



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년02월26일
(11) 등록번호 10-2220081
(24) 등록일자 2021년02월19일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/95 (2006.01) G01N 21/88 (2006.01)
G02F 1/35 (2006.01) G02F 1/39 (2006.01)
H01S 3/00 (2019.01)
- (52) CPC특허분류
G01N 21/9501 (2013.01)
G01N 21/8806 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7029185
- (22) 출원일자(국제) 2015년03월19일
심사청구일자 2020년03월19일
- (85) 번역문제출일자 2016년10월19일
- (65) 공개번호 10-2016-0135790
- (43) 공개일자 2016년11월28일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2015/021462
- (87) 국제공개번호 WO 2015/143152
국제공개일자 2015년09월24일
- (30) 우선권주장
61/955,792 2014년03월20일 미국(US)
14/300,227 2014년06월09일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
W02013177000 A1*
US5742626 A
JP2010010987 A
US05898717 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
케이엘에이 코포레이션
미합중국, 캘리포니아 95035, 밀피타스, 원 테크
놀로지 드라이브
- (72) 발명자
맹 유준
미국 캘리포니아주 95131샌 호세 팬 스트리트
1712
추앙 용호 알렉스
미국 캘리포니아주 95104 쿠퍼티노 사우스 스틸링
로드 10734
필든 존
미국 캘리포니아주 94024 로스 알토스 빅토리아
코트 2020
- (74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 12 항

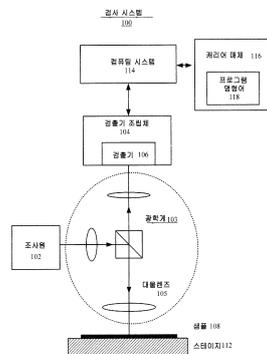
심사관 : 권준형

(54) 발명의 명칭 레이저의 대역폭 감소를 위한 시스템 및 방법과 레이저를 이용한 검사 시스템 및 방법

(57) 요약

DUV 레이저는, 주파수 변환 체인에서 높은 변환 효율을 유지할 동안, 기본 레이저의 레이저 공진기 공동의 외측에 배치되고 또한 파장의 하나의 범위를 주파수 변환 체인의 일 부분 내로, 그리고 파장의 다른 범위를 주파수 변환 체인의 다른 부분 내로 지향시키며, 이에 따라 DUV 레이저 출력의 대역폭을 감소시키는, 에탈론과 같은, 광대역폭 필터링 장치를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G02F 1/3534 (2013.01)

G02F 1/39 (2021.01)

H01S 3/0078 (2013.01)

H01S 3/0092 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

레이저에 있어서,

기본 파장 대역폭을 갖는 기본 파장을 발생시키도록 구성된 기본 레이저;

상기 기본 레이저로부터 상기 기본 파장을 수용하도록 위치되며, 상기 기본 파장으로부터 제1 부분을 거절하고 제2 부분을 통과시키도록 구성된 광 대역폭 필터링 장치로서, 통과된 상기 제2 부분이 상기 기본 파장 대역폭 내에, 거절된 상기 제1 부분보다 더 협소한 범위의 파장을 포함하고, 거절된 상기 제1 부분은 상기 제1 부분의 스펙트럼 중간에 딥(dip)을 구비하게 하는, 상기 광 대역폭 필터링 장치;

상기 기본 파장의 거절된 상기 제1 부분을 수용하고 거절된 상기 제1 부분을 펌프 광으로서 사용하여 제2 파장을 발생시키도록 구성된 주파수 변환 모듈;

상기 기본 파장의 통과된 상기 제2 부분을 변환함으로써 고조파 파장을 발생시키도록 구성된 고조파 변환 모듈; 및

상기 제2 파장을 상기 고조파 파장과 혼합하여 200 nm보다 더 짧은 총합 파장을 발생시키도록 구성된 주파수 혼합 모듈;

를 포함하고,

상기 광 대역폭 필터링 장치는 거절된 상기 제1 부분을 상기 주파수 변환 모듈에 전달하고, 통과된 상기 제2 부분을 상기 고조파 변환 모듈에 전달하도록 구성된 것인, 레이저.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 광 대역폭 필터링 장치는 레이저 공진기 공동의 외측에 위치되는 것인, 레이저.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 광 대역폭 필터링 장치는 에탈론, 광 유전체 필터, 용적 브래그 격자, 복굴절 필터, 및 광 격자로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 장치를 포함하는 것인, 레이저.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 주파수 변환 모듈은 광 매개변수 공진기(optical parametric oscillator; OPO), 광 매개변수 증폭기(optical parametric amplifier; OPA), 및 라만 증폭기로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 장치를 포함하는 것인, 레이저.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제2 파장은 상기 OPO 또는 상기 OPA로부터 신호 광으로서 발생하는 것인, 레이저.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 기본 레이저는 파이버 레이저, 네오디뮴-도핑된 이트륨 알루미늄 가넷(Nd:YAG) 레이저, 또는 Nd-도핑된 바

나뉘는 레이저를 포함하는 것인, 레이저.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 총합 파장은 180 nm와 200 nm 사이의 파장인 것인, 레이저.

청구항 8

딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 방법에 있어서,

기본 파장 및 기본 파장 대역폭을 갖는 기본 레이저 광을 발생시키는 단계;

상기 기본 파장으로부터 제1 부분을 거절하고 제2 부분을 통과시킴으로써 상기 기본 레이저 광을 상기 제1 부분 및 상기 제2 부분으로 분리시키는 단계로서, 상기 제2 부분이 상기 기본 파장 대역폭 내에 상기 제1 부분보다 더 협소한 범위의 파장을 포함하고, 거절된 상기 제1 부분은 상기 제1 부분의 스펙트럼 중간에 딥(dip)을 구비하게 하는, 상기 분리시키는 단계;

거절된 상기 제1 부분을 펌프 광으로서 사용하여 제2 파장을 발생시키는 단계;

통과된 상기 제2 부분을 변환함으로써 고조파 파장을 발생시키는 단계; 및

상기 제2 파장과 상기 고조파 파장을 총합하여 딥 UV 출력 파장을 발생시키는 단계

를 포함하는, 딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 분리시키는 단계는 상기 기본 레이저 광을 수용하도록 에탈론, 광 유전체 필터, 용적 브래그 격자, 복굴절 필터, 및 광 격자 중 적어도 하나를 위치시키는 단계를 포함하는 것인, 딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

거절된 상기 제1 부분을 펌프 광으로서 사용하여 제2 파장을 발생시키는 단계는 OPO, OPA, 또는 라만 증폭기에 의해 수행되는 것인, 딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 기본 레이저 광을 발생시키는 단계는 Nd:YAG 레이저, Nd-도핑된 마나뉘산염 레이저, 및 Yb-도핑된 파이버 레이저 중 하나에 의해 수행되는 것인, 딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 출력 파장은 180 nm와 200 nm 사이의 파장인 것인, 딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

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

청구항 35

삭제

청구항 36

삭제

청구항 37

삭제

청구항 38

삭제

청구항 39

삭제

청구항 40

삭제

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2014년 3월 20일자로 출원되고, 여기에 참조 인용된, 발명의 명칭이 "레이저의 대역폭 감소를 위한 시스템 및 방법과 레이저를 이용한 검사 시스템 및 방법"인 미국 가특허출원 제61/955,792호에 대한 우선권을 청구한다.

[0002] 본 출원은 2013년 1월 24일자 출원되고 발명의 명칭이 "OPO 를 사용하는 193 nm 레이저 및 상기 193 nm 레이저를 사용하는 검사 시스템"인 미국 가특허출원 제61/756,209호, 2014년 1월 17일자로 출원되고 발명의 명칭이 "193 nm 레이저 및 검사 시스템"인 미국 특허출원 제14/158,615호, 2013년 3월 12일자로 출원되고 발명의 명칭이 "193 nm 레이저를 사용하는 고체-상태 레이저 및 검사 시스템"인 미국 특허출원 제13/797,939호, 2013년 2월 13일자로 출원되고 발명의 명칭이 "193 nm 레이저 및 상기 193 nm 레이저를 사용하는 검사 시스템"인 미국 가특허출원 제61/764,441호, 2014년 1월 31일자로 출원되고 발명의 명칭이 "193 nm 레이저 및 검사 시스템"인 미국 특허출원 제14/170,384호, 2012년 12월 5일자로 출원되고 발명의 명칭이 "레이저 펄스 증배기를 사용하는 반도체 검사 및 계측 시스템"인 미국 가특허출원 제61/733,858호, 및 2012년 12월 11일자로 출원되고 발명의 명칭이

"레이저 펄스 증배기를 사용하는 반도체 검사 및 계측 시스템"인 미국 특허출원 제13/711,593호에 관한 것이다. 이들 관련 출원은 여기에 참조 인용되었다.

[0003] 본 출원은 딥 UV(deep UV)(DUV) 및 진공 UV(vacuum UV)(VUV) 파장에서 방사선을 발생시키기에 적합한 레이저, 및 상기 DUV 및 VUV 파장에서 레이저 광을 발생시키기 위한 방법에 관한 것이다. 특히, 본 출원은 DUV 및 VUV 레이저의 스펙트럼 대역폭을 감소하고 제어하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다. 여기에 기재된 레이저는 포토마스크, 레티클, 및 반도체 웨이퍼를 검사하는데 사용되는 것을 포함하는 검사 시스템에 사용하기에 특히 적합하다.

배경 기술

[0004] 집적회로 산업은, 그 크기가 100 nm 이거나 또는 이 보다 더 작을 수 있는 작은 결함 및 입자를 검출하기 위해, 점점 더 높은 감도를 구비하는 검사 틀을 요구하고 있다. 또한, 이들 검사 틀은 큰 부분 또는 심지어 포토마스크, 레티클, 또는 웨이퍼의 영역의 100% 를 짧은 시간 주기로, 예를 들어 1 시간 이하로, 검사하기 위해 고속으로 작동해야만 한다.

[0005] 일반적으로, DUV 및 VUV 파장과 같은 단파장은 작은 결함을 검출하기 위해 더 긴 파장에 비해 더 높은 감도를 갖는다. 포토마스크 또는 레티클의 검사는 포토마스크 또는 레티클로부터 프린팅할 때 사용되는 리소그래피와 동일한 파장을 사용하여 바람직하게 실시된다. 현재, 실질적으로 193.4 nm의 파장이 대부분의 주요한 리소그래피 단계에 사용되고 있으며, 그리고 더 적은 리소그래피 단계를 위해 실질적으로 248 nm의 파장이 사용되고 있다.

