



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년09월11일

(11) 등록번호 10-1551704

(24) 등록일자 2015년09월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G02F 1/35 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-7014653

(22) 출원일자(국제) 2008년12월05일

심사청구일자 2013년12월03일

(85) 번역문제출일자 2010년07월01일

(65) 공개번호 10-2010-0111676

(43) 공개일자 2010년10월15일

(86) 국제출원번호 PCT/US2008/013417

(87) 국제공개번호 WO 2009/085095

국제공개일자 2009년07월09일

(30) 우선권주장 12/004,905 2007년12월20일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US05974060 A*

US20030137999 A1*

JP2000246468 A*

US5657153 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

에이에스엠엘 네델란즈 비.브이.

네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324

(72) 발명자

어쇼프 알렉산더 아이.

미국 캘리포니아 92025 에스컨디도 돈 롤란도 3026

호프만 쟈지 알.

미국 캘리포니아 92027 에스컨디도 파이어诚实 글렌 2149

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

유미특허법인

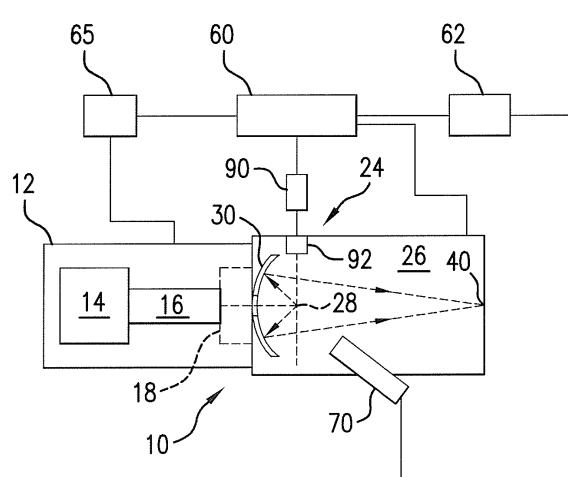
전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 차건숙

(54) 발명의 명칭 E U V 광원용 구동 레이저

(57) 요 약

오실레이터 캐비티 길이(L_o)를 구비하고, 오실레이터 경로를 형성하는 오실레이터; 및 오실레이터 경로를 포함하는 조합된 광학 캐비티를 구축하기 위해 상기 오실레이터와 결합되는 멀티패스 광학 증폭기;를 포함하고, 상기 조합된 광학 캐비티는 길이($L_{combined}$)를 가지고, 여기서 $L_{combined}=(N+x)*L_o$, "N"은 정수, "x"는 0.4와 0.6 사이의 수인 디바이스가 본문에 기술된다.

대 표 도 - 도1

(72) 발명자

보베링 노르버트 에르.

독일 빌레펠트 33619 링슈트라쎄 21

바이카노프 알렉산더 엔.

미국 캘리포니아 92128 샌디에고 칼다스 테 레이에
스 1568

명세서

청구범위

청구항 1

시드 레이저를 생성하고, 오실레이터 캐비티 길이(L_o)을 구비하며, 오실레이터 경로를 형성하는 오실레이터; 및 오실레이터 경로를 포함하는 조합된 광학 캐비티를 구축하기 위해 상기 오실레이터와 결합되는 멀티-패스 광학 증폭기;를 포함하고,

상기 조합된 광학 캐비티는 길이($L_{combined}$)를 갖고,

상기 $L_{combined} = (N+x)*L_o$, "N"은 정수, "x"는 0.4와 0.6 사이의 수이고,

상기 오실레이터 캐비티는 상기 오실레이터 캐비티의 단부를 형성하는 광학기기를 구비하고,

상기 광학기기에 결합되고 오실레이터 캐비티 길이를 조정하기 위해 제어가능한 전기-작동식(electro-actuable) 소자를 구비하는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 증폭기는 상기 오실레이터로부터 제 1 빔 경로를 따라 진행하고 실질적으로 상기 증폭기로의 제 1 선형 편광을 가지는 광을 입력하고 제 2 빔 경로를 따라 상기 증폭기로부터 나오는 상기 제 1 선형 편광에 직교하는 실질적으로 선형 편광을 가지는 광을 출력하는 편광 식별(polarization discriminating) 광학 기기를 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 3

시드 레이저를 생성하고, 오실레이터 캐비티 길이(L_o)을 구비하며, 오실레이터 경로를 형성하는 오실레이터; 및 오실레이터 경로를 포함하는 조합된 광학 캐비티를 구축하기 위해 상기 오실레이터와 결합되는 멀티-패스 광학 증폭기;를 포함하고,

상기 조합된 광학 캐비티는 길이($L_{combined}$)를 갖고,

상기 $L_{combined} = (N+x)*L_o$, "N"은 정수, "x"는 0.4와 0.6 사이의 수이고,

상기 오실레이터는 오실레이터 출력 광학기기를 구비하고, 상기 증폭기는 증폭기 입력 광학기기를 구비하고,

상기 오실레이터 출력 광학기기와 상기 증폭기 입력 광학기기 사이의 빔 경로 길이를 조정하기 위한 적어도 하나의 이동가능한 광학기기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 오실레이터는 캐비티 덤팽된 오실레이터를 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 5

제 3 항에 있어서, 상기 오실레이터는 캐비티 덤팡된 오실레이터를 포함하는 것을 특징으로 하는 디바이스.

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 예를 들면 약 100nm 이하의 파장에서 예를 들면, 반도체 집적회로 제조 포토리소그래피용의 EUV 광원 챔버의 외부에서의 사용을 위해 소스 재료로부터 생성되고, 수집되고, 초점에 지향되는, 플라즈마로부터 EUV 광을 제공하는 극자외선("EUV") 광원에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 극 자외선("EUV") 광, 예를 들면 약 5-100nm 이하의 파장을 가지고 및 약 13nm의 파장에서의 광을 포함하는 전

자기 방사선(또한, 때때로 소프트 x-레이이라고도 하는)이 예를 들면, 실리콘 웨이퍼와 같은, 기판에서 매우 작은 퍼처를 산출하기 위한 포토리소그래피 공정에서 사용될 수 있다.

[0003]

EUV 광을 산출하는 방법은 예를 들면, EUV 영역에서의 방출선을 가지는 크세논, 리튬 또는 주석과 같은 원소를 가지는 플라즈마 상태로 재료를 변환하는 것을 포함하지만, 그에 한정되는 것은 아니다. 이러한 하나의 방법에서, 대개 레이저 산출 플라즈마("LPP")라고 하는, 요구되는 플라즈마가 예를 들면, 액적, 스트림 또는 물질의 클러스터 형태로 된 타겟 재료를 레이저 빔으로 조사(照射)함으로써 산출될 수 있다.

[0004]

이러한 공정을 위해, 플라즈마는 일반적으로 예를 들면, 진공 챔버와 같은 기밀한 용기에서 산출되고, 다양한 유형의 계측 장비를 이용하여 모니터링된다. EUV 방사선 생성에 추가하여, 이러한 플라즈마 공정은 또한 일반적으로 예를 들면 대역을 벗어난 복사, 고에너지 이온 및, 타겟 재료의 원자 및/또는 뎅어리/미세 액적(microdroplet)과 같은 찌꺼기를 포함할 수 있는 플라즈마 챔버내에서의 바람직하지 않은 부산물을 생성한다.

[0005]

이러한 플라즈마 생성 부산물은 잠재적으로, 수직 입사 및/또는 스쳐가는 입사(grazing incidence) 시의 EUV 반사를 할 수 있는 다중-레이어 미러(MLM's)를 포함하는 콜렉터 미러, 계측 검출기의 표면, 플라즈마 형성 공정을 이미징하는 데에 사용되는 윈도우, 및 레이저 입력 윈도우를 포함하는(그러나 그에 한정되는 것은 아님) 다양한 플라즈마 챔버 광학 엘리먼트를 가열하고, 손상시키고, 또는 그의 동작 효율을 감소시킬 수 있다. 가열, 고 에너지 이온 및/또는 찌꺼기는 광 통과를 감소시키는 재료로 그것들을 코팅하고, 그것들을 투과하고, 예를 들면, 구조적 무결성 및/또는 단파장에서 광을 반사하는 미러의 기능과 같은 광학 특성을 손상시키고, 그것들을 부식 또는 침식시키고 및/또는 그것들로 확산하는 것을 포함하는 다양한 방식으로 광학 소자를 손상시킬 수 있다. 따라서, 일반적으로 플라즈마 생성 찌꺼기의 양 및/또는 효과를 최소화하는 것이 바람직하다.

