



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0136471  
(43) 공개일자 2016년11월29일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H05G 2/00* (2006.01) *G03F 7/20* (2006.01)  
*H01L 21/027* (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
*H05G 2/001* (2013.01)  
*G03F 7/20* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2016-7032418(분할)
- (22) 출원일자(국제) 2008년02월01일  
심사청구일자 없음
- (62) 원출원 특허 10-2015-7004339  
원출원일자(국제) 2008년02월01일  
심사청구일자 2015년02월17일
- (85) 번역문제출일자 2016년11월21일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2008/001349
- (87) 국제공개번호 WO 2008/105989  
국제공개일자 2008년09월04일
- (30) 우선권주장  
60/903,643 2007년02월26일 미국(US)  
11/786,145 2007년04월10일 미국(US)

- (71) 출원인  
에이에스엠엘 네델란드 비.브이.  
네델란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
- (72) 발명자  
비카노프 알렉산더 엔.  
미국 캘리포니아 92128 샌 디에고 칼다스 데 레이  
에스 15648  
바워링 노르베르트 알.  
미국 캘리포니아 92127 샌 디에고 에이피티.242  
매튜린 드라이브 5393  
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인  
유미특허법인

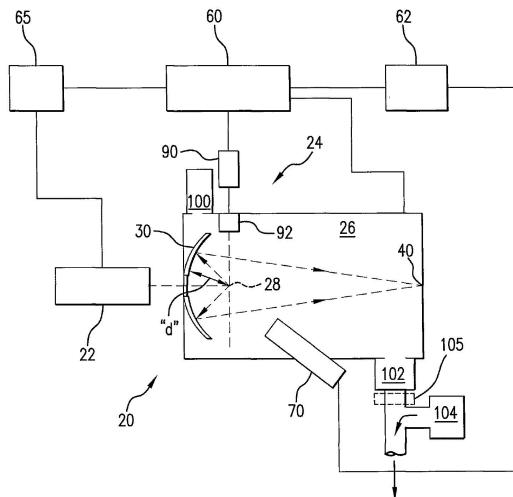
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 레이저 생성 플라즈마 EUV 광원

### (57) 요약

플라즈마 위치에서 플라즈마를 발생시키는 시스템을 포함할 수 있는 디바이스가 개시되고, 이 플라즈마는 플라즈마를 빠져나가는 EUV 방사선, 및 이온을 생성한다. 본 디바이스는 또한 상기 위치로부터 일정거리만큼 떨어져 있는 광학부재(예컨대, 다중 미러), 및 플라즈마와 광학부재 사이에 배치된 유동 가스를 포함할 수 있고, 이 가스는 이온이 광학부재에 도달하기 전에 이온 에너지를 미리 선택된 값 아래로 감소시키도록 상기 거리  $d$ 에 걸쳐 오퍼레이팅하기에 충분한 가스압력을 형성하고, 하나의 실시예에서, 가스는 수소를 포함하고, 특정 실시예에서, 가스는 부피비 50% 초과의 수소를 포함할 수 있다.

### 대 표 도



(52) CPC특허분류

**H01L 21/027** (2013.01)

(72) 발명자

**포렌코프 아이고르 브이.**

미국 캘리포니아 92129 샌 디에고 저널 웨이 14390  
브란트 테이비드 씨.

미국 캘리포니아 92026 에스콘디도 컨츄리 뷰 글렌  
2361

**에르쇼프 알렉산더 아이.**

미국 캘리포니아 92127 샌 디에고 미도우 플라워  
플레이스 11312

**코디킨 올레흐 브이.**

미국 캘리포니아 92127 샌 디에고 캐필라 로드  
11165

**파틀로 윌리엄 엔.**

미국 캘리포니아 92064 포웨이 페드리자 드라이브  
12634

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

챔버;

플라즈마 위치에서 플라즈마를 발생시키는 시스템;

상기 플라즈마 위치에서의 제1 초점 및 중간 초점을 가지고, 상기 플라즈마 위치로부터 거리  $d$ 만큼 떨어져 있는 광학부재; 및

상기 플라즈마와 광학부재 사이의 공간으로 유입되는 유동 가스를 포함하고,

상기 플라즈마는 상기 플라즈마를 빠져나가는 EUV 방사선 및 이온을 생성하고, 상기 제1 초점은 상기 광학부재와 상기 중간 초점 사이에 있고, 상기 광학부재와 상기 플라즈마 위치는 상기 챔버 내에 위치하고, 상기 유동 가스는 상기 플라즈마와 상기 광학부재 사이의 공간에, 상기 이온이 상기 광학부재에 도달하기 전에 이온 에너지를 100eV 미만으로 감소시키도록 상기 거리  $d$ 에 걸쳐 오퍼레이팅하기에 충분한 가스압력을 형성하고, 상기 가스는 부피비 50% 초과의 수소를 포함하는, 디바이스.

#### 청구항 2

챔버;

플라즈마 위치에서 플라즈마를 발생시키는 시스템;

상기 플라즈마 위치에서의 제1 초점 및 중간 초점을 가지고, 상기 플라즈마 위치로부터 거리  $d$ 만큼 떨어져 있는 광학부재; 및

상기 플라즈마와 광학부재 사이의 공간으로 유입되는, 할로겐을 포함하는 유동 가스를 포함하고,

상기 플라즈마는 상기 플라즈마를 빠져나가는 EUV 방사선 및 이온을 생성하고, 상기 제1 초점은 상기 광학부재와 상기 중간 초점 사이에 있고, 상기 광학부재와 상기 플라즈마 위치는 상기 챔버 내에 위치하고, 상기 유동 가스는 상기 플라즈마와 상기 광학부재 사이의 공간에, 상기 이온이 상기 광학부재에 도달하기 전에 이온 에너지를 100eV 미만으로 감소시키도록 상기 거리  $d$ 에 걸쳐 오퍼레이팅하기에 충분한 가스압력을 형성하고, 상기 가스는 부피비 50% 초과의 수소를 포함하는, 디바이스.

#### 청구항 3

제 1 항 또는 2 항에 있어서, 상기 유동 가스는 중수소를 포함하는, 디바이스.

#### 청구항 4

제 1 항 또는 2 항에 있어서, 상기 플라즈마는 주석(Sn)을 포함하는, 디바이스.

#### 청구항 5

제 1 항 또는 2 항에 있어서, 상기 광학부재는 다층 미러인, 디바이스.

#### 청구항 6

제 1 항 또는 2 항에 있어서, 상기 시스템은 상기 플라즈마를 발생시키는 소스 재료의 방울을 제공하는 방울 발생기, 및 상기 플라즈마를 만들기 위해 상기 방울을 조명하는 레이저를 포함하는, 디바이스.

#### 청구항 7

제 1 항에 있어서, 온디멘드(on-demand) 수소 발생 시스템을 더 포함하는, 디바이스.

#### 청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 유동 가스는 수소를 포함하고, 상기 디바이스는 배출되는 수소와 방출전 혼합하기 위한 희석 가스의 소스를 더 포함하는, 디바이스.

#### 청구항 9

제 1 항 또는 2 항에 있어서, 상기 유동 가스는 수소를 포함하고, 그 압력은 100mTorr 이상인, 디바이스.

#### 청구항 10

제 1 항 또는 2 항에 있어서, 상기 유동 가스의 유동 속도는 100sccm보다 큰, 디바이스.

#### 청구항 11

제 2 항에 있어서, 상기 할로겐은 브롬을 포함하는, 디바이스.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 출원은 '레이저 생성 플라즈마 EUV 광원'이란 제목의 2007년 4월 10일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/786,145호에 대한 우선권을 주장하고, 'EUV 광원'이란 제목의 2007년 2월 26일에 출원된 미국특허 출원번호 제60/903,643호에 대한 우선권을 주장한다.

[0002] 본 출원은 '극자외선 광원'이란 제목의 2003년 4월 8일에 출원된 미국특허 출원번호 제10/409,254호의 계속인, 동시계류중인 '극자외선 광원'이란 제목의 2005년 4월 14일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/107,535호의 일부 계속 출원이다.