[0006] 검사될 샘플을 고강도로 조사하여 작은 입자나 결함으로부터 산란된 소량의 광을 검출하거나 또는 패턴의 결함으로 인해 반사율의 작은 변화의 검출을 허용하기 위해, 고속 검사는 고전력 레이저를 요구한다. 요구되는 레이저 전력 레벨은, 포토마스크 및 레티클의 검사를 위한 대략 100 mW 로부터 베어 실리콘 웨이퍼 상의 작은 입자 및 결점의 검출을 위한 10W 까지의 범위일 수 있다.

[0007] 전형적으로, 반도체 산업의 검사는 매우 협소한 대역폭을 구비한 레이저를 요구한다. 이런 검사 시스템은, 높은 검사 속도로 큰 영역의 활상을 허용하기 위해, 일반적으로 큰 시야(전형적으로, 수백 마이크로 내지 수 마이크로 수치)를 구비한 대물렌즈를 사용한다. 저왜곡 및 큰 시야를 구비한 대물렌즈는 값비싸며 복잡하다. 큰 대역폭(수 십 pm 보다 많은 바와 같은) 위에서 작동하는 대물렌즈를 요구하는 것은 비용 및 복잡함을 상당히 증가시킨다. 반도체 산업에서 검사 용도로는 대략 20 pm 이하의 대역폭을 구비한 DUV 레이저가 매우 바람직하다.

[0008] DUV 레이저는 본 기술분야에 알려져 있다. 1992년 9월 1일자로 린(Lin)에게 허여된 발명의 명칭이 "주파수 변환 기술을 사용하는 다파장 고체 상태 레이저"인 미국 특허 제5,144,630호, 및 1998년 4월 21일자로 미드(Mead)등에게 허여된 발명의 명칭이 "자외선 고체 상태 레이저와 그 사용 방법 및 레이저 수술 장치"인 미국 특허 제 5,742,626호는 예시적인 DUV 레이저를 개시하고 있다. 이들 레이저에 있어서, 1064 nm 가까운 파장에서 작동하는 펄스형 기본 적외선 레이저로부터 제4 및 제5 고조파가 발생되었으며, 이에 따라 대략 266 nm 및 216 nm의 파장으로 나타났다. 또한, 상기 린 및 미드는 광 매개변수 공진기(optical parametric oscillator)(OPO)를 사용하여 기본 레이저(fundamental laser)로부터 1064 nm 보다 긴 적외선 파장을 발생시키는 단계를 교시하고 있다.

[0009] 레이저 공진기의 출력 대역폭은 공동 내 동력학에 의해 결정된다. 종래기술의 펄스형 레이저에 있어서, 레이저 대역폭을 추가로 감소시키기 위해, 에탈론(etalon), 복굴절 필터, 또는 광학 격자와 같은 다양한 대역폭 제한 장치가 레이저 공동에 통합되었다. 이 모든 접근법이 침입형이기 때문에, 이들은 불가피하게 레이저에 해로운 효과를 도입하고 있다. 이들 해로운 효과는 여분의 전력 손실 및 더 큰 복잡성을 포함하며, 이는 더 낮은 레이저 효율, 빈약한 열적 안정성, 더 타이트한 오정렬 감도, 및 더 긴 레이저 시스템 준비 시간으로 자주 이어진다. 또한, 공동 내 비임 크기가 자주 작고 그리고 레이저 공동 디자인에 의해 결정되고, 또한 공동 내 레이저 전력 밀도가 통상적으로 레이저 출력 전력 보다 훨씬 높기 때문에, 이들 공동 내 부품은 손상에 훨씬 더 취약하다.

[0010] 종래기술의 펄스형 DUV 레이저에 있어서, DUV 출력의 대역폭은 기본 적외선 레이저의 대역폭에 직접적으로 의존한다. 즉, 기본 레이저의 대역폭이 더 넓을수록, DUV 출력 대역폭이 더 넓어진다. 레이저의 대역폭을 감소시키면 레이저 공진기 공동을 재설계하는 단계를 요구한다. 상기 공동이 평균 및 피크 전력뿐만 아니라 대역폭, 반복률을 포함하는 레이저의 많은 특성을 제어할 수 있기 때문에, 다른 레이저 매개변수를 유지하면서 대역폭을 감소시키기 위해 공동을 재설계하는 단계는 복잡하고 또한 시간 소모적인 과제일 수 있다. 또한, 용이하게 사

용할 수 있는 적외선 기본 레이저를 사용하여, 특정한 DUV 레이저 대역폭 사양을 달성하는 것이 불가능할 수 있다.

[0011] 처프(chirp)가 레이저 펄스의 길이를 펼치고 또한 그 피크 전력을 감소시키는 것으로 잘 알려져 있다(예를 들어, <http://www.rp-photonics.com/chirp.html> 참조). 비-선형 변환 효율이 피크 전력으로 올라가기 때문에, 낮은 피크 전력은 전체 변환 효율을 감소시킬 것이며, 이에 따라 레이저 시스템으로부터 발생된 최대 UV 전력을 제한한다. 따라서 주어진 요구된 대역폭에 대해, 높은 비-선형 변환 효율을 위해서는 변환-제한형["처프-프리(chirp-free)"]로도 지칭된다] 펄스에 가까운 것이 바람직하다. 그러나 이산, 공간-홀 버닝(spatial-hole burning)(SHB), 이득 포화, 및 비-선형성과 같은 레이저 공동 내 동력학 때문에, 레이저로부터 발생된 펄스는 자주 처핑된다.

[0012] 따라서 상기 단점의 일부 또는 전부를 극복한 DUV 레이저가 요망되고 있다. 특히, DUV 레이저의 대역폭을 감소시키거나 또는 제어하는 수단이 요망되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 최적화된 대역폭 제어를 제공하기 위한 DUV 레이저가 기재된다. 상기 DUV 레이저는 기본 레이저, 주파수 변환 모듈, 주파수 혼합 모듈, 및 광 대역폭 필터링 장치를 포함한다. 상기 기본 레이저는 기본 파장 대역폭을 갖는 기본 파장을 발생한다. 상기 광 대역폭 필터링 장치는 기본 파장을 수용하도록 위치되며, 또한 제2 부분이 기본 파장 대역폭 내에 상기 제1 부분 보다 더 협소한 범위의 파장을 포함하도록, 상기 기본 파장으로부터 제1 및 제2 부분을 선택한다. 상기 주파수 변환 모듈은 제2 파장을 갖는 "신호 광"을 제공하기 위해 상기 기본 파장의 제1 부분을 변환하며, 상기 주파수 혼합 모듈은 총합(출력) 파장을 발생시키기 위해 제2 파장을 기본 파장의 제2 부분과 혼합한다. 더 협소한 제2 부분을 선택하기 위해 상기 광 대역폭 필터링 장치를 사용함으로써, 본 발명은 광범위한 기본 파장 대역폭을 갖는 기본 레이저의 사용을 촉진시킴으로써 시스템 비용을 절감한다(즉, 특정한 협소한 기본 파장 대역폭을 갖는 값비싼 "주문-제작형" 기본 레이저에 대한 요구가 회피된다). 또한, 기본 주파수의 넓은 "거절된(rejected)" 제1 부분으로부터 사용 가능한 제2 파장을 갖는 신호 광을 추출하고 또한 상기 신호 광을 제2 부분과 혼합하도록 주파수 혼합 모듈 내로 지향시키기 위해 상기 주파수 변환 모듈을 사용함으로써, 본 발명은 기본 주파수의 제1("거절된") 부분의 사용 가능한 부분을 효과적으로 "재활용"함으로써 에너지 손실도 최소화한다. 따라서 결과적인 총합(출력) 파장은, 통상적인 기술(예를 들어, 고조파 변환 및 주파수 혼합)을 사용하여 생산될 수 있는 것 보다, 훨씬 협소한 파장 대역폭을 갖는 넓은 기본 파장 대역폭으로부터 효과적으로 생산된다.

과제의 해결 수단

[0014] 다른 실시예에 있어서, DUV 레이저는 기본 레이저, 주파수 변환 모듈, 고조파 변환 모듈, 주파수 혼합 모듈, 및 광 대역폭 필터링 장치를 포함한다. 상기 기본 레이저는 기본 파장 대역폭을 갖는 기본 파장을 발생한다. 상기 주파수 변환 모듈은 상기 기본 파장의 제1 부분을 제2 파장으로 변환한다. 상기 고조파 변환 모듈은 기본 파장의 제2 부분으로부터 고조파 파장을 발생한다. 상기 주파수 혼합 모듈은, 총합 파장을 발생시키기 위해, 상기 제2 파장을 고조파 파장과 혼합한다. 상기 광 대역폭 필터링 장치는, 상기 제2 부분이 기본 파장 대역폭 내에 상기 제1 부분 보다 더 협소한 범위의 파장을 포함하도록, 상기 기본 파장으로부터 제1 및 제2 부분을 선택한다.

[0015] 또 다른 실시예에 있어서, DUV 레이저는 기본 레이저, 주파수 변환 모듈, 고조파 변환 모듈, 주파수 혼합 모듈, 및 광 대역폭 필터링 장치를 포함한다. 상기 기본 레이저는 기본 파장 대역폭을 갖는 기본 파장을 발생한다. 상기 주파수 변환 모듈은 기본 파장의 제1 부분을 제2 파장으로 변환한다. 상기 고조파 변환 모듈은 제2 부분으로부터 고조파 파장을 발생한다. 상기 주파수 혼합 모듈은, 총합 파장을 발생시키기 위해, 상기 고조파 파장을 상기 기본 파장의 제2 부분과 혼합한다. 상기 광 대역폭 필터링 장치는, 상기 제2 부분이 기본 파장 대역폭 내에 상기 제1 부분 보다 더 협소한 범위의 파장을 포함하도록, 상기 기본 파장으로부터 제1 및 제2 부분을 선택한다.

[0016] 본 발명의 양태에 따라, 상기 광 대역폭 필터링 장치는 기본 레이저의 레이저 공진기 공동의 외측에 위치된다. 상기 광 대역폭 필터링 장치는 에탈론, 광 유전체 필터, 용적 브래그 격자(volume Bragg grating), 복굴절 필터, 및 광 격자로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 장치를 포함할 수 있다. 상기 주파수 변환

모들은 광 매개변수 공진기(OPO), 광 매개변수 증폭기(optical parametric amplifier)(OPA), 및 라만 증폭기(Raman amplifier)로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 적어도 하나의 장치를 포함할 수 있다. 제2 파장은 상기 OPO 또는 OPA로부터 신호 광으로서 발생할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 상기 기본 레이저는 대략 405 nm 이하의 파장을 발생시키는 다이오드 레이저를 포함한다. 다른 실시예에 있어서, 기본 레이저는 파이버 레이저, 네오디뮴-도핑된 이트륨 알루미늄 가넷(neodymium-doped yttrium aluminum garnet)(Nd:YAG) 레이저, 또는 Nd-도핑된 바나듐산염 레이저를 포함할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 상기 총합 파장은 대략 193 nm 과 동일하다. 다른 실시예에 있어서, 총합 파장은 대략 184 nm 과 동일하다.