[0006]

지금까지는, 각각의 액적으로부터 플라즈마를 생성하기 위해 각각의 액적이 개별 레이저 펄스에 의해 조사되는 LPP 시스템이 개시되었다. 또한, 각각의 액적이 하나 이상의 광 펄스에 의해 순차적으로 조사되는 시스템들이 개시되었다. 일부 경우에, 각각의 액적이 소위 "프리-펄스" 및 소위 "메인 펄스"에 노출될 수 있지만, 하나 이상의 프리-펄스 및 하나 이상의 메인 펄스가 사용될 수 있고, 상기 프리-펄스와 메인 펄스의 기능은 어느 정도 겹쳐진다는 것이 이해될 것이다. 일반적으로, 프리-펄스(들)는 재료를 팽창시켜서, 메인 펄스와 상호작용하는 재료의 양을 증가시키는 기능을 하고, 메인 펄스는 재료의 대부분 또는 모두를 플라즈마로 변환시켜 EUV 광 방출을 산출하는 기능을 한다. 그러나, 프리-펄스 및 메인 펄스의 기능은 어느 정도 겹쳐지고, 예를 들면, 프리-펄스(들)는 일부 플라즈마 등을 생성한다는 것이 이해될 것이다. 증가된 재료/펄스 상호작용은 펄스에 노출된 재료의 단면이 더 커지고, 재료의 밀도가 감소되어 펄스가 재료에 더 많이 투과된 데에 기인하거나, 또는 그 둘 다에 기인할 수 있다. 프리-펄스의 또다른 효익은 타겟을 포커싱된 펄스의 크기로 팽창시켜 모든 펄스가 그에 참여할 수 있도록 허용한다는 것이다. 이는, 상대적으로 작은 액적이 타겟으로 사용되고 조사광이 상기 작은 액적의 크기에 초점을 맞출 수 없는 경우에, 특히 유용할 수 있다. 따라서, 일부 애플리케이션에서, 변환 효율을 증가시키고 및/또는 상대적으로 작은, 예를 들면, 소위 질량이 제한된 타겟의 사용을 허용하기 위해 프리-펄스를 사용하는 것이 바람직할 수 있다. 그렇게 되면, 상대적으로 작은 타겟의 사용은 찌꺼기 생성을 감소시키고 및/또는 소스 재료 소모를 감소시키기 위해 사용될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007]

상술한 바와 같이, EUV 광을 산출하는 하나의 기술은 타겟 물질을 조사하는 것을 포함한다. 이점에 있어서, 예를 들면 $9.3\mu\text{m}$ 또는 $10.6\mu\text{m}$ 와 같은 적외선 파장의 광을 출력하는 CO_2 레이저가 LPP 공정에서 타겟 재료를 조사하는 구동 레이저로서 특정한 이점을 제공할 수 있다. 이는 특히 예를 들면 주석을 함유하는, 특정한 타겟 재료에 대해 참이다. 예를 들면, 하나의 이점은 구동 레이저 입력 파워와 출력 EUV 파워 사이에 상대적으로 높은 변환 효율을 산출하는 기능을 포함할 수 있다. CO_2 구동 레이저의 또다른 이점은 주석 찌꺼기로 코팅된 반사 광학기기와 같은 상대적으로 거친 표면으로부터 반사하기 위한 상대적으로 긴 파장의 광(예를 들면, 193nm에서의 심 자외선(deep UV)에 비교되는)의 기능을 포함한다. 이러한 $10.6\mu\text{m}$ 방사선의 특성은 반사 미러가 예를 들면, 구동 레이저 빔의 초점을 파워를 스티어링하고, 초점을 맞추고 및/또는 조정하기 위해 플라즈마에 인접하여 채용되도록 허용한다.

[0008]

고려할 만한 또다른 요인은 상대적으로 고 반복률에서 펄스 레이저 빔으로 일련의 상대적으로 작고, 빠르게 움직이는 액적을 일관적으로 그리고 정확하게 맞추는 것에 연관된 어려움이다. 예를 들면, 일부 고-볼륨 EUV 광

원은 약 20-50 μm 의 직경을 가지고 30kHz를 초과하는 반복률에서, 약 50-100m/s의 속도로 이동하는 액적의 조사를 요구한다.

[0009] 상술한 기술에 추가하여, 2005년 2월 15일 Shields에 발급된, "고 펄스율 레이저 플라즈마 초자외선 광원용 액적 타겟 전달 방법"이라는 제하의, 미국 특허번호 제6,855,943(이하, '943특허)은, 예를 들면, 매 3번쩨 액적과 같이, 액적 스트림에서 액적의 일부만이 조사되어 펄스 EUV 광 출력을 산출하는 기술을 개시한다. '943 특허에 개시된 바와 같이, 불참가한 액적(소위 버퍼 액적)은 이롭게도 다음번의 참가 액적을 조사 지점에서 생성된 플라즈마의 효과로부터 차폐한다. 불행히도, 일부 경우, 이러한 버퍼 액적은 광을 다시 레이저로 반사하여, 그중에서도 특히, 고 에너지 펄스 산출시 레이저의 이득 매체의 유효성을 감소시킬 수 있는 자가-레이징을 일으킨다. 이는 특히 고 이득(예를 들면, G=1000-10,000)의 예를 들면, 다소 용이하게 자가-레이징하는 경향을 가지는, CO₂ 레이저와 같은, 적외선 레이저에 대해 참이다. 따라서, 반사효과를 최소화하는 것을 포함하는 펄스 사이의 손실을 최소화하는 것이 바람직하다. 또한 다량의 에너지 펄스를 산출하기 위해, 그리고 일부 경우, 예를 들면, MO-PA 구성을 가진 특정한 CO₂ 레이저에서 모드 호평에 의해 야기되는 것과 같은, 불안정성을 최소화함으로써 안정적인 일관적인 펄스를 제공하기 위해 펄스 생성동안 구동 레이저 증폭기로부터의 이득 추출을 최대화하는 것이 바람직하다.

[0010] 상술한 바를 염두에 두고, 발명자는 EUV 광원용 구동 레이저를 개시한다.

과제의 해결 수단

[0011] 제 1 측면에서, 오실레이터 캐비티 길이(L_o)를 구비하고, 오실레이터 경로를 형성하는 오실레이터; 및 오실레이터 경로를 포함하는 조합된 광학 캐비티를 구축하기 위해 상기 오실레이터와 결합되는 멀티파스 광학 증폭기;를 포함하고, 상기 조합된 광학 캐비티는 길이($L_{combined}$)를 가지고, 여기서 $L_{combined}=(N+x)*L_o$, "N"은 정수, "x"는 0.4 와 0.6 사이의 수인 디바이스가 본문에 기술된다.

[0012] 본문에 기술된 하나의 실시예에서, 오실레이터 캐비티는 오실레이터 캐비티의 단부를 형성하는 광학기기를 포함하고, 상기 디바이스는, 상기 광학기기에 결합되고 오실레이터 캐비티 길이를 조정하기 위해 제어가능한 전기-작동식(electro-actuable) 소자를 포함할 수 있다.

[0013] 본문에 기술된 특정한 실시예에서, 증폭기는 오실레이터로부터 제 1 범 경로를 따라 진행하고 실질적으로 상기 증폭기로의 제 1 선형 편광을 가지는 광을 입력하고, 제 2 범 경로를 따라 상기 증폭기로부터 나오는 제 1 선형 편광에 직교하는 실질적으로 선형 편광을 가지는 광을 출력하는 편광 식별(polarization discriminating) 광학기기를 포함한다.

[0014] 본 측면의 하나의 배치에서, 오실레이터는 오실레이터 출력 광학기기를 구비하고, 상기 증폭기는 증폭기 입력 광학기기를 구비하고, 상기 디바이스는 상기 오실레이터 출력 광학기기와 상기 증폭기 입력 광학기기 사이의 범 경로 길이를 조정하기 위한 적어도 하나의 이동가능한 광학기기를 더 포함한다.

[0015] 하나의 설정에서, 상기 오실레이터는 캐비티 덤핑된 오실레이터로서 구성되고, 다른 설정에서, 상기 오실레이터는 Q 스위칭된 오실레이터로서 구성될 수 있다.

[0016] 다른 측면에서, 본문에, 범 경로 상에서 연속하는 출력을 산출하는 레이저 광원; 증폭기; 레이저 광원과 증폭기 사이의 범 경로 상에 배치된 부분적으로 통과하고 부분적으로 반사하는 광학기기; 및 상기 범 경로와 교차하는 경로 상에서 이동하는 액적을 전달하기 위해 배치되는 액적 생성기;를 포함하고, 상기 액적은 상기 광학기기로 광학 캐비티를 구축하기 위해 광을 반사하는 디바이스가 기술된다.

[0017] 이러한 측면에 대해, 레이저 광원은 파워 출력을 구비하고, 상기 부분적으로 통과하고 부분적으로 반사하는 광학기기는 반사율을 가지고, 하나의 설정에서, 오실레이터로부터 증폭기로 입사하는 광이 약 2kW를 초과하지 않도록 파워 출력 및 반사율이 선택될 수 있다. 본문에 기술된 상기 측면의 하나의 실시예에서, 레이저 광원은 0.1W 내지 100W 범위의 출력을 가지는 CO₂ 레이저를 구비한다. 하나의 구현에서, 부분적으로 통과하고 부분적으로 반사하는 광학기기는 레이저 광원 출력의 75% 내지 99.9% 사이를 반사할 수 있다.

[0018] 본 측면의 하나의 실시예에서, 조정가능한 텔레스코프가 상기 오실레이터와 상기 증폭기 사이의 범 경로를 따라 배치될 수 있다.

[0019] 본 측면의 특정한 실시예에서, 광 절연체(optical isolator)가 반사된 광으로부터 오실레이터를 보호하기 위해

레이저 광원과 부분적으로 통과하고 부분적으로 반사하는 광학기기 사이에 배치될 수 있다.

[0020] 특정한 배치에서, 레이저 광원은 적어도 2개의 라인을 갖는 연속한 출력을 산출하고 증폭기는 2개의 라인을 포함하는 이득 대역을 구비한다.

[0021] 또 다른 측면에서, 타겟 재료; 상기 타겟 재료로 빔 경로를 구축하는 적어도 하나의 광학기기; 상기 빔 경로를 따라서 배치되는 광학 이득 매체; 상기 빔 경로를 따라서 지연 라인을 구축하기 위해 챔버에 배치된 복수의 광학기기; 및 상기 타겟 재료로부터 반사된 적어도 일부의 광자를 흡수하기 위해 상기 챔버에 배치된 가포화 흡수 가스;를 포함하는 디바이스가 본문에 기술된다.