[0003] 본 출원은 동시계류중인 '프리-펄스를 가진 레이저 생성 플라즈마 EUV 광원'이란 제목의 2006년 2월 21일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/358,988호, 동시계류중인 'EUV 플라즈마 소스 타겟 전달 방법 및 장치'란 제목의 2005년 2월 25일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/067,124호, 동시계류중인 'LPP EUV 플라즈마 소스 재료 타겟 전달 시스템'이란 제목의 2005년 6월 29일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/174,443호, 동시계류중인 미국특허 'EUV 광원용 소스 재료 디스펜서', 동시계류중인 '레이저 생성 플라즈마 EUV 광원'이란 제목의 2006년 2월 21일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/358,992호, 동시계류중인 'LLP EUV 광원 구동 레이저 시스템'이란 제목의 2005년 6월 29일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/174,299호, 동시계류중인 'EUV 광원용 대체 연료'란 제목의 2006년 4월 17일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/406,216호, 동시계류중인 'EUV 광원용 구동 레이저 전달 시스템'이란 제목의 2006년 10월 13일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/580,414호, 동시계류중인 '레이저 생성 플라즈마 EUV 광원'이란 제목의 2006년 12월 22일에 출원된 미국특허 출원번호 11/644,153호, 동시계류중인 'EUV 광학부재'란 제목의 2006년 8월 16일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/505,177호, 동시계류중인 'EUV 광원용 구동 레이저'란 제목의 2006년 6월 14일에 출원된 미국특허 출원번호 제452,501호, '긴 지연 및 하이 TIS 펄스 스트레처'란 제목의 2005년 8월 9일 웹 등에게 허여된 미국특허 제6,928,093호, '동조첨 펄스 스트레처'란 제목의 2006년 3월 31일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/394,512호, '라인 범으로 성형된 레이저와 기판에 중착된 필름 사이에 상호작용을 구현하는 시스템 및 방법'이란 제목의 2005년 5월 26일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/138,001호, '레이저 리소그래피 광원과 범 전달'이란 제목의 2002년 5월 7일에 출원된 미국특허 출원번호 제10/141,216호(현재, 미국특허 제6,693,939호), '매우 좁은 대역의 투챔버 고반복율 가스방전 레이저 시스템'이란 제목의 2003년 9월 23일에 노우레스 등에게 허여된 미국특허 제6,625,191호(출원번호 제10/012,002), '정밀한 타이밍 컨트롤과 주입 시드형 레이저'란 제목의 2003년 4월 15일에 네스 등에게 허여된 미국특허 제6,549,551호(출원번호 제09/848,043호), '매우 좁은 대역의 투챔버 고반복율 가스방전 레이저 시스템'이란 제목의 2003년 5월 20일에 미어 등에게 허여된 미국특허 제6,567,450호(출원번호 제09/943,343호), '레이저 생성 플라즈마 EUV 광원용 소스 재료 수집 유닛'이란 제목의 2006년 8월 25일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/509,925호에 관한 것이다.

[0004] 본 발명은 타겟 재료로부터 생성되고, 예컨대, 리소그래피 스캐너/스테퍼에 의해 EUV 광원 챔버의 외부 사용을 위한 중간 영역으로 수집되고 다이렉팅되는 플라즈마로부터 EUV 광을 제공하는 극자외선("EUV") 광원에 관한 것이다.

### 배경 기술

- [0005] 극자외선 광(예컨대, 대략 50nm 이하의 파장을 가지고, 대략 13.5nm의 파장의 광)을 포함하는 전자기 방사선(종종 소프트 X 레이이라고도 함)은 기판(예컨대, 실리콘 웨이퍼)에 초소형의 피쳐(feature)를 제조하기 위한 포토리소그래피 공정에서 사용될 수 있다.
- [0006] EUV 광을 발생시키는 방법은 하나의 재료를 EUV 범위 내에 하나 이상의 방출선을 가진 적어도 하나의 원소(예컨대, 크세논, 리튬, 또는 주석)를 가진 플라즈마 상태로 변환하는 것을 포함하지만, 반드시 이에 제한되지는 않는다. 레이저 생성 플라즈마("LPP")라 하는 하나의 이러한 방법에서, 요구되는 플라즈마는 레이저 빔으로 원하는 라인을 방출하는 원소를 가진 재료의 방울, 스트립, 또는 클러스터와 같은 타겟 재료를 조사(irradiating)함으로써 발생될 수 있다.
- [0007] 하나의 특수한 LPP 기술은 메인 펄스가 뒤따르는 하나 이상의 프리 펄스로 타겟 재료 방울을 조사하는 것을 포함한다. 이와 관련하여, CO<sub>2</sub> 레이저는 LPP 공정에서 "메인" 펄스를 발생시키는 구동 레이저와 같은 특정한 이점이 존재할 수 있다. 특히 이것은 용해된 주석 방울과 같은 특정한 타겟 재료에 대하여 그러하다. 예를 들어, 한가지 이점은 비교적 높은 변환 효율(예컨대, 구동 레이저의 입력 파워에 대한 출력 EUV의 대역내 파워의 비율)을 산출할 수 있는 능력을 포함할 수 있다.
- [0008] 더욱 이론적으로는, LLP 광원은 수십 eV의 전자 온도(electron temperature)를 가진 고도로 이온화된 플라즈마를 발생시키는 크세논(Xe), 주석(Sn), 또는 리튬(Li)과 같은 소스 원소에 레이저 에너지를 제공함으로써 EUV 방사선을 발생시킨다. 이러한 이온의 안정화(de-excitation) 및 재조합(recombination) 동안 발생된 에너지 방사선은 플라즈마로부터 모든 방향으로 방출된다. 하나의 일반적인 배열에서, 근수직 입사(near-normal-incidence) 미러(종종 수집 미러라 함)는 중간 위치로(예컨대, 초점으로) 광을 지향시키기 위해(그리고 몇몇 배열에서는, 포커싱하기 위해) 플라즈마로부터 일정한 거리에 위치된다. 그 다음, 수집된 광은 그 중간 위치에서부터 한 세트의 스캐너 광학부재, 및 최종적으로는 웨이퍼로 중계된다. 전형적인 설정에서, EUV 광은 광원 내에서 플라즈마에서부터 중간 위치까지 대략 1-2m를 진행해야 하고, 그 결과 특정한 환경에서는, 대역내 EUV 광의 비교적 낮은 흡수율을 가진 광원 챔버 내에 가스를 사용하는 것이 유리할 수 있다. 하나의 구성에서, 레이저 빔은 플라즈마 발생을 위해 방울 타겟에 수집 미러의 중앙 개구를 통해 포커싱될 수 있다. 그 다음, 뒷쪽으로 방출된 EUV 방사선은 수집 미러에 의해 근수직 입사 반사되고, 중간 위치로 지향된다. 이러한 구성의 한가지 장점은 미러의 후방으로부터의 온도 관리에 의해 컨트롤될 수 있는, 큰 열부하 용량, 및 낮은 변형 가능성을 가진 비교적 대형인 수집기 쉘이 채용될 수 있다는 점이다.
- [0009] 상기 서술된 구성에 대하여, 인터페이스 설계된 멀티층을 갖춘 그레이디드(graded) 고온 안정 코팅을 가진 수집 미러가 다양한 입사각에서 비교적 높은 EUV 반사력을 제공하기 위해 채용되는 것이 전형적이다. 이러한 근수직 입사(NI) 수집 미러는 우수한 열부하 용량은 물론, 높은 열 부하하에서 높은 이미지 충실도를 나타내는 경향이 있다. 다층(ML) 코팅은 또한 대역외(OOB, out-of-band) EUV 방사선의 실질적인 스펙트럼 필터링을 제공할 수 있다. 또한, ML 코팅은 쌓아 올려질(stack) 수 있거나 층의 개수가 증가될 수 있어, NI 수집기의 사용 수명을 연장하는 희생층(sacrificial layer)을 제공할 수 있다.
- [0010] 대량생산(HVM) 환경에서 사용하도록 설계된 EUV 광원에 대하여, 수집기 미러의 수명은 효율, 정지시간, 및 궁극적으로 비용에 영향을 주는 주요 파라미터이다. 동작중, 플라즈마의 부산물인 찌꺼기가 발생되고, 이는 수집기 미러 표면을 열화시킬 수 있다. 이러한 찌꺼기는 높은 에너지의 이온, 중성 원자, 및 타겟 재료의 클러스터 형태일 수 있다. 이러한 3가지 타입의 찌꺼기 중, 수집 미러 코팅에 가장 해로운 것은 전형적으로 이온 플럭스이다. 일반적으로, 상기 서술된 구성에 대하여, 수집기에 충돌(impinge)하는 방울 타겟으로부터의 중성 원자 및 클러스터의 양은 대부분의 타겟 재료가 수집기 표면으로부터 멀어지는 쪽으로 포인팅하는 방향으로(즉, 레이저 빔의 방향으로) 이동하기 때문에 작을 수 있다. 찌꺼기 완화 기술, 및/또는 수집기 세척 기술이 없다면, 타겟 재료, 및 오염물의 증착은 물론, 수집기 다층 코팅의 스퍼터링, 및 입사하는 입자의 부식으로 인해 미러의 반사율이 상당히 감소될 수 있다.
- [0011] 더욱 상세하게, 대략 수 keV의 에너지를 가진 이온의 표면과의 상호작용은 MLM 코팅의 재료의 부식을 야기한다. 하나의 연구에서, 백만 펄스당 ~0.2층의 부식률이 관찰되었다. 플라즈마로부터 방출된 에너지 입자의 충돌 동안 스퍼터링으로 인하여 이러한 층이 제거될 수 있다. 상기 지시된 바와 같이, 수집 미러 코팅은 희생 층을 포함하여 여전히 전체 EUV 반사율을 제공할 수 있다. 0.2층/Mpulse의 부식률과 500개의 희생층을 가정하면, 보호되지 않은 수집기는 대략  $2.2 \times 10^9$  펄스 동안에만 사용될 수 있을 것이며, 이는 50kHz의 반복율의 HVM 환경에서 대략 2일의 수명에 대응한다.

