UV 파장들을 발생시키는 주파수 변환 스테이지들에서 사용하기에 특히 적합한 다양한 광학 엘리먼트들을 설명한다. 일부 경우들에서, 심지어 소비되지 않은 광이 후속 스테이지에서 필요하지 않더라도 당해 소비되지 않은 광이 하나의 주파수 변환 스테이지로부터 다음 스테이지로 전달되는 것을 허용하는 것은 용인될 수도 있다. 이는 전력 밀도가 손상을 유발하지 않을 만큼 충분히 낮다면 그리고 (예를 들어 결정체 각도에서의 위상 일치가 없기 때문에 또는 광의 편광으로 인해) 소망의 주파수 변환 프로세스와의 간섭이 거의 없다면 용인가능할 수도 있다. 적절한 당업자는 개량된 레이저의 구현에서 가능한 다양한 절충들 및 대안들을 이해할 것이다.

[0038]

바람직한 실시형태에서, 제 2 고조파를 발생시키는 제 1 주파수 더블링 모듈(110)(도 1b)은 리튬 트리보레이트(LBO) 결정체를 포함할 수 있는데, 이 LBO 결정체는 대략 532nm에서 광을 생성하기 위해 약 149℃의 온도에서 실질적으로 비임계적으로 위상 일치된다. 다른 실시형태에서, 제 4 고조파를 발생시키는 제 2 주파수 더블링 모듈(112)(도 1b)과 주파수 혼합기들(302 및 304)(도 3)은 세슘 리튬 보레이트(CLBO), 베타 바륨 보레이트(BBO), LBO, 또는 다른 비선형 결정체들에서 임계적 위상 일치를 사용할 수 있다. 바람직한 실시형태들에서, 제 2 주파수 혼합기(304)는 대략 100℃의 온도에서 높은 D_{eff} (대략 0.5 내지 1 pm/V) 및 낮은 워크오프 각도(약 35 mrad 미만)로 임계적으로 위상 일치되는 CLBO 결정체를 포함한다. 이 온도는 사용하기 편리한 온도인데 그 온도가 CLBO 결정체에 의한 물의 흡수를 최소화하기 때문이다. 그러나, 더 높은 온도와 더 낮은 온도가 입사광에 대한 결정체의 각도의 적절한 조정과 함께 사용될 수도 있다. 몇몇 실시형태들에서, 제 2 주파수 혼합기(304)는 BBO를 포함하는데, 그 BBO는 CLBO와 비교하여 더 큰 워크 오프 각도(대략 100 mrad)와 더 큰 D_{eff} (대략 1 내지 2 pm/V)를 갖는다. 바람직한 실시형태들에서, 주파수 혼합기(302)는 대략 100℃의 온도에서 높은 D_{eff} (대략 0.8 pm/V) 및 낮은 워크오프 각도(약 40 mrad 미만)로 임계적으로 위상 일치되는 CLBO 결정체를 포함한다. 그 경우에, 제 2 주파수 혼합기(304)는 BBO를 포함할 수 있는데, 그 BBO는 CLBO와 비교하여 더 큰 워크오프 각도(대략 96 mrad)와 더 큰 D_{eff} (대략 1 내지 2 pm/V)를 갖는다.

[0039]

주파수 더블링 모듈(112)과 주파수 혼합기들(302 및 304)은 2012년 3월 5일자로 출원되고 발명의 명칭이 "Laser with high quality, stable output beam, and long-life high-conversion-efficiency non-linear crystal"인 Dribinski 등에 의한 공동 계류중인 미국 특허 출원 제13/412,564호에서 개시된 방법들 및 시스템들 중 일부, 또는 모두를 유익하게 사용할 수도 있다. 미국 특허 출원 제13/412,564호는 2011년 7월 22일자로 출원된 발명의 명칭이 "Mode-locked UV laser with high quality, stable output beam, long-life high conversion efficiency non-linear crystal and a wafer inspection system using a mode-locked laser"인 미국 가출원 제61/510,633호를 우선권 주장한다. 이들 특허 출원들의 양쪽 모두는 본원에 완전히 언급된 것처럼 참조에 의해 통합된다.

[0040]

고조파 발생 스테이지들(주파수 더블링 모듈들(110 및 112)에 의해 수행된 것들과 같음) 및 주파수 혼합 스테이지들(주파수 혼합기들(302 및 304)에 의해 수행된 것과 같음) 중 임의의 것이, 2009년 7월 2일자로 공개되고 J. Joseph Armstrong에 의한 발명의 명칭이 "Enclosure for controlling the environment of optical crystals"인 PCT 특허출원 공개 WO 2009/082460에서 기재된 것들과 같은 하나 이상의 보호 환경들을 포함할 수도 있다.

이 PCT 공개는 본원에 완전히 언급된 것처럼 참조에 의해 통합된다. 단일 보호 환경이 다수의 스테이지들 또는 단일 스테이지를 포함할 수도 있다는 것에 주의한다.

[0041] 고조파 발생기들(예컨대 주파수 더블링 모듈들(110 및 112)) 중 임의의 것이 수소-어닐링된 비선형 결정체들을 유익하게 사용할 수도 있다는 것에 추가로 주의한다. 이러한 결정체들은 Chuang 등에 의해 2011년 10월 7일자로 출원된 미국 가출원 제61/544,425호에서 그리고 Chuang 등에 의해 2012년 6월 1일자로 출원된 공동 계류중인 미국 특허 출원 제13/488,635호에 기재된 바와 같이 가공될 수도 있다. 이들 출원들은 본원에서 완전히 언급된 것처럼 참조로 통합된다. 수소 어닐링된 결정체들은 주파수 더블러(112 및 203)와 주파수 혼합기들(302 및 304)을 포함하여, 심(deep) UV 파장들을 수반한 스테이지들에서 특히 유용할 수도 있다.

[0042] 도 4a와 도 4b는 위에서 설명된 개량된 레이저들에서 사용될 수 있는 주파수 혼합기들의 몇몇 바람직한 실시형태들을 도시한다. 도 4a는 유형-II 혼합이 제 1 주파수 혼합 스테이지를 위해 사용되고 유형-I 혼합이 최종 주파수 혼합 스테이지를 위해 사용되는 주파수 혼합기(400A)의 하나의 실시형태를 도시한다. 보통, 3 파장 혼합이 복굴절 결정성 재료에서 행해지는데(즉, 굴절 계수가 통과하는 광의 편광 및 방향에 의존함), 복굴절 결정성 재료에서는 위상 일치 조건이 달성되도록 장(field)들의 편광들 및 결정의 배향이 선택된다. 보통, 복굴절 결정체가 3 개의 축들을 가지며, 그 축들 중 하나 또는 2 개는 다른 축(들)과는 상이한 굴절 계수를 갖는다. 예를 들어, 단일축(uniaxial) 결정체들은 단일의 이상(extraordinary, e) 축과 2 개의 정상 축들(o)을 갖는다. 2 개의 입력 주파수들이 동일한 편광(보통 결정체의 o 축에 평행함)을 갖는다면, 위상 일치는 "유형-I 위상 일치"라고 지칭되고, 그것들의 편광들이 수직이라면, 그 위상 일치는 "유형-II 위상 일치"라고 지칭된다. 그러나, 어떤 주파수가 결정 축에 대해 무슨 편광을 갖는지를 추가로 특정하는 다른 협약들이 존재한다.

[0043] 제 1 주파수 혼합 스테이지는 비선형 결정체(402), 이를테면 CLBO를 포함한다. 제 4 고조파와 신호 파장은 방향(410)에서 대략적으로 동일 직선상으로 결정체(402)에 들어가고, 이 결정체 내부 또는 근처에서 빔 웨이스트들(빔 웨이스트들은 도시되지 않음)에 포커싱된다. 신호 파장은 화살표 420에 의해 도시된 방향에서 자신의 전기장 벡터로 편향된다. 제 4 고조파는 신호 파장에 실질적으로 수직으로 편향된다. 비선형 결정체(402)의 이상(e) 축은 화살표 425에 의해 도시된 바와 같이 방향 420에 실질적으로 평행한 방향으로 배향된다. 비선형 결정체(402)의 정상(o) 축들을 포함하는 평면은 방향 420에 실질적으로 수직으로 배향된다. 결정체(402)의 o 축들은 위상 일치를 달성하기 위해서 결정체에서 광의 전파 방향에 대하여 어떤 각도로 회전된다. 대략 100°C의 온도에서 1416nm 근처의 신호 파장 및 266nm 근처의 제 4 고조파 파장을 갖는 CLBO에서의 유형-II 일치의 경우, 이 각도는 대략 58.9° 이고, 대략 100°C에서 동일한 파장들을 갖는 BBO의 경우, 이 각도는 대략 45.7° 이다. 적절한 당업자는 위상 일치를 달성하기 위해 온도 및 각도의 상이한 조합들을 선택하는 방법을 이해한다.

[0044] 일부 실시형태들에서, 결정체(402)의 입사 표면(442)은 제 4 고조파(즉, 방향 410)에 대하여 대략적으로 브루스터의 각도에 있기 위해서 절단된다. 이 각도는 입사 표면(442) 상의 임의의 반사방지 코팅을 필요로 하는 없이 제 4 고조파 파장의 반사를 최소화한다. 일부 실시형태들에서, 입사 표면(442)은 제 4 고조파 및/또는 신호 파장들에서 반사된 광을 감소시키기 위해 반사방지 코팅을 가질 수도 있다. 결정체(402)의 출사 표면(452)은 코팅되거나 또는 코팅되지 않을 수도 있다. 코팅하지 않는 것의 장점은 코팅물들이 강한 UV 방사에 노출될 때 짧은 수명을 가질 수 있다는 것이다.

[0045] 결정체(402)로부터의 출사 광(412)은 옵티스(403)에 의해 비선형 결정체(404)를 포함하는 최종 주파수 혼합 스테이지로 진행된다. 3 개의 파장들, 즉, 신호 파장, 제 4 고조파 파장, 그리고 신호 및 제 4 고조파의 합의 파장이 결정체(402)로부터 나온다는 것에 주의한다. 작은 위크오프 각도 때문에, 이들 3 개의 파장들은 대략적으로 이동하고 있지만, 전혀 공선으로(collinearly) 이동하지는 않는다. 옵티스(403)는 렌즈들, 거울들, 프리즘들, 빔 스플리터들, 및/또는 다른 광학 엘리먼트들을 포함할 수도 있다. 옵티스(403)는 결정체(404) 내부, 또는 그 근처에서 빔 웨이스트를 재포커싱할 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 옵티스(403)는 파장들이 결정체(404)에 들어갈 때 그 파장들을 더욱 공선적(collinear)이 되게 하기 위해서 위크오프를 대략적으로 보상할 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 옵티스(403)는 임의의 소비되지 않은 제 4 고조파를 분리할 수도 있다. 옵티스(403)의 다른 실시형태들은 소비되지 않은 제 4 고조파를 분리할 수도 없는데, 소비되지 않은 제 4 고조파가 편광 방향(421)에 수직으로 편향되고 그러므로 결정체(404)에서 위상 일치하지 않을 것이기 때문이다. 편광 방향(421)은 신호 및 제 4 고조파 파장의 합의 파장과 신호 파장 양쪽 모두의 전기장의 방향이다. 편광 방향(421)은 입력 신호 파장의 편광 방향(420)에 실질적으로 평행하다. 일부 실시형태들에서, 옵티스(403)는 상이한 파장들에서의 펄스들이 결정체(404) 내부에 실질적으로 동시에 도달하도록 상이한 파장들에서의 펄스들을 상이한 시간량만큼 상대적으로 지연시킬 수도 있다. 다른 실시형태들에서, 펄스들은 충분히 길어서 그 펄스들은 옵티스(403)에 통합되어 있는 파장 의존성 지연들 없이 결정체(404) 내부에서 중첩한다. 몇몇 실시형태들에서,

옵티스(403)는 생략될 수도 있다. 워크오프가 빔 직경들에 비해 충분히 작고 펄스 길이들이 결정체들 양쪽 모두의 내부에서 상이한 파장들의 실질적인 중첩을 가질만큼 충분히 길다는 것을 또한 전제하여, 모든 파장들의 레일리(Rayleigh) 범위들이 결정들(402 및 403) 양쪽 모두에서 재포커싱 없이 효율적인 혼합이 일어날만큼 충분히 길다면 옵티스(403)는 생략될 수도 있다. 옵티스(403)는 코팅되거나 또는 코팅되지 않을 수도 있다.

[0046] 결정체(404)는 신호 및 제 4 고조파의 합에 대응하는 파장에 대해 대략적으로 브루스터의 각도로 배향된 자신의 입사 표면(444)을 가질 수도 있다. 그런 실시형태들에서, 표면(444)은 코팅되지 않을 수 있는데, 이는 높은 세기의 UV 방사에 의한 손상에 대한 민감성을 낮추는 장점을 갖는다. 다른 실시형태들에서, 표면(444)은 반사방지 코팅을 가질 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 표면(444)은 출사 광(412)에 실질적으로 수직일 수도 있다. 결정체(404)는 자신의 o 축들을 포함하는 평면이 편광 방향(421) 및 결정체(402)로부터 나오는 출사 광(412)의 방향을 포함하는 평면에 실질적으로 평행하도록 배향된다. 결정체(404)의 e 축은 편광 방향(421)에 실질적으로 수직이다. 결정체(404)의 하나의 o 축은 위상 일치를 달성하기 위해서 출사 광(412)의 방향에 대하여 어떤 각도로 회전된다. 대략 100℃에서 대략 1416nm 및 224nm의 파장들을 갖는 CLBO에서의 유형 I 매칭의 경우, 이 각도는 대략 65.4° 이다. 유사한 파장들에 대한 대략 100℃에서의 BBO의 경우, 이 각도는 대략 50.0° 이다. 일부 실시형태들에서, 출사 표면(454)은 출력 파장의 송신을 최대화하기 위해서 레이저 출력 파장에 대하여 대략적으로 브루스터의 각도로 배향된다. 설명된 바로 그 실시형태에서, 출력 파장의 편광 방향은 편광 방향(421)에 수직이다.