[0022] 특정한 실시예에서, 광학 이득 매체는 $10.6\mu\text{m}$ 를 포함하는 이득 대역을 구비하는 CO_2 를 포함하고, 가포화 흡수 가스는 SF_6 을 포함할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 광학 이득 매체는 $9.3\mu\text{m}$ 를 포함하는 이득 대역을 구비하는 CO_2 를 포함하고, 가포화 흡수 가스는 CH_3OH , CH_3F , HCOOH , CD_3OD , CD_3F , DCOOD , 및 그의 조합(여기서 화학 기호 "D"는 중수소를 나타내는 데에 사용됨)으로 구성한 가스의 그룹으로부터 선택될 수 있다. 일부 적용에 대해, 헬륨 가스가 또한 챔버 내에 배치될 수 있다.

[0023] 또 다른 측면에서, 파장(λ_1)을 갖는 제 1 출력 빔을 산출하는 제 1 레이저 광원, $\lambda_1 \neq \lambda_2$ 인 파장(λ_2)을 갖는 제 2 출력 빔을 산출하는 제 2 레이저 광원, 및 λ_1 및 λ_2 를 포함하는 이득 대역을 구비하는 증폭기를 포함하는 디바이스가 본문에 기술된다. 상기 디바이스는 제 1 선형 편광을 구비하는 광을 실질적으로 통과시키고 상기 제 1 선형 편광에 직교하는 선형 편광을 구비하는 광의 통과를 실질적으로 차단하는 편광 식별 광학기기를 구비하는 광 절연체; 및 파장(λ_1)을 갖는 광에 대해 통과-반사율(TRR_1), 파장(λ_2)을 갖는 광에 대해 $\text{TRR}_1 > \text{TRR}_2$ 인 통과-반사율(TRR_2)을 구비하는 커플링 광학기기로서, 증폭기를 통과하는 공통의 빔 경로 상으로 제 1 출력 빔과 제 2 출력 빔을 커플링하는 광학기기를 더 포함한다.

[0024] 본 측면의 하나의 실시예에서, 제 1 레이저 광원은 $10.6\mu\text{m}$ 의 파장(λ_1)을 갖는 제 1 출력 빔을 산출하는 CO_2 를 구비하는 이득 매체를 포함하고, 제 2 레이저 광원은 $9.3\mu\text{m}$ 의 파장(λ_2)을 갖는 제 2 출력 빔을 산출하는 CO_2 를 구비하는 이득 매체를 포함한다.

[0025] 하나의 설정에서, 상기 광 절연체는 45° 의 위상 지연 광학기기와 선형 편광 필터를 포함한다.

[0026] 특정한 배치에서, 상기 증폭기는 공통의 빔 경로를 따라 배치된 복수의 증폭기 챔버를 구비하고, 커플링 광학기는 공통의 빔 경로 상에서 2개의 증폭기 챔버 사이에 배치될 수 있다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따르면, 플라즈마 생성 찌꺼기의 양 및/또는 효과를 최소화하고, 상대적으로 고 반복률에서 펄스 레이저 빔으로 일련의 상대적으로 작고, 빠르게 움직이는 액적을 일관적으로 그리고 정확하게 맞추며, 불안정성을 최소화함으로써 안정적인 일관적인 펄스를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 측면에 따른 레이저 산출 플라즈마 EUV 광원의 간략한 개략도를 도시한다.

도 2는 도 1에 도시된 광원에서 사용하는 절연체의 단면도를 도시한다.

도 3은 레이저 산출 플라즈마 EUV 광원의 또 다른 실시예 중 선택된 부분을 도시한다.

도 4는 프리-펄스와 메인 펄스가 공통의 증폭기를 통과한 EUV 광원에서 사용하기 위한 디바이스의 실시예를 도시한다.

도 5는 부분적으로는 반사하고 부분적으로는 통과하는 광학기기가 연속하는 출력을 산출하는 q 레이저 광원과 증폭기 체인 사이에 배치되는 EUV 광원의 실시예를 도시한다.

도 6은 멀티-패스 파워 증폭기를 가진 도 3에 도시된 EUV 광원에서 사용하는 디바이스의 실시예를 도시한다.

도 7은 오실레이터 이득 대역폭(탑), PA 모드(중간), 오실레이터 모드(바닥)에 대한 주파수 대 진폭의 관계를 도시한다.

도 8은 도 3에 도시된 실시예의 스위치(610, 628)에 대한 시간에 따른 시퀀스를 도시한다.

도 9는 오실레이터와 증폭기 사이의 광학 경로 길이가 조정가능한 도 3에 도시된 EUV 광원(10')에 사용하는 디바이스의 다른 실시예를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 먼저 도 1을 참조하면, 하나의 실시예의 측면에 따라 예를 들면, 레이저 산출 플라즈마, EUV 광원(10)과 같은 EUV 광원의 개략도가 도시된다. 도 1에 도시되고, 하기에 더 상세히 기술되는 바와 같이, LPP 광원(10)은 일련의 광 펄스를 생성하고 전달하기 위한 시스템(12)을 포함한다. 도시된 바와 같이, 시스템(12)은 펄스(일부 경우, 하나 이상의 메인 펄스와 하나 이상의 프리-펄스를 포함하는)를 생성하는 디바이스(14), 적어도 일부의 다운스트림 반사로부터 상기 디바이스(14)를 절연하는 절연체(16)(하기에 도 2를 참조하여 보다 상세히 기술됨), 및 펄스 성형, 초점 맞추기, 스티어링 및/또는 상기 절연체(16)를 탈출하고 챔버(26)의 타겟 위치로 광 펄스를 전달하는 펄스의 초점 파워를 조정하기 위한 선택적인 범 전달 시스템(18)(선택적인 컴포넌트를 지시하기 위해 점선으로 도시됨)을 포함한다. EUV 광원(10)에 대해, 각각의 광 펄스는 시스템(12)으로부터 챔버(26)로 범 경로를 따라 진행하여 예를 들면, 타원체 미러(30)의 초점 또는 그 근방과 같은, 조사 영역에 각각의 타겟 액적을 조광한다.

[0030] 디바이스(14)는, 하나 이상의 메인 펄스 및, 일부 경우에, 하나 이상의 프리-펄스를 제공하는 하나 이상의 레이저 및/또는 램프를 포함한다. 도 1에 도시된 디바이스(14)에 사용하기 위한 적절한 레이저는 예를 들면 50kHz 이상의 고 펄스 반복률, 예를 들면 10kW 이상의 상대적으로 고 파워에서 동작하는 예를 들면, DC 또는 RF 여기로, 예를 들면, 9.3 μ m 또는 10.6 μ m에서 방사선을 산출하는 펄싱된 가스-방출 CO₂ 레이저 디바이스와 같은, 펄싱된 레이저 디바이스를 포함한다. 하나의 특정한 실시예에서, 레이저는 다중 증폭 스테이지를 가진 MOPA 구성을 구비하고 예를 들면 100kHz 동작을 할 수 있는, 저 에너지 고 반복률을 가진 Q-스위칭된 마스터 오실레이터(M0)에 의해 개시되는 시드 펄스를 구비하는 RF-펌핑된 CO₂ 레이저이다. M0로부터의, 레이저 펄스는 증폭되고, 성형되고, 스티어링되고 및/또는 LPP 챔버로 입사하기 전에 초점이 맞추어진다. 연속하여 RF 펌핑된, 고속 축 방향 흐름의, CO₂ 증폭기가 시스템(12)에 사용될 수 있다. 예를 들면, 오실레이터와 3개의 증폭기(O-PA1-PA2-PA3 구성)를 구비한 적절한 CO₂ 레이저 디바이스가 본문에 그 전체 내용이 참조에 의해 통합된, Attorney Docket 번호 2005-0044-01, "LPP EUV 광원 구동 레이저 시스템"이라는 제하에, 2005년 6월 29일 출원된, 공동 계류중인 미국 특허 출원 번호 제11/174,299에 개시된다. 대안으로, 상기 레이저는, 액적이 광학 캐비티의 하나의 미러로서 기능하는 소위 "자가-타겟팅" 레이저 시스템으로서 구성될 수 있다. 일부 "자가-타겟팅" 배치에서, 마스터 오실레이터는 필요하지 않다. 자가 타겟팅 레이저 시스템은 그 전체 내용이 참조에 의해 본문에 통합된, Attorney Docket 번호 2006-0025-01, "EUV 광원용 구동 레이저 전달 시스템"이라는 제하의, 2006년 10월 13일 출원된, 공동 계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/580,414에서 개시되고 주장된다. 대안으로, 하기에 기술되고, 도 4, 5, 6, 또는 9에 도시된 레이저 아키텍처 중 하나가 도 1에 도시된 EUV 광원(10)에 사용될 수 있다.