## 발명의 내용

- [0012] 상기 내용을 고려하여, 본 출원인은 이온-저지(stopping) 완충 가스를 갖춘 레이저 생성 플라즈마 EUV 광원, 및 이에 대응하는 사용 방법을 개시한다.
- [0013] 하나의 측면에서, 플라즈마 위치에서 플라즈마를 발생시키는 시스템을 포함할 수 있는 디바이스가 개시되고, 이 플라즈마는 플라즈마를 빠져나가는 EUV 방사선 및 이온을 산출한다. 본 디바이스는 또한 상기 위치로부터 거리  $d$ 만큼 떨어진 광학부재(예컨대, 다층 미러), 및 상기 플라즈마와 광학부재 사이에 배치된 유동(flowing) 가스를 포함할 수 있고, 이 가스는 이온이 광학부재에 도달하기 전에 이온 에너지를 100eV 아래로, 그리고 몇몇 경우에 30eV 아래로 감소시키도록 거리  $d$ 에 걸쳐 오퍼레이팅하기에 충분한 가스 압력을 형성한다. 이러한 형태의 하나의 실시예에서, 이 가스는 수소를 포함할 수 있고, 특수한 실시예에서 이 가스는 부피비 50% 이상의 수소를 포함할 수 있다. 이 가스는 중수소를 포함할 수 있다. 플라즈마는 Sn을 포함할 수 있다. 레이저는 이득 매체를 포함하고, 이 이득 매체는  $\text{CO}_2$ 를 포함할 수 있다. 가스, 플라즈마, 이득 매체에 대하여 다른 재료가 적절하게 채용될 수 있다.
- [0014] 이러한 측면의 하나의 배열에서, 본 시스템은 방울을 제공하는 방울 발생기, 및 플라즈마를 생성하기 위해 방울을 조사하는 레이저를 포함할 수 있다.
- [0015] 이러한 측면의 하나의 구성에서, 본 시스템은 챔버를 포함할 수 있고, 광학부재 및 플라즈마는 이 챔버 내에 배치될 수 있고, 가스는 챔버로 주입될 수 있고, 플라즈마 발생동안 챔버로부터 배출될 수 있다. 특수한 구성에서, 온디맨드(on-demand) 수소 발생 시스템, 및/또는 방출 이전에 배출되는 수소와 혼합하기 위한 희석 가스의 소스가 사용될 수 있다.
- [0016] 이러한 측면에 대해, 운영의 측면에서, 가스는 수소를 포함할 수 있고, 압력은 100mTorr보다 클 수 있다. 몇몇 구현 방법으로서, 100sccm 보다 큰 가스 유동 속도가 사용될 수 있다.
- [0017] 이러한 측면에 대한 하나의 설정에서, 광학부재(예컨대, 수집 미러)는 중간 위치로 EUV 광을 지향할 수 있고, 본 디바이스는 플라즈마와 이 중간 위치 사이에 배치될 수 있는 멀티 채널 압력 감소 구조를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 다른 측면에서, 플라즈마 위치에서 플라즈마를 빠져나가는 EUV 방사선 및 이온을 생성하는 플라즈마를 발생시키는 시스템, 플라즈마 위치로부터 거리  $d$ 만큼 떨어져 있는 광학부재, 및 할로겐을 포함하는 가스를 포함하고, 이온이 광학부재에 도달하기 전에 이온 에너지를 100eV 아래로, 그리고 몇몇 경우에 30eV 아래로 감소시키도록 거리  $d$ 에 걸쳐 동작하기에 충분한 가스 압력을 형성하도록 플라즈마와 광학부재 사이에 가스가 배치되는 디바이스가 개시된다. 하나의 특수한 실시예로서, 할로겐은 브롬을 포함할 수 있다.
- [0019] 다른 측면에서, 플라즈마 위치에서 플라즈마를 빠져나가는 EUV 방사선 및 이온을 생성하는 플라즈마를 발생시키는 시스템을 포함하고, 또한, 시스템은 펄스 성형기를 갖춘 조사 소스를 포함하는 디바이스가 개시된다. 이 측면에 대하여, 소스는 대응하는 성형되지 않은 빔보다 낮은 초기 이온 에너지를 가진 플라즈마를 생성하기 위해 타겟 재료를 조사하는 펄스 성형 빔을 만들 수 있다. 이 측면에 대하여, 본 디바이스는 플라즈마 위치에서부터 거리  $d$ 만큼 떨어져 있는 광학부재, 및 플라즈마와 광학부재 사이에 배치된 가스를 더 포함할 수 있고, 이 가스는 이온이 광학부재에 도달하기 전에 이온 에너지를 100eV 아래로, 그리고 몇몇 경우에 30eV 아래로 감소시키도록 거리  $d$ 에 걸쳐 동작하기에 충분한 가스 압력을 형성한다.
- [0021] 이러한 측면의 하나의 구현에서, 펄스 성형 빔은 적어도 하나의 프리 펄스 및 적어도 하나의 메인 펄스를 포함할 수 있다.
- [0022] 이러한 측면의 특수한 실시예에서, 펄스 성형기는 새츄러블 흡수기, 레이저 스팍크를 생성하는 광 배열, 펄스 스트레처, 및 펄스를 트리밍하도록 동작하는 서터 중 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0023] 다른 측면에서, 디바이스는 레이저 빔을 발생시키는 레이저 소스, 플라즈마를 형성하고 EUV 광을 방출하기 위해 조사 존에서 상기 레이저 빔에 의해 조사되는 소스 재료, 조사 존으로부터 거리  $D_1$ 만큼 떨어져 있는 중간 영역으로 EUV 광을 반사하기 위한 미러를 포함할 수 있다. 또한 이러한 측면에 대하여, 본 디바이스는 조사 존으로부터 소스 재료를 받도록 위치된 수용 구조를 더 포함할 수 있고, 이 수용 구조는 EUV 광이 미러로부터 중간 영역으로 진행하는 것을 허용하는 적어도 하나의 통로를 포함하도록 형성되고, 이 수용 구조는 중간 영역으로부터

거리  $D_2$ ( $D_1 > D_2$ )만큼 떨어져 있다.

[0024] 이러한 측면의 하나의 실시예에서, 수용 구조는 원뿔형 쉘을 포함할 수 있고, 특수한 실시예에서 원뿔형 쉘은 하나의 축을 형성하고, 수용 구조는 복수의 방사형으로 뻗은 날개 및/또는 원뿔형 쉘을 더 포함할 수 있다.

[0025] 이러한 측면의 하나의 실시예에서, 온도 컨트롤 시스템이 이 수용 구조를 위해 제공될 수 있고, 특수한 배열에서 소스 재료는 주석을 포함할 수 있고, 수용 구조의 적어도 일부분은 주석의 용융점보다 높은 온도로 유지될 수 있다.

[0026] 이러한 형태의 몇몇 실시예에서, 미러는 조사 존으로부터 거리  $d$ 만큼 떨어져 있을 수 있고, 유동 가스는 조사존과 미러 사이에 배치될 수 있고, 이 가스는 이온이 광학부재에 도달하기 전에 이온 에너지를 100eV 아래로, 그리고 몇몇 경우에 30eV 아래로 감소시키도록 거리  $d$ 에 걸쳐 동작하기에 충분한 가스 압력을 형성한다.

### 도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 레이저 생성 플라즈마 EUV 광원의 간단하고 개략적인 도면을 도시하고;

도 2a는 이온이 200mm의 거리  $d$ 에 걸쳐 50mTorr의 아르곤 가스 내에서 유의미하게 스캐터링되지만 멈추지는 않음을 도시하는 SRIM 소프트웨어를 사용하여 계산된 플롯을 도시하고;

도 2b는 이온이 170mm의 거리  $d$ 에 걸쳐 400mTorr의 수소 가스 내에서 (도 2A와 비교하여) 덜 스캐터링하고, 효과적으로 멈출 수 있음을 도시하는 SRIM 소프트웨어를 사용하여 계산된 플롯을 도시한다.