[0017] 딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 방법이 기재된다. 일 실시예에 있어서, 상기 방법은 기본 파장 및 기본 파장 대역폭을 갖는 기본 레이저를 발생하는 단계, 상기 기본 파장의 제1 부분을 제2 파장으로 변환하는 단계, 상기 기본 파장의 제2 부분으로부터 고조파 파장을 발생하는 단계, 및 출력 파장을 발생시키기 위해 상기 제2 파장과 고조파 파장을 총합하는 단계를 포함한다. 특히, 상기 기본 파장의 제2 부분은 기본 파장 대역폭 내에 제1 부분 보다 더 협소한 범위의 파장을 포함한다.

[0018] 딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 다른 방법이 기재된다. 일 실시예에 있어서, 이 방법은 기본 파장 및 기본 파장 대역폭을 갖는 기본 레이저를 발생하는 단계, 상기 기본 파장의 제1 부분을 제2 파장으로 변환하는 단계, 및 출력 파장을 발생시키기 위해 상기 제2 파장과 고조파 파장의 제2 부분을 총합하는 단계를 포함한다. 특히, 상기 기본 파장의 제2 부분은 기본 파장 대역폭 내에 상기 제1 부분 보다 더 협소한 범위의 파장을 포함한다.

[0019] 딥 UV 레이저 방사선을 발생시키는 또 다른 방법이 기재된다. 일 실시예에 있어서, 이 방법은 기본 파장 및 기본 파장 대역폭을 갖는 기본 레이저를 발생하는 단계, 상기 기본 파장의 제1 부분을 제2 파장으로 변환하는 단계, 상기 제2 파장으로부터 고조파 파장을 발생하는 단계, 및 출력 파장을 발생시키기 위해 상기 기본 파장의 제2 부분과 고조파 파장을 총합하는 단계를 포함한다. 특히, 상기 기본 파장의 제2 부분은 기본 파장 대역폭 내에 상기 제1 부분 보다 더 협소한 범위의 파장을 포함한다.

[0020] 이들 방법에 대해, 제1 및 제2 부분을 선택하는 단계는 에탈론, 광 유전체 필터, 용적 브래그 격자, 복굴절 필터, 또는 광 격자 중 적어도 하나에 의해 수행될 수 있다. 특히, 이런 광 대역폭 필터링 장치는 실제로 파장의 하나의 범위를 주파수 변환 체인의 일 부분 내로, 그리고 파장의 다른 범위를 파장 변환 체인의 다른 부분 내로 지향시키며, 이에 따라 원치 않는 파장을 간단히 거절함으로써 대역폭을 감소시키기 위해 광 대역폭 필터링 장치를 사용하는 레이저에 비해, 실질적으로 전력 손실을 감소시킨다. 또한, 대역폭 협소화 장치를 레이저 공동의 외측에 위치시킴으로써, 공동 내 대역폭 제어 장치의 해로운 효과의 일부 또는 전부를 피할 수 있다. 레이저 공진기 공동을 재설계하지 않고서도, 대역폭 이외의 레이저 매개변수가 대체로 유지될 수 있다. 기본 파장의 제1 부분을 제2 파장으로 변환하는 단계는 OPO, OPA, 또는 라만 증폭기에 의해 수행될 수 있다. 기본 레이저를 발생하는 단계는 다이오드 레이저, Nd:YAG 레이저, Nd-도핑된 바나듐산염 레이저, 및 Yb-도핑된 파이버 레이저 중 하나에 의해 수행될 수 있다.

[0021] 예시적인 검사 시스템이 기재된다. 상기 검사 시스템은 조사원(illumination source), 광학계(optics), 및 검출기를 포함한다. 상기 조사원은 원하는 파장 및 대역폭의 DUV 방사선을 발생시키는 DUV 레이저를 포함한다. 상기 DUV 레이저는 파장의 하나의 범위를 주파수 변환 체인의 일 부분 내로, 그리고 파장의 다른 범위를 주파수 변환 체인의 다른 부분 내로 지향시키는 광학 대역폭 필터링 장치, 예를 들어, 에탈론을 포함한다. 상기 광학계는 상기 조사원으로부터의 방사선을 샘플 상으로 지향시키고 그리고 포커싱하도록 구성된다. 상기 샘플은 스테이지에 의해 지지되며, 상기 스테이지는 검사 중 광학계에 대해 이동한다. 상기 검출기는 샘플로부터 반사된 또는 산란된 광을 수용하도록 구성되며, 광학계는 상기 반사된 또는 산란된 광을 검출기 상으로 수집하도록, 지향시키도록, 및 포커싱하도록 추가로 구성된다. 상기 검출기는 하나 이상의 영상 센서를 포함한다. 적어도 하나의 영상 센서는 시간 지연 집적(time delay integration)(TDI) 센서일 수 있다.

[0022] 예시적인 검사 시스템은 상이한 입사각으로부터 및/또는 상이한 방위각으로부터 및/또는 상이한 파장 및/또는 분극 상태에서부터 샘플을 조사하는 하나 이상의 조사 경로를 포함할 수 있다. 상기 예시적인 검사 시스템은 샘플에 의해 반사되거나 또는 산란된 광을 상이한 방향으로 수집하고 및/또는 상이한 파장에 및/또는 상이한 분극 상태에 민감한 하나 이상의 수집 경로를 포함할 수 있다. 상기 예시적인 검사 시스템은 2개의 상이한 신호를 동시에 판독하는데 사용되는 양측 상에 판독 회로를 구비한 TDI 센서를 포함할 수 있다. 예시적인 검사 시스템은 전자-충격식 영상 또는 애벌런치 영상 센서를 포함할 수 있다.

[0023] 레이저의 대역폭을 제어하고 이와 동시에 그 처프를 감소시키기 위한 예시적인 방법이 기재된다. 대역폭 제어

장치는 레이저 공진기 공동의 외측에 위치된다. 어떤 상황 하에서, 대역폭 필터링 후, 처프형 펄스는 더 협소한 대역폭 및 더 짧은 펄스 길이를 갖는 의사 변환-제한형 펄스로 변환될 수 있다. 이는 비선형 주파수 변환에서 더 높은 변환 효율에 매우 바람직하다.

도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 최적화된 대역폭 제어를 제공하는 DUV 레이저를 포함하는 조사원을 통합한 예시적인 검사 시스템을 도시하고 있다.
- 도 2a 및 2b는 하나 이상의 수집 채널과 그리고 최적화된 대역폭 제어를 제공하는 DUV 레이저를 구비한 라인 조사를 사용하는, 예시적인 검사 시스템을 도시하고 있다.
- 도 3은 최적화된 대역폭 제어뿐만 아니라 정상적인 조사 및 비스듬한 조사를 제공하는 예시적인 검사 시스템을 도시하고 있다.
- 도 4는 명시야(bright-field) 및 암시야(dark-field) 조사 채널을 구비한 예시적인 검사 시스템을 도시하고 있으며, 상기 암시야 조사 채널을 위해 사용되는 이런 검사 시스템의 DUV 레이저는 최적화된 대역폭 제어를 제공한다.
- 도 5는 분기-판독(split-readout) 영상 센서 및 최적화된 대역폭 제어를 제공하는 DUV 레이저를 포함하는 조사원을 통합한, 예시적인 검사 시스템을 도시하고 있다.
- 도 6a는 대역폭을 제어하기 위해 광 대역폭 필터링 장치, 예를 들어, 에탈론을 포함하는 예시적인 DUV 레이저를 도시하고 있다.
- 도 6b는 대역폭을 제어하기 위해 광 대역폭 필터링 장치, 예를 들어, 에탈론을 포함하는 대안적인 예시적인 DUV 레이저를 도시하고 있다.
- 도 6c는 대역폭을 제어하기 위해 광 대역폭 필터링 장치, 예를 들어, 에탈론을 포함하는 다른 예시적인 DUV 레이저를 도시하고 있다.
- 도 7은 대역폭 필터링 후, 예시적인 펄스 폭 단축을 도시하고 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 도 1은 웨이퍼, 레티클, 또는 포토마스크와 같은 샘플(108)을 측정하도록 구성된 예시적인 검사 시스템(100)을 도시하고 있다. 상기 샘플(108)은, 광학계 하에서 샘플(108)의 상이한 영역으로의 이동을 촉진시키기 위해, 스테이지(112) 상에 위치된다. 상기 스테이지(112)는 X-Y 스테이지 또는 R-θ 스테이지를 포함할 수 있다. 일부 실시예에 있어서, 스테이지(112)는 초점을 유지하기 위해 검사 중 샘플(108)의 높이를 조정할 수 있다. 다른 실시예에 있어서, 대물렌즈(105)는 초점을 유지하도록 조정될 수 있다.
- [0026] 조사원(102)은 하나 이상의 레이저 및/또는 광대역 광원을 포함할 수 있다. 상기 조사원(102)은 DUV 및/또는 VUV 방사선을 방출할 수 있다. 조사원(102)은 여기에 기재되는 대역폭 제어부를 통합한 DUV 레이저 중 하나를 포함한다. 대물렌즈(105)를 포함하는 광학계(103)는 상기 방사선을 샘플(108)을 향해 지향시키고, 또한 상기 방사선을 샘플 상에 포커싱한다. 상기 광학계(103)는 거울, 렌즈, 및/또는 빔 분할기(splitter)를 포함할 수도 있다. 샘플(108)로부터 반사되거나 또는 산란된 광은 광학계(103)에 의해 검출 조립체(107) 내에 있는 검출기(106) 상으로 수집되고, 지향되고, 및 포커싱된다. 상기 검출기(106)는 2차원 어레이 센서 또는 1차원 라인 센서를 포함할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 검출기(106)의 출력은 출력을 분석하는 컴퓨팅 시스템(114)에 제공된다. 상기 컴퓨팅 시스템(114)은 캐리어 매체(116) 상에 저장될 수 있는 프로그램 명령어(118)에 의해 구성된다.
- [0027] 상기 검사 시스템(100)의 일 실시예는 샘플(108) 상에 하나의 라인을 조사하고, 산란된 및/또는 반사된 광을 하나 이상의 암시야 및/또는 명시야 수집 채널에 수집한다. 이 실시예에 있어서, 상기 검출기(106)는 라인 센서 또는 전자-충격식 라인 센서를 포함할 수 있다.
- [0028] 상기 검사 시스템(100)의 다른 실시예는 샘플(108) 상에 복수의 스폿(spot)을 조사하여, 산란된 및/또는 반사된 광을 상기 하나 이상의 암시야 및/또는 명시야 수집 채널에 수집한다. 이 실시예에 있어서, 상기 검출기(106)는 2차원 어레이 센서 또는 전자-충격식 2차원 어레이 센서를 포함할 수 있다.