[0031] 적용에 따라, 예를 들면, 고 파워 및 고 펄스 반복율에서 동작하는 엑시머 또는 분자 플루오르 레이저와 같은, 다른 유형의 레이저가 또한 적합하다. 예로서는, 파이버 또는 디스크형 액티브 미디어를 구비한 솔리드 스테이트 레이저, 미국 특허 제 6,625,191, 제 6,549,551, 및 제 6,567,450에 도시된 바와 같은 MOPA 구성 엑시머 레이저 시스템, 예를 들면 오실레이터 챔버 및 하나 이상의 증폭 챔버(병렬 또는 직렬로 되어있는 증폭 챔버)를 구비하는 엑시머 레이저가 있고, 마스터 오실레이터/파워 오실레이터(MOPO) 배치, 파워 오실레이터/파워 증폭기(POPA) 배치, 또는 하나 이상의 엑시머 또는 분자 플루오르 증폭기 또는 오실레이터 챔버를 시팅하는 솔리드 스테이트 레이저가 적합하다. 다른 설계도 가능하다.

[0032] 펄스 성형, 포커싱, 스티어링, 및/또는 펄스의 초점 파워 조정을 위한 적절한 범 전달 시스템(18)이, 그 전체 내용이 본문에 참조에 의해 통합된, Attorney Docket 번호 2005-0081-01, "레이저 산출 플라즈마 EUV 광원"이라는 제하의, 2006년 2월 21일 출원된 공동 계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/358,992에 개시된다. 상기로 개시된 바와 같이, 하나 이상의 범 전달 시스템 광학기기는 챔버(26)와 유체가 통해 있다. 펄스 성형은 예를 들면 펄스 스트레처 및/또는 펄스 트리밍을 이용하여 펄스 듀레이션을 조정하는 것을 포함한다.

[0033] 도 1에 더 도시된 바와 같이, EUV 광원(10)은 또한 예를 들면 액적이, 궁극적으로 플라즈마를 산출하고 EUV 방출을 생성하기 위해, 예를 들면 제로, 하나 이상의 프리-펄스 및 그후의 하나 이상의 메인 펄스와 같은 하나 이

상의 광 펄스와 상호 작용하는, 조사 영역으로 타겟 재료의 액적을 챔버(26)의 내부로 전달하는 것과 같은, 타겟 재료 전달 시스템(24)을 포함한다. 타겟 재료는 주석, 리튬, 크세논, 또는 그의 조합을 포함하는 재료를 포함하지만, 그에 반드시 한정되는 것은 아니다. 예를 들면 주석, 리튬, 크세논과 같은 EUV 방출 원소는 액체 액적의 형태이거나, 및/또는 액체 액적 내에 함유된 고체 입자의 형태가 될 수 있다. 예를 들면, 주석 원소는 순수한 주석, 예를 들면 SnBr_4 , SnBr_2 , SnH_4 와 같은 주석 화합물, 예를 들면 주석-갈륨 합금, 주석-인듐 합금, 주석-인듐-갈륨 합금과 같은 주석 합금, 또는 그의 조합으로서 사용될 수 있다. 사용되는 재료에 따라, 타겟 재료는 실온 또는 실온에 근사한 온도(예를 들면, 주석 합금, SnBr_4), 증가된 온도(예를 들면, 순수 주석), 또는 실온 이하의 온도(예를 들면 SnH_4)를 포함하는 다양한 온도에서 조사 영역에 놓일 수 있고, 예를 들면 SnBr_4 와 같은, 일부 경우에, 상대적으로 휘발성이 될 수 있다. LPP EUV 광원에서의 이러한 재료들을 이용하는 것에 대한 보다 상세한 사항들은, 본문에 그 내용이 참조에 의해 통합된, Attorney Docket 번호 2006-0003-01, "EUV 광원용 대체 연료"라는 제하의, 2006년 4월 17일 출원된, 공동 계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/406,216에 제시된다.

[0034] 도 1을 계속 참조하면, EUV 광원(10)은 또한 예를 들면, 몰리브덴과 실리콘의 교대로 있는 층으로 단계적인 다층 코팅을 가진 꼭대기를 자른 타원체의 형태로된 컬렉터 미러와 같은 광학기기(30)를 포함한다. 도 1은 상기 광학기기(30)가 시스템(12)에 의해 생성된 광펄스가 통과하여 조사 영역에 도달하는 것을 허용하는 애퍼처로 형성된다. 도시된 바와 같이, 광학기기(30)는 예를 들면, 조사 영역 내에 또는 그에 근접한 제 1 초점과 EUV 광이 EUV 광원(10)으로부터 출력되고 EUV 광을 활용하는 예를 들면 집적회로 리소그래피 툴(도시되지 않음)과 같은 디바이스로 입력되는 소위 중간 영역(40)에서 제 2 초점을 가지는 타원형 미러가 될 수 있다. EUV 광을 활용하는 디바이스로의 후속하는 전달을 위해 광을 중간 위치로 수집 및 지향시키는 타원형 미러의 위치에 다른 광학 기기가 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이고, 예를 들면, 상기 광학기기는 포물선형 또는 중간 위치에 대해 링 형태의 단면을 가지는 빔을 전달하기 위해 구성될 수 있다. 본문에 그 내용이 참조에 의해 통합된, Attorney Docket 번호 2006-0027-01의, "EUV 광학기기"라는 제하의, 2006년 8월 16일 출원된, 공동 계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/505,177을 참조하라.

[0035] 도 1을 참조하여 계속하면, EUV 광원(10)은 또한 EUV 컨트롤러(60)를 포함하고, 이는 또한 시스템(12)에서 하나 이상의 램프 및/또는 레이저 디바이스를 트리거하여 챔버(26)로 전달하기 위한 광펄스를 생성하는 점화 제어 시스템(65)을 포함한다. EUV 광원(10)은 또한 예를 들면 조사 영역에 대해 하나 이상의 액적 위치를 지시하는 출력을 제공하는 하나 이상의 액적 이미저(70)를 포함하는 액적 위치 검지 시스템을 포함할 수 있다. 이미저(들)(70)는 이러한 출력을 예를 들면 액적 위치 및 궤적을 연산할 수 있고, 예를 들면 액적 베이시스에 의해 액적에 대해 또는 평균적으로 액적 오차가 연산 될 수 있는 액적 위치 검지 피드백 시스템(62)으로 제공한다. 액적 오차는 그런 다음 입력으로서 컨트롤러(60)로 제공되고, 이는 예를 들면, 소스 타이밍 회로를 제어하고 및/또는 챔버(26)에서 조사 영역으로 전달되는 광펄스의 위치 및/또는 초점 파워를 변화시키기 위한 빔 위치 및 형성 시스템을 제어하기 위한 시스템(12)으로 위치, 방향 및/또는 타이밍 보정 신호를 제공할 수 있다.

[0036] EUV 광원(10)은 광원(10)에 의해 생성된 EUV 광의 다양한 특성을 측정하기 위한 하나 이상의 EUV 계측 기기를 포함한다. 이러한 특성들은 예를 들면, 강도(예를 들면 총 강도 또는 특정한 스펙트럼 대역내에서의 강도), 스펙트럼 대역폭, 편광, 빔 위치, 포인팅 등을 포함한다. EUV 광원(10)에 대해, 상기 기기(들)는, 예를 들면 꽈오프 미러를 이용하거나 또는 "수집되지 않은(uncollected)" EUV 광을 샘플링하여 EUV 출력의 일부를 샘플링함으로써, 예를 들면 포토리소그래피 스캐너와 같은 다운 스트림 툴이 온라인인 동안, 동작하도록 구성되고, 및/또는 예를 들면 EUV 광원(10)의 전체 EUV 출력을 측정함으로써, 예를 들면 포토리소그래피 스캐너와 같은 다운 스트림 툴이 오프라인인 동안, 동작할 수 있다.

[0037] 도 1에 더 도시된 바와 같이, EUV 광원(10)은 예를 들면 액적 소스(92)로부터 타겟 재료의 배출 포인트를 변경하고 및/또는 액적 형성 타이밍을 변경시키기 위해, 컨트롤러(60)로부터의 신호(일부 실시예에서 상술한 액적 오차 또는 그로부터 도출된 일부 양을 포함하는)에 응답하여, 원하는 조사 영역에 도달한 액적에서의 오차를 보정하고 및/또는 활성된 레이저 시스템(12)으로 액적의 생성을 동조시키는 동작을 수행할 수 있는, 액적 제어 시스템(90)을 포함한다.

[0038] 다양한 액적 분사기 구성 및 그의 상대적인 이점에 관한 보다 상세한 사항들은 그 각각의 내용이 본문에 참조에 의해 통합된, Attorney Docket 번호 2007-0030-01, "변조된 교란파를 이용하여 산출된 액적 스트림을 구비한 레이저 산출 플라즈마 EUV 광원"이라는 제하의, 2007년 7월 13일 출원된 공동 계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/827,803, Attorney Docket 번호 2005-0085-01, "프리-펄스를 가진 레이저 산출 플라즈마 EUV 광원"이라는

제하의, 2006년 2월 21일 출원된 공동계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/358,988, Attorney Docket 번호 2004-0008-01, "EUV 플라즈마 소스 타겟 전달용 방법 및 장치"이라는 제하의, 2005년 2월 25일 출원된 공동계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/067,124, 및 Attorney Docket 번호 2005-0003-01, "LPP EUV 플라즈마 소스 재료 타겟 전달 시스템"이라는 제하의, 2005년 6월 29일 출원된 공동계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/174,443에서 찾을수 있다.