도 3은 플라즈마로부터 16.5cm의 거리에서 3가지 상이한 수소 압력에서 이온 정지를 도시하는 측정된 플롯을 도시하고;

도 4a는 도 3의 곡선(150)에서 볼 수 있는 바와 같은 초기 이온 에너지를 가진 이온에 대하여 수소 압력 대 플라즈마로부터의 16.5cm의 거리에서 최대 관찰된 에너지의 플롯을 도시하고;

도 4b는 수소 압력의 함수인 145cm의 거리  $d$ 를 통과한 후 대역내 EUV 신호, 및 플라즈마로부터 16.5cm의 거리에서  $\int I(E)dE$ 로 계산되는, 수소 압력과 이온 풀럭스의 함수인 이온 풀럭스를 도시하고;

도 4c는 SRIM 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 계산된 다양한 초기 이온 에너지에 대한 (수소, 및 헬륨 가스에 대한) 가스 압력의 함수인 이온 범위(cm)의 플롯을 도시하고;

도 4d는 챔버의 일부분에서의 압력을 감소시키고, 그로인해 압력 감소된 부분에서의 가스에 의한 EUV 광의 흡수율 감소시키는 압력 감소 구조를 가진 광원은 도시하고;

도 5a는 펄스 성형되지 않은 구동 레이저 펄스에 대한 이온 신호를 도시하고;

도 5b는 펄스의 트레일링 에지를 트리밍함으로써 펄스 성형된 구동 레이저 펄스에 대한 이온 신호를 도시하고;

도 5c는 하나의 펄스를 도시하고, 그 펄스의 일부분, 이온 풀럭스를 감소시키도록 트리밍될 수 있는 트레일 에지 부분을 나타내고;

도 6은 펄스 트리밍을 통해 성형된 펄스를 발생시키기 위한 배열을 도시하고;

도 7은 레이저 스파킹을 사용하는 펄스 트리밍을 위한 광 배열(400)을 도시하고;

도 7a는 세츄러블 흡수 재료를 사용하는 펄스 트리밍을 위한 광 배열(400)을 도시하고;

도 8은 프리-펄싱을 통해 성형된 펄스를 발생시키기 위한 배열을 도시하고,

도 9는 프리-펄스 및 메인 펄스가 모두 공통의 증폭기를 통과하는, 프리-펄싱을 통해 성형된 펄스를 발생시키기 위한 배열을 도시하고,

도 10은 오실레이터 유닛, 시간적 펄스 스트레처, 및 증폭 유닛을 포함하는 다른 실시예의 레이저 소스를 도시하고;

도 10a는 펄스 스트레처를 사용하여 획득될 수 있는 제1펄스 형상을 도시하고;

도 10b는 펄스 스트레처를 사용하여 획득될 수 있는 다른 펄스 형상을 도시하고;

도 10c는 펄스 스트레처를 사용하여 획득될 수 있는 또 다른 펄스 형상을 도시하고;

도 11은 방사 존에서부터 소스 재료를 받도록 위치된 수용 구조를 가진 EUV 광원의 개략적이고 부분적인 도면을 도시하고;

도 12는 도 11에 도시된 수용 구조의 상세도를 도시하고;

도 13은 도 12에서 라인 13-13을 따라 보여지는 수용 구조의 단면도를 도시하고;

도 14는 EUV 광원 내에 위치된 다른 실시예의 수용 구조를 도시하고;

도 15는 도 14에 도시된 수용 구조의 상세도를 도시하고;

도 16은 도 15에 도시된 라인 16-16을 따라 보여지는 수용 구조의 단면도를 도시한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028]

먼저 도 1을 참조하면, EUV 광원(예컨대, 하나의 실시예의 하나의 형태에 따른 레이저 생성 플라즈마 EUV 광원(20))의 개략적인 도면이 도시되어 있다. 도 1에 도시되고 아래에 더욱 상세하게 서술된 바와 같이, LPP 광원(20)은 일련의 광 펄스를 발생시키고 그 광 펄스를 챔버(26)로 전달하는 시스템(22)을 포함할 수 있다. 아래에서 서술된 바와 같이, 광 펄스는 조사 영역(28)에서 하나 이상의 타겟을 조명하기 위해 시스템(22)으로부터 챔버(26)로 하나 이상의 빔 경로를 통해 진행할 수 있다.

[0029]

또한 도 1에 도시된 바와 같이, EUV 광원(20)은 또한 방울이 하나 이상의 광 펄스(예컨대, 하나 이상의 프리 펄스 및 그 후 하나 이상의 메인 펄스)와 상호작용하고, 최종적으로 플라즈마를 생성하고, EUV 방출을 발생시키는, 챔버(26)내의 조사 영역(28)으로 타겟 재료의 방울을 전달하는 타겟 재료 전달 시스템(24)을 포함할 수 있다. 타겟 재료는 주석, 리튬, 크세논, 또는 이들의 조합을 포함하는 재료를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지는 않는다. EUV 방출 원소(예컨대, 주석, 리튬, 크세논 등)는 액체 방울, 및/또는 액체 방울 내에 포함된 솔리드 입자, 또는 EUV 방출 원소를 불연속적인 양으로 타겟 볼륨으로 전달하는 임의의 다른 형태일 수 있다. 예를 들어, 원소 주석은 순수한 주석, 주석 화합물(예컨대,  $\text{SnBr}_4$ ,  $\text{SnBr}_2$ ,  $\text{SnH}_4$ ), 주석 합금(예컨대, 주석-갈륨 합금, 주석-인듐 합금, 주석-인듐-갈륨 합금), 또는 이들의 조합으로 사용될 수 있다. 사용되는 재료에 따라, 타겟 재료는 상온 또는 거의 상온(예컨대, 주석 합금  $\text{SnBr}_4$ ), 상승된 온도(예컨대, 순수한 주석), 또는 상온 이하의 온도(예컨대,  $\text{SnH}_4$ )를 포함하는 다양한 온도에서 조사 영역(28)에 존재할 수 있고, 몇몇 경우에, 비교적으로 휘발성인, 예컨대,  $\text{SnBr}_4$ 일 수 있다. LPP EUV 소스 내에 이러한 재료의 사용에 관한 더욱 상세한 사항은 'EUV 광원용 대체 연료'란 제목의 2006년 4월 17일에 출원된, 계류중인 미국특허 출원번호 제11/406,216 호에 제공되어 있다.

[0030]

도 1을 계속 참조하면, EUV 광원(20)은 또한 광학부재(30)(예컨대, 몰리브덴, 및 실리콘의 교차층을 가진 등급화 다층 코팅을 가진 절단된 타원 형태의 수집 미러)를 포함할 수 있다. 도 1은 광학부재(30)가 시스템(22)에 의해 발생된 광 펄스가 통과하여 조사 영역(28)에 도달하게 하는 조리개와 함께 형성될 수 있음을 도시한다. 도시된 바와 같이, 광학부재(30)는, 예컨대, 조사 영역(28) 내에 또는 그 부근의 제1초점, 및 EUV 광이 EUV 광원(20)으로부터 출력되고, EUV 광을 사용하는 디바이스(예컨대, (도시되지 않은) 집적회로 리소그래피 틀)로 입력될 수 있는, 소위 중간 영역(40)에서의 제2초점을 가진 타원형 미러일 수 있다. 도시된 바와 같이, 광학부재(30)는 광학부재(30)의 가장 가까운 동작 포인트가 조사 영역(28)으로부터 거리  $d$ 만큼 떨어지도록 위치된다. EUV 광을 사용하는 디바이스로의 후속 전달을 위해 중간 위치로 광을 수집하고 지향하기 위해 타원형 미러를 대체하여 다른 광학부재가 사용될 수 있음을 이해해야 한다. 예컨대, 광학부재는 포물선형이거나, 중간 위치로 링 형상의 단면을 가진 빔을 전달하도록 구성될 수 있고, 예컨대, 2006년 8월 16일에 출원된 'EUV 광학부재'란 제목의 동시계류중인 미국특허 출원번호 제11/505,177호를 참조할 수 있다.

[0031]

본 명세서에서 사용된 바와 같이, "광학부재" 및 그 파생어는 입사 광을 반사하고 그리고/또는 전달하고 그리고/또는 오퍼레이팅하는 컴포넌트를 포함하지만 이에 제한되지는 않으며, 렌즈, 윈도우, 필터, 웨지, 프리즘, 그리즘(grism), 그레이딩(grading), 에탈론, 디퓨저(diffuser), 전송 섬유, 디텍터, 및 다른 기기 컴포넌트, 조리개, 스탑, 및 다층 미러, 근수직 입사 미러, 그레이징(grazing) 입사 미러, 정반사기(specular reflector), 및 디퓨즈 반사기를 포함하는 미러를 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다. 또한, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, "광학부재" 및 그 파생어는 EUV 광 출력 파장, 조사 레이저 파장, 측정하기 적합한 파장, 또는 임의의 다른 파장에서처럼, 하나 이상의 특정 파장 내에서만 동작하거나, 그 내에서 유리한 컴포넌트로 제한되고자 의미한 것은 아니다.