[0047] 바람직한 실시형태들은 소망의 출력 파장, 즉, 레이저 출력(450)을 다른 원치 않는 파장들(451)로부터 분리하기 위해 옵티스(405)를 사용할 수도 있다. 옵티스(405)는 빔 스플리터, 프리즘, 격자, 또는 다른 광학 엘리먼트들을 포함할 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 워크오프와 결정체(404)의 출사 표면(454)의 각도의 조합은 옵티스(405)가 필요로 하지 않는 다른 파장들로부터의 레이저 출력(450)의 충분한 분리를 달성할 수도 있다.

[0048] 도 4b는 유형-I 혼합이 제 1 주파수 혼합 스테이지를 위해 사용되고 유형-II 혼합이 최종 주파수 혼합 스테이지를 위해 사용되는 주파수 혼합기(400B)의 대체 실시형태를 도시한다. 제 1 주파수 혼합 스테이지는 비선형 결정체(402'), 이를테면 CLBO를 포함한다. 제 4 고조파(4ω)와 신호(ω_s) 파장은 방향(410')을 따라 대략적으로 동일 직선상으로 결정체(402')에 들어가고, 이 결정체(402') 내부 또는 근처에서 빔 웨이스트들(빔 웨이스트들은 도시되지 않음)에 포커싱된다. 이 실시형태에서, 신호 파장 및 제 4 고조파 양쪽 모두는 자신들의 전기장 벡터들이 화살표 420'에 의해 도시된 방향에 서로 실질적으로 평행하게 편향된다. 결정체(402')의 o 축들을 포함하는 평면은 방향들(420')과 결정체(402')에서의 광의 전파 방향을 포함하는 평면에 평행하다. 결정체(402')의 e 축은 도 4b의 지면의 평면에 수직이다. 결정체(402')의 o 축들은 위상 일치를 달성하기 위해서 결정체(402')에서 전파하는 광의 방향에 대하여 어떤 각도로 회전된다. 대략 100℃의 온도에서 1416nm 근처의 신호 파장 및 266nm 근처의 제 4 고조파 파장을 갖는 CLBO에서의 유형-I 일치치의 경우, 이 각도는 대략 53.5° 이다. 대략 100℃에서 유사한 파장들을 갖는 BBO의 경우, 이 각도는 대략 42.4° 이다. 적절한 당업자는 위상 일치를 달성하기 위해 온도 및 각도의 상이한 조합들을 선택하는 방법을 이해한다.

[0049] 일부 실시형태들에서, 결정체(402')의 입사 표면(442')이 제 4 고조파 파장에 대한 방향(410')에 대하여 대략적으로 브루스터의 각도에 있기 위해서 절단된다. 이 각도는 입사 표면(442') 상의 임의의 반사방지 코팅을 필요로 하는 일 없이 제 4 고조파 파장의 반사를 최소화한다. 일부 실시형태들에서, 입사 표면(442')은 제 4 고조파 및/또는 신호 파장들에서 반사된 광을 감소시키기 위해 반사방지 코팅을 가질 수도 있다. 결정체(402')의 출사 표면(452')이 코팅되거나 또는 코팅되지 않을 수도 있다. 코팅하지 않는 것의 장점은 코팅물들이 강한 UV 방사에 노출될 때 짧은 수명을 가질 수 있다는 것이다.

[0050] 결정체(402')로부터의 출사 광(412')이 옵티스(403')에 의해 비선형 결정체(404')를 포함하는 최종 주파수 혼합 스테이지로 진행된다. 옵티스(403')는 도 4a를 참조하여 위에서 설명된 옵티스(403)와 동일한 기능을 수행한다. 옵티스(403')는 옵티스(403)에 대해 설명된 것들과 유사한 엘리먼트들로 구현될 수도 있다. 주파수 혼합기(400B)의 몇몇 실시형태들은 옵티스(403')를 생략할 수도 있다.

[0051] 방향(421')이 신호 및 임의의 소비되지 않은 제 4 고조파 양쪽 모두의 전기장의 방향이다. 방향(421')은 신호 파장의 방향(420')에 실질적으로 평행하다. 신호 및 제 4 고조파의 합에 대응하는 파장의 광은 방향(421')에 수직으로 편향된다.

[0052] 주파수 혼합기(400B)에서, 결정체(404')가 신호 및 제 4 고조파의 합에 대응하는 파장에 대해 대략적으로 브루스터의 각도로 배향된 자신의 입사 표면(444)'을 가질 수도 있다. 그런 실시형태들에서, 표면(444')은 코팅되지 않을 수 있는데, 이는 높은 세기의 UV 방사에 의한 손상에 대한 민감성을 낮추는 장점을 갖는다. 다른 실시

형태들에서, 표면(444')은 반사방지 코팅을 가질 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 표면(444')은 광(412)에 실질적으로 수직일 수도 있다. 결정체(404')는 자신의 o 축들을 포함하는 평면이 방향(421')에 실질적으로 수직이고 자신의 e 축이 방향(421')에 실질적으로 평행하도록 배향된다. 결정체(404')의 o 축들은 위상 일치를 달성하기 위해서 결정체(404') 내부의 광의 전파 방향에 대하여 어떤 각도로 회전된다. 대략 100℃에서 대략 1416nm 및 224nm의 파장들을 갖는 CLBO에서의 유형-II 일치의 경우, 이 각도는 대략 72.7° 이고, 대략 100℃에서 유사한 파장들에 대한 BBO의 경우, 이 각도는 대략 53.1° 이다. 일부 실시형태들에서, 결정체(404')의 출사 표면(454')이 출력 파장의 송신을 최대화하기 위해서 레이저 출력 파장에 대하여 대략적으로 브루스터의 각도로 배향된다. 주파수 혼합기(400B)에서, 레이저 출력(450')의 편광 방향은 방향(421')에 수직이다.

[0053] 주파수 혼합기(400B)의 몇몇 바람직한 실시형태들은 레이저 출력(450')을 다른 원치 않는 파장들(451')로부터 분리하기 위해 옵티스(405')를 사용한다. 옵티스(405')는 빔 스플리터, 프리즘, 격자, 또는 다른 광학 엘리먼트들을 포함할 수도 있다. 일부 실시형태들에서, 워크오프와 결정체(404')의 출사 표면(454')의 각도의 조합은 옵티스(405')가 필요로 하지 않는 원치 않는 파장들(451')로부터의 레이저 출력(450')의 충분한 분리를 달성할 수도 있다.

[0054] 주파수 혼합기들(400A 및 400B)의 바람직한 실시형태들에서는, 신호 파장에서 높은 전력의 사용으로 인해 결정체(402/402')에서 입력 제 4 고조파의 실질적 일부, 또는 거의 모두가 소비된다. 몇몇 바람직한 실시형태들은 결정체(402/402')에서 생성된 신호 주파수 더하기 합의 실질적 일부, 또는 거의 모두가 결정체(404/404')에서 소비되는 충분히 높은 전력 레벨들을 신호에 대해 사용한다.

[0055] CLBO 결정체들이 최종 2 개의 혼합 스테이지들(즉 주파수 혼합기(400A)에서의 402 및 404, 또는 주파수 혼합기(400B)에서의 402' 및 404')을 위해 사용될 때, 유형 I 혼합이 뒤따르는 유형 II 혼합을 사용하는 도 4a의 실시형태는, 최종 혼합에 대해 대략적으로 2배로 큰 비선형 계수(대략 0.5 pm/V에 비해 대략 1 pm/V)를 갖는 반면 그 비선형 계수들은 제 1 혼합 스테이지에 대해 유사하다는 장점을 갖는다.

[0056] BBO 결정체들이 제 1 및 최종 스테이지들 양쪽 모두를 위해 사용될 때, 도 4a 및 도 4b의 실시형태들 간의 효율 차이는 작는데, 유형-I 변환이 혼합 스테이지들 양쪽 모두에 대해 유형-II보다 대략 2 배 더 효율적이기 때문이다.

[0057] 일부 실시형태들에서, 대략 1064nm의 기본파 파장에서 충분한 파워를 발생시키기 위하여, 하나 이상의 증폭기들은 기본파의 파워를 증가시키는데 사용될 수도 있다. 둘 이상의 증폭기들이 사용된다면, 모든 증폭기들 모두가 동일한 파장을 출력하고 레이저 펄스들이 동기되도록 모든 증폭기들을 시드(seed)하기 위해 하나의 시드 레이저가 바람직하게 사용되어야 한다. 도 5는 시드 레이저(503)가 소망의 기본파 파장(예컨대 대략 1064nm)에서 안정화된 협대역 시드 레이저 광(504)을 발생시킬 수 있는 예시적인 증폭기 모듈(500)을 도시한다. 일부 실시형태들에서, 시드 레이저(503)는 Nd 도핑된 YAG 레이저, Nd 도핑된 이트륨 오소바나테이트 레이저, 파이버 레이저, 또는 안정화된 다이오드 레이저 중 하나이다. 시드 광(504)은 광을 높은 파워 레벨로 증폭하는 제 1 증폭기(507)로 진행한다. 일부 실시형태들에서, 제 1 증폭기(507)는 Nd 도핑된 YAG 또는 Nd 도핑된 이트륨 오소바나테이트를 포함한다. 하나의 실시형태에서, 증폭기 펌프(505)가 제 1 증폭기(507)를 펌핑할 수 있는 레이저를 포함한다. 일부 실시형태들에서, 이 펌핑은 대략 808nm 파장에서 또는 대략 888nm 파장에서 동작하는 하나 이상의 다이오드 레이저들을 사용하여 행해질 수 있다. 다른 실시형태들에서, 제 1 증폭기(507)는 Yb 도핑된 파이버 증폭기를 포함할 수도 있다.

[0058] 도 5는 증폭기 모듈(500)의 일부 실시형태들에서 사용될 수도 있는 예시적인 부가적인 컴포넌트들을 도시한다. OPO/OPA(116), 주파수 더블링 모듈(110), 및 주파수 결합기(133)(도 1a, 도 1b, 도 1c)가 입력으로서 기본파 레이저 파장을 수신하기 때문에 그리고 193.4nm 파장 근처에서 요구되는 출력 파워에 의존하여, 단일 증폭기에서 요청된 대역폭, 안정성 및 빔 품질로 편리하게 발생될 수 있는 더 많은 기본파 레이저 광이 필요할 수도 있다. 사실상, 광학 증폭기의 파워 출력을 증가시키는 것은 증가된 대역폭, 열 렌즈(thermal lensing) 또는 다른 효과들로 인한 빔 품질의 저하, 감소된 안정성, 및/또는 단축된 수명으로 이어질 수 있다.

[0059] 그러므로, 증폭기 모듈(500)의 몇몇 실시형태들에서, 제 1 증폭기(507)와 부가적인 제 2 증폭기(517)는, 상이한 주파수 변환 스테이지들로 진행되는 2 개의 기본파 레이저 출력들(128 및 528)을 각각 발생시키는데 사용될 수 있다. 제 2 증폭기(517)는 제 1 증폭기(507)와는 실질적으로 동일할 수 있다. 하나의 실시형태에서, 증폭기 펌프(515)가 제 2 증폭기(517)를 펌핑할 수 있는 레이저를 포함한다. 증폭기 펌프(515)는 증폭기 펌프(505)와 실질적으로 동일할 수 있다. 명백히, 동일한 시드 레이저(503)는 출력들(128 및 528)이 동일한 파장에 있고 동기화되는 것을 보장하기 위하여 레이저들 양쪽 모두를 시드하는데 사용될 수 있다. 빔 스플리터(511)와 거울

(512)이 시드 광(504)을 분할하고 그 일부를 제 2 증폭기(517)로 진행시킬 수 있다.