[0039] 도 2는 디바이스(14)(도 1에 도시됨)의 이득 매체를 적어도 일부의 반사된 광자로부터 보호하고 및/또는 광자들이 상기 매체에서 구축된 다수의 이득을 격감시킬수 있는 시간에 상기 광자들이 상기 이득 매체에 도달하는 것을 방지하기 위해 반사된 광자들을 지연시키는 절연체(16)의 실시예를 도시한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 절연체(14)는 그 모두가 브루스터 각도의 방향이고 및/또는 무반사 코팅으로 코팅될 수 있는 제 1 윈도우(202)와 제 2 윈도우(204)를 구비하는 챔버(200)를 포함하고, 상기 챔버(200)를 밀봉한다. 더 도시된 바와 같이, 도시된 실시예에 대해 미러가 될 수 있는 광학기기(206a, b, c)가 7개의 통과, 지연 빔 경로(208)를 구축하기 위해 챔버(200)에 배치될 수 있다. 3개의 광학기기(206a, b, c)가 도시되었지만, 3개 이상 및 2개 미만의 광학기기가 지연 경로를 구축하기 위해 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 유사하게, 7개의 패스 경로가 도시되었지만, 이는 단지 예시의 방식일 뿐이고 다른 지연 경로 아키텍처가 본 개시물의 범위 내에서 채용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 또한 입사광을 반사 및/또는 통과 및/또는 그에 대해 동작하고, 렌즈, 웨지, 프리즘, 그레이딩, 및 다층 미러, 거의 직교 입사인 미러, 스침입사 미러를 구비하는 미러를 포함하는(그러나 그에 한정되는 것은 아님) 컴포넌트를 포함하는, 미러가 아닌 광학기기가 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0040] 도 2를 참조하여 계속하면, 가스가 챔버에 배치되도록 하는 적어도 하나의 주입부(210)를 가진 챔버가 형성되는 것을 볼 수 있다. 예를 들면, 가스는 특정한 강도 레벨 이하의 광자는 흡수하는 반면 특정한 강도 레벨 이상의 광자는 통과를 허용하는 가포화 흡수 가스를 포함할 수 있다. 예를 들면, $10.6\mu\text{m}$ 를 포함하는 이득 대역을 구비하는 CO_2 광학 이득 매체를 가진 디바이스(14)(도 1에 도시됨)에 대해, 상기 가포화 흡수 가스는 SF_6 을 포함할 수 있다. 한편으로는, $9.3\mu\text{m}$ 를 포함하는 이득 대역을 구비하는 CO_2 광학 이득 매체를 가진 디바이스(14)에 대해, 가포화 흡수 가스는 CH_3OH , CH_3F , HCOOH , CD_3OD , CD_3F , DCOOD , 및 그의 조합(여기서, 화학기호 "D"는 중수소를 나타내는 데에 사용됨)으로 구성된 가스의 그룹으로부터 선택될 수 있다. 어느 하나의 적용에 대해(즉, $9.3\mu\text{m}$ 또는 $10.6\mu\text{m}$), 헬륨 가스가 또한 예를 들면 약 가포화 흡수 가스 5 대 헬륨 1의 비율로 헬륨 원자와의 충돌을 통해 다시 흡수 상태가 되게 함으로써 흡수를 개선시키도록 하기 위해 챔버(200)에 배치될 수 있다.

[0041] 선택적인 가스 배출구(도시되지 않음)는 챔버(200)로부터 가스를 배출하고 주입구(210)와 함께 동작하고; 액티브 가스를 리프레시하고, 가스 조성을 조정하고, 광학기기 온도를 유지하기 위해 챔버를 통해 가스의 흐름을 제공하고, 및/또는 소비된 가스/오염물을 제거하기 위해 설치될 수 있다.

[0042] 도 2에 도시된 배치를 위해, 가포화 흡수 가스의 효율은 일반적으로 가스 농도 및 상기 가스를 통과하는 광학 경로의 길이에 비례한다. 이러한 구조의 도움으로, 상대적으로 컴팩트한 절연체가 설치되어 광자들이 원하지 않는 시간에(예를 들면, 그것들이 펠스 사이에서 이득을 추출할 때) 액티브 이득 매체에 도달하지 못하도록 광자 반사를 지연시키는 기능을 하고, 및/또는 상기 절연체는 상대적으로 낮은 가스 농도(경로가 상대적으로 길지 않은 경우에 필요한 농도에 비해)로 임계 강도 레벨 이하에서 광자를 흡수하도록 기능한다.

[0043] 도 3은 하나의 실시예의 측면에 따른 예를 들면, 레이저 산출 플라즈마 EUV 광원과 같은, EUV 광원($10'$)의 또 다른 실시예의 선택된 부분을 도시한다. 도 3에 도시되고, 하기에 보다 상세히 기술된 바와 같이, LPP 광원($10'$)은 EUV 출력을 생성하기 위해 타겟 재료와 상호작용하는 챔버(26)'의 위치($28'$)로 일련의 광 펠스를 생성하고 전달하는 시스템을 포함한다. 또한 도시된 바와 같이, 시스템은 펠스(일부 경우, 하나 이상의 메인 펠스와 하나 이상의 프리-펠스를 포함함)를 생성하는 디바이스($14'$), 도 2를 참조하여 상술한 선택적인 절연체($16'$)(선택적인 컴포넌트를 지시하기 위해 점선으로 도시됨), 펠스 성형하고, 초점을 맞추고, 스티어링하고 및/또는 절연체(16)를 빠져나오는 펠스의 초점 파워를 조정하고, 및 광 펠스를 챔버(26)'의 타겟 위치로 전달하기 위한, 선택적인 빔 전달 시스템($18'$)(선택적인 컴포넌트를 지시하기 위해 점선으로 도시됨)을 포함한다.

[0044] 도 4는 도 3에 도시된 EUV 광원($10'$)에 사용하는 디바이스($14'$)의 실시예를 도시한다. 도 4는, 디바이스($14'$)가 빔 경로(408)를 따라 직렬로 배치된 증폭기 챔버(406a-c)의 체인을 구비하고, 상기 각각의 챔버는 예를 들면 펌핑 전극과 같은 자신의 액티브 매체와 여기 소스를 구비하는, 증폭기를 시팅하는 오실레이터(400)를 포함하는 것을 도시한다. 디바이스($14'$)에 대해, 오실레이터(400)/ 증폭기(406a-c) 조합은 $10.6\mu\text{m}$ 과 같은 파장(λ_1)에서 일련의 "메인" 펠스를 산출하기 위해 사용된다. 예를 들면, 오실레이터(400)는 예를 들면, 100 kHz 동작을

할 수 있는, 상대적으로 낮은 에너지 및 고 반복율의 캐비티 덤팅되거나 또는 Q-스위칭되고, 펄싱된 CO₂ 마스터 오실레이터(MO)가 될 수 있다. 디바이스(14')에 대해, 다중 챕버 선택적인 증폭기(406a, b, c)는 예를 들면, 고 이득($G \geq 1,000$ 및 일부 경우, 10,000) CW 펌핑된, CO₂ 레이저 증폭기와 같이, 9.3-10.6μm의 범위 내에 있는 파장을 선택적으로 증폭할 수 있는 이득 매체를 구비한다. 3개의 증폭기 챕버(406a-c)가 도시되었지만, 3개 이상 및 하나 정도의 소수의 증폭기 챕버가 도 4에 도시된 실시예에서 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0045] 도 4를 참조하여 계속하면, 편광기(들) 및/또는 브루스터 원도우가 오실레이터(400) 및/또는 증폭기(406a-b)에서 채용되어, 증폭기 챕버(406c)를 탈출한 광이 제 1 편광 방향을 가지도록 한다. 도 4는 또한 EUV 광원이 상기 증폭기 챕버(406a, b, c)를 통해서 뻗어있는 빔 경로(408)를 따라서 배치되고, 액적(도 4에 도시되지 않음)이 상기 빔 경로(408)와 상호 작용하는 조사 위치와 증폭기 챕버(406c) 사이에 개재되는 광학 절연체(412)를 포함한다. 절연체(412)는 예를 들면, 광 반사시, 선형 편광 광을 원형으로 편광된 광으로 변환하고, 원형 편광된 광을 선형 편광된 광으로 변환하는 위상 지연기 미러를 포함한다. 따라서, 위상 지연기 미러로부터 연속하여 2번 반사된 제 1 편광 방향을 가지는 최초의 광은 제 1 편광 방향으로부터 90° 회전되고, 즉, 상기 2번 반사된 광이 상기 제 1 편광 방향에 직교하는 방향으로 선형으로 편광된다. 위상 지연기 미러에 추가하여, 절연체(412)는 또한 예를 들면, 제 1 편광 방향에 대해 직교하는 방향으로 선형으로 변광된 광을 흡수하는 절연체 미러와 같은, 선형 편광 필터를 포함한다. 이러한 배치로, 예를 들면, 액적과 같은 타겟 재료로부터 빔 경로(408) 상에서 반사된 광은 광학 절연체(412)에 의해 흡수되고, 증폭기(406a, b, c)로 재입사할 수 없다. 예를 들면, CO₂ 레이저로 사용하기에 적합한 유닛이 상표명 Queller 및/또는 "절연체 상자"로 Kugler GmbH, Heiligenberger Str. 100, 88682, Salem, Germany로부터 획득될 수 있다. 일반적으로, 광학 절연체(412)는 광이 증폭기 디바이스(14')로부터 액적으로 실질적으로 방해받지 않고 흐르는 반면, 다시 반사되는 광 중 약 1% 만이 광학 절연체(412)를 통해 누설하고 증폭기(406a, b, c)에 도달하도록 기능한다.