[0032]

도 1을 계속 참조하면, EUV 광원(20)은 또한 시스템(22) 내의 하나 이상의 램프 및/또는 레이저 디바이스를 트리거링(triggering)하는 방전 컨트롤 시스템(65)을 포함하고, 그로인해 챔버(26)로 전달하기 위한 광 펄스를 발생시키는 EUV 컨트롤러(60)를 포함할 수 있다. EUV 광원(20)은 또한, 예컨대, 조사 영역(28)에 상대적인 하나 이상의 방울의 위치를 나타내는 출력값을 제공하는 하나 이상의 방울 이미저(70)를 포함할 수 있는 방울 위치 탐지 시스템을 포함할 수 있다. 이미저(70)는 이러한 출력값을 방울 위치 및 궤적을 계산할 수 있고, 그 방울 위치 및 궤적으로부터 방울 에러가, 예컨대, 매 방울마다, 또는 평균적으로 계산될 수 있는 방울 위치 탐지 피드백 시스템(62)에 제공할 수 있다. 그 다음, 방울 에러는 소스 타이밍 회로를 컨트롤하기 위해, 그리고/또는 빔 위치조절 및 성형 시스템을 컨트롤하기 위해, 예컨대, 챔버(26) 내의 조사 영역(28)으로 전달되는 광 펄스의 초점 파워, 및/또는 위치를 변경하기 위해, 시스템(22)에 위치, 방향, 및/또는 타이밍 보정 신호를 제공할 수 있는 컨트롤러(60)에 입력으로서 제공될 수 있다.

[0033]

또한 도 1에 도시된 바와 같이, EUV 광원(20)은 컨트롤러(60)로부터의 신호(몇몇 구현에서 상기 서술된 방울 에러, 또는 그 방울 에러로부터 유도된 몇몇 크기값)에 응답하여, 예컨대, 원하는 조사 영역(28)에 도달하는 방울 내의 에러를 보정하기 위해 방울 전달 메카니즘(92)으로부터 타겟 재료의 릴리즈 포인트를 변경하도록 동작 가능한 방울 전달 컨트롤 시스템(90)을 포함할 수 있다.

[0034]

EUV 광원(20)에 대하여, 방울 전달 메카니즘(92)은, 예컨대 1) 디스펜서를 빼져나가는 하나 이상의 스트림의 방울, 또는 2) 디스펜서를 빼져나가고, 그 후 표면 장력으로 인해 방울로 나누어지는 하나 이상의 연속적인 스트림을 만드는 방울 디스펜서를 포함할 수 있다. 이러한 두가지 경우에, 방울은 생성되고 조사 영역(28)으로 전달되어, 하나 이상의 방울이 EUV 방출선을 발생시키기 위해 하나 이상의 연속적인 레이저 펄스(예컨대, 메인 펄스)에 노출하기 적합한 확대된 타겟을 형성하기 위해, 초기 펄스(예컨대, 프리-펄스)에 의해 동시에 하나 이상의 방울이 조사되는 것을 허용하는 조사 영역(28)에 동시에 존재할 수 있다. 하나의 실시예에서, 다공(multi-orifice) 디스펜서가 "샤워헤드 타입" 효과를 만들기 위해 사용될 수 있다. 일반적으로, EUV 광원(20)에 대하여, 방울 디스펜서는 변조식이거나 비변조식일 수 있고, 하나 이상의 방울 스트림을 생성하기 위해 타겟 재료가 통과하는 하나 또는 수개의 구멍을 포함할 수 있다. 상기 서술된 디스펜서에 관한 더욱 상세한 내용, 및 관련된 이점은 동시계류중인 '프리 펄스를 가진 레이저 생성 플라즈마 EUV 광원'이란 제목의 2008년 2월 21일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/358,988호, 동시계류중인 'EUV 플라즈마 소스 타겟 전달 방법 및 장치'란 제목의 2005년 2월 25일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/067,124호, 및 동시계류중인 'LLP EUV 플라즈마 소스 재료 타겟 전달 시스템'이란 제목의 2005년 6월 29일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/174,443호에서 찾을 수 있다.

[0035]

EUV 광원(20)은 광원(20)에 의해 발생된 EUV 광의 다양한 특성을 측정하기 위한 하나 이상의 EUV 측정 기기를 포함할 수 있다. 이러한 특성은, 예컨대, 강도(예컨대, 전체 강도, 또는 특정 스펙트럼 대역내의 강도), 스펙트럼 대역폭, 극성 등을 포함할 수 있다. EUV 광원(20)에 대하여, 이 기기는, 예컨대, 핏오프 미러를 사용하여, 또는 "수집되지 않은" EUV 광을 샘플링하는 것과 같이, EUV 광의 일부분을 샘플링함으로써, 다운스트림 툴(예컨대, 포토리소그래피 스캐너)이 온라인인 동안 동작하고, 그리고/또는, 예컨대, EUV 광원(20)의 전체 EUV 출력을 측정함으로써, 다운스트림 툴(예컨대, 포토리소그래피 스캐너)이 오프라인인 동안 동작하도록 구성될 수 있다.

[0036]

상기 지시된 바와 같이, 조사 영역(28)에서의 타겟의 조사는 플라즈마를 생성하고 EUV 방출선을 발생시킨다. 또한, 이 프로세스의 부산물로서, 전형적으로 모든 방향으로 플라즈마를 빼져나가는 이온이 생성될 수 있다. 일반적으로, 플라즈마를 빼져나가는 이온의 초기 에너지는 일정한 범위 상에서 다양할 것이고, 이러한 범위는 조사 광의 파장, 에너지, 강도 및 펄스 형상, 및 타겟 재료의 조성, 크기, 형상, 및 형태를 포함하지만 이제 제한되지 않는 다수의 요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 또한 상기 지시된 바와 같이, 이러한 이온은, 감소되지 않는다면, 미러, 레이저 입력 윈도우, 측정 윈도우, 필터 등과 같은, 주변의 광학부재를 열화시킬 수 있다.

[0037]

도 1은 유동 가스가 플라즈마(조사 영역(28))와 광학부재 사이에 배치될 수 있음을 보여주고, 이 가스는 이온이 광학부재에 도달하기 전에 이온 에너지를 타겟 최대 에너지 레벨로 감소시키도록, 거리 d에 걸쳐 오퍼레이팅하기 충분한 가스 압력을 형성한다. 예를 들어, 대략 10-200eV 사이, 그리고 몇몇 경우에 30eV 미만의 타겟 최대 에너지 레벨로 이온 에너지를 감소시키기에 충분한 가스 압력이 제공될 수 있다. 도 1에 도시된 디바이스의 동작에 대하여, 거리 d에 걸쳐 타겟 압력을 형성하는 유동 가스는 EUV 광 발생동안 존재될 것으로 생각된다. 적합한 가스 조성, 및 가스 압력을 선택함에 있어서 고려될 수 있는 요인은 가스 조성의 이온 정지 파워(예컨대, 대략 20cm의 거리에 걸쳐 대략 30eV 미만으로 이온을 감속시키는 파워), 및 (예컨대, EUV 광이 플라즈마로부터 수집 미러로, 그리고 중간 영역(40)으로 진행할 때, 1-2m의 거리에 걸쳐 수용가능한 대역내 EUV 흡수를 제공하

는) 압력의 함수인 가스의 EUV 흡수율을 포함한다.

[0038] 적합한 가스는 특정 어플리케이션에 따라 수소(예컨대, 50% 이상의 수소), 중수소, 헬륨, 및 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, 플라즈마로부터 대략 15cm의 거리 d, 및 최대 초기 이온 에너지를 가진 이온을 발생시키는 플라즈마에 대하여, 이온 에너지를 대략 30eV 미만으로 감소시키기 위해 적합한 가스는 대략 500 mtorr 압력의 수소 가스일 수 있다. ([www.srim.org](http://www.srim.org) 웹사이트에서 사용가능한) SRIM(Stopping and Range of Ions in Matter) 소프트웨어가 (초기 이온 에너지를 가진) 이온의 에너지를 선택된 에너지 아래로 감소시키기 위해 요구되는 (주어진 거리 d에 걸쳐 동작가능한) 가스 압력을 결정하기 위해 사용될 수 있다. 이 압력에서부터, 가스에 의한 예상 EUV 흡수율이 계산된다. 챔버로 주입된 가스가 세척/에칭, 및/또는 이온 감속에 효과적일 수 있는 이온, 예컨대, 수소 원소, 및/또는 수소 이온을 분리시키고, 그리고/또는 생성하기 위해 챔버 대기, 이온, 및/또는 플라즈마와 반응할 수 있음을 이해해야 한다.