- [0029] 검사 시스템(100)의 다양한 실시예의 추가적인 세부사항은 2012년 7월 9일자로 출원되고 발명의 명칭이 "웨이퍼 검사 시스템"인 미국 특허출원 제13/554,954호, 2011년 6월 7일자로 발행되고 발명의 명칭이 "소형 반사굴절 대물렌즈를 사용하는 분기 필드 검사 시스템"인 미국 특허 제7,957,066호, 2008년 3월 18일자로 발행되고 발명의 명칭이 "반사굴절 광학 시스템에서 레이저 암시야 조사를 위한 빔 전달 시스템"인 미국 특허 제7,345,825호, 1999년 12월 7일자로 발행되고 발명의 명칭이 "광범위 줌 용량을 구비한 초-광대역 UV 마이크로소프트프 촬상 시스템"인 미국 특허 제5,999,310호, 및 2009년 4월 28일자로 발행되고 발명의 명칭이 "2차원 촬상을 구비한 레이저 라인 조사를 사용하는 표면 검사 시스템"인 미국 특허 제7,525,649호에서 찾아볼 수 있다. 이들 특허 및 특허출원은 여기에 참조 인용되었다.
- [0030] 도 2a 및 2b는 여기에 기재되는 DUV 레이저 및/또는 방법을 통합한 암시야 검사 시스템의 양태를 도시하고 있다. 예를 들어, 도 2a에 있어서, 조사 광학계(201)는, 거울 또는 렌즈(203)에 의해 검사될 샘플(211)의 표면 상의 라인(205) 내로 포커싱되는 광(202)을 발생시키기 위해, DUV 레이저 시스템(200)을 포함한다. 상기 DUV 레이저 시스템(200)은 여기에 기재되는 DUV 레이저를 포함하며, 이는 최적화된 대역폭 제어를 제공할 수 있다. 수집 광학계(210)는 라인(205)으로부터 산란된 광을 렌즈 및/또는 거울(212, 213)을 사용하여 센서(215)로 지향시킨다. 상기 수집 광학계의 광학 축선(214)은 라인(205)의 조사 평면에 있지 않다. 일부 실시예에 있어서, 상기 축선(214)은 대략 라인(205)과 직교한다. 센서(215)는 선형 어레이 센서와 같은 어레이 센서를 포함할 수 있다.
- [0031] 도 2b는 다중 암시야 수집 시스템(231, 232, 233)을 포함하고, 상기 각각의 시스템이 도 2a의 수집 광학계(210)와 실질적으로 유사한 일 실시예를 도시하고 있다. 상기 수집 시스템(231, 232, 233)은 도 2a의 조사 광학계(201)와 실질적으로 유사한 조사 광학계와 조합하여 사용된다. 이 실시예에 있어서, 샘플(211)은 검사될 영역을 광학계 아래로 이동시키는 스테이지(221) 상에 지지된다. 상기 스테이지(221)는 X-Y 스테이지 또는 R- θ 스테이지를 포함할 수 있으며, 이는 샘플의 큰 영역을 최소한의 데드 타임(dead time)으로 검사하기 위해 검사 중 실질적으로 연속적으로 바람직하게 이동시킨다.
- [0032] 도 2a 및 2b에 도시된 실시예에 따른 검사 시스템의 세부사항은 2009년 4월 28일자로 발행되고 발명의 명칭이 "2차원 촬상을 구비한 라인 조사를 사용하는 표면 검사 시스템"인 미국 특허 제7,525,649호에서 찾아볼 수 있다. 또한, 2003년 8월 19일자로 발행되고 발명의 명칭이 "표면의 굴절이상(anomalies) 및/또는 특징을 검출하기 위한 시스템"인 미국 특허 제6,608,676호는 패턴화되지 않은 또는 패턴화된 웨이퍼의 검사에 적합한 라인 조사 시스템을 개시하고 있다. 이들 특허는 여기에 참조 인용되었다.
- [0033] 도 3은 정상적인 그리고 비스듬한 조사 빔을 사용하여 샘플 상의 입자 또는 결함을 검출하도록 구성된 검사 시스템(300)을 도시하고 있다. 이런 구성에 있어서, DUV 레이저 시스템(330)은 레이저 빔(301)을 제공한다. 상기 DUV 레이저 시스템(330)은 여기에 기재되는 DUV 레이저를 포함하며, 이는 최적화된 대역폭 제어를 제공한다. 렌즈(302)는 빔(301)을 공간 필터(303)를 통해 포커싱한다. 렌즈(304)는 빔을 시준화하고, 이를 분극 빔 분할기(305)로 이송한다. 상기 빔 분할기(305)는 분극된 제1 성분을 정상 조사 채널로, 또한 분극된 제2 성분을 비스듬한 조사 채널로 통과시키며, 거기에서 상기 제1 및 제2 성분이 직교한다. 정상 조사 채널(306)에 있어서, 상기 분극된 제1 성분은 광학계(307)에 의해 포커싱되며, 그리고 거울(308)에 의해 샘플(309)의 표면을 향해 반사된다. 샘플(309)(웨이퍼 또는 포토마스크와 같은)에 의해 산란된 방사선은, 포물면경(paraboloidal mirror)(310)에 의해 수집되어, 센서(311)로 포커싱된다.
- [0034] 상기 비스듬한 조사 채널(312)에 있어서, 상기 분극된 제2 성분은 이런 빔을 반파장 판(half wave plate)(314)을 통해 반사하는 거울(313)로 반사되어, 광학계(315)에 의해 샘플(309)로 포커싱된다. 또한, 상기 비스듬한 채널(312)의 비스듬한 조사 빔으로부터 발견되어 샘플(309)에 의해 산란되는 방사선은 포물면경(310)에 의해 수집되어, 센서(311)로 포커싱된다. 상기 센서 및 조사된 영역[표면(309)을 형성하는 정상 조사 채널과 비스듬한 조사 채널로 모두로부터의]은, 상기 포물면경(310)의 초점들에 있는 것이 바람직하다.
- [0035] 상기 포물면경(310)은 샘플(309)로부터 산란된 방사선을 시준 빔(316)으로 시준한다. 그 후, 시준된 빔(316)은 대물렌즈(317)에 의해 그리고 분석기(319)를 통해 센서(311)로 포커싱된다. 포면 형상 이외의 형상을 갖는 굴곡된 거울형 표면이 사용될 수도 있음을 인식해야 한다. 스폿이 샘플(309)의 표면을 가로질러 스캐닝되도록, 기구(320)가 빔과 샘플(309) 사이에 상대이동을 제공할 수 있다. 2001년 3월 3일자로 발행되고 발명의 명칭이 "샘플 검사 시스템"인 미국 특허 제6,201,601호는 검사 시스템(300)을 더욱 상세히 개시하고 있다. 이 특허는 여기에 참조 인용되었다.
- [0036] 도 4는 명시야 및 암시야 검사 모드를 구비한 검사 시스템으로서 구성된 예시적인 반사굴절 촬상 시스템(400)을

도시하고 있다. 상기 시스템(400)은 2개의 조사원, 즉 레이저(401)와 광대역 광 조사 모듈(420)을 통합할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 상기 레이저(401)는 여기에 기재된 DUV 레이저를 포함할 수 있으며, 이는 최적화된 대역폭 제어를 제공한다.

[0037] 암시야 모드에 있어서, 채택 광학계(402)는 검사될 표면 상의 레이저 조사 빔 크기 및 프로필을 제어한다. 기계적 하우징(404)은 개구 및 윈도우(403), 및 정상 입사 시 레이저를 광학 축선을 따라 샘플(408)의 표면으로 제지향시키는 프리즘(405)을 포함한다. 또한, 상기 프리즘(405)은 대물렌즈(406)를 벗어난 샘플(408)의 표면 특징부로부터 정반사를 지향시킨다. 상기 대물렌즈(406)는 샘플(408)에 의해 산란된 광을 수집하고, 이를 센서(409) 상에 포커싱한다. 상기 대물렌즈(406)는 포면 대물렌즈(412), 포커싱 렌즈 그룹(413), 및 튜브 렌즈 섹션(414)의 일반적인 형태로 제공될 수 있으며, 이는 선택적으로 줌 기능을 포함할 수 있다.

[0038] 명시야 모드에 있어서, 광대역 조사 모듈(420)은 광대역 광을 빔 분할기(410)로 지향시키며, 이는 상기 광을 포커싱 렌즈 그룹(413) 및 포면 대물렌즈(412)를 향해 반사한다. 상기 포면 대물렌즈(412)는 샘플(408)을 광대역 광으로 조사한다. 샘플(408)로부터 반사되거나 또는 산란된 광은 대물렌즈(406)에 의해 수집되어, 센서(409) 상에 포커싱된다. 광대역 조사 모듈(420)은 예를 들어, 레이저-펄핑형 플라즈마 광원 또는 아크 램프를 포함한다. 상기 광대역 조사 모듈(420)은 포면 대물렌즈(412)에 대해 샘플(408)의 높이를 제어하기 위해 신호를 제공하는 자동-초점 시스템을 포함할 수도 있다. 2008년 3월 18일자로 발행되고 발명의 명칭이 "포면 광학 시스템에서 레이저 암시야 조사용 빔 전달 시스템"이고 여기에 참조 인용된 미국 특허 제7,345,825호는 시스템(400)을 더욱 상세히 개시하고 있다.

[0039] 도 5는 레티클, 포토마스크, 또는 하나의 센서(570) 상에 영상 또는 신호의 2개 채널을 동시에 검출하는 웨이퍼 검사 시스템(500)을 도시하고 있다. 영상 센서(570)는 분기-관독 영상 센서를 포함한다. 조사원(509)은 여기에 기재된 바와 같은 DUV 레이저를 포함하며, 이는 최적화된 대역폭 제어를 제공한다. 상기 DUV 레이저의 작동 파장은 대략 193 nm의 파장처럼 200 nm 보다 짧을 수 있다. 상기 2개의 채널은 피검사 물체(530)가 투명할 때 (예를 들어, 레티클 또는 포토마스크) 반사된 및 전달된 세기를 포함할 수 있으며, 또는 입사각, 분극 상태, 파장 범위, 또는 그 일부 조합물과 같은 2개의 상이한 조사 모드를 포함할 수 있다. 광은 채널2 조사 릴레이(520)와 마찬가지로 채널1 조사 릴레이(515)를 사용하여 피검사 물체(530)로 지향된다.