[0046] 도 4는 디바이스(14')가 증폭기 챕버(406a, b, c) 중 적어도 하나를 시딩하는 프리-펄스 시드 레이저(414)를 포함하는 것을 더 도시한다. 디바이스(14')에 대해, 시드 레이저(414)/증폭기 챕버(406c) 조합은 9.3μm과 같은 파장(λ_2)에서 일련의 프리-펄스를 산출하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들면, 프리-펄스 시드 레이저(414)는 예를 들면 100kHz 동작을 할 수 있는 상대적으로 저 에너지 고 반복률을 가진 캐비티 덤팅되거나, Q-스위칭된 CO₂, 마스터 오실레이터(MO)가 될 수 있다.

[0047] 도 4에 더 도시된 바와 같이, 커플링 광학기기(416)가 증폭기 챕버(406a)로부터의 광을 증폭기 챕버(406c)를 통해 진행하기 위한 공통 빔 경로 상으로 프리-펄스 시드 레이저(414)로부터의 광과 동축으로 커플링하도록 제공된다. 예를 들면, 9.3μm의 파장을 가지는 광에 대해 상대적으로 고 전송-반사율(TRR₁)을 가지고, 10.6μm의 파장을 가지는 광에 대해 상대적으로 저 전송-반사율(TRR₂)을 가지는 커플링 광학기기(416)가 사용될 수 있다. 예를 들면, 모든 빔이 S-편광을 가지는 10.6μm의 반사에 대해 최적화되고 하나의 측면에서 9.3μm에 대해 AR 코팅되는 박막 편광기 엘리먼트 상에서 빔들이 합성될 수 있다. 예를 들면, II-VI Corporation(주 영업소가 Saxonburg, PA에 있는)이 10.6μm에 대해 99.5%의 반사율과 9.3μm에 대한 92%의 투과율을 가진, 45°의 입사각(AOI)에 대한 이러한 엘리먼트를 제조한다. 커플링 광학기기(416)가 증폭기 챕버(406b)와 증폭기 챕버(406c) 사이의 빔 경로(408)를 따라서 배치되는 것으로 도시되지만, 증폭기 챕버(406a)와 증폭기 챕버(406b) 사이, 오실레이터(400)와 증폭기 챕버(406a) 사이, 증폭기 챕버(406c)와 광학 절연체(412) 사이 등과 같은 빔 경로(408)를 따라서 있는 다른 위치에 배치될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0048] 다른 실시예에서, 시드 레이저(414)가 9.3μm의 파장에서 일련의 프리-펄스를 산출하기 위해 사용되고, 오실레이터(400)가 10.6μm의 파장에서 일련의 "메인" 펄스를 산출하기 위해 사용될 수 있다. 이러한 구현에 대해, 커플링 광학기기(416)는 10.6μm에 대해 투과로서, 그리고 9.3μm에 대해서는 반사로서 설계된 빔 커플러가 될 수 있다. 예를 들면, II-VI Corporation(주영업소가 Saxonburg, PA에 있는)은 10.6μm에 대해 94% 투과하고 9.3μm에 대해 94% 반사율을 가진 것으로 특정지어진 광학기기를 판매한다.

[0049] 도 4에 도시된 실시예에 대해, 시드 레이저(414)에 의한 타겟 재료의 최초 조사는 타겟 재료를 확장시키고 및/또는 타겟 재료를 기화시키고 및/또는 타겟 재료 중 일부의 플라즈마, 예를 들면 프리-펄스를 생성시키기에 충분할 수 있다. 특정한 애플리케이션에 따라, 하나 이상의 메인 펄스에 의해 후속되는 프리-펄스(수 밀리 줄의 오더)의 활용은 변환 효율의 개선을 가져오고 및/또는 생성된 찌꺼기의 양을 감소시키고, 및/또는 액적 타겟을 부풀어올리기 위해(puffing up), 메인 빔 펄스와 액적 위치 안정성에 대한 요구조건을 완화하고 및/또는 작은 직경의 액적을 사용할 수 있도록 한다. 일반적으로 증폭을 위해 메인 펄스의 출력 증폭기(들)(하나 또는

2개의)를 공유하면, 프리-펄스 빔은 메인 펄스에 대해 매우 작은 역 손실(약 1%)을 가져올 수 있다.

[0050] 도 5는 또다른 디바이스(14"로 라벨링된)의 실시예를 도시한다. 도 5는, 디바이스(14")가 빔 경로(502) 상에서 연속한 출력을 산출하는 레이저 소스(500), 직렬로 빔경로(502)를 따라 배치되고, 각각의 제 2 챕버가 자신의 액티브 매체와 펌핑 전극과 같은 여기 소스를 구비하는 일련의 증폭기 챕버(506a-c)를 구비하는 증폭기를 포함한다는 것을 도시한다. 예를 들면, 레이저 광원(500)은 0.1W 내지 100W 범위의 출력을 가지는 CO₂ 레이저를 포함하고, 9.3-10.6 미크론 파장 대역에서 하나 이상의 회전 라인 상에서 동작할 수 있다. 예를 들면, 레이저 소스는 P(26), P(22), 및 P(18)와 같은 복수의 이웃하지 않은 라인 상에서 동작할 수 있다. 디바이스(14")에 대해, 증폭기(506)는 예를 들면, 레이저 광원(500)에 의해 산출된 라인(들)을 증폭하기 위해 조정된 이득 매체를 구비하고, 예를 들면, 1000-10,000의 하나의 통과 이득을 구비하는, 예를 들면 RF, 연속 펌핑된, 고속 축방향 흐름의 CO₂ 증폭기 챕버(상술한 바와 같은)와 같은, 2개 이상의 증폭기 챕버를 포함한다.

[0051] 부분적으로는 통과하고 부분적으로는 반사하는 광학기기(508)가 레이저 광원(500)과 증폭기(506) 사이의 광 경로(502)에 배치되는 것이 도 5에 더 도시될 수 있다. 예를 들면, 광학기기(508)는 레이저 광원 출력의 75% 내지 99.9% 사이를 반사할 수 있다. 하나의 설정에서, 레이저 광원(500) 파워 및 광학기기(508) 반사율은 오실레이터로부터 증폭기(506)로 입사하는 광이 증폭기(506)에서 현저하게 이득을 격감시키지 않도록, 예를 들면 약 1-2kW를 초과하지 않도록 선택된다.

[0052] 도 5는 디바이스(14")가 빔경로(502)와 상호교차하는 경로 상에서 움직이는 일련의 액적을 전달하기 위해 배치되는 액적 생성기(92)를 포함한다. 이러한 상호교차 동안에, 액적 생성기로부터의 액적은 빔경로(502)를 따라서 광을 반사하고, 증폭기 챕버(506a-c)를 통과하는 광학 캐비티를 구축하기 위해 광학기기(508)와 함께 동작한다. 이러한 배치로, 광학기기(508), 증폭기(506) 및 액적이 조합되어, 상기 액적이 하나의 미러(소위 플라즈마 미러 또는 기계적 q-스위치)로서 기능하는 소위 "자가-타겟팅" 레이저 시스템을 형성한다. 자가 타겟팅 레이저 시스템은 본문에 참조에 의해 그 전체 내용이 통합된, Attorney Docket 번호 2006-0025-01, "EUV 광원용 구동 레이저 전달 시스템"이라는 제하의, 2006년10월 13일 출원된, 공동 계류중인 미국 특허 출원 번호 제 11/580,414에 개시되고 주장된다.

[0053] 최소 손실로 증폭기(506)를 통과하여 전파하기 위해 필요한 파라미터에 대해 빔 크기와 다이버전스를 매칭하도록 조정된 선택적인 빔 확장 텔레스코프(510)가 제공된다. 또한, 선택적인 광 절연체(512)가 반사된 광으로부터 레이저 광원(500)을 보호하기 위해 사용될 수 있다.

[0054] 사용시, 레이저 광원(500)으로부터의 광은 반사 광학기기(508)를 통해 자가 지향된 "플라즈마 미러" 레이저 시스템의 메인 캐비티로 입사하여 레이저 광원(500)에 의해 생성된 회전 라인(들)에 대응하는 광자로 메인 캐비티를 채운다. 액적이 초점 렌즈(514)의 초점 영역을 통과해 지날때, 그것은 후방 반사를 생성하여 자가 지향된 "플라즈마 미러" 레이저 시스템의 고-강도 펄스를 시작한다. 캐비티는 이미 정확한 파장의 광자로 채워졌기 때문에, 효율적으로 이득을 추출하는 다중 라인 펄스가 생성된다.

[0055] 도 6은 도 3에 도시된 EUV 광원(10')에 사용하는 또다른 디바이스(14"로 라벨링된)의 실시예를 도시한다. 도 6은 디바이스(14'')가 레이저 오실레이터(600) 및 멀티패스 증폭기(602)를 포함하는 것을 도시한다. 예를 들면, 오실레이터(600)는 9.3-10.6 미크론 파장 대역에서 출력을 가지는 RF 연속 펌핑된 CO₂ 레이저가 될 수 있고, 증폭기(602)는 직렬로 배치된 하나 이상의 증폭기 챕버를 구비하고, 오실레이터(600)에 의해 출력된 파장을 가지는 광을 증폭하기 위해 조정된 이득 매체를 구비하는 RF 연속 펌핑된 고속 축 방향 흐름의 CO₂ 레이저가 될 수 있다.