- [0060] 도 6은 주파수 ω_s 에서 하향 변환된 신호를 발생시키도록 구성된 예시적인 OPO/OPA(600)를 도시한다. 이 실시 형태에서, 빔 결합기(611)가 기본파 파장(파장이 기본파 주파수(ω)에 대응함)의 입력 레이저 광(600)과, 시드 레이저(603)에 의해 발생되고 하향 변환된 신호 주파수(ω_s)에 대응하는 파장의 시드 레이저 광(604)을 결합한다.
- [0061] 빔 결합기(611)는 제 1 파장을 효율적으로 반사하면서 제 2 파장을 투과하는 이색 코팅물을 포함할 수도 있다 (예를 들어, 빔 결합기(611)는 도시된 바와 같이 기본파를 반사하고 시드 레이저 광을 투과하거나, 또는 도시되지 않은 바와 같이 그 역으로 한다). 빔 결합기 뒤에서, 제 1 및 제 2 파장들은 비선형 컨버터(607)를 통해 실질적으로 동일 직선상으로 이동하는데, 비선형 컨버터는 주기적으로 폴링된 리튬 니오베이트(periodically polled lithium niobate), 산화 마그네슘 도핑된 리튬 니오베이트, KTP, 또는 다른 적합한 비선형 결정성 재료를 포함할 수도 있다.
- [0062] 몇몇 바람직한 실시형태들에서, 시드 레이저(603), 이를테면 다이오드 레이저 또는 저 전력 파이버 레이저는, 대략 1416nm의 파장을 갖는 (이를테면 약 1330nm부터 약 1612nm까지의 범위 내, 또는 약 1378nm부터 1461nm까지의 범위 내, 또는 약 1413nm부터 약 1417nm까지의 범위 내의) 시드 레이저 광(604)을 생성하는데, 시드 레이저 광은 그 다음에 설계 주파수(ω_s)에서 하향 변환 프로세스를 시드하는데 사용된다. 시드 레이저(603)는 1 mW, 수 mW, 또는 몇십 mW 전력으로만 될 필요가 있다. 몇몇 바람직한 실시형태들에서, 시드 레이저(603)는, 예를 들어, 격자와 온도 안정화를 사용함으로써 안정화된다. 시드 레이저(603)는 편광된 광을 바람직하게 발생시켜야 하며, 그 편광된 광은 그 다음에 기본파, 즉, 입사 레이저 광(602)의 편광에 실질적으로 수직으로 편광된 비선형 컨버터(607)에 들어간다. 몇몇 실시형태들에서, 자발적 방출에 기초한 레이저/증폭기를 만들어 내기 위해 비선형 결정체가 비선형 컨버터(607)의 공진 공동으로 제약될 수도 있다.
- [0063] 이 실시형태에서, 빔 스플리터(621)(또는 다른 실시형태들에서의 프리즘)가 하향 변환된 신호(129)를 파장 ω_s 에서 소비되지 않은 기본파(623)로부터 분리할 수 있다. 다른 실시형태들(미도시)에서, 소비되지 않은 기본파(623)는 입력 레이저 광(602)의 다음에 들어오는 레이저 펄스에 일치하기 위한 시간 지연으로 비선형 컨버터(607)의 입력으로 다시 재순환될 수도 있다. OPO/OPA(136)(도 1c)는, 입력 레이저 광(602)이 기본파(ω)가 아니라 제 2 고조파(2ω)에 있다는 것을 제외하면, 도 6에 도시된 것과 유사한 구성으로 구현될 수 있다는 것에 주의한다.
- [0064] 기본파 레이저(102)에 대해 대략 50MHz 또는 높은 반복률에서 동작하는 모드 잠금식 레이저와 같은 고 반복률 레이저를 사용하여 준(quasi) CW 레이저가 구축될 수도 있다. 진정한(true) CW 레이저가 기본파 레이저(102)에 대해 CW 레이저를 사용하여 구축될 수도 있다. CW 레이저는 효율적인 주파수 변환을 얻기 위한 충분한 전력 밀도를 구성하기 위해 공진 공동들에 포함될 주파수 변환 스테이지들 중 하나 이상을 필요로 할 수도 있다.
- [0065] 하나의 실시형태에서, 1030nm 근처의 기본파 파장이 대략 1064nm의 기본파 대신 사용된다. 이러한 파장은 Yb 도핑된 YAG 결정체 또는 Yb 도핑된 파이버의 이득 매체를 사용하는 레이저에 의해 발생될 수 있다. 1030nm 기본파 파장으로, 대략 1552.8nm의 OPO 신호 파장이 193.368nm 근처의 최종 출력 파장을 발생시킬 것이다. 위와 실질적으로 유사한 주파수 변환 체계가 제 2 고조파(515nm 근처), 제 4 고조파(257.5nm 근처), 신호(ω_s) 및 제 4 고조파(220.9nm 근처)의 합, 및 최종 출력 파장을 발생시키는데 사용될 수 있다. BBO 또는 CLBO가 UV 주파수 변환 및 혼합 스테이지들을 위해 사용될 수도 있다. 다른 비선형 결정체들이 주파수 변환 또는 혼합 스테이지들 중 일부에 대해 또한 적합할 수도 있다.
- [0066] 또 다른 실시형태에서, 1047nm 근처 또는 1053nm 근처의 기본파 파장이 대략 1064nm의 기본파 대신 사용된다. 1047nm 근처 또는 1053nm 근처에서 동작하는 레이저가 예를 들어 Nd:YLF(neodymium-doped yttrium lithium fluoride)에 기초할 수도 있다. 적절한 신호 파장이 소망의 레이저 출력 파장을 달성하기 위해서 선택될 수 있다. 예를 들어, 대략 1480nm의 파장을 갖는 신호 주파수(ω_s)가 1047nm 근처의 기본파로부터 193.4nm 근처의 $4\omega + 2\omega_s$ 의 레이저 출력을 발생시킬 수 있다. 대안으로, 대략 1457nm의 파장에 대응하는 신호 주파수가 유사한 레이저 출력을 발생시키기 위해 1053nm 근처의 기본파와 함께 사용될 수 있다.
- [0067] 또 다른 실시형태들에서, 1030nm, 1047nm, 또는 1053nm 근처의 기본파 레이저 파장들은 $3\omega + 2\omega_s$ 를 사용하여 대략 193.4nm의 출력 파장을 발생시킬 수 있으며, 여기서 ω_s 는 각각 대략 885nm, 867nm, 또는 861nm이다.

- [0068] 개량된 193nm 레이저는, 예를 들어, 제 8 고조파 발생(이는 일반적으로 더 많은 주파수 변환 스테이지들을 필요로 함)보다 덜 복잡하고 더 효율적이고, 2 개의 상이한 기본파 파장들을 조합하는 것보다 훨씬 덜 복잡하다. 그러므로, 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저는 포토마스크, 레티클, 또는 웨이퍼 검사 동안 상당한 시스템 장점들을 제공할 수 있다.
- [0069] 개량된 193nm 레이저는 2013년 3월 12일자로 Chuang 등에 의해 출원된 미국 특허 출원 제13/797,939호의 레이저(P3913)와 비교하여 여러 장점들을 갖는다. 개량된 193nm 레이저의 최종 주파수 변환 스테이지는 주어진 기본파 전력에 대해 더 높은 출력 전력, 또는 동일한 출력 전력에 대해 더 낮은 전력 기본파를 발생시킬 시에 더욱 효율적이라는 것이 제 1 장점이다. 1.4 μ m 또는 1.5 μ m 근처에서 동작하는 광학 컴포넌트들과 테스트 장비가 2.1 μ m 파장 근처에서보다 더욱 쉽사리 입수가가능하다는 것이 제 2 장점이다. 1.4 μ m 또는 1.5 μ m 근처의 신호 파장에 대해, 상당히 더 많은 에너지가 아이들러에 비해 신호에 들어감으로써, (거의 동일한 양의 전력이 신호 및 아이들러에 들어가야만 하는 경우 2.1 μ m 근처의 신호 파장과 비교하여) 기본 전력의 출력 전력으로의 더 많은 효율적인 변환이 발생한다는 것이 제 3 장점이다. 1.4 μ m 근처 또는 1.5 μ m 근처의 신호 파장이 임의의 물(water) 또는 -OH 흡수 피크에 가깝지 않고, 그러므로 결정체들 중 임의의 것에서 또는 광 경로에서 적은 양의 수분에 대한 큰 내성으로 이어진다는 것이 제 4 장점이다. 최종 주파수 혼합 스테이지(예컨대, 주파수 혼합 모듈(103), 도 1a)는, 3 개의 입력 파장들(즉, 제 4 고조파, 기본, 및 신호) 대신, 2 개의 입력 파장들(즉, 제 4 고조파 및 신호)만을 사용한다는 것이 제 6 장점이다. 많은 동일한 장점들이 파장 약 800nm 및 900nm 사이의 신호 파장과 제 3 고조파를 결합하는 개량된 193nm 레이저(도 1c)에 적용된다는 것에 주의한다.
- [0070] 파장 1064nm, 1053nm, 1047nm, 및 1030nm 근처에서 동작하는 기본파 레이저들은 모드 잠금식, Q-스위칭식, 준-CW, 및 진정한 CW 레이저들을 포함한 상이한 전력 레벨들 및 반복률들의 범위에서 쉽사리 이용가능하다. 개량된 193nm 레이저는 고속 검사 애플리케이션들에 대해 중요한 1 MHz보다 더 높은 반복률들에서 동작할 수 있다. 50 MHz보다 더 큰 반복률에서 동작하는 모드 잠금식 또는 준-CW 기본파 레이저의 사용은 반도체 웨이퍼들, 포토마스크들, 및 레티클들의 고속 검사에 대해 특히 유익한데, 그러한 사용이, 동일한 전력의 더 낮은 반복률 레이저에 비하여, 고속 이미지 획득을 허용하고 각각의 펄스의 피크 전력을 감소시키(고 그래서 옅터스에 대해 그리고 검사되고 있는 물품에 대해 더 적은 손상을 유발하)기 때문이다. 비록 위의 실시형태들이 193.3nm의 레이저 출력을 발생시키기 위해 다양한 기본파 파장들을 사용함을 설명하지만, 193.3nm의 수 나노미터 내 다른 파장들이 신호 파장의 적절한 선택을 사용하여 발생될 수 있다. 이러한 레이저들을 이용하는 이러한 레이저들 및 시스템들이 본 발명의 범위 내에 있다.
- [0071] 도 7 내지 도 14는 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저들 중 하나를 포함할 수 있는 시스템들을 도시한다. 이들 시스템들은 포토마스크, 레티클, 또는 웨이퍼 검사 및 계측 응용들에서 사용될 수 있다.
- [0072] 도 7은 하나의 센서(770) 상의 이미지 또는 신호의 2 개의 채널들을 동시에 검출하는 레티클, 포토마스크, 또는 웨이퍼 검사 시스템(700)을 도시한다. 조명 소스(709)는 본원에서 설명된 바와 같은 개량된 193nm 레이저를 통합한다. 광원은 펄스 증배기 및/또는 코히어런스 감소 체계를 더 포함할 수도 있다. 2 개의 채널들은 검사되는 대상체(730)가 투명한 경우(예를 들어 레티클 또는 포토마스크) 반사된 및 투과된 세기를 포함할 수도 있거나, 또는 입사각들, 편광 상태들, 파장 범위들 또는 일부 그것들의 조합과 같은 2 개의 상이한 조명 모드들을 포함할 수도 있다.
- [0073] 도 7에 도시된 바와 같이, 조명 릴레이 옵틱스(715 및 720)는 소스(709)로부터의 조명을 검사되는 대상체(730)로 릴레이한다. 검사되는 대상체(730)는 레티클, 포토마스크, 반도체 웨이퍼 또는 검사될 다른 물품일 수도 있다. 이미지 릴레이 옵틱스(740, 755, 및 760)는 검사되는 대상체(730)에 의해 반사된 및/또는 투과된 광을 센서(770)로 릴레이한다. 2 개의 채널들에 대한 검출된 신호들 또는 이미지들에 대응하는 데이터는 데이터(780)로서 도시되어 있고 프로세싱을 위해 컴퓨터(미도시)로 송신된다.
- [0074] 레티클 또는 포토마스크로부터 투과된 및 반사된 광을 측정하도록 구성될 수도 있는 레티클 또는 포토마스크 검사 시스템의 실시형태의 다른 세부사항들은, 본원에 참조로 통합된 미국 특허 제7,352,457호 및 제7,528,943호에 기재되어 있다. 개량된 193nm 레이저를 통합할 수도 있는 레티클 및 포토마스크 검사 시스템들에 대한 부가적인 세부사항들은 본원에 참조로 양쪽 모두가 통합된 미국 특허 제7,528,943호 및 제5,563,702호에 의해 제공된다.
- [0075] 도 8은 다수의 대물렌즈들과 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저들 중 하나를 포함하는 예시적인 검사 시스템(800)을 도시한다. 시스템(800)에서, 레이저 소스(801)로부터의 조명은 조명 서브시스템의 다수의 섹션들로 전송된다. 조명 서브시스템의 제 1 섹션은 엘리먼트들(802a 내지 806a)을 포함한다. 렌즈(802a)는 레이저 소스

(801)로부터의 광을 포커싱한다. 렌즈(802a)로부터의 광은 그 다음에 거울(803a)로부터 반사한다. 거울(803a)은 예시 목적으로 이 로케이션에 배치되고, 다른 곳에 위치될 수도 있다. 거울(803a)로부터의 광은 그 다음에 조명 pupils(805a)을 형성하는 렌즈(804a)에 의해 집광된다. 광을 수정하는 개구부, 필터, 또는 다른 디바이스가 검사 모드의 요건들에 의존하여 pupils(805a)에 배치될 수도 있다. pupils(805a)으로부터의 광은 그 다음에 렌즈(806a)를 통과하고 조명 필드 평면(807)을 형성한다.

[0076] 조명 서브시스템의 제 2 섹션이 엘리먼트들(802b 내지 806b)을 포함한다. 렌즈(802b)는 레이저 소스(801)로부터의 광을 포커싱한다. 렌즈(802b)로부터의 광은 그 다음에 거울(803b)로부터 반사한다. 거울(803b)로부터의 광은 그 다음에 조명 pupils(805b)을 형성하는 렌즈(804b)에 의해 집광된다. 광을 수정하는 개구부, 필터, 또는 다른 디바이스가 검사 모드의 요건들에 의존하여 pupils(805b)에 배치될 수도 있다. pupils(805b)으로부터의 광은 그 다음에 렌즈(806b)를 통과하고 조명 필드 평면(807)을 형성한다. 제 2 섹션으로부터의 광은 그 다음에 조명 필드 평면(807)에서의 조명 필드 광 에너지가 조합된 조명 섹션들을 포함하도록 거울 또는 반사 표면에 의해 재지향된다.