[0040] 피검사 물체(530)는 레티클, 포토마스크, 또는 검사될 반도체 웨이퍼일 수 있다. 영상 릴레이 광학계(540)는 피검사 물체(530)에 의해 반사되는 및/또는 전송되는 광을, 채널1 영상 모드 릴레이(555)로 또는 채널2 영상 모드 릴레이(560)로 지향시킬 수 있다. 상기 채널1 영상 모드 릴레이(555)는 채널1 조사 릴레이(515)에 대응하는 반사 또는 전달을 검출하도록 튜닝되는 반면에, 채널2 영상 모드 릴레이 센서(560)는 채널2 조사 릴레이(520)에 대응하는 반사 또는 전달을 검출하도록 튜닝된다. 채널1 영상 모드 릴레이(555) 및 채널2 영상 모드 릴레이(560)는 다시 그 출력을 센서(570)로 지향시킨다. 상기 2개의 채널에 대해 검출된 신호 또는 영상에 대응하는 데이터는 데이터(580)로서 도시되어 있으며, 또한 프로세싱을 위해 컴퓨터(도시되지 않음)로 전달될 수 있다.

[0041] 레티클 또는 포토마스크로부터 전달된 및 반사된 광을 측정하도록 구성될 수 있는 레티클 및 포토마스크 검사 시스템 및 방법의 다른 세부사항은, 2008년 4월 1일자로 발행되고 발명의 명칭이 "다중 빔 검사 장치 및 방법"인 미국 특허 제7,352,457호, 및 1996년 10월 8일자로 발행되고 발명의 명칭이 "자동화된 포토마스크 검사 장치 및 방법"인 미국 특허 제5,563,702호에 개시되어 있으며, 상기 두 특허는 모두 여기에 참조 인용되었다.

[0042] 영상 센서(570)의 예시적인 실시예에 관한 추가적인 세부사항은 2013년 12월 4일자로 출원되고 발명의 명칭이 "펄스형 조사를 사용하여 이동 영상의 고속 습득을 위한 방법 및 장치"인 미국 특허출원 제14/096,911호, 및 2009년 5월 5일자로 발행되고 발명의 명칭이 "다중 영상의 동시적인 고속 습득을 위한 방법 및 장치"인 미국 특허 제7,528,943호에 제공되어 있으며, 상기 두 특허는 모두 여기에 참조 인용되었다.

[0043] 도 6a는 최적화된 대역폭 제어를 제공하도록 구성된 예시적인 DUV 레이저(600)를 도시하고 있다. 광학 매개 공진기(OPO) 또는 광학 매개변수 증폭기(OPA)(604)가 시스템에 사용되었다. OPO/OPA(604)의 파장 튜닝성의 이점을 고려하여, DUV 레이저(600)는 선택된 특정 파장에서, 즉 기본 레이저의 정수 고조파와 동일할 수도 있고 또는 동일하지 않을 수도 있는 파장에서, 출력 광을 발생시킬 수 있다. 특히, 기본 광(602)[기본 레이저(301)에 의해 발생하는]의 대역폭은, 에탈론(603)을 통과시킴으로써 협소해질 수 있다[예를 들어, 화살표(611A, 611B) 참조]. 에탈론(603)은 기본 레이저(602)의 중심 파장에 가깝게 중심 잡힌 파장의 협소한 범위에 대해 높은 전달을 바람직하게 가지므로, 에탈론을 통해 전달된 광인, 협소해진 기본 광(602')은 기본 광(602) 보다 더 협소한 대역폭을 갖는다. 협소해진 기본 광(602')은 전형적으로 DUV 파장인 n번째 고조파($n\omega$)(608)를 발생하는 고조파 변환 모듈(607)로 지향된다. 상기 n번째 고조파(608)는 기본 광(602)을 고조파 변환 모듈(607)로 직접 제

공함으로써 나타나는 것 보다 더 협소한 대역폭을 갖는 것을 인식해야 한다.

- [0044] 에탈론(603)이 입사 에너지의 대부분을 도 6a에 도시된 바와 같이 전달하지 않는 과장으로 반사하기 때문에, 대역폭을 벗어난 거절된 기본 광(602")은 그 스펙트럼의 중간에 딥(dip)을 구비한 넓은 대역폭을 갖는다. 달리 소비되는 상기 거절된 광(602")은 OPO/OPA(604)를 위한 펌프 광으로서 사용될 수 있다. 비선형 매개변수 프로세스에서 에너지 보존의 결과로서, 상기 OPO/OPA(604)는 넓은 대역폭 아이들러 광(606)의 발생을 일더라도 상기 거절된 기본 광(602")의 광대역 펌프 광으로부터 협소한 대역폭 신호 광(605)을 여전히 발생시킬 수 있으며, 이는 그 스펙트럼의 중간에 유사한 딥을 갖지만, 그러나 상기 거절된 기본 광(602") 보다 더 넓은 대역폭을 갖는다. 그러나 아이들러 광(606)이 레이저에 사용되지 않기 때문에, 상기 아이들러 광(606)은 레이저 성능에 상당한 영향을 끼치지 않는다. 신호 광(605)의 대역폭은 OPO/OPA(604)에서 용적-브래그 격자와 같은 시드 레이저(seed laser)에 의해 또는 파장 선택적 요소에 의해 결정된다.
- [0045] 일 실시예에 있어서, 상기 라만 증폭기는 OPO/OPA(604)를 대체할 수 있다. 상기 라만 증폭기에 의해 발생된 증폭된 신호 광의 대역폭이 그 펌프 광의 대역폭과는 독립적이기 때문에(이는 전형적으로 라만 증폭기에서 파장 선택적 요소에 따른다), 상기 라만 증폭기는 원하는 협소 대역폭을 갖는 신호 광(605)을 발생시킬 수도 있다.
- [0046] 주파수 혼합 모듈(609)은 n번째 고조파(608)($n\omega$)와 신호 광(605)(ω_s)의 주파수를 총합함으로써 레이저 출력(610)을 발생시킬 수 있다. 상기 n번째 고조파(608)의 대역폭이 에탈론(603)에 의해 감소되었고 또한 신호 광(605)의 대역폭이 OPO/OPA(604)에 의해 결정되기 때문에, 레이저 출력(610)의 대역폭은 에탈론(603)을 통합하지 않은 달리 동일한 레이저에서 보다 더 협소하다[즉, 화살표(611A)에 의해 표시된 대역폭이 화살표(611B)에 의해 표시된 대역폭 대신에 사용될 것이다]. 이 감소된 대역폭은, 에탈론(603)이 전달하지 않는 대부분의 에너지를 반사하기 때문에, 최소한의 전력 손실로 달성된다.
- [0047] 예시적인 일 실시예에 있어서, 기본 레이저(601)는 예를 들어 Nd: YAG(네오디뮴-도핑된 이트륨 알루미늄 가넷) 또는 Nd-도핑된 바나듐산염 레이저를 사용하여, 대략 1064 nm의 파장에서 작동할 수 있다. 이 경우에, 고조파 변환 모듈(607)은 대략 213 nm의 제5 고조파(608)(5ω)를 발생시킬 수 있고, 상기 OPO/OPA 모듈(604)은 대략 2108 nm의 파장을 갖는 신호 광(605)을 발생시킬 수 있으며, 또한 상기 주파수 혼합 모듈(609)은 213 nm 과 2108 nm 을 혼합함으로써 대략 193 nm의 파장을 갖는 레이저 출력(610)을 발생시킬 수 있다. 반도체 포토마스크 및 웨이퍼를 검사하는 데는 대략 193 nm의 파장이 유용한 파장이다.
- [0048] 다른 예시적인 실시예에 있어서, 상기 기본 레이저(601)는 예를 들어 Nd: YAG 또는 Nd-도핑된 바나듐산염 레이저를 사용하여, 대략 1064 nm의 파장에서 작동할 수 있다. 이 경우에, 고조파 변환 모듈(607)은 대략 266 nm의 제4 고조파(608)(4ω)를 발생시킬 수 있고, 상기 OPO/OPA 모듈(604)은 대략 1416 nm의 파장을 갖는 신호 광(605)을 발생시킬 수 있으며, 또한 상기 주파수 혼합 모듈(609)은 대략 224 nm의 총합 파장을 생성하기 위해 먼저 266 nm 과 1416 nm 을 혼합하고, 그 후 대략 193 nm 파장의 레이저 출력(610)을 발생시키기 위해 대략 224 nm의 총합 파장을 1416 nm 파장 신호 광(605)과 재혼합한다.
- [0049] 또 다른 예시적인 실시예에 있어서, 기본 레이저(601)는 예를 들어 Nd: YAG(네오디뮴-도핑된 이트륨 알루미늄 가넷) 또는 Nd-도핑된 바나듐산염 레이저를 사용하여, 대략 1064 nm의 파장에서 작동할 수 있다. 이 실시예에 있어서, 고조파 변환 모듈(607)은 대략 213 nm의 제5 고조파(608)(5ω)를 발생시킬 수 있고, 상기 OPO/OPA 모듈(604)은 대략 1268 nm 내지 대략 1400 nm의 파장을 갖는 신호 광(605)을 발생시킬 수 있으며, 또한 상기 주파수 혼합 모듈(609)은 213 nm 와 신호 광을 혼합함으로써 대략 182.5 nm 내지 대략 185 nm의 파장을 갖는 레이저 출력(610)을 발생시킬 수 있다. 반도체 포토마스크 및 웨이퍼를 검사하는 데는 대략 184 nm의 파장이 유용한 파장인데, 그 이유는 단파장이 일반적으로 더 작은 특징부 및 결함에 더 좋은 민감도를 갖기 때문이다. 또한, 대략 184 nm 파장의 광이 이 실시예에 의해 효과적으로 발생될 수 있는데, 그 이유는 CLBO 가 이런 파장 조합물을 위해 매칭된 비-임계적 상태에 가깝기 때문이며, 따라서 주파수 혼합에 효율적이고 안정적이다.
- [0050] 도 6b는 최적화된 대역폭 제어를 구비한 대안적인 예시적인 DUV 레이저(620)를 도시하고 있다. DUV 레이저(620)의 실시예는, 상기 DUV 레이저(620)가 고조파 변환 모듈을 포함하지 않는 점을 제외하고는, DUV 레이저(600)(도 6a)의 실시예와 유사하다. 상기 DUV 레이저(620)에 있어서, 주파수 혼합 모듈(609B)은 협소해진 기본 광(602')과 신호 광(605)을 직접 혼합함으로써 레이저 출력(610B)을 발생시킨다. 동일한 라벨을 갖는 DUV 레이저(620, 600)는 동일한 기능을 가지며, 따라서 도 6b를 참조해서는 기재되지 않음을 인식해야 한다. 상기 DUV 레이저(620)는 기본 레이저(601)가 405 nm 또는 375 nm의 파장과 같은 UV 파장을 발생시킬 때 특히 유용하다. 이런 파장은 예를 들어 레이저 다이오드에 의해 발생될 수 있다.