[0056] 더 도시된 바와 같이, 오실레이터(600)는 완전히 반사하는 미러(604a, b)를 포함하고, 상기 미러(604a)는, 오실레이터 경로(608)를 따라 미러(604a)를 이동시켜 오실레이터 캐비티 길이(L₀)(미러(604a)와 미러(604b) 사이에서 도 6에 거리(a+b)로 도시된 바와 같이)를 선택적으로 조정하는 데에 사용될 수 있는, 예를 들면 압전 재료 및 전기-액추에이터와 같은, 전기-작동식(electro-actuatable) 소자(606)에 결합되어 동작한다.

[0057] 본문에 사용되는 바와 같이, "전기-작동식 소자"라는 용어와 그의 파생어는, 전압, 전기장, 자기장, 또는 그의 조합에 놓였을 때 디멘션 변화를 수행하는 재료 또는 구조를 의미하고, 압전 재료, 전기변형 재료, 및 자기변형 재료를 포함하지만, 그에 한정되는 것은 아니다.

[0058] 도 6을 다시 참조하면, 편광기(들) 및/또는 브루스터 윈도우 및/또는 프리즘 등이 미러(604a, b) 사이에서 진동하는 광이 제 1 편광 방향을 가지도록 오실레이터(600)에서 채용될 수 있다. 디바이스(14'')는 또한 예를

들면, 포켈스 셀(Pockel's cell) 또는 커셀(Kerr cell)과 같은, 전기-광학 스위치(610)를 구비하는 캐비티 편광기, 및 예를 들면, 오실레이터(600)에 의해 형성되는 제 1 편광 방향에 병렬로 정렬되는 통과축을 구비하는 박막 편광기와 같은 편광기(612)를 포함한다. 도시된 바와 같이, 편광기(612)는 거리 "a" 만큼 미러(604a)로부터 이격되고, 거리 "b" 만큼 미러(604b)로부터 이격될 수 있다. 따라서, 스위치에 전원이 차단되었을 때, 광이 미러(604a, b) 사이를 전후로 통과할 수 있고, 스위치에 전원이 공급될 때, 오실레이터 캐비티에서의 광은 회전되고, 편광기(612)에 의해 경로(614) 상으로 반사될 수 있다. 예를 들면, 광은 전기-광학 스위치(610)에 의해 90° 회전되어, 경로(614) 상으로 오실레이터(600)를 빠져나가는 광이 편광기(612)의 투과에 의해 형성되는 제 1 편광 방향에 직교하는 방향으로 편광될 수 있다.

[0059] 편광기(612)로부터 반사된 광은 거리 "c"를 지나서 예를 들면 오실레이터(600)에 의해 형성된 제 1 편광 방향에 병렬로 정렬된 통과 축을 가지는 박막 편광기와 같은, 또 다른 편광기(616)로 진행할 수 있다. 이러한 배치로, 오실레이터(600)에 의해 형성된 제 1 편광 방향에 직교하는 방향으로 편광된 편광기(612)로부터의 광이 도시된 바와 같이 증폭기 챔버(들)(602)를 통해 빼어있는 경로(618) 상으로 편광기(616)에 의해 반사된다.

[0060] 도 6에 도시된 배치는, 경로(618)를 따라서 있고, 거리 "d" 만큼 편광기(616)로부터 이격된 위상 지연 미러(PRIM)(620)를 더 포함하고, 상기 PRM(620)은 편광기(616)로부터 선형 편광된 광을 원형으로 편광된 광으로 변환하여 원형 편광된 광을 경로(624)를 따라서 있는 완전 반사 미러(622)로 지향시킨다. 도시된 바와 같이, 완전 반사 미러(622)는 PRM(620)으로부터의 거리 "e"에 배치되고, 경로(624)를 따라 입사하는 광을 다시 제 2 위상 지연을 일으키는 PRM(620)에 의해 다시 반사되는 경로(624)로 반사하도록 방향이 지어진다. 이러한 2개의 위상 지연으로, PRM(620)으로부터 편광기(616)로 진행하는 광은 90° 회전되어(편광기(616)로부터 PRM(620)으로 진행하는 광에 대해), 오실레이터(600)에 의해 형성되는 제 1 편광 방향에 병렬로 편광될 것이다. 이러한 편광 상태로, PRM(620)으로부터 편광기(616)로 진행하는 대부분의 광(작은 양의 누설을 제외한)이 편광기(616)에 의해 통과되고 경로(626)를 따라 디바이스(14")를 빠져나온다. 예를 들면, 기계적 초퍼 또는 음향-광학 모듈레이터 인, 선택적인 스위치(628)가 도시된 바와 같이 경로(614)를 따라 광의 통과를 선택적으로 제한하도록 경로(614)를 따라서 배치된다. 경로(626)를 따르는 광은 추가적인 증폭기 챔버(도시되지 않음)에 의해 더 증폭된다.

[0061] 상술한 바와 같이, PRM(620)과 편광기의 누설은 작은 양의 광(편광기(612)에 의해 형성된 제 1 편광 방향에 직교하는 방향으로 편광된)이 증폭기(602)로부터 경로(614)를 따라서 오실레이터 캐비티로 다시 누설되도록 허용 한다. 따라서, 스위치(610)에 전원이 공급되면, 이러한 광은 미러(604a 및 622) 사이에서 전후로 진동할 수 있을 것이다. 그 결과로서, 도 6에 도시된 배치는 2개의 광학 캐비티를 구축하는데; (a+b)와 동일한 길이(L_0)를 가진 미러(604a, 604b) 사이의 제 1 광학 캐비티와, 길이($L_{combined}=(a+2b+c+d+e)$)를 가진 미러(604a 및 622) 사이의 제 2 광학 캐비티를 구축한다.

[0062] 하기의 논의에서, 오실레이터(600)는 MO이고, 증폭기 챔버는 PA이다.

[0063] 하나의 동작 모드에서, 미러(604a)는 $L_{combined}=(N+x)*L_0$ (여기서, "N"은 정수이고, "x"는 예를 들면 0.4와 0.6 사이의 약 0.5)가 되도록 전기-작동식 소자(606)를 통해 이동될 수 있다. 예를 들면, 일반적인 시스템에 대해, 길이는 하기와 같이 될 수 있다: $a=176\text{cm}$, $b=10\text{cm}$, $c=260\text{cm}$, $d=746\text{cm}$, 및 $e=7\text{cm}$. 따라서, $L_{combined}=a+2b+c+d+e=176+2*10+260+746+7=1209\text{cm}$, $L_0=a+b=186\text{cm}$ 가 된다. 이 경우, $N=6$ 이고, $x=0.5$ 이다. 도 7은 오실레이터의 이득 대역폭(700), PA 모드(그의 모드(702a, b, c)가 라벨링된), 및 오실레이터 모드(그의 모드(704a, b, c)가 라벨링된)를 도시한다. 도 7에서의 화살표(706)는 오실레이터 모드의 주파수가 도 6에 도시된 전기-작동식 소자(606)를 이용하여 조정될 수 있음을 도시한다.

[0064] 상술한 디멘션에 대해, 오실레이터 단일 회전 라인의 이득 대역폭은 약 150MHz FWHM이다. 일반적인 오실레이터 캐비티 길이($L_0=186\text{cm}$)에 대해, 이는 80MHz 종축 모드 분리에 대응한다. 따라서, 오실레이터(600)의 이득 대역 내에 있는 MO 모드 중 최대가 될 수 있다. 도 7에 도시된 바와 같이, 3개의 모드 중 하나만(모드(706))이 PA 모드 중 하나(모드(702))와 동일한 주파수에서 이루어질 수 있다. 이웃하는 MO 모드(즉, 도 7에서의 모드(704a 및 704a'))는, 조건 $L_{combined}=(N+x)*L_0$ 때문에, 대응하는 PA 모드(MO 모드(704a)에 대해 702a' 및 702a"이고, MO 모드(704a')에 대해 702b' 및 702b") 사이에 있다. 그 결과로서, 모드(706)만이 PA에서 시팅될 수 있다.

[0065] 도 8은 스위치(628)(곡선(800)), 스위치(610)(곡선(802)), CO₂ 출력 펄스(곡선(804)) 및 PA가 시팅하는 대응하는 주기(화살표(806))의 동작을 도시하는 시간에 따른 시퀀스를 도시한다. 도시된 바와 같이, 곡선(800)은 스위치(628)가 비통과 상태(808a)에서 통과 상태(808b)로 최초에 스위칭되는 것을 도시한다. 통과 상태(808b)에

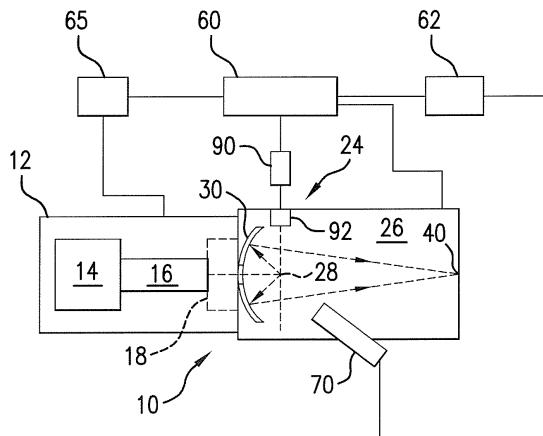
서의 스위치(628)로, 곡선(802)은 스위치(610)가 전원이 차단된 상태(810a)에서 전원이 공급된 상태(810b)로 스위치되고, 오실레이터 캐비티에서 광을 회전시키고, 광을 PA로 전송하여 CO₂ 출력 펄스(곡선(804))를 야기하는 것을 도시한다.