[0077] 필드 평면 광은 그 다음에 빔스플리터(810)에서 반사하기 전에 렌즈(809)에 의해 집광된다. 렌즈들(806a 및 809)은 대물렌즈 pupils(811)에서 제 1 조명 pupils(805a)의 이미지를 형성한다. 비슷하게, 렌즈들(806b 및 809)은 대물렌즈 pupils(811)에서 제 2 조명 pupils(805b)의 이미지를 형성한다. 대물렌즈(812; 또는 대안으로 813)는 그 다음에 pupils(814)에서 조명 필드(807)의 이미지를 형성한다. 대물렌즈(812) 또는 대물렌즈(813)는 샘플(814)에 근접하여 위치된다. 샘플(814)은 소망의 로케이션에 샘플을 위치시키는 스테이지(미도시) 상에서 이동할 수 있다. 샘플(814)로부터 반사되고 산란된 광이 높은 NA 반사굴절 대물렌즈(812) 또는 대물렌즈(813)에 의해 집광된다. 반사된 광 pupils를 대물렌즈 pupils(811)에 형성한 후, 광 에너지는 이미징 서브시스템에서 내부 필드(816)를 형성하기 전에 빔스플리터(810) 및 렌즈(815)를 통과한다. 이 내부 이미징 필드는 샘플(814)의 이미지이고 대응하여 조명 필드(807)이다. 이 필드는 조명 필드들에 대응하는 다수의 필드들로 공간적으로 분리될 수도 있다. 이들 필드들의 각각은 별도의 이미징 모드를 지원할 수 있다. 예를 들어, 하나의 이미징 모드는 명시야(bright-field) 이미징 모드일 수도 있는 한편, 다른 이미징 모드는 암시야 이미징 모드일 수도 있다.

[0078] 이들 필드들 중 하나는 거울(817)을 사용하여 재지향될 수 있다. 그 다음에 재지향된 광은 다른 이미징 pupils(819b)을 형성하기 전에 렌즈(818b)를 통과한다. 이 이미징 pupils는 pupils(811)의 이미지이고 대응하여 조명 pupils(805b)이다. 광을 수정하는 개구부, 필터, 또는 다른 디바이스가 검사 모드의 요건들에 의존하여 pupils(819b)에 배치될 수도 있다. pupils(819b)으로부터의 광은 그 다음에 렌즈(820b)를 통과하고 센서(821b) 상에 이미지를 형성한다. 유사한 방식으로, 거울 또는 반사 표면(817)을 통과한 광은 렌즈(818a)에 의해 집광되고 이미징 pupils(819a)을 형성한다. 그 다음에 이미징 pupils(819a)로부터의 광은 검출기(821a) 상에 이미지를 형성하기 전에 렌즈(820a)에 의해 집광된다. 검출기(821a) 상에 이미지화된 광은 센서(821b) 상에 이미지화된 광과는 상이한 이미징 모드를 위해 사용될 수 있다.

[0079] 시스템(800)에서 채용된 조명 서브시스템은 레이저 소스(801), 집광 옵틱스(802-804), pupils(805)에 근접하여 배치된 빔 성형 컴포넌트들, 및 릴레이 옵틱스(806 및 809)로 구성된다. 내부 필드 평면(807)이 렌즈들(806 및 809) 간에 위치된다. 하나의 바람직한 구성에서, 레이저 소스(801)는 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저들 중 하나를 포함할 수 있다.

[0080] 레이저 소스(801)에 관해, 2 개의 투과 포인트들 또는 각도들을 갖는 단일의 균일 블록으로서 예시되었지만, 현실에서 이는 2 개의 채널들, 예를 들어, 엘리먼트들(802a-806a)을 통과하는 제 1 주파수(예컨대 193nm 근처의 심 UV 파장)에서의 레이저 광 에너지와 같은 광 에너지의 제 1 채널, 및 엘리먼트들(802b-806b)을 통과하는 제 2 주파수에서의 레이저 광 에너지(예컨대, 동일한 레이저로부터의 제 4 고조파와 같은 상이한 고조파, 또는 상이한 레이저로부터의 광)와 같은 광 에너지의 제 2 채널의 조명을 제공할 수 있는 레이저 소스를 나타낸다.

[0081] 레이저 소스(801)로부터의 광 에너지가 90 도 떨어져서 방출되는 것으로 도시되어 있고 엘리먼트들(802a-806a 및 802b-806b)이 90 도 각도들로 배향되어 있지만, 현실에서 광은 반드시 2 차원은 아닌 다양한 배향들로 방출될 수도 있고, 컴포넌트들은 도시된 바와는 상이하게 배향될 수도 있다. 도 8은 그러므로 단순히 채용된 컴포넌트들의 표현이고 도시된 각도들 또는 거리들은 스케일링되지도 않았고 설계를 위해 구체적으로 필요하지도 않다.

[0082] pupils(805a/805b)에 근접하여 배치된 엘리먼트들은 개구부 성형의 개념을 사용하는 현재 시스템에서 채용될 수도 있다. 이 설계를 사용하여, 개개의 점 조명, 링 조명, 4극(quadrupole) 조명, 또는 바람직한 다른 패턴들

뿐만 아니라, 균일한 조명 또는 거의 균일한 조명이 실현될 수도 있다.

- [0083] 대물렌즈들에 대한 다양한 구현예들이 일반 이미징 서브시스템에서 채용될 수도 있다. 단일 고정식 대물렌즈가 사용될 수도 있다. 단일 대물렌즈는 모든 소망의 이미징 및 검사 모드들을 지원할 수도 있다. 이러한 설계는 이미징 시스템이 비교적 큰 필드 사이즈와 비교적 높은 개구수를 지원한다면 달성가능하다. 개구수는 필드 평면들(805a, 805b, 819a, 및 819b)에 배치된 내부 개구들을 사용함으로써 소망의 값으로 감소될 수 있다.
- [0084] 다수의 대물렌즈들은 도 8에 도시된 바와 같이 또한 사용될 수도 있다. 예를 들어, 비록 2 개의 대물렌즈들(812 및 813)이 도시되어 있지만, 임의의 수가 가능하다. 이러한 설계에서의 각각의 대물렌즈는 레이저 소스(801)에 의해 생성된 각각의 파장에 대해 최적화될 수도 있다. 이들 대물렌즈들(812 및 813)은 고정된 포지션들을 가질 수 있거나 또는 샘플(814)에 근접하는 포지션으로 이동될 수 있다. 다수의 대물렌즈들을 샘플에 근접하게 이동시키기 위해, 로터리 터릿(rotary turret)들이 표준 현미경들 상에 공통인 것처럼 사용될 수도 있다. 스테이지 상에서 대물렌즈들을 측방향으로 병진시키는 것과, 측각기(goniometer)를 사용하여 원호 상에서 대물렌즈들을 병진시키는 것을 비제한적으로 포함하는, 대물렌즈들을 샘플에 근접하게 이동시키기 위한 다른 설계들이 이용가능하다. 덧붙여서, 고정식 대물렌즈들 및 터릿 상의 다수의 대물렌즈들의 임의의 조합이 본 시스템에 따라 달성될 수 있다.
- [0085] 이 구성의 최대 개구수들이 0.97에 접근 또는 초과할 수도 있지만, 특정한 경우들에서 더 작을 수도 있다. 이 높은 NA 반사굴절 이미징 시스템으로 가능한 넓은 범위의 조명 및 집광 각도들은, 그 시스템의 큰 필드 사이즈와 조합하여, 그 시스템이 다수의 검사 모드들을 동시에 지원하는 것을 허용한다. 이전의 단락들로부터 이해될 수도 있듯이, 다수의 이미징 모드들은 조명 디바이스에 관련하여 단일 광학계 또는 기계를 사용하여 구현될 수 있다. 조명 및 집광을 위해 개시된 높은 NA는 동일한 광학계를 사용하는 이미징 모드들의 구현예를 허용함으로써, 상이한 유형들의 결함들 또는 샘플들에 대한 이미징의 최적화를 허용한다.
- [0086] 이미징 서브시스템은 중간 이미지 형성 옵틱스(815)를 또한 포함한다. 이미지 형성 옵틱스(815)의 목적은 샘플(814)의 내부 이미지(816)를 형성하는 것이다. 이 내부 이미지(816)에서, 거울(817)이 검사 모드들 중 하나에 대응하는 광을 재지향시키도록 배치될 수 있다. 이 로케이션에서 광을 재지향시키는 것이 가능한데 이미징 모드들을 위한 광이 공간적으로 별개이기 때문이다. 이미지 형성 옵틱스(818(818a 및 818b) 및 820(820a 및 820b))는 가변초점 줌(varifocal zoom), 포커싱 옵틱스를 갖는 다수의 아포컬(afocal) 튜브 렌즈들, 또는 다수의 이미지 형성 매그 튜브(mag tube)들을 포함한 여러 상이한 형태들로 구현될 수 있다. 2009년 7월 16일자로 공개되고 참조로 본원에 통합된 미국 출원 공개 제2009/0180176호는 시스템(800)에 관한 부가적인 세부사항들을 설명한다.
- [0087] 도 9는 반사굴절 이미징 시스템(900)에 대한 수직 입사 레이저 암시야 조명의 추가를 도시한다. 암시야 조명은 레이저(901), 검사되고 있는 표면 상의 조명 빔 사이즈 및 프로필을 제어하기 위한 적응 옵틱스(902), 기계적 하우징(904)에서의 개구부 및 윈도우(903), 그리고 샘플(908)의 표면에 대한 수직 입사에서 광 축을 따라 레이저를 재지향시키는 프리즘(905)을 포함한다. 프리즘(905)은 샘플(908)의 표면 특징부(feature)들로부터의 정반사와 대물렌즈(906)의 광학 표면들로부터의 반사들을 광학 경로를 따라 이미지 평면(909)으로 진행시킨다. 대물렌즈(906)를 위한 렌즈들이 반사굴절 대물렌즈, 포커싱 렌즈 그룹, 및 주밍 튜브 렌즈 섹션의 일반적인 형태로 제공될 수 있다. 바람직한 실시형태에서, 레이저(901)는 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저들 중 하나에 의해 구현될 수 있다. 2007년 1월 4일자로 공개되고 본원에 참조로 통합된 미국 특허출원 공개 제2007/0002465호는 시스템(900)을 더 상세히 설명한다.
- [0088] 도 10a는 표면(1011)의 영역들을 검사하기 위한 조명 시스템(1001) 및 집광 시스템(1010)을 구비한 표면 검사 장치(1000)를 예시한다. 도 10a에 도시된 바와 같이, 레이저 시스템(1020)이 광 빔(1002)을 렌즈(1003)를 통해 진행시킨다. 바람직한 실시형태에서, 레이저 시스템(1020)은 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저들, 어닐링되는 결정체, 그리고 수분 또는 다른 환경적 오염물질들로부터 그 결정체를 보호함으로써 표준 동작 동안 결정체의 어닐링 조건을 유지시키기 위한 하우징 중 하나를 포함한다. 제 1 빔 성형 옵틱스는 레이저로부터 빔을 수광하고 결정 내 또는 그 결정에 아주 가까운 곳에서 그 빔을 빔 웨이스트에서 타원 단면으로 포커싱하도록 구성될 수 있다.
- [0089] 렌즈(1003)는 자신의 주평면(principal plane)이 샘플 표면(1011)에 실질적으로 평행하도록 배향되고, 그 결과, 조명 라인(1005)은 표면(1011) 상의 렌즈(1003)의 초점면에서 형성된다. 덧붙여서, 광 빔(1002)과 포커싱된 빔(1004)은 비직교 입사각에서 표면(1011)으로 진행된다. 특히, 광 빔(1002)과 포커싱된 빔(1004)은 표면(1011)에 대한 법선 방향으로부터 약 1 도 및 약 85 도 사이의 각도에서 진행될 수도 있다. 이런 방식으로, 조명 라

인(1005)은 포커싱된 빔(1004)의 입사 평면에 실질적으로 있게 된다.

[0090] 집광 시스템(1010)은 조명 라인(1005)으로부터 산란된 광을 집광하기 위한 렌즈(1012)와, 렌즈(1012)로부터 나오는 광을, 광감성 검출기들의 어레이를 포함하는 전하 결합 소자(charge coupled device, CCD; 1014)와 같은 디바이스 상으로 포커싱하기 위한 렌즈(1013)를 포함한다. 하나의 실시형태에서, CCD(1014)는 검출기들의 선형 어레이를 포함할 수도 있다. 그런 경우들에서, CCD(1014) 내의 검출기들의 선형 어레이는 조명 라인(1015)에 평행하게 배향될 수 있다. 하나의 실시형태에서, 다수의 집광 시스템들이 포함될 수 있는데, 집광 시스템들의 각각은 유사한 컴포넌트들을 포함하지만, 배향이 상이하다.

[0091] 예를 들어, 도 10b는 표면 검사 장치를 위한 집광 시스템들(1031, 1032, 및 1033)(예컨대 조명 시스템(1001)과 유사한 자신의 조명 시스템이 간소함을 위해 도시되어 있지 않음)의 예시적인 어레이를 도시한다. 집광 시스템(1031)에서의 제 1 옵틱스가 샘플(1011)의 표면으로부터 제 1 방향으로 산란된 광을 집광한다. 집광 시스템(1032)에서의 제 2 옵틱스가 샘플(1011)의 표면으로부터 제 2 방향으로 산란된 광을 집광한다. 집광 시스템(1033)에서의 제 3 옵틱스가 샘플(1011)의 표면으로부터 제 3 방향으로 산란된 광을 집광한다. 제 1, 제 2, 및 제 3 경로들은 샘플(1011)의 상기 표면에 대한 상이한 입사 각도들에 있다는 것에 주의한다. 샘플(1011)을 지원하는 플랫폼(1035)이, 샘플(1011)의 전체 표면이 스캔될 수 있도록 옵틱스 및 샘플(1011) 간에 상대 운동을 유발하는데 사용될 수 있다. 2009년 4월 28일자로 발행되고 본원에 참조로 통합된 미국 특허 제7,525,649호는 표면 검사 장치(1000) 및 다른 다수의 집광 시스템들을 더 상세히 설명한다.