[0039] 도 1은 또한 광원(20)이 챔버(26)로 가스를 주입하기 위한 통제된 가스 소스(100), 및 챔버(26)로부터 가스를 제거하기 위한 조절가능한 펌프(102)를 포함할 수 있음을 도시한다. 이러한 배열과 함께, 유동 가스는 광학부재(30)와 조사 영역(28) 사이에 배치될 수 있다. 챔버(26)로부터 가스의 제거는 열을 제거하고, 그로 인해 챔버(26) 내의 온도를 컨트롤하기 위해, 광학부재(30)의 온도를 컨트롤하기 위해, 그리고/또는 오염물, 증기, 금속 먼지 등을 챔버로부터 제거하기 위해 수행될 수 있다. 이러한 오염물들은 광 컴포넌트를 열화시키고, 그리고/또는 EUV 광을 흡수할 수 있다. 가스 소스(100) 및 펌프(102)의 컨트롤은 챔버(26) 전체에 선택된 가스 압력 및 선택된 유동 속도를 유지하도록 사용될 수 있다. 전형적으로, 선택된 유동 속도는 광원의 반복율, 및 EUV 출력 펄스 에너지에 의존할 것이다. 예를 들어, Sn 타겟, 및 조사 영역(28)로부터 15cm 위치에 광학부재(30)를 가진 CO<sub>2</sub> 레이저 시스템에 대하여, 대략 500mJ의 레이저 펄스 에너지, 및 10-100kHz 범위의 EUV 출력 반복율, 대략 100sccm 이상의 유동 속도가 채용될 수 있다.

[0040] 광원(20)에 대하여, 가스 소스(100)는 몇가지 가스(예컨대, H<sub>2</sub>, He, Ar, 및 HBr)를 각각 개별적으로 주입하거나, 또는 이를 가스는 혼합되어 주입될 수 있다. 또한, 도 1이 하나의 위치에서 가스가 주입되고 있음을 도시하고 있으나, 가스는 복수의 위치에서 주입될 수 있으며, 복수의 위치에서 제거될 수 있음을 이해해야 한다. 가스는 탱크를 통해 공급되거나, 국부적으로 생성될 수도 있다. 예를 들어, 가스 소스(100)는 온-디멘드 수소/중수소 발생기를 포함할 수 있다. 중성자 교환 막을 사용하여 물/중수(heavy water)로부터 수소/중수소를 추출하는 디바이스를 포함한 몇가지 타입이 사용가능하다. 예컨대, 이러한 디바이스는 'Domnick Hunter'에 의해 'Hydrogen Generator'란 상품명으로 시장에 판매되고 있으며, 그 세부내용은 '[www.domnickhunter.com](http://www.domnickhunter.com)' 웹사이트를 참조할 수 있다.

[0041] 사용되는 가스에 따라, 희석 가스의 소스(104)는 대기로 배출되기 전에 배출 가스를 희석시키기 위해 사용된다. 예를 들어, (4-25% 농도에서 폭발성이 있는) H<sub>2</sub>가 사용된 때, 배출전 H<sub>2</sub> 농도를 (일반적으로 4% 미만으로, 더욱 바람직하게는 0.4% 미만으로) 줄이기 위해 N<sub>2</sub>와 같은 희석 가스가 사용될 수 있다. 대안으로서, 또는 희석 가스의 사용과 더불어, 백금 촉매를 가진 촉매형 변환기가 수소를 물로 변환하기 위해 사용될 수 있다.

[0042] 이온 에너지를 감소시키기 위한 적합한 가스는 수소(경수소 및 중수소 동위원소), 헬륨, 및 이들의 조합을 포함하지만, 이에 제한되지는 않는다. 또한, 할로겐을 함유 가스와 같은 광학부재의 표면에 증착된 오염물을 제거하기 위한 세척/에칭 가스가 포함될 수 있다. 예를 들어, 에칠티 가스는 HBr, HI, Br<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, HCl, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들어, Sn 또는 Sn 화합물이 타겟 재료로 사용된 때 적합한 조성은 50-99% H<sub>2</sub>, 및 1-50% HBr을 포함할 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이 에칠티 가스 증기의 일부 또는 모두를 제거하기 위해 스크러버(105)가 제공될 수 있다.

[0043] 도 2a는 10keV의 초기 에너지를 가진 이온이 200mm의 거리 d에 걸쳐 50mTorr의 아르곤 가스 내에서 유의미하게 산개되지만, 정지되지는 않음을 보여주는 SRIM 소프트웨어를 사용하여 계산된 플롯을 도시한다. 한편, 도 2b는 10keV의 초기 에너지를 가진 이온이 대략 170mm의 거리 d에 걸쳐 400mTorr의 아르곤 가스 내에서 (도 2a와 비교하여) 덜 산개하고, 유효하게 정지될 수 있음을 설명하는 SRIM 소프트웨어를 사용하여 계산된 플롯을 도시한다.

[0044] 도 3은 3개의 상이한 수소 압력에서 정지하는 이온을 설명하는 측정된 플롯을 도시한다. 도시된 바와 같이, 수소 또는 임의의 다른 정지 가스없이, 이온 에너지의 분포는 최대 초기 이온 에너지가 대략 3keV임을 보여주는 곡선(150)에 의해 표현되어 있다. 이러한 이온들은 대역내 변환(예컨대, CE ~4.5%)을 위한 최적의 강도의 CO<sub>2</sub> 레이저 펄스로 평평한 Sn 타겟을 조사함으로써 발생된다. 측정은 조사 존으로부터 대략 16.5cm 떨어져 위치되

고, 입력 레이저 빔 축으로부터 대략 45도로 이온을 받도록 위치된 패러데이 컵('Kimball Physic'로부터의 모델 FC-73A)을 사용하여 수행되었다. 곡선(152)은 대략 3keV의 최대 초기 이온 에너지를 가진 이온에 대하여, 최대 이온 에너지가 120mTorr의 일정한 유동없는 수소 가스 내 16.5cm의 거리 d에 걸쳐 대략 1.5keV까지 감소됨을 보여준다. 곡선(154)은 대략 3keV의 최대 초기 이온 에너지를 가진 이온에 대하여, 최대 이온 에너지가 210mTorr의 일정한 유동없는 수소 가스 내 16.5cm의 거리 d에 걸쳐 대략 0.9keV까지 감소됨을 보여준다. 곡선(156)은 대략 3keV의 최대 초기 이온 에너지를 가진 이온에 대하여, 최대 이온 에너지가 290mTorr의 일정한 유동없는 수소 가스 내 16.5cm의 거리 d에 걸쳐 대략 0.25keV까지 감소됨을 보여준다. 도 3은 또한 3가지 수소 압력에 대하여 2m 경로에 걸쳐 계산된 EUV 투과율을 도시한다, 여기서 120 mTorr의 수소 가스는 96% 투과율을 가지고, 210 mTorr의 수소 가스는 93% 투과율을 가지고, 그리고 290 mTorr의 수소 가스는 90% 투과율을 가진다.

[0045] 도 4a는 조사 존으로부터 16.5cm 거리에 위치된, 입력 레이저 빔 축으로부터 대략 45도 각도의 패러데이 컵을 사용하여, 도 3의 곡선(150)에 도시된 바와 같은 초기 이온 에너지를 가진 이온에 대한 수소 압력 대 최대 관찰 에너지의 플롯을 도시한다. 도 4b는 수소 압력의 함수로서 145cm의 거리를 통과한 후 측정된 노멀라이징된 대역내 EUV 신호; 및  $\int I(E)dE$ 로 계산된 이온 플럭스와 수소 압력의 함수인 이온 플럭스를 도시한다. 도 4c는 (상기 서술된) SRIM 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 계산된 다양한 초기 이온 에너지 및 수소 및 헬륨 가스에 대한 가스 압력의 함수인 이온 범위(cm)의 플롯을 도시한다.

[0046] 상기 데이터는 수용가능한 레벨의 EUV 흡수와 함께, 대략  $10^4$ 만큼 이온 플럭스(즉, 에너지-집적 신호)를 억제하기 위해 사용될 수 있는 이온 완화 기술을 설명한다. 상기 지시된 바와 같이, 수집 미러 코팅은 적어도 대략 500개의 회생충을 가질 수 있고, 여전히 전체 EUV 반사율을 제공한다. (이온 완화없이) 백만 펄스당 0.2중의 측정된 부식율, 및 (상기 서술된 완화로 인한)  $10^4$ 의 억제 팩터를 감안하면 대량생산 환경에서 수집 미러의 대략 1년의 동작에 대응하는  $10^{12}$  펄스를 초과하는 수집기 수명이 추정된다.