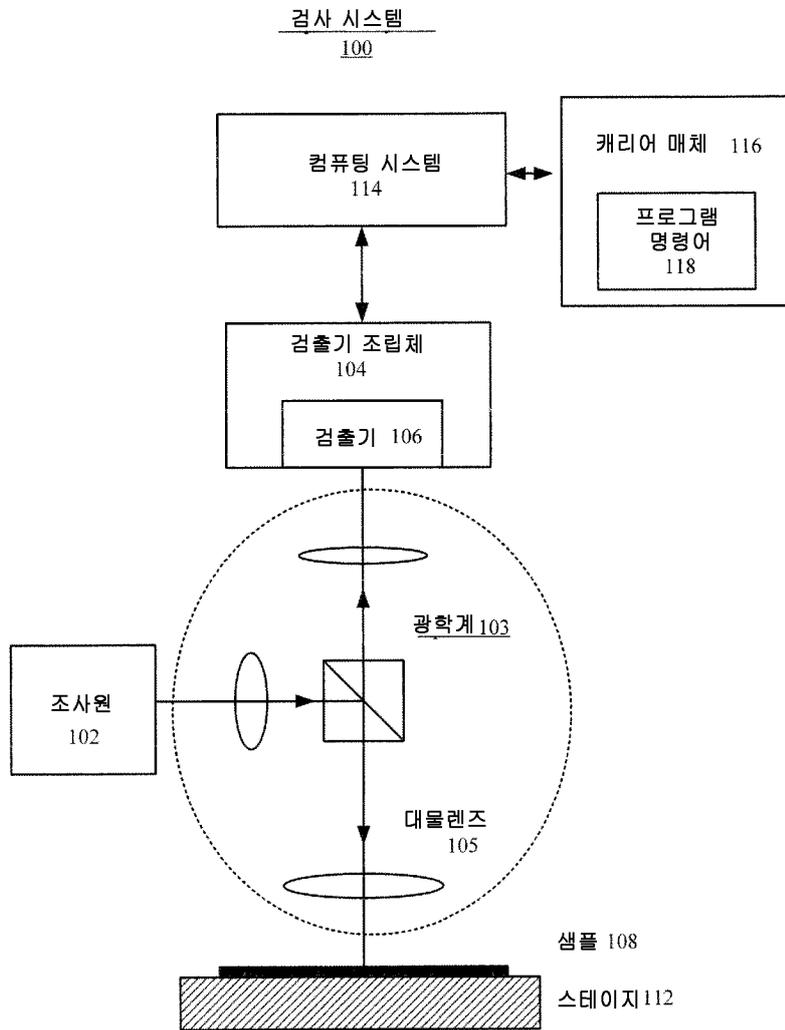
- [0051] 예시적인 일 실시예에 있어서, 상기 기본 레이저(601)는 대략 375 nm의 파장에서 작동하는 레이저 다이오드를 포함할 수 있다. 이 경우에, 상기 OPO/OPA 모듈(604)은 대략 607 nm 내지 대략 750 nm의 파장을 갖는 신호 광(605)을 발생시킬 수 있으며, 또한 상기 주파수 혼합 모듈(609)은 375 nm 과 신호 파장을 혼합함으로써 대략 232 nm 내지 대략 250 nm의 파장을 갖는 레이저 출력(610)을 발생시킬 수 있다. 상기 주파수 혼합 모듈(609)이 주파수 혼합을 위해 CLBO 결정을 사용할 수 있기 때문에, 이 실시예는 대략 232 nm 내지 250 nm의 출력 파장을 효과적으로 그리고 저렴하게 발생시킬 수 있다. CLBO 는 이런 파장 조합물을 위해 매칭된 비-임계적 상태에 가까우며, 따라서 주파수 혼합을 효율적으로 그리고 안정적으로 실행할 수 있다.
- [0052] 도 6c는 최적화된 대역폭 제어를 구비한 다른 예시적인 DUV 레이저(630)를 도시하고 있다. DUV 레이저(630)의 이 실시예는 이하의 사항을 제외하고는, DUV 레이저(600)(도 6a)의 실시예와 유사하다. 이 경우에, 고조파 변환 모듈(607C)은 신호 광(605)의 n번째 신호 고조파(608C)($n\omega_s$)를 발생시키는데 사용된다. 또한, 주파수 혼합 모듈(609C)은 협소해진 기본 광(602')과 n번째 신호 고조파(608C)를 혼합함으로써 레이저 출력(610C)을 발생시킨다. 동일한 라벨을 갖는 DUV 레이저(630, 600)의 성분은 동일한 기능을 가지며, 따라서 도 6c를 참조해서는 기재되지 않음을 인식해야 한다. 상기 DUV(630)의 실시예는 레이저 출력(610C)의 파장이 특정의 기본 레이저로 달성될 수 없을 때 특히 유용하다(예를 들어, 주파수 혼합 모듈(609) 또는 고조파 변환 모듈(607)[DUV 레이저(600), 도 6a]에 유용한 비-선형 결정이 하나 이상의 파장을 위해 상태 매칭할 수 없기 때문이다). DUV 레이저(630)는 주파수 혼합 모듈(609C) 및 고조파 변환 모듈(607C)을 위해 상이한 파장 조합물을 제공할 수 있으며, 일부 경우에는 DUV(600)(도 6a)의 실시예가 가능하지 않을 때, 원하는 레이저 출력 파장을 발생시킬 수 있는 실행 가능한 방법을 제공할 수 있다.
- [0053] 예시적인 일 실시예에 있어서, 기본 레이저(601)는 예를 들어 Ti-사파이어 레이저를 사용하여 대략 800 nm의 파장으로 작동할 수 있다. 이 경우에, 상기 OPA/OPA 모듈(604)은 대략 888 nm 내지 1080 nm의 파장을 갖는 신호 광(605)(ω_s)을 발생시킬 수 있으며, 상기 고조파 변환 모듈(607)은 대략 296 nm 내지 360 nm의 제3 고조파(608)($3\omega_s$)를 발생시킬 수 있고, 상기 주파수 혼합 모듈(609)은 상기 제3 고조파와 대략 800 nm 파장을 혼합함으로써 대략 216 nm 내지 248 nm의 파장을 갖는 레이저 출력(610)을 발생시킬 수 있다.
- [0054] 도 7은 대역폭 필터링에 의해 펄스 폭 단축이 어떻게 가능한지를 도시하고 있다. 모드-로킹된 또는 변조된 레이저 공진기에 의해 발생된 레이저 펄스는 일반적으로 대략 가우스 스펙트럼 형상(Gaussian spectral shape)을 가지며, 또한 대략 선형 처프를 나타낸다. "T0"는 처프된 펄스와 동일한 대역폭을 갖는 펄스의 변환-제한형 펄스 폭이며, "T"는 대역폭 감소 전의 펄스이며, "T'"는 대역폭 감소 후의 펄스이다. 대역폭 감소 비율은 필터링 전 펄스 대역폭으로 나누어진, 필터링 후(즉, 에탈론을 통과한 후) 펄스 대역폭으로서 정의된다. 도 7에 있어서, 대역폭 감소가 없는 경우, 즉 $T' = T$ 은 참고로 실선(701)으로 도시되어 있다. 선(701) 위의 점은 펄스 폭이 증가하는, 즉 $T' > T$ 인 경우를 나타내고 있다. 선(701) 아래의 점은 펄스 폭이 감소하는, 즉 $T' < T$ 인 경우를 나타내고 있다. 상이한 대역폭 감소 비율(0.6 및 0.8)의 두 경우가 점선(702) 및 점선(703)으로 각각 도시되어 있다.
- [0055] 도 7은 어떤 상황 하에서 처프된 펄스의 대역폭 감소가, 변환-제한형에 더 가까운, 더 짧은 펄스로 나타나는 것을 도시하고 있다. 예를 들어, 0.6의 대역폭 감소 비율에 대해, 펄스 폭(T)이 약 2 T0 보다 더 클 때, 대역폭의 감소는 펄스 폭을 단축시킨다. 다른 예에 있어서, 0.8의 대역폭 감소 비율에 대해, 펄스 폭(T)이 약 1.6 T0 보다 더 클 때, 대역폭이 감소될 때는 펄스 폭이 감소된다. 전술한 바와 같이, 펄스 폭의 감소는 고조파 변환 및 주파수 혼합 프로세스의 효율을 유지하는 것을 돕는다. 초기 펄스 폭이 T0 에 가까울 때, 즉 초기 펄스가 변환-제한형에 가까울 때, 임의의 대역폭 감소는 필연적으로 펄스 폭을 증가시킨다는 것을 인식해야 한다.
- [0056] 도 7에 도시된 선은 가우스 펄스 형상을 위해 계산되었다. sech^2 펄스와 같은 다른 보통의 레이저 펄스는 동일한 성향을 나타낸다[예를 들어, 아그라왈(Agrawal), "비선형 파이버 광학계", 제4판, 54-59 페이지, 아카데미 출판사, 2007년 참조]
- [0057] 전형적인 고 전력 레이저(약 30W 또는 그 이상의 출력을 갖는 레이저와 같은)는 동일한 대역폭의 변환-제한형 펄스 보다 상당히 더 긴 펄스 폭을 갖는다. 그 결과로서, 여기에 기재된 다양한 방법 및 DUV 레이저는, 좋은 변환 효율을 유지하면서, 약 100 mW 또는 그 이상의 전력에서 협소한 대역폭 DUV 레이저 출력 광을 발생시키는데 특히 유용하다.
- [0058] 여기에 기재된 DUV 레이저의 최적화된 대역폭 제어로부터 이익을 얻을 수 있는 193 nm 레이저의 더 상세한 기재는, 2013년 3월 12일자로 출원되고 발명의 명칭이 "고체-상태 193 nm 레이저 및 상기 고체-상태 193 nm 레이저

를 사용하는 검사 시스템"인 미국 특허출원 제13/797,939호, 2013년 1월 24일자로 출원되고 발명의 명칭이 "OPO를 사용하는 193 nm 레이저 및 상기 193 nm 레이저를 사용하는 검사 시스템"인 미국 가특허출원 제61/756,209호, 및 2013년 2월 13일자로 출원되고 발명의 명칭이 "1109 nm 을 사용하는 193 nm 레이저"인 미국 가특허출원 제61/764,441호에서 찾아볼 수 있다. 이 모든 특허출원은 여기에 참조 인용되었다.