[0092] 도 11은 표면(1101) 상의 비정상성들을 검사하는데 사용될 수 있는 표면 검사 시스템(1100)을 도시한다. 이 실시형태에서, 표면(1101)은 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저들 중 하나를 포함하는 레이저 시스템(1130)의 실질적으로 정지 조명 디바이스 부분에 의해 조명될 수 있다. 레이저 시스템(1130)의 출력은 편광 옵틱스(1121), 빔 확장기 및 개구부(1122), 그리고 빔을 확장하고 포커싱하는 빔 포밍 옵틱스(1123)를 통해 연속하여 전달될 수 있다.

[0093] 포커싱된 레이저 빔(1102)은 그 다음에, 표면(1101)을 조명하기 위해 빔(1105)을 그 표면을 향해 진행시키기 위해 빔 굴절 컴포넌트(1103) 및 빔 편향기(1104)에 의해 반사된다. 바람직한 실시형태에서, 빔(1105)은 표면(1101)에 실질적으로 법선 또는 수직이지만, 다른 실시형태들에서 빔(1105)은 표면(1101)에 대한 빗각(oblique angle)으로 있을 수도 있다.

[0094] 하나의 실시형태에서, 빔(1105)은 표면(1101)에 실질적으로 수직 또는 법선이고 빔 편향기(1104)는 표면(1101)으로부터의 빔의 정반사를 빔 굴절 컴포넌트(1103)를 향해 반사시킴으로써, 정반사가 검출기들에 도달하는 것을 방지하는 방패로서 역할을 한다. 정반사의 방향은 라인 SR을 따르는데, 라인 SR은 샘플의 표면(1101)에 법선이다. 빔(1105)이 표면(1101)에 법선인 하나의 실시형태에서, 이 라인 SR은 조명하는 빔(1105)의 방향과 일치하며, 이 공통 참조 라인 또는 방향은 본원에서 검사 시스템(1100)의 축이라고 지칭된다. 빔(1105)이 표면(1101)에 빗각으로 있을 때, 정반사의 방향(SR)은 빔(1105)의 들어오는 방향과 일치하지 않을 것인데, 이 경우, 표면 법선 방향을 나타내는 라인 SR은 검사 시스템(1100)의 집광 부분의 주축이라고 지칭된다.

[0095] 작은 입자들에 의해 산란된 광은 거울(1106)에 의해 집광되고 개구부(1107) 및 검출기(1108)를 향해 진행된다. 큰 입자들에 의해 산란된 광은 렌즈들(1109)에 의해 집광되고 개구부(1110) 및 검출기(1111)를 향해 진행된다. 몇몇 큰 입자들이 또한 집광되고 검출기(1107)로 진행되는 광을 산란시킬 것이고, 유사하게 몇몇 작은 입자들이 또한 집광되고 검출기(1111)로 진행되는 광을 산란시킬 것이지만, 이러한 광은 개별 검출기가 검출하기 위해 설계된 산란된 광의 세기에 비하여 비교적 낮은 세기라는 것에 주의한다. 하나의 실시형태에서, 검출기(1111)는 광감성 엘리먼트들의 어레이를 포함할 수 있으며, 광감성 엘리먼트들의 어레이 중 각각의 광감성 엘리먼트는 조명 라인의 확대된 이미지의 대응하는 부분을 검출하도록 구성된다. 하나의 실시형태에서, 검사 시스템은 패턴되지 않은 웨이퍼들 상의 결함들을 검출함에 있어서 사용하기 위해 구성될 수 있다. 2001년 8월 7일자로 Marx 등에게 발행되고 본원에 참조로 통합된 미국 특허 제6,271,916호는 검사 시스템(1100)을 더 상세히 설명한다.

[0096] 도 12는 수직 및 경사 조명 빔들 양쪽 모두를 사용하여 비정상성 검출을 구현하도록 구성된 검사 시스템을 도시한다. 이 구성에서, 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저들 중 하나를 포함하는 레이저 시스템(1230)은 레이저 빔(1201)을 제공할 수 있다. 렌즈(1202)가 빔(1201)을 공간적 필터(1203)를 통해 포커싱하고 렌즈(1204)는 빔을 시준(collimation)시키고 그 빔을 편광 빔 스플리터(1205)로 전달한다. 빔 스플리터(1205)는 제 1 편광된 성분을 법선 조명 채널로 그리고 제 2 편광된 성분을 경사 조명 채널로 전달하는데, 제 1 및 제 2 성분들은 직교한다. 법선 조명 채널(1206)에서, 제 1 편광된 성분은 옵틱스(1207)에 의해 포커싱되고 거울(1208)에 의해

샘플(1209)의 표면을 향해 반사된다. 샘플(1209)에 의해 산란된 방사는 포물면 거울(1210)에 의해 검출기 또는 광전자증배기 튜브(photomultiplier tube, 1211)로 집광되고 포커싱된다.

[0097] 경사 조명 채널(1212)에서, 제 2 편광된 성분은 빔 스플리터(1205)에 의해 이러한 빔을 반파장 판(1214)을 통해 반사시키는 거울(1213)로 반사되고 옵티스(1215)에 의해 샘플(1209)에 포커싱된다. 경사 채널(1212)에서 경사 조명 빔으로부터 유래되고 샘플(1209)에 의해 산란된 방사는 포물면 거울(1210)에 의해 집광되고 광전자증배기 튜브(1211)에 포커싱된다. 검출기 또는 광전자증배기 튜브(1211)는 편환 입구를 갖는다. 편환 및 조명된 스폿 (표면(1209) 상의 법선 및 경사 조명 채널들로부터임)은 바람직하게는 포물면 거울(1210)의 초점들에 있다.

[0098] 포물면 거울(1210)은 샘플(1209)로부터의 산란된 방사를 시준된 빔(1216)이 되게 시준시킨다. 시준된 빔(1216)은 그 다음에 대물렌즈(1217)에 의해 그리고 분석기(1218)를 통해 광전자증배기 튜브(1211)에 포커싱된다. 포물면 형상들과는 다른 형상들을 갖는 곡선형 거울식 표면들이 또한 사용될 수도 있다는 것에 주의한다. 스폿 들이 샘플(1209)의 표면 전체에 걸쳐 스캐닝되도록 장비(1220)가 빔들 및 샘플(1209) 간에 상대 운동을 제공할 수 있다. 2001년 3월 13일자로 Vaez-Iravani 등에게 발행되고 본원에 참조로 통합된 미국 특허 제6,201,601호는 검사 시스템(1200)을 더 상세히 설명한다.

[0099] 도 13은 검사 또는 계측 시스템에서 위에서 설명된 개량된 193nm 레이저와 함께 사용하기 위한 예시적인 펄스 증배기(1300)를 도시한다. 펄스 증배기(1300)는 개량된 193nm 레이저(1310)로부터의 각각의 입력 펄스(1301)로부터 펄스 트레인들을 발생시키도록 구성된다. 입력 펄스(1301)는 편광 빔 스플리터(1302) 상에 충돌하는데, 편광 빔 스플리터는 입력 펄스(1301)의 편광 때문에 자신의 광의 모두를 렌즈(1306)로 투과시킨다. 따라서, 투과된 편광은 입력 펄스(1301)의 입력 편광에 평행하다. 렌즈(1306)는 입력 펄스(1301)의 광을 반파장 판(1305)으로 포커싱하고 진행시킨다. 대체로, 파장 판이 광 파장의 수직 편광 성분들 간에 위상들을 시프트시킬 수 있다. 예를 들어, 선형적으로 편광된 광을 수광하는 반파장 판이 2 개의 파장들, 즉, 광학 축에 평행한 하나의 파장 및 광학 축에 수직인 다른 파장을 발생시킬 수 있다. 반파장 판(1305)에서, 평행한 파장은 수직한 파장보다 약간 더 느리게 전파할 수 있다. 반파장 판(105)은 출사하는 광에 대해, 하나의 파장이 다른 파장에 비하여 정확히 반 파장(180 도) 지연되도록 제작된다.

[0100] 따라서, 반파장 판(1305)은 각각의 입력 펄스(1301)로부터 펄스 트레인들을 발생시킬 수 있다. 펄스 트레인들의 정규화된 진폭들은, $\cos 2\theta$ (여기서 θ 는 반파장 판(1305)의 각도이다), $\sin^2 2\theta$, $\sin^2 2\theta \cos 2\theta$, $\sin^2 2\theta \cos^2 2\theta$, $\sin^2 2\theta \cos^3 2\theta$, $\sin^2 2\theta \cos^4 2\theta$, $\sin^2 2\theta \cos^5 2\theta$ 등이다. 명백히, 반파장 판(1305)을 횡단하는 레이저 펄스로부터의 펄스 트레인들의 총 에너지는 실질적으로 보존될 수 있다.

[0101] 반파장 판(1305)에 의해 발생된 홀수 항들로부터의 에너지의 합은 다음과 동일하다:

[0102]
$$(\cos^2 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^2 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^3 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^5 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^7 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^9 2\theta)^2 + \dots$$

[0103]
$$= \cos^2 2\theta + \sin^4 2\theta (\cos^2 2\theta + \cos^6 2\theta + \cos^{10} 2\theta + \dots)$$

[0104]
$$= 2\cos^2 2\theta / (1 + \cos^2 2\theta)$$

[0105] 그 반면, 반파장 판(1305)에 의해 발생된 짝수 항들로부터의 에너지의 합은 다음과 동일하다:

[0106]
$$(\sin^2 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^2 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^4 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^6 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^8 2\theta)^2 + (\sin^2 2\theta \cos^{10} 2\theta)^2 + \dots$$

[0107]
$$= \sin^4 2\theta (1 + \cos^4 2\theta + \cos^8 2\theta + \cos^{12} 2\theta + \dots)$$

[0108]
$$= \sin^2 2\theta / (1 + \cos^2 2\theta)$$

[0109] 펄스 증배기(1300)의 하나의 양태를 따라, 반파장 판(1305)의 각도 θ 는 홀수 항 합이 짝수 항 합과 동일하다는 것을 제공하기 위해 (아래에서 도시된 바와 같이) 결정될 수 있다.

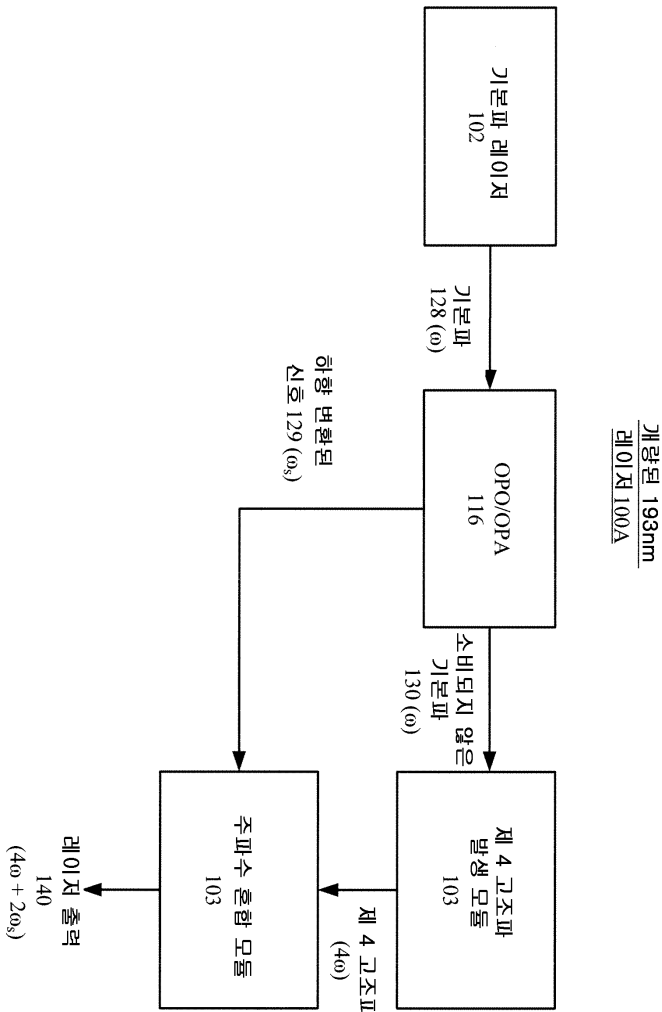
[0110]
$$2\cos^2 2\theta = \sin^2 2\theta$$