[0047] 도 4d는 챔버(26')에 가스를 주입하기 위한 통제된 가스 소스(100'), 및 (필요하다면 희석 가스(104')와 함께) 챔버(26')로부터 가스를 제거하기 위한 조절가능한 펌프(102')를 포함할 수 있는 광원(20')을 도시한다. 소스(20')에 대하여, 가스는 이온이 광학부재(30')에 도달하기 전에 이온 에너지를 타겟 최대 에너지 레벨로 감소시키도록, (도 1에 도시된) 거리 d 상에서 오퍼레이팅하기에 충분한 가스 압력을 형성할 수 있다. 도 4d에 도시된 배열에 대하여, 압력 감소 구조(150)는 챔버(26')의 일부분(예컨대, 구조(150)와 중간 영역(40'))에서의 압력을 감소시키고, 그로인해 가스에 의한 EUV 광의 흡수를 줄이기 위해 제공될 수 있다. 도시된 바와 같이, 압력 감소 구조(150)는 조사 위치(28)와 중간 포인트(40') 사이에 배치될 수 있고, 광이 광학부재(30')로부터 중간 포인트(40')로 진행할 수 있게 하고, EUV 광 차단(obscurcation)을 최소화하도록 배열된 복수의 방사형, 및/또는 집중식 원뿔형 날개를 가진 멀티-채널 구조를 포함할 수 있다. 동시에, 구조(150)는 가스 유동에 유의미한 저항을 제공할 수 있고, 그러므로 이온 감속 가스 압력이 구조(150)와 광학부재(30') 사이의 체적에 위치될 수 있다.

#### 펄스 성형

[0049] 도 5a-b는 펄스 성형 빔으로 타겟을 조사함으로써 이온 플럭스가 감소될 수 있음을 도시한다. 이온 플럭스를 감소시키기 위해 펄스 성형을 사용하는 것은 특정 어플리케이션에 따라 단독으로 사용되거나, 또는 상기 서술된 바와 같은 이온 감속 가스의 사용, (감속 또는 디플렉팅 가스와 함께, 또는 그러한 가스없이) 포일(foil) 쉴드의 사용, 및 이온을 디플렉팅하고 감속시키기 위한 전기장 및/또는 자기장의 사용과 같은 하나 이상의 다른 이온 완화 기술과 함께 사용될 수 있다. 도 5a는 성형되지 않은 펄스에 대한 이온 신호를 도시하고, 도 5b는 펄스의 트레일링 에지를 트리밍함으로써 펄스 성형된 구동 레이저 펄스에 대한 이온 신호를 도시한다. 도 5c는 펄스 트리밍을 도식적으로 도시한다. 여기에 도시된 바와 같이, 펄스(202) 과형의 트레일 에지부(200)는 EUV 방출선을 생성하고 그 후 이온 플럭스를 감소시키기 위해 순차적으로 타겟을 조사하는 성형된 펄스를 생성하도록 아래에 서술된 기술 중 하나의 기술을 사용하여 트리밍될 수 있다. 도 5c가 트레일링 에지의 트리밍을 도시하고 있으나, 리딩 에지 또한 EUV 방출선을 생성하고 이온 플럭스를 감소시키기 위해 타겟을 순차적으로 조사하는 성형된 펄스를 생성하도록 트리밍될 수 있다.

[0050] 도 6은 이온 플럭스를 감소시키는 펄스 트리밍을 통해 펄스 성형 빔을 생성하기 위해 채용될 수 있는 하나의 배열을 도시한다. 여기에 도시된 바와 같이, 광 펄스를 발생시키고, 그 광 펄스를 챔버(26')로 전달하는 시스템(22')은 레이저 펄스(예컨대, 각각의 펄스가 펄스 지속시간(duration)을 가진 메인 펄스)를 발생시키는 디바이스(326)(예컨대, 오실레이터), 및 하나 이상의 증폭 챔버를 갖춘 증폭기(327)를 포함할 수 있다. 몇몇 실시예

에 대하여, 디바이스(326)는 또한 프리-펄스를 제공할 수 있고, 또한 (도시되지 않은) 개별 디바이스가 프리-펄스를 제공하기 위해 포함될 수 있음을 이해해야 한다. 도시된 바와 같이, 시스템(22')은 또한 오리지널 펄스의 시간 부분(temporal portion)만이 타겟 재료를 조명하기 위해 조사 영역(28')으로 전달되도록 펄스를 변경하도록(예컨대, 트리밍하도록) 동작가능한 셔터(328)를 포함할 수 있다.

[0051] 도 6은 또한 이 배열이 펄스 트리밍을 검증하거나 컨트롤하기 위한 컨트롤 루프(예컨대, 피드백 루프) 내에 사용하기 위한, 패러데이 컵 또는 다른 이온 에너지 미터와 같은 옵션의 측정 기기(94')를 포함할 수 있음을 보여준다(점선으로 도시된 기기(94'), 및 그 연결은 그것이 옵션의 커모넌트임을 나타내는 것이다). 대안으로서, 펄스 트리밍은 컨트롤된 오픈 루프일 수 있고(즉, 컨트롤되지 않을 수도 있고, 예컨대, 일정한 펄스 트리밍이 채용될 수 있고), 그러므로 측정 기기는 이러한 구현을 위해 필요하지 않을 수 있다. 도시된 옵션의 배열에 대하여, 컨트롤러(60')는 측정 기기(94')로부터 신호, 예컨대, 피드백 신호, 예컨대 이온 에너지, 이온 플럭스 또는 최대 이온 에너지를 나타내는 신호를 수신하고, 그 다음 셔터(328)와 통신한다.

[0052] 도 6에 도시된 EUV 광원에 대하여, (개략적으로 도시된) 셔터(328)는 예컨대, 나노초 범위의 시간 응답을 가진 전기-광 스위치(예컨대, 포켈(Pockel) 또는 케르 셀(Kerr cell)), 및 편광기를 포함할 수 있다. 예를 들어, 디바이스(326)(예컨대, CO<sub>2</sub> 레이저 디바이스)는 디바이스(326)를 빠져나가는 광이 주 편광 방향을 가지도록 하는 편광기 및/또는 브루스터(Brewster) 원도우를 채용할 수 있다. 이러한 배열과 함께, 셔터는 디바이스(326)에 의해 형성된 주 편광 방향에 수직으로 배열된 전달축을 가진 전기-광 스위치 및 편광기를 포함할 수 있다. 그러므로, 스위치가 활성화된 때, 광은 디바이스(326)로부터 조사 영역(28')으로 통과할 수 있다. 한편, 스위치가 비활성화된 때, 디바이스(326)를 빠져나가는 광의 편광이 회전되고, 편광기에 의해 (조사 영역(28')으로 이끄는 범 경로로부터 멀어지도록) 반사되거나 그리고/또는 흡수된다. 도 6에 도시된 배열의 한가지 특징은 셔터(328)가 증폭기(327)의 업스트림에 위치될 수 있어, 셔터(328)에서의 비교적 낮은 레이저 광 강도로 인해 몇몇 어플리케이션에 유리할 수 있다는 점이다.

[0053] 도 6에 도시된 디바이스(22')로 사용하기 적합한 레이저는 펄스식 레이저 디바이스, 예컨대, 비교적 높은 파워(예컨대, 10kW 이상), 및 높은 펄스 반복율(예컨대, 50kHz 이상)로 동작하는, DC 또는 RF 여기되는, 예컨대, 9.3 μm 또는 10.6 μm의 방사선을 발생시키는 펄스식 가스방전 CO<sub>2</sub> 레이저 디바이스를 포함할 수 있다. 하나의 특수한 구현에서, 레이저는, 멀티 스테이지의 증폭을 가진 MOPA 구성을 가지고 또한 낮은 에너지 및 높은 반복율의(예컨대, 100kHz로 동작가능한) Q-스위치식 마스터 오실레이터(MO)에 의해 개시되는 시드 펄스를 가지는, 축류의(axial-flow) RF 펌프식 CO<sub>2</sub>일 수 있다. 그 다음, MO로부터, 레이저 펄스는 LPP 챔버로 들어가기 전에 증폭되고, 성형되고, 그리고 포커싱될 수 있다. 연속 펌핑식 CO<sub>2</sub> 증폭기가 시스템(22')용으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 하나의 오실레이터 및 3개의 증폭기(O-PA1-PA2-PA3)를 가진 적절한 CO<sub>2</sub> 레이저 디바이스는 동시계류 중인 'LPP EUV 광원 구동 레이저 시스템'이란 제목의 2005년 6월 29일에 출원된 미국특허 출원번호 제11/174,299호에 개시되어 있다.