[0066] 도 9는 도 3에 도시된 EUV 광원(10')에서 사용하고, 도 6에 도시된 배치를 공통으로 하여 하나 이상의 컴포넌트를 구비하고, 광학 거리 "c"의 길이가 조정가능한 디바이스(1014로 라벨링됨)의 또다른 실시예를 도시한다. 특히, 도 9는 상술되고, 도시된 바와 같이 배치된, 완전 반사 미러(1604a, b), 전기-작동식 소자(1606), 증폭기(1602), 편광기(1612, 1616), PRM(1620), 미러(1622) 및 스위치(1610, 1628)를 구비한 레이저 오실레이터(1600)를 디바이스(1014)가 포함하는 것을 도시한다. 또한 도시된 바와 같이, 4개의 터닝 미러(1650a-d)가 편광기(1612)와 편광기(1616) 사이에서 광학 경로 길이를 따라서 설치되고, 미러(1650c 및 1650d)는 광학 길이(c)의 조정을 허용하기 위해 화살표(1652) 방향으로 이동가능하다. 이러한 배치로, 미러(1604a)는 전기-작동식 소자(1606)를 통해 이동되고 및/또는 미러(1650c, d)는, L_{combined}=(N+x)*L₀(여기서, "N"은 정수이고, "x"는 예를 들면, 0.4 내지 0.6 사이의 0.5), L_{combined}=(a+2b+c+d+e) 및 L₀=(a+b)가 되도록 이동될 수 있다.

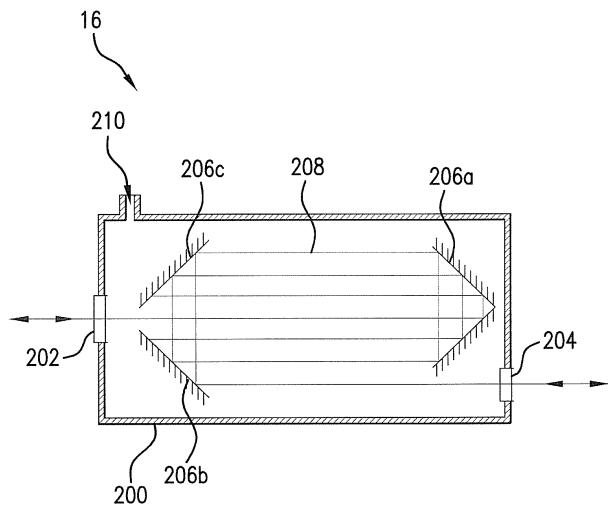
[0067] 35 U.S.C. § 112를 만족시키기 위해 요구되는 본 특허 출원에 상세히 기술되고 예시된 실시예(들)가, 상술한 실시예(들)에 대한 상술한 하나 이상의 목적을 달성하고, 그에 의해 문제점들을 해결하거나, 또는 그에 대한 이유들에 대한 목적을 완전히 달성할 수 있지만, 당업자는 상술한 실시예(들)가 단순히 예시, 실례, 및 본 출원에 의해 폭넓게 사용되는 본 발명의 대표적인 예임을 이해할 것이다. 하기 청구범위에서의 단수로된 엘리먼트에 대한 참조는 명시적으로 언급되지 않으면 "하나 및 하나만"으로 상기 청구범위의 엘리먼트를 번역하도록 의미하는 것이 의도되는 것이 아니고, 또한 그래서도 안되며, "하나 이상"으로 번역하도록 의도되고 의미한다. 당업자에 공지되거나 또는 추후에 공지될 상술한 실시예(들)의 엘리먼트 중 어느 하나에 대한 모든 구조적 및 기능적 등가물은 참조에 의해 명시적으로 본문에 통합되며, 본 청구범위에 의해 포함되도록 의도된다. 명세서 및/또는 청구범위에서 사용된 용어 및, 본 출원의 명세서 및/또는 청구범위에서 명시적으로 주어진 의미는 상기 용어에 대해 사전상 또는 기타 공통으로 사용되는 의미에 관계없이, 상기 의미를 가져야 한다. 일 실시예로서 명세서에서 논의된 디바이스 및 방법이, 본 출원에서 논의된 각각의 그리고 모든 문제를 해결 또는 처리하고, 본 청구범위에 의해 그것이 포함되는 것이 의도되고 필수적인 것은 아니다. 본 개시물에서의 어떠한 엘리먼트, 컴포넌트, 또는 방법의 단계도 상기 엘리먼트, 컴포넌트 또는 방법의 단계가 명시적으로 청구범위에 언급되었는지 여부에 관계없이 공개될 것을 의도한 것은 아니다. 첨부된 청구범위에서의 어떠한 엘리먼트도, 상기 엘리먼트가 "~을 위한 수단"이라는 문구를 이용하여 명시적으로 언급되거나, 또는 방법의 청구범위의 경우에, 상기 엘리먼트가 "동작" 대신에 "단계"로서 언급되지 않는다면, 35 U.S.C. § 112, 6번째 조항에 따라 해석되지 않는다.

도면

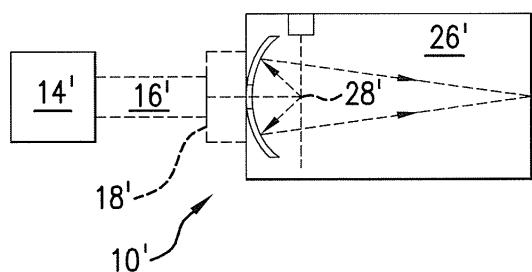
도면1



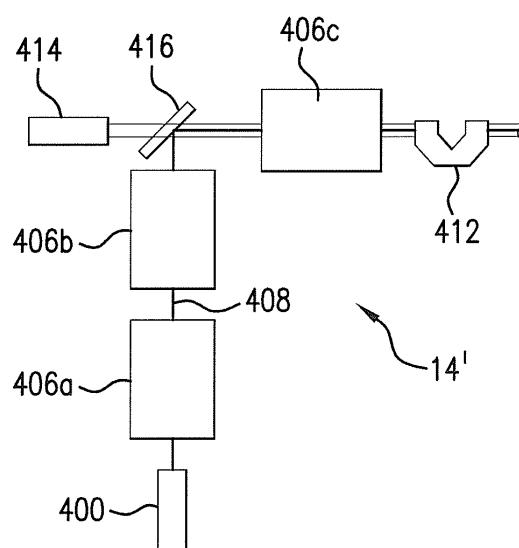
도면2



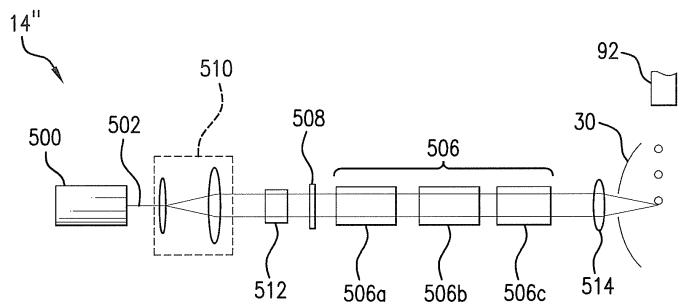
도면3



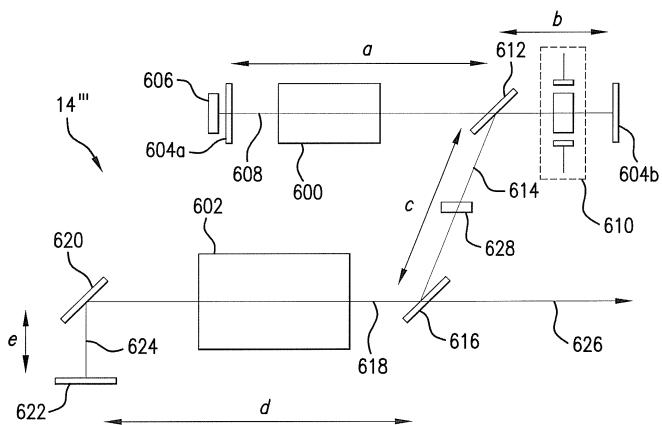
도면4



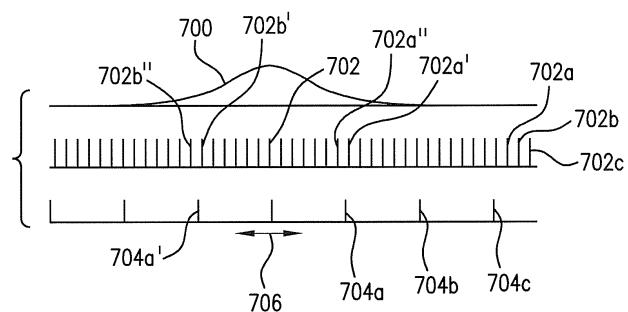
도면5



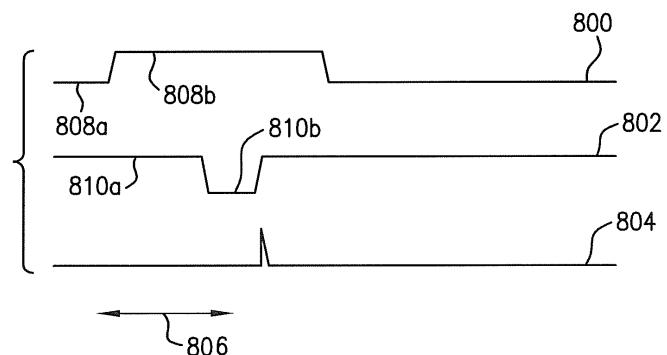
도면6



도면7



도면8



도면9