- [0111] $\cos^2 2\theta = 1/3$
- [0112] $\sin^2 2\theta = 2/3$
- [0113] $\theta = 27.4$ 도
- [0114] 반파장 판(1305)으로부터 나오는 광은 거울들(1304 및 1303)에 의해 편광 빔 스플리터(1302)로 다시 반사된다. 따라서, 편광 빔 스플리터(1302), 렌즈(1306), 반파장 판(1305), 및 거울들(1304 및 1303)은 링 공동 구성을 형성한다. 링 공동을 횡단한 후 편광 빔 스플리터(1302) 상에 충돌하는 광은 반파장 판(1305)에 의해 발생된 바와 같은 2 개의 편광들을 갖는다. 그러므로, 편광 빔 스플리터(1302)는 화살표 1309에 의해 나타낸 바와 같이 일부 광을 투과시키고 다른 광을 반사시킨다. 구체적으로는, 편광 빔 스플리터(1302)는 입력 펄스(1301)와 동일한 편광을 갖는 거울(1303)로부터의 광을 투과시킨다. 이 투과된 광은 출력 펄스들(1307)로서 펄스 증배기(1300)에서 나간다. 입력 펄스(1301)의 편광에 수직인 편광을 갖는 반사된 광은, 링 공동 속으로 재도입된다(펄스들은 간소함을 위해 도시되지 않음).
- [0115] 명백히, 이들 재도입된 펄스들은 반파장 판(1305)에 의한 추가의 부분적 편광 스위칭과 그 다음의 편광 빔 스플리터(1302)에 의한 광 분리로 위에서 설명된 방식으로 링을 횡단할 수 있다. 따라서, 대체로, 위에서 설명된 링 공동은 일부 광이 나가는 것과 그 광의 나머지가(일부 최소 손실들로) 링 주위에서 지속하는 것을 허용하도록 구성된다. 링의 각각의 횡단 동안(그리고 부가적인 입력 펄스들의 도입 없이), 광의 총 에너지는 출력 펄스들(1307)로서 링을 나가는 광으로 인해 감소한다.
- [0116] 주기적으로, 새로운 입력 펄스(1301)가 레이저(1310)에 의해 펄스 증배기(1300)에 제공된다. 하나의 실시형태에서, 레이저는 대략 0.1 나노초(ns) 레이저 펄스들을 대략 125 MHz의 반복률로 발생시킬 수도 있고, 공동은 반복률을 2배로 할 수도 있다. 링의 사이즈와 따라서 링의 시간 지연은, 화살표 1308에 의해 나타내어진 축을 따라 거울(1304)을 이동시킴으로써 조절될 수 있다는 것에 주의한다.
- [0117] 링 공동 길이는 증배 계수에 의해 나누어진 펄스 간격으로부터 직접 계산된 공칭 길이보다 약간 더 크거나, 또는 약간 더 작을 수도 있다. 이는 펄스들이 편광된 빔 스플리터와 정확히 동일한 시간에 도착하지 않는 결과를 초래하고 출력 펄스를 약간 더 넓어지게 한다. 예를 들어, 입력 펄스 반복률이 125MHz일 때, 공동 지연은 2에 의한 주파수 증배에 대해 공칭적으로 4ns일 것이다. 하나의 실시형태에서, 다중 반사된 펄스들이 들어오는 펄스와 정확히 동일한 시간에 도착하지 않도록 4.05ns에 대응하는 공동 길이가 사용될 수 있다. 더구나, 125MHz 입력 펄스 반복률에 대한 4.05ns 공동 길이는 펄스 폭을 또한 유익하게 확장하고 펄스 높이를 감소시킬 수 있다. 상이한 입력 펄스 레이트들을 갖는 다른 펄스 증배기들이 상이한 공동 지연을 가질 수 있다.
- [0118] 명백히, 조합하여 작동하는 편광 빔 스플리터(1302)와 반파장 판(1305)은 짝수 및 홀수 펄스들을 발생시키는데, 이 펄스들은 링 내부에서 횡단된 각각의 라운드에 대해 약해진다. 이들 짝수 및 홀수 펄스들은 짝수 펄스 트레인(즉, 복수의 짝수 펄스들) 또는 홀수 펄스 트레인(즉, 복수의 홀수 펄스들)으로 구성되는 에너지 엔벨로프들을 제공하는 것으로서 특징화될 수 있다. 펄스 증배기(1300)의 하나의 양태에 따라, 이들 에너지 엔벨로프들은 실질적으로 동일하다.
- [0119] 펄스 증배의 더 상세한 것은, 발명의 명칭이 "Semiconductor Inspection And Metrology System Using Laser Pulse Multiplier"이고 2012년 6월 1일자로 출원된 공동 계류중인 미국 특허 출원 제13/487,075호에서 찾아질 수 있으며, 이 출원은 본원에 참조로 통합된다. 위의 펄스 증배기는 개량된 193nm 레이저와 함께 사용될 수도 있는 단지 하나의 예라는 것에 주의한다. 이 개량된 레이저와 다른 펄스 증배기들을 결합한 것이 본 발명의 범위 내에 있다. 예를 들어, 본원에서 설명되는 개량된 193nm 레이저는 발명의 명칭이 "Semiconductor Inspection and Metrology System Using Laser Pulse Multiplier"이며 Chuang 등에 의해 2012년 12월 11일자로 출원되고 본원에 참조로 통합된 미국 특허 출원 제13/711,593호에 기재된 레이저 펄스 증배기들 중 임의의 것과 함께 또한 사용될 수도 있다.
- [0120] 도 14는 본 발명의 실시형태들에 따른 검사 또는 계측 시스템에 통합하기에 적합한, 펄스식 레이저에 연계하여 사용되는 펄스 성형 또는 코히어런스 감소 디바이스의 양태들을 예시한다. 광원(1410)이 본원에서 설명된 바와 같은 개량된 193nm 레이저를 포함한다. 광원(1410)은 일련의 펄스들을 포함하는 광 빔(1412)을 발생시킨다. 이 실시형태의 하나의 양태는, 요청된 1/10 피코초 시간 간격들(1/10 피코초 시간 간격은 스펙트럼 폭에서의 수 nm와 동등함) 중에 변경될 수 있는 광 빔(1412)의 실질적으로 신속한 시간적 변조를 수행하고 시간적 변조를 공간적 변조로 변환하기 위하여 유한 스펙트럼 범위의 레이저를 사용하는 것이다.

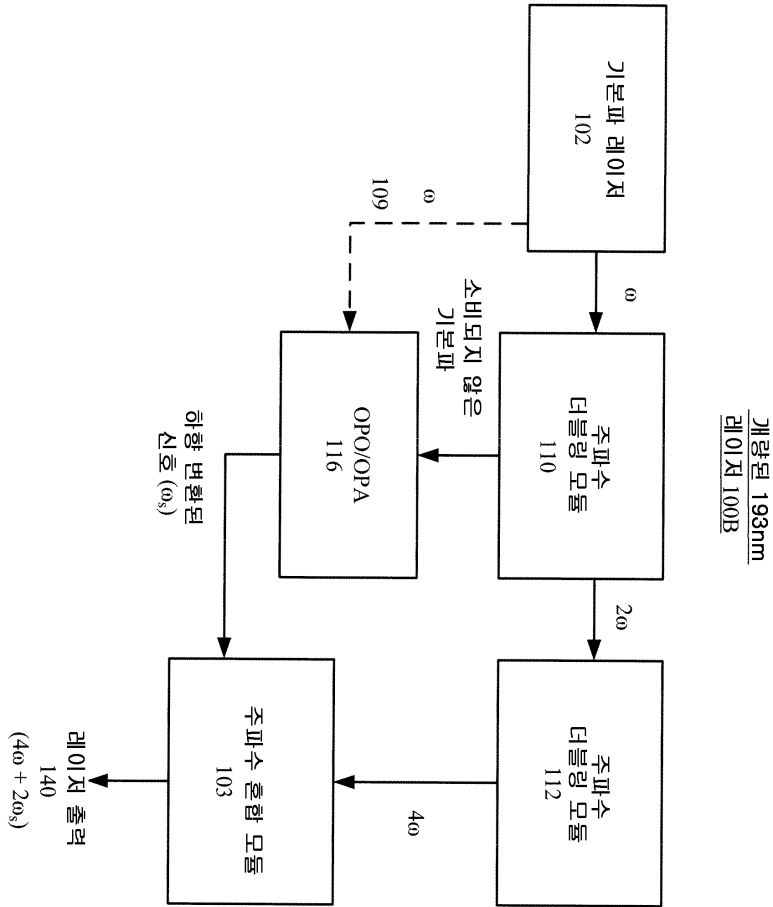
- [0121] 분산 엘리먼트 및 전기 광학 변조기의 사용은 스펙클(speckle) 감소 및/또는 펄스 성형을 위해 제공된다. 예를 들어, 조명 서브시스템은 광의 코히어런트 펄스들의 경로에 위치한 분산 엘리먼트를 포함한다. 도 14에 도시된 바와 같이, 분산 엘리먼트는 광의 코히어런트 펄스들의 단면에 대해 각도 θ_1 로 배열된 평면(1414)에 위치될 수 있다. 도 14에 도시된 바와 같이, 광의 펄스들은 각도 θ_1' 에서 그리고 단면 치수 x_1' 으로 분산 엘리먼트를 나간다. 하나의 실시형태에서, 분산 엘리먼트는 프리즘이다. 다른 실시형태에서, 분산 엘리먼트는 회절 격자이다. 분산 엘리먼트는 광의 펄스들에서의 광 분포의 공간적 및 시간적 특성들을 혼합함으로써 광의 펄스들의 코히어런스를 감소시키도록 구성된다. 특히, 프리즘 또는 회절 격자와 같은 분산 엘리먼트가 광의 펄스들에서의 광 분포의 공간적 및 시간적 특성들 간의 몇몇 혼합을 제공한다. 분산 엘리먼트는 조명 서브시스템 및 계측 또는 검사 시스템의 광학적 특성들에 의존하여 가변할 수도 있는 임의의 적합한 프리즘 또는 회절 격자를 포함할 수도 있다.
- [0122] 조명 서브시스템은 분산 엘리먼트를 나오는 광의 펄스들의 경로에 위치한 전기 광학 변조기를 더 포함한다. 예를 들어, 도 14에 도시된 바와 같이, 조명 서브시스템은 분산 엘리먼트를 나가는 광의 펄스들의 경로에 위치한 전기 광학 변조기(1416)를 포함할 수도 있다. 전기 광학 변조기(1416)는 광의 펄스들에서의 광 분포를 시간적으로 변조함으로써 광의 펄스들의 코히어런스를 감소시키도록 구성된다. 특히, 전기 광학 변조기(1416)는 광 분포의 임의적 시간적 변조를 제공한다. 그러므로, 분산 엘리먼트 및 전기 광학 변조기(1416)는 광원에 의해 발생된 광의 펄스들 상에 조합된 효과를 갖는다. 특히, 전기 광학 변조기(1416)와 분산 엘리먼트의 조합은 임의적 시간적 변조를 생성하고 출력 빔(1418)의 시간적 변조를 임의적 공간적 변조로 변환시킨다.
- [0123] 하나의 실시형태에서, 전기 광학 변조기(1416)는 광의 펄스들에서의 광 분포의 시간적 변조를 1/10 피코초 시간 간격들에서 변경시키도록 구성된다. 다른 실시형태에서, 전기 광학 변조기(1416)는 각각의 기간 중에 약 10^3 비주기적 샘플들을 제공함으로써 약 10^{-13} 초의 디-코히어런스 시간을 제공하도록 구성된다.
- [0124] 펄스 성형, 코히어런스, 및 스펙클 감소 장치 및 방법들의 추가의 세부사항들은 공동 계류중인 2011년 11월 17일자로 공개된 미국 특허 출원 공개 제2011/0279819호와, 2011년 9월 22일자로 공개된 미국 특허 출원 공개 제2011/0228263호에 개시되어 있다. 이들 출원들의 양쪽 모두는 본원에 참조로 통합된다.
- [0125] 본원에서 설명되는 구조들 및 방법들의 다양한 실시형태들은 본 발명의 원리들의 예시적인 것일 뿐이고 발명의 범위를 설명되는 특정 실시형태들로 제한하는 의도는 아니다. 예를 들어, CLBO, LBO, 또는 BBO 또는 주기적으로 분극반전된 재료들이 아닌 비선형 결정체들이 주파수 변환 및 혼합 스테이지들 중 일부를 위해 사용될 수 있다.