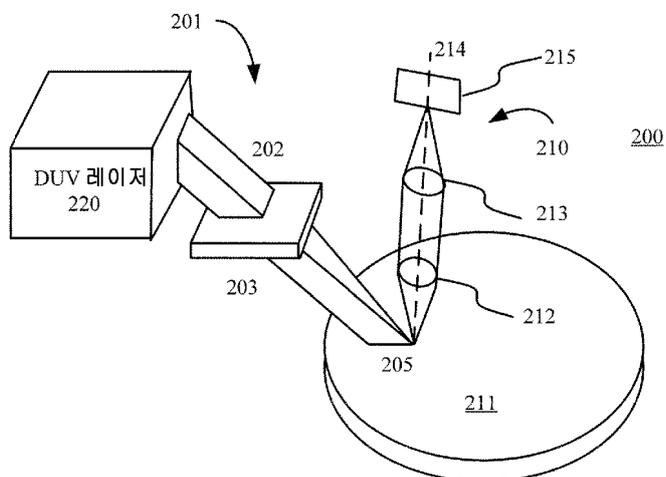
- [0059] 전술한 DUV 레이저는, 신호 광(ω_s)의 파장의 적절한 선택 및 주파수 혼합 모듈[즉, 주파수 혼합 모듈(609, 609B 또는 609C)]에 대한 적절한 변화에 의해, 약 200 nm 보다 더 짧은 다른 파장에서 작동될 수 있음을 인식해야 한다. 특히, 190 nm 보다 더 짧은 진공 UV 파장이 이런 레이저에 의해 발생될 수 있다.
- [0060] 여기에 기재된 임의의 DUV 레이저를 통합한 검사 또는 촬상 시스템에 사용하기에 적합한 영상 센서의 예시적인 실시예는, 2013년 10월 10일자로 발행되고 발명의 명칭이 "붕소층을 구비한 후방-조사형 센서"인 미국 특허 공개공보 제2013/0264481호에서 찾아볼 수 있으며, 이는 여기에 참조 인용되었다.
- [0061] 전술한 기재는 본 기술분야의 숙련자가 특별한 용도 및 그 요구사항의 내용에서 제공된 바와 같이 본 발명을 형성 및 사용할 수 있도록 제공된다. 여기에 사용되는 바와 같이, "위(top)", "바닥(bottom)", "위에(over)", "아래에(under)", "상부(upper)", "상향(upward)", "하부(lower)", "아래로(down)", 및 "하향(downward)"과 같은 방향성 용어는 기재 목적 상 상대 위치를 제공하는 것으로 의도되며, 또한 절대적인 기준 프레임을 지정하는 것으로는 의도되지 않는다. 최적화된 대역폭 제어를 갖는 DUV 레이저의 다양한 실시예 및 전술한 방법은, 단지 예시적일 뿐이며, 또한 발명의 범주를 제한하는 것으로는 의도되지 않는다.
- [0062] 기재된 실시예에 대한 다양한 수정이 본 기술분야의 숙련자에게 명백할 것이며, 또한 여기에 정의된 일반적인 원칙은 다른 실시예에 적용될 수 있다. 예를 들어, 도 6a의 고조파 변환 모듈(607) 및 도 6c의 고조파 변환 모듈(607C)은 제2, 제3, 제4, 제5, 제6, 또는 그 이상의 고조파를 발생시킬 수 있다. 다른 예에 있어서, 엘라톤 또는 간섭계(interferometer)는 협소한 범위의 파장을 반사하고 또한 파장을 그 협소 범위의 외측으로 전달하도록 설계될 수 있다. 이런 광 대역폭 필터링 장치는 레이저의 배치의 적절한 변화에 의해 도 6a, 6b, 및 6c의 엘라톤(603)으로 대체될 수 있다. 협소해진 기본 광(602')은 고조파 변환 모듈(607), 주파수 혼합 모듈(609), 또는 주파수 혼합 모듈(609C)로 적절히 반사될 것이며, 반사된 기본 광(602")은 OPO/OPA(604)와 같은 주파수 변환 모듈로 전달될 것이다.
- [0063] 따라서 여기에 기재된 DUV 레이저 및 방법은 도시되고 기재된 특별한 실시예에 제한되는 것으로 의도되지 않으며, 여기에 기재된 원리 및 신규한 특징과 일치하는 가장 넓은 범주로 부여되어야 한다.