도면

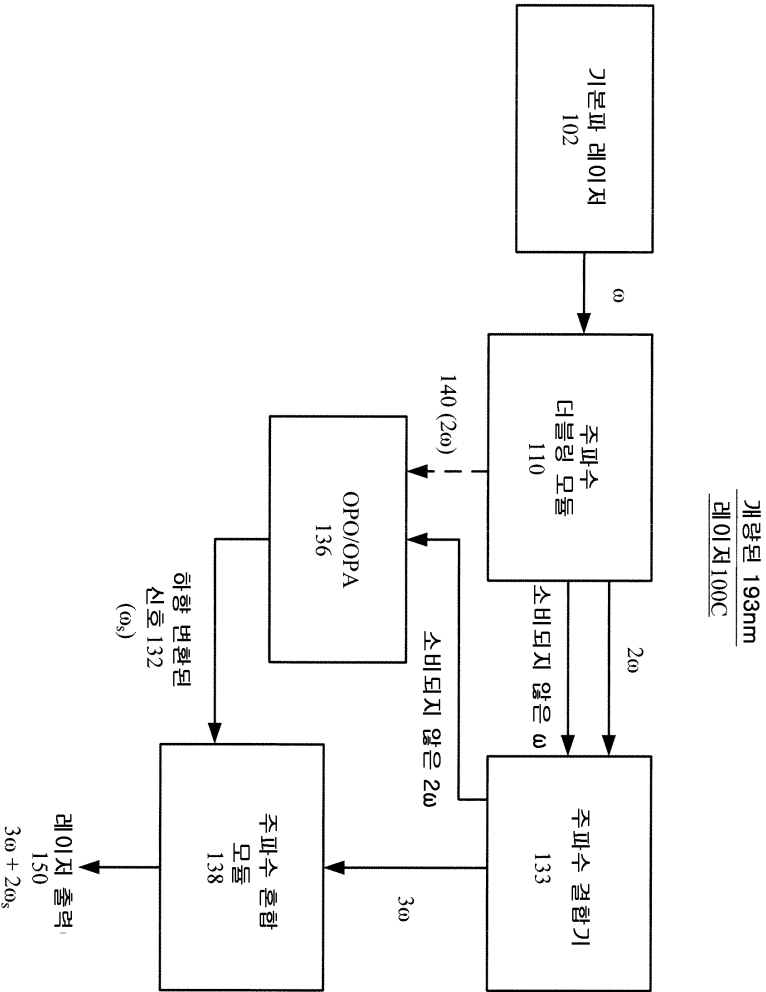
도면1a



도면1b



도면1c



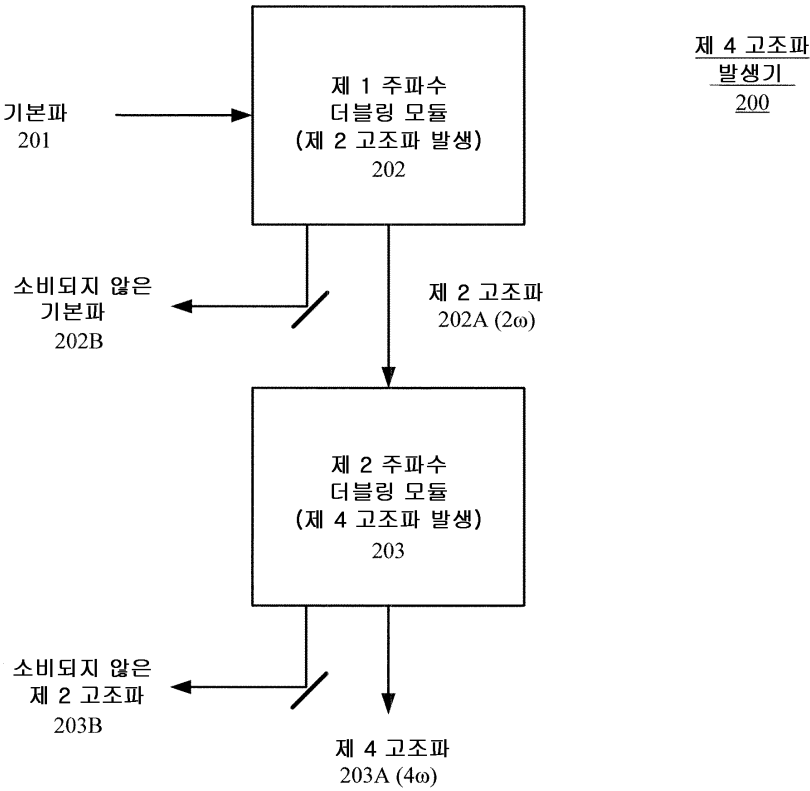
도면1d

도 1a 및 도 1b								
기본파 레이저 유형	Nd:바나데이트, Nd:YAG, Yb 도핑된 파이버		Nd:YLF		Nd:YLF		Yb 도핑된 파이버	
고조파	기본파 (단파장)	기본파 (장파장)	기본파 (단파장)	기본파 (장파장)	기본파 (단파장)	기본파 (장파장)	기본파 (단파장)	기본파 (장파장)
ω	1064.0	1065.0	1052.0	1054.0	1046.0	1048.0	1029.0	1031.0
ω_s	1417.2	1413.7	1461.6	1453.9	1485.3	1477.3	1558.4	1549.3
2ω	532.0	532.5	526.0	527.0	523.0	524.0	514.5	515.5
4ω	266.0	266.3	263.0	263.5	261.5	262.0	257.3	257.8
$4\omega + \omega_s$	224.0	224.1	222.9	223.1	222.4	222.5	220.8	221.0
$4\omega + 2\omega_s$	193.4	193.4	193.4	193.4	193.4	193.4	193.4	193.4

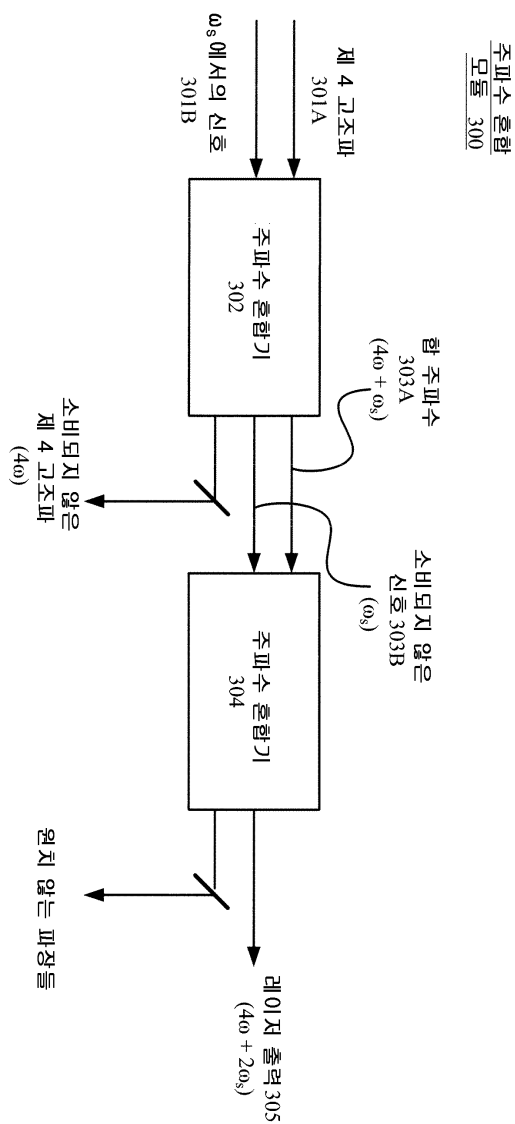
도면1e

도 1c									
기본파 레이저 유형	Nd:바나데이트, Nd:YAG, Yb 도핑된 파이버		Nd:YLF		Nd:YLF		Yb 도핑된 파이버		
구조파	기본파 (단파장)	기본파 (장파장)	기본파 (단파장)	기본파 (장파장)	기본파 (단파장)	기본파 (장파장)	기본파 (단파장)	기본파 (장파장)	
ω	1064.0	1065.0	1052.0	1054.0	1046.0	1048.0	1029.0	1031.0	
ω_s	850.7	849.7	862.5	860.5	868.6	866.5	886.8	884.6	
2ω	532.0	532.5	526.0	527.0	523.0	524.0	514.5	515.5	
3ω	354.7	355.0	350.7	351.3	348.7	349.3	343.0	343.7	
$3\omega + \omega_s$	250.3	250.4	249.3	249.5	248.8	249.0	247.3	247.5	
$3\omega + 2\omega_s$	193.4	193.4	193.4	193.4	193.4	193.4	193.4	193.4	

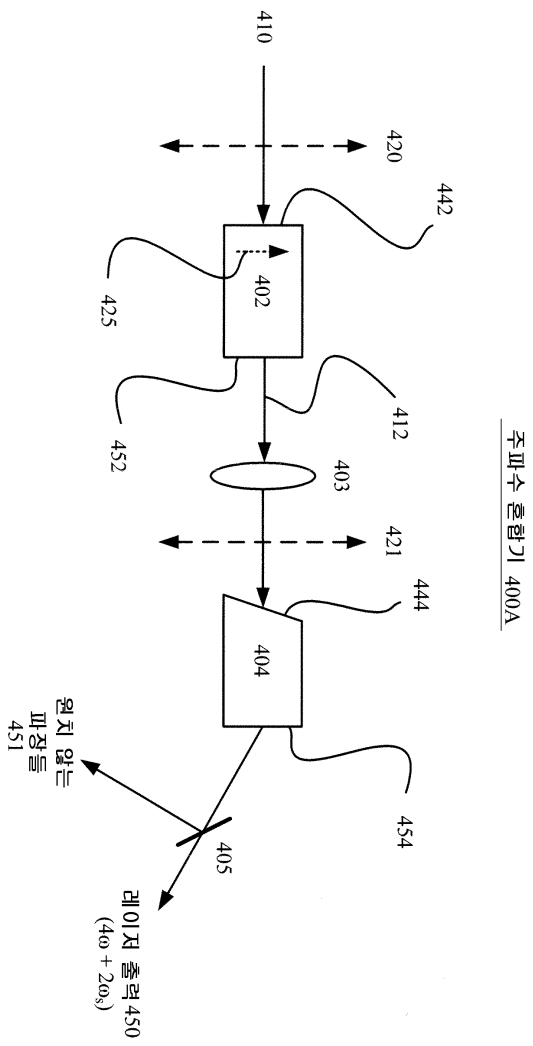
도면2



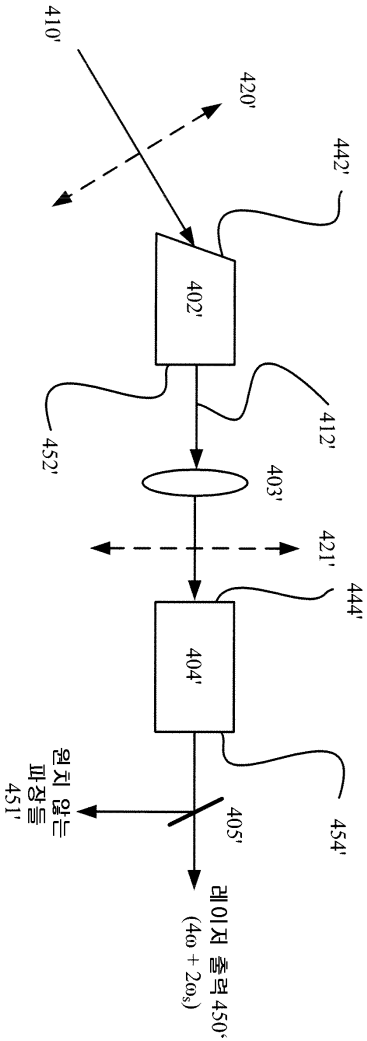
도면3



도면4a

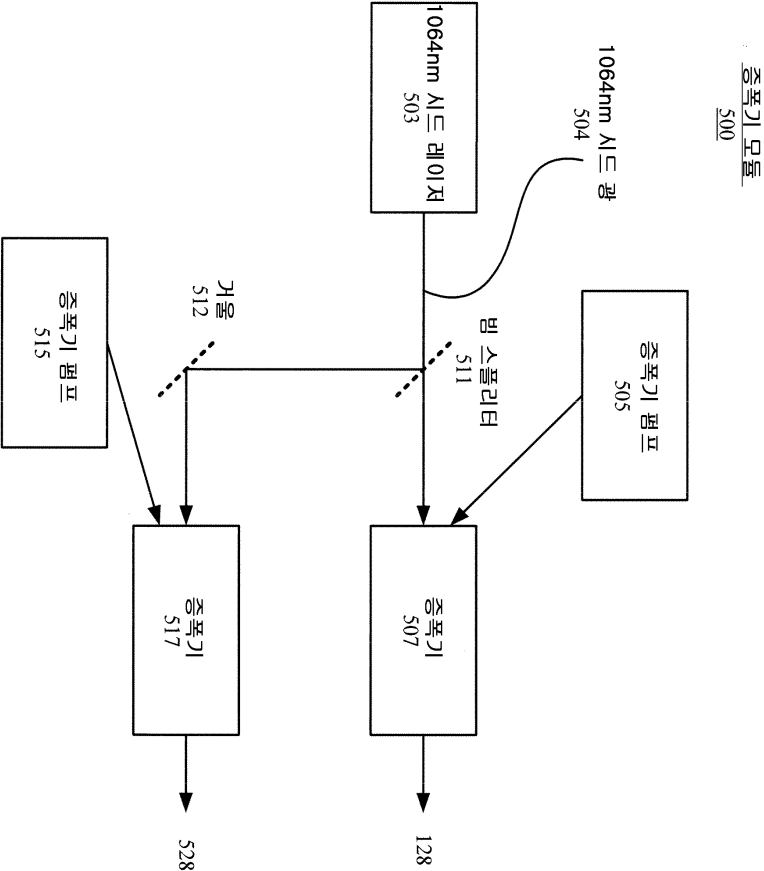


도면4b

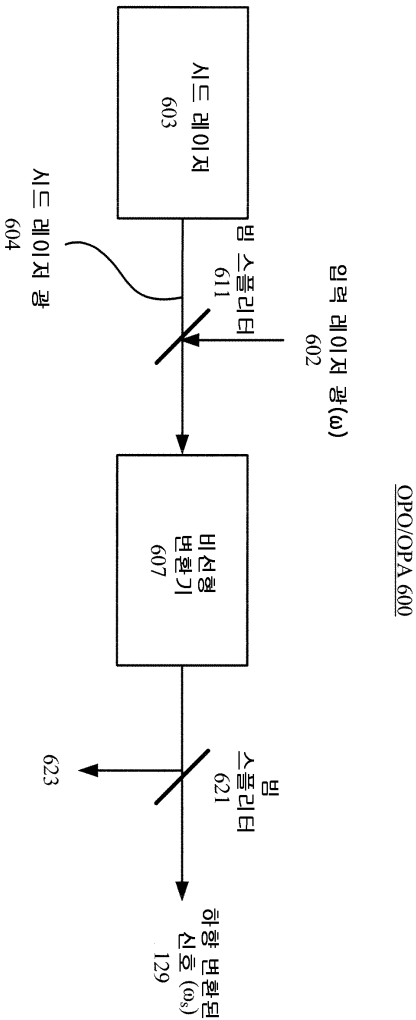


주파수 합성기 400B

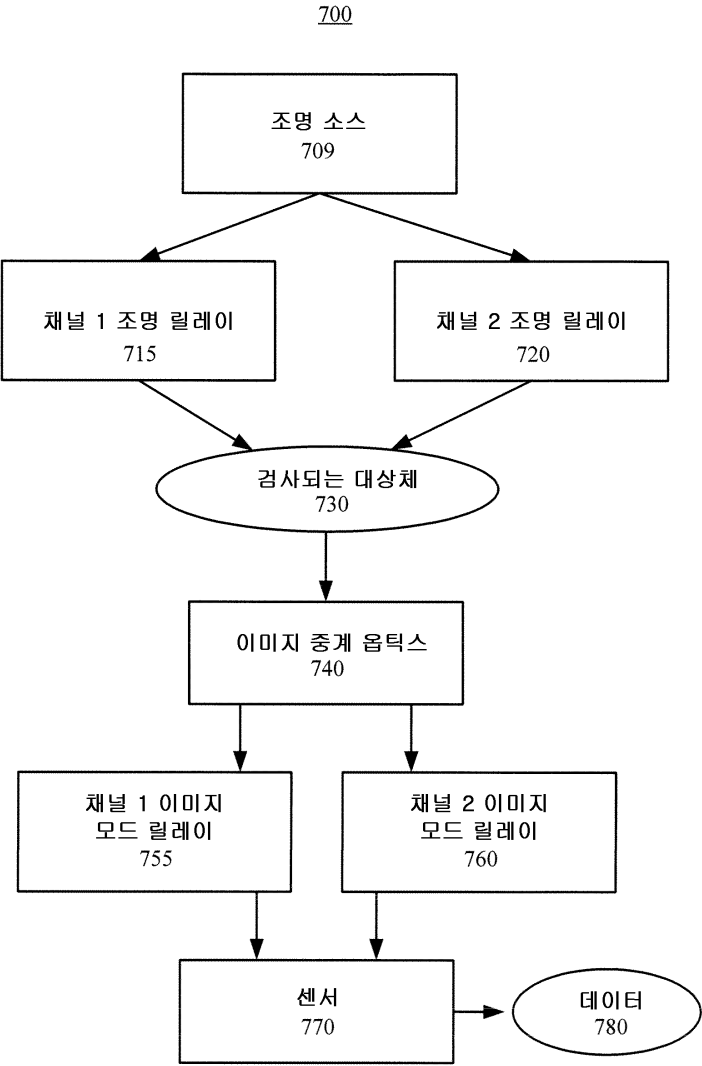
도면5



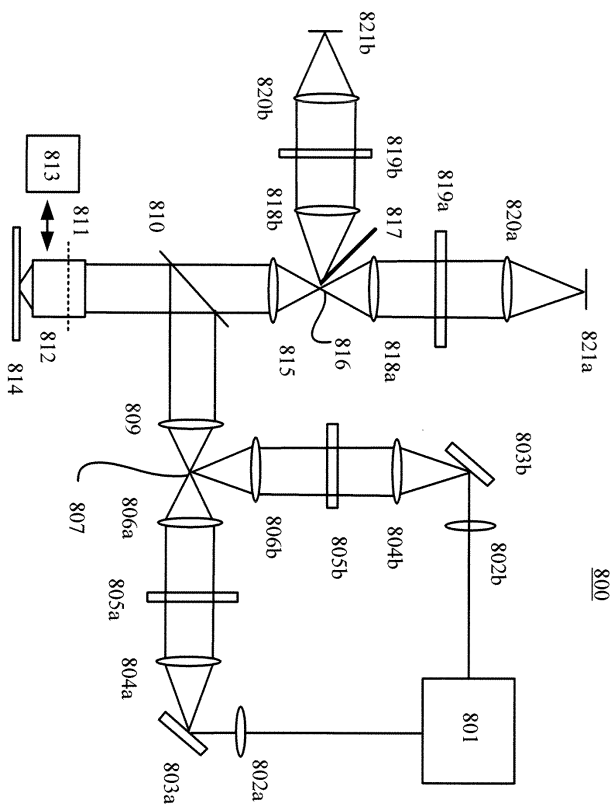
도면6



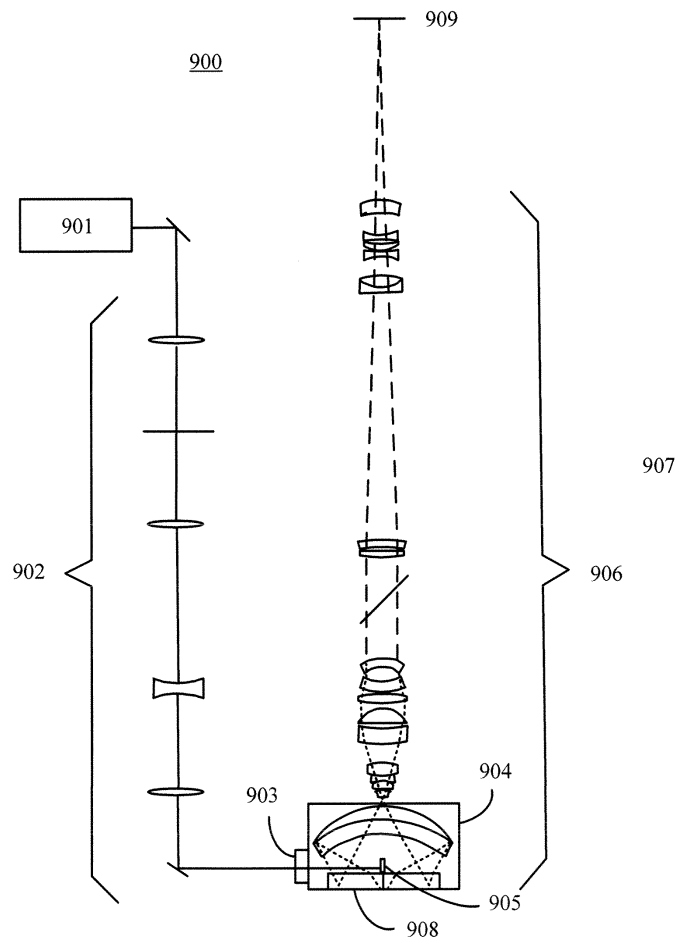
도면7



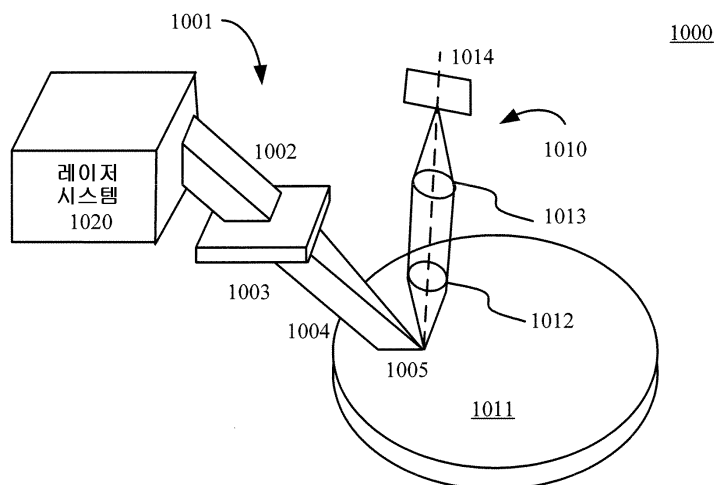
도면8



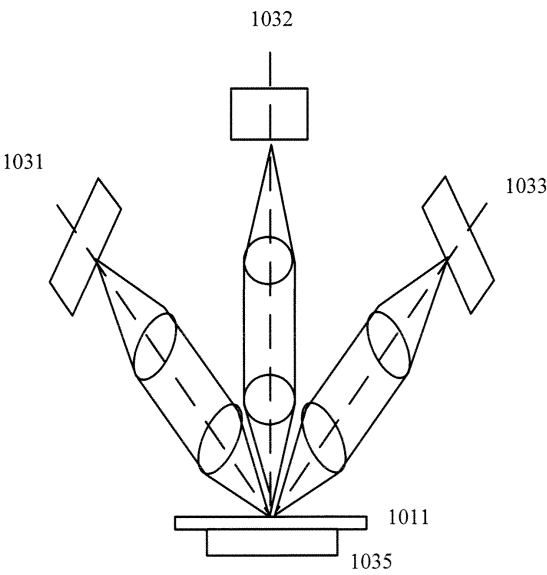
도면9



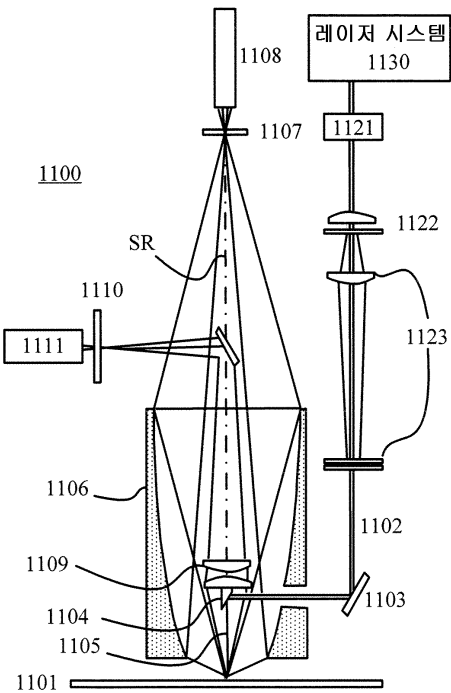
도면10a



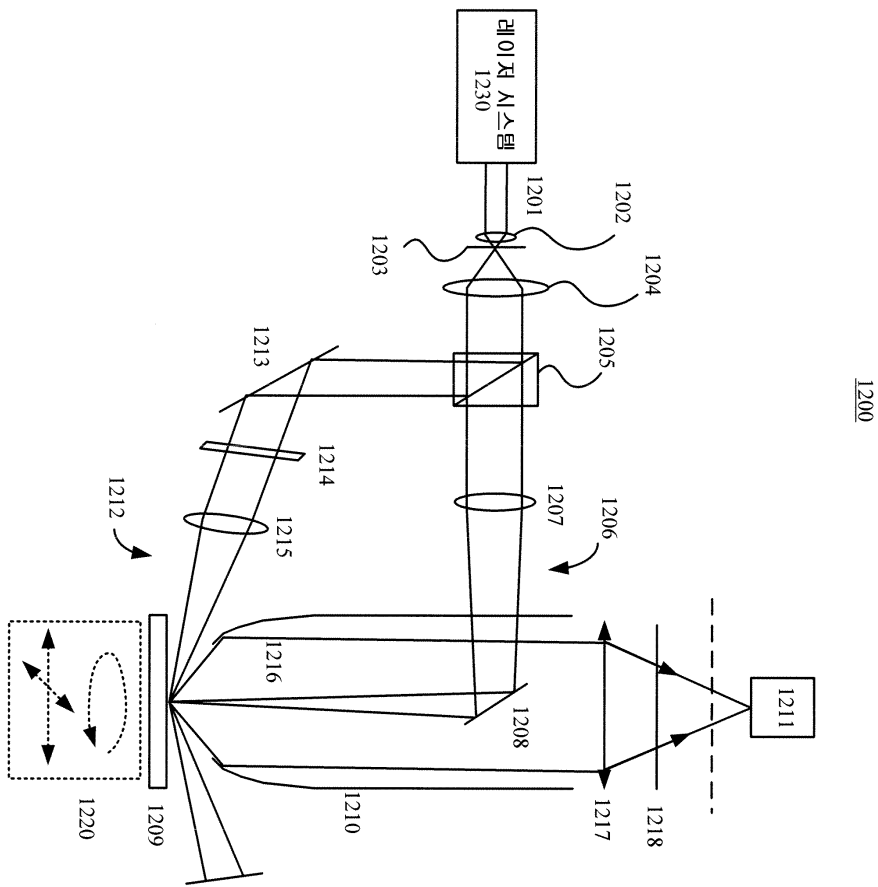
도면10b



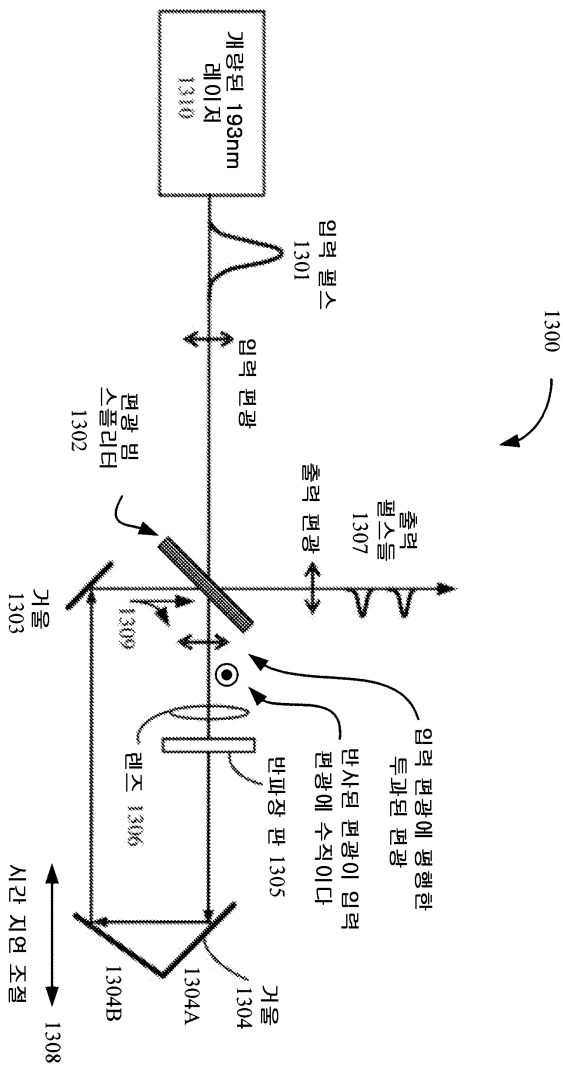
도면11



도면12



도면13



도면14