도면

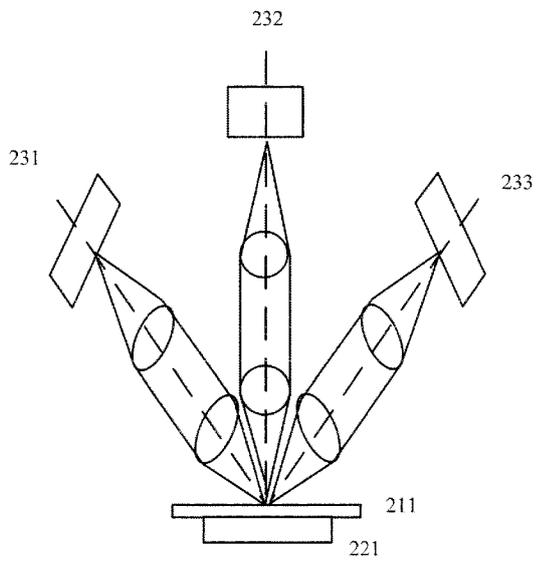
도면1



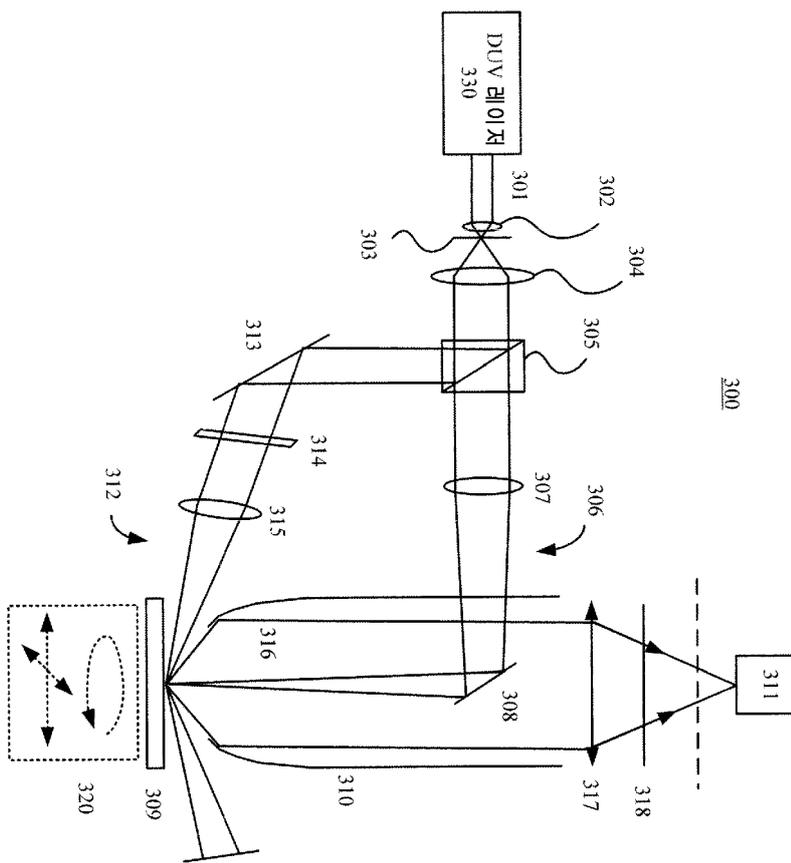
도면2a



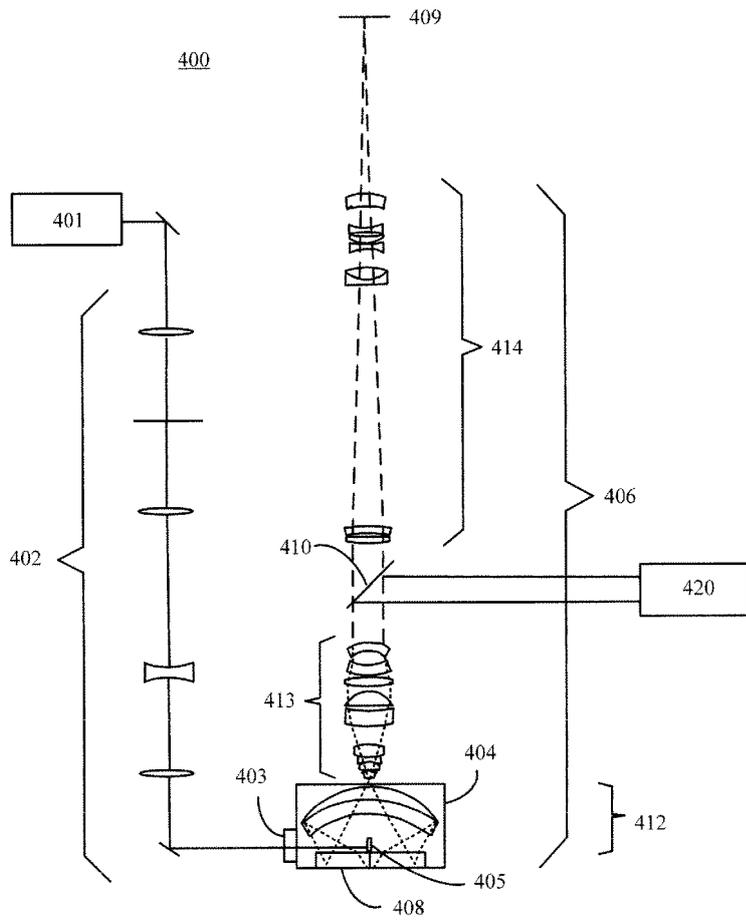
도면2b



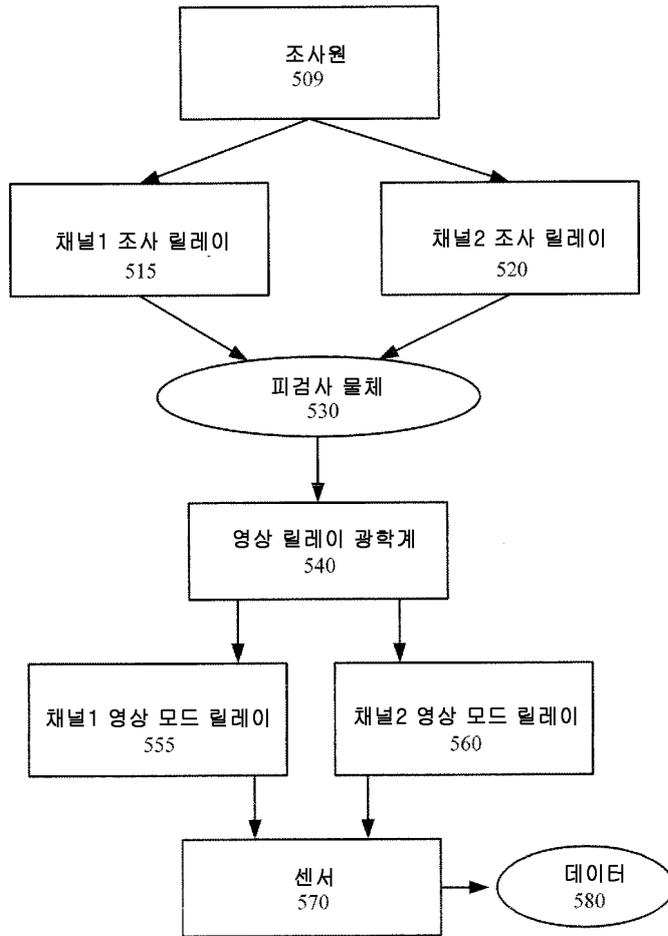
도면3



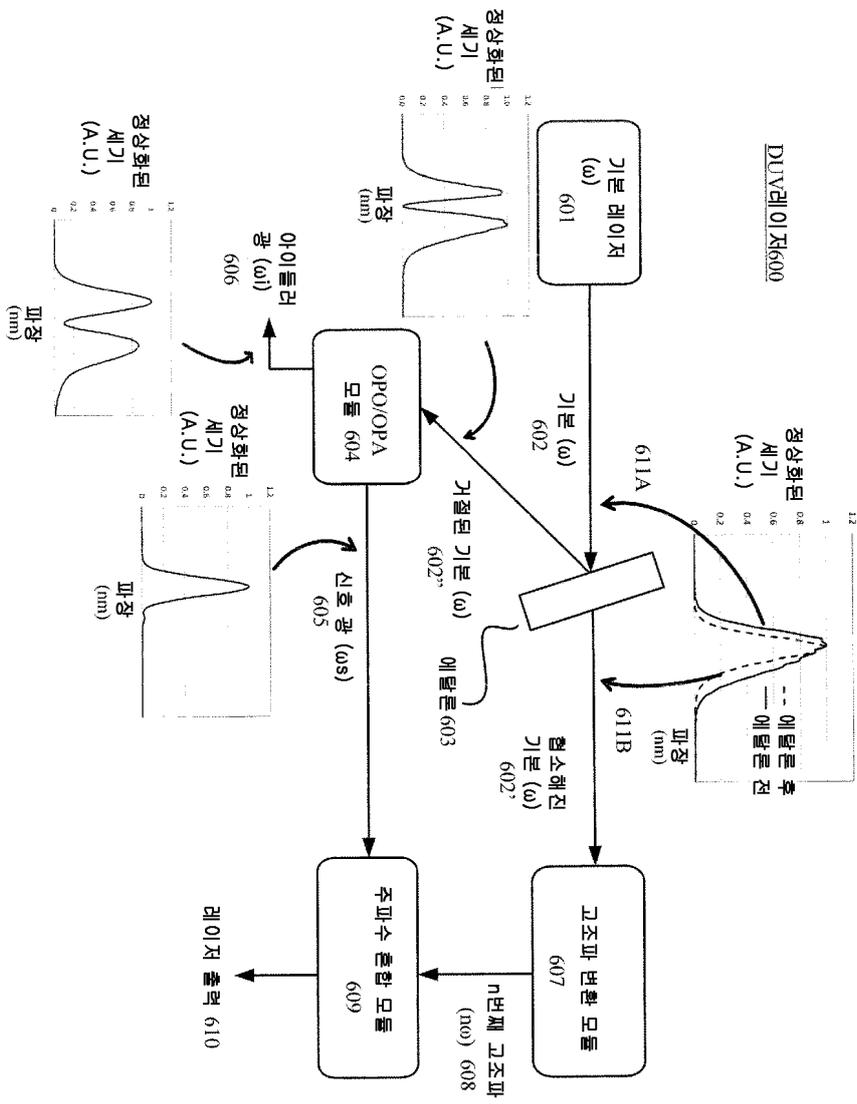
도면4



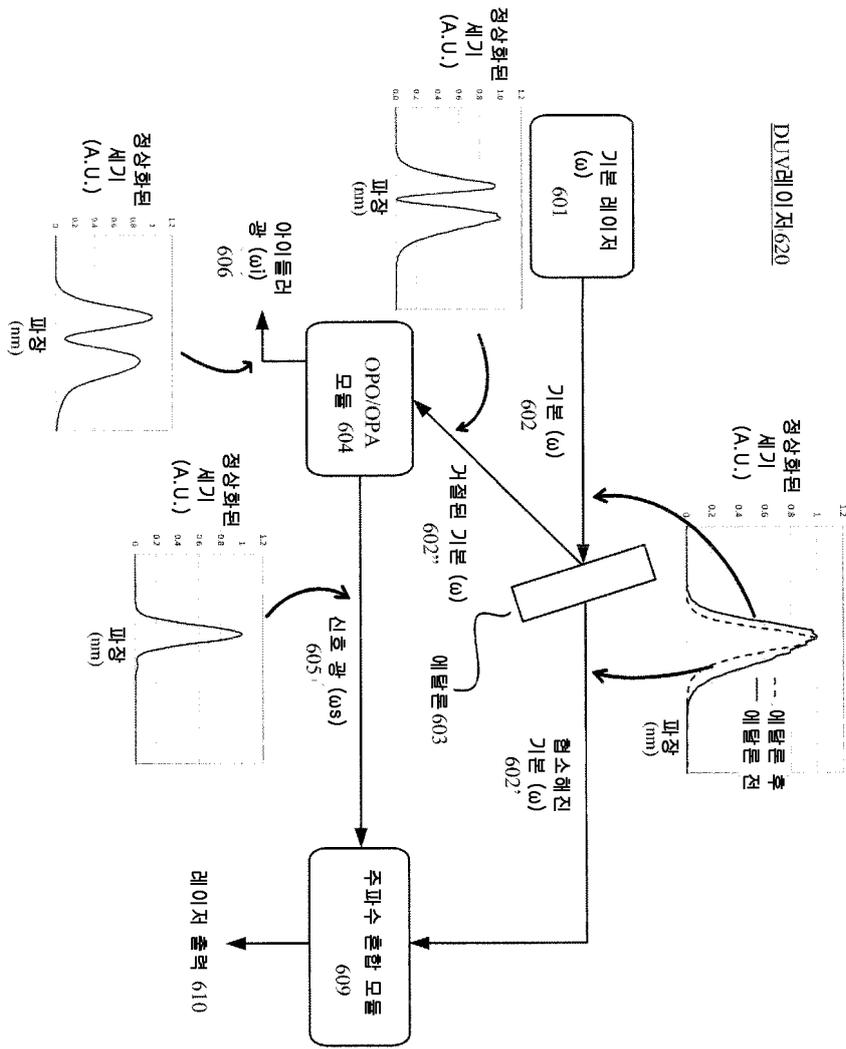
도면5



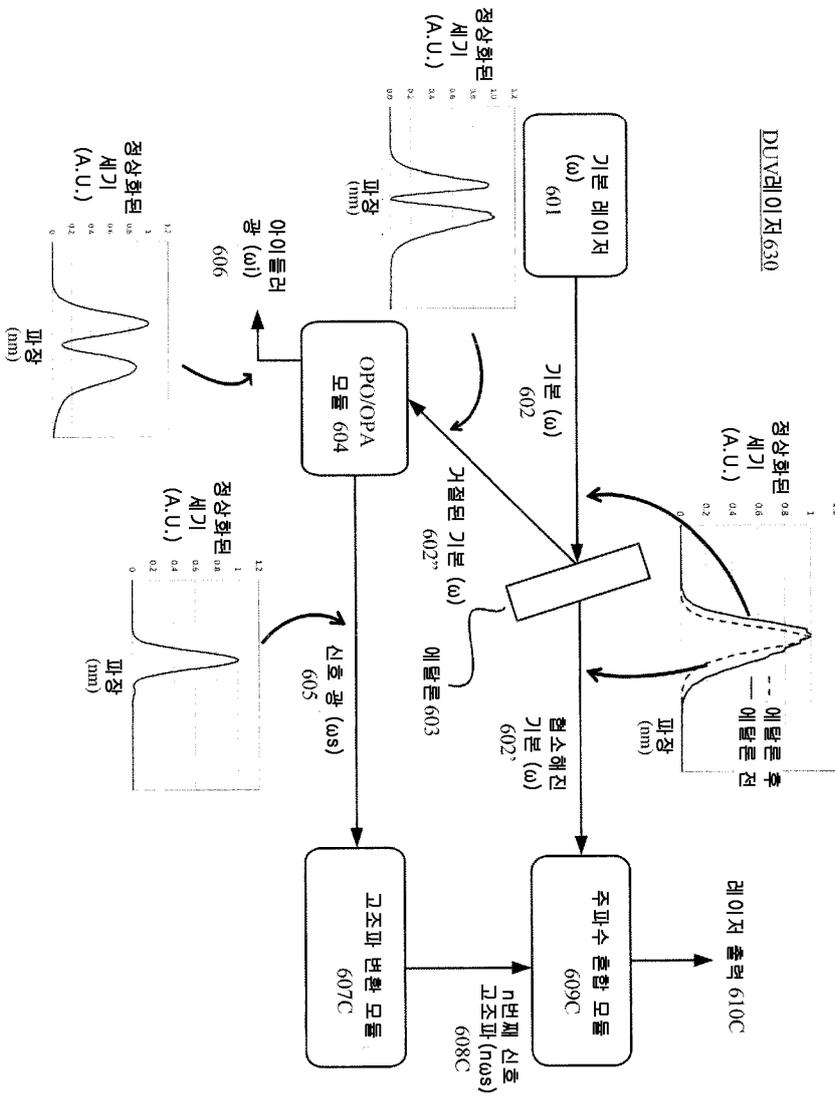
도면6a



도면69



도면6c



도면7