[0054] 어플리케이션에 따라, 다른 타입의 레이저가 적합할 수 있는데, 예를 들어, 높은 파워 및 높은 펄스 반복율에서 동작하는 액시머 또는 분자 플루오르 레이저가 적합할 수 있다. 예는 섬유 또는 디스크 형상의 액티브 매체를 가진 솔리드 스테이트 레이저, 예컨대, 미국특허 제6,625,191호, 제6,549,551호, 및 제6,567,450호에서 볼 수 있는 바와 같은 MOPA 구조의 액시머 레이저 시스템을 포함하고, 하나 이상의 챔버(예컨대, 하나의 오실레이터 챔버, 및 하나 이상의 증폭 챔버)(증폭 챔버는 직렬이거나 병렬일 수 있다)를 가진 액시머 레이저 마스터 오실레이터/파워 오실레이터(MOPA) 배열, 파워 오실레이터/파워 증폭기(POPA) 배열, 또는 하나 이상의 액시머 또는 분자 플루오르 증폭기 또는 오실레이터 챔버를 시팅하는 솔리드 스테이트 레이저가 적합할 수 있다. 다른 설계도 가능하다.

[0055] 도 7은 미리 선택된 강도 이상의 광이 초점 스폿(406)에서 스파킹하여, 시준 광학부재(408)에 도달하지 않게 하기 위해 가스 환경(예컨대, 공기) 내에서 초점 스폿(406)에 펄스 광빔(404)을 포커싱하는 제1광학부재(402)를 가진 펄스 트리밍을 위한 광 배열(400)을 도시한다. 도시된 배열에 대하여, 동초점 렌즈 쌍이 포커싱하고, 시준하기 위해 사용되지만, 다른 광학 배열이 적합할 수도 있음을 이해해야 한다. 이 기술은 펄스 피크를 포함하는 펄스의 일부분을 트리밍하는 것을 가능하게 하고, 또는 이 기술은 펄스 피크를 포함하지 않는 펄스 부분을 트리밍하도록 구성될 수도 있다.

[0056] 도 7a는 소스(502)로부터의 펄스 열이 적절한 새츄러블(saturable) 흡수 재료 셀(504)을 통해 패싱되는 펄스 트리밍을 위한 다른 광 배열(500)을 도시한다. 예를 들어, CO<sub>2</sub> 레이저로부터의 10.6 μm의 레이저 광에 적합한 새

세츄러블 흡수 재료는 SF<sub>6</sub> 가스일 수 있다. 옵션으로서, 도 7에 도시된 동초점 렌즈 쌍과 같은 광 배열은 세츄러블 흡수 재료 셀(504) 내의 강도를 최적화하기 위해 사용될 수 있다.

[0057] 각각의 배열(400, 500)은 각각의 펄스 후 가스(스파킹 가스 또는 세츄러블 흡수 가스)를 리프레쉬(refresh)하기 위해, 특히 높은 EUV 광원 반복률에서, 유동 가스를 채용할 수 있음을 이해해야 한다. 또한, 복수의 증폭기를 가진 구동 레이저에 대하여, 배열(400, 500)은 제1증폭기 앞, 증폭기 사이, 또는 증폭기 체인의 다운스트림에 위치될 수 있다.

[0058] 도 8은 이온 플러스 감소를 야기하는 프리-펄싱을 통한 펄스 성형 빔을 발생시키기 위해 채용될 수 있는 배열을 도시한다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 용어 펄스 성형 빔은 (상기 서술된 바와 같은) 트리밍된 펄스, 및 타겟이 하나 이상의 프리-펄스에 의해 조사되고, 그 후 하나 이상의 메인 펄스에 의해 조사되는 프리-펄스, 메인 펄스 시퀀스를 포함하지만, 반드시 이에 제한되지는 않는다. 여기서 사용하기 위해, 프리-펄스 및 메인 펄스는 공통 레이저로부터 발생되거나, 상이한 레이저로부터 발생될 수 있고, 몇몇 경우에, 프리-펄스 및 메인 펄스는, 예컨대, 지연 경로를 사용하여 오퍼레이팅된 상이한 퍼크의 단일 펄스로 구성할 수 있다.

[0059] 도 8에 도시된 바와 같이, 시스템(22")은 각각 프리-펄스 및 메인 펄스를 발생시키기 위해 사용되는 2개의 개별 디바이스(1300, 1302)를 포함할 수 있다. 도 8은 또한 빔 결합기(1306)가 공통 빔 경로(1308)를 따라 디바이스(1300, 1302)로부터의 펄스를 결합시키기 위해 채용될 수 있음을 도시한다. 디바이스(1300)는, 예컨대, 인코더 어런트 광을 발생시키는 램프, 또는 레이저일 수 있다. 디바이스(1300)로 사용하기 적합한 레이저는 액시미, CO<sub>2</sub> 등과 같은 펄스식 가스 방전 레이저, 펄스식 솔리드 스테이트 레이저(예컨대, 디스크형 Nd:YAG) 등을 포함할 수 있다. 광 디바이스(1302)는 전형적으로 (상기 서술된) 레이저이고, 디바이스(1300)에 대하여 사용된 레이저와 상이한 타입의 레이저일 수 있다.

[0060] 도 8에 더 도시된 바와 같이, 디바이스(1300)는 조사 영역(28a)으로 전달되는 한 트레인의 프리-펄스(1310a,b)를 발생시킨다. 타겟 볼륨에서, 각각의 프리-펄스는 팽창된 타겟을 생성하기 위해 적어도 하나의 방울을 조사할 수 있다. 또한, 디바이스(1302)는 EUV 광 출력을 발생시키기 위해 조사 영역(28a)에서 또는 그 부근에서 각각 팽창된 타겟을 조사하기 위한 각각의 메인 펄스를 가진 한 트레인의 메인 펄스(1312a,b)를 발생시킨다.

[0061] 전부는 아니지만 일부의 배열에서, 이온 에너지는 (점선으로 옵션으로 도시된) 기기(94")에 의해 측정될 수 있고, 후속 "성형 펄스"의 형상을 변경하기 위해(즉, 일정하고 변하지 않는 펄스 형상을 사용하는 것의 대안으로서) 하나 이상의 프리-펄스 파라미터를 컨트롤하기 위해 피드백 컨트롤 투프 내에서 사용될 수 있다. 도 8에 도시된 이러한 광 배열에 대하여, 컨트롤러(60")는 신호, 예컨대, 피드백 신호, 예컨대, 이온 에너지, 이온 스펙트럼 등을 나타내는 신호를 기기(94")로부터 수신하고, 그 후 디바이스(1300, 1302) 중 하나 또는 모두를 독립적으로 트리거하기 위해 방전 컨트롤 시스템(65")과 통신하고, 그리고/또는 디바이스(1300)의 방전 전압을 컨트롤할 수 있다. 컨트롤러(60") 및 방전 컨트롤 시스템(65")은 개별 디바이스로 도시되어 있으나, 컨트롤러(60") 및 방전 컨트롤 시스템(65")은 공통 유닛으로 통합될 수 있고, 그리고/또는 하나 이상의 프로세서, 메모리 보드 등을 공유할 수도 있음을 이해해야 한다. 예를 들어, 프리-펄스 파라미터는 프리-펄스(1310a)와 대응하는 메인 펄스(1312a) 사이의 지연 시간( $\Delta t$ )일 수 있다. 이것은 디바이스(1300, 1302)에 대하여 트리거하는 시간을 컨트롤함으로써 달성될 수 있다. 대안으로서 또는 부가적으로, 프리-펄스의 펄스 에너지는 펄스 형상을 컨트롤하기 위해 변경될 수 있다.

[0062] 도 9는 프리-펄스의 트레인을 발생시키는 소스 및 메인 펄스의 트레인을 발생시키는 소스가 공통의 펄스 증폭기(1314)를 통과할 수 있는 시스템(22'')을 가진 다른 실시예를 도시한다. 이러한 설정에 대하여, 메인 펄스는 도시된 바와 같이, 4개의 챔버 O-PA1-PA2-PA3 아키텍처를 사용하여 발생될 수 있고, 각각 1316(오실레이터), 1318(PA1), 1320(PA2), 1314(PA3)로 지정되어 있다. 레이저 디바이스(1300')에 의해 발생된 펄스는 도시된 바와 같이, 조사 영역(28b)으로 전달되기 전에 증폭을 위해 PA(1314)를 통과할 수 있다. 3개의 증폭기가 도 9에 도시되어 있으나, 3개 이상의 증폭기, 및 하나의 증폭기가 시스템(22'')을 위해 특정될 수 있음을 이해해야 한다. 일정하고 변하지 않는 펄스 형상을 사용하기 위한 대안으로서, 옵션의 컨트롤러(60'')는 신호, 예컨대, 피드백 신호, 예컨대, 이온 에너지, 스펙트럼 등을 나타내는 신호를 측정 기기(94'')로부터 수신하고, 그 후 디바이스(1300'') 및/또는 오실레이터(1316)를 독립적으로 트리거하기 위해, 그리고/또는 디바이스(22'')에 의해 발생된 펄스 형상을 컨트롤하기 위해 방전 컨트롤 시스템과 통신한다. 이러한 방법으로, 프리-펄스 파라미터, 예컨대, 프리-펄스 및 대응하는 메인 펄스 사이의 지연 시간, 및/또는 프리-펄스의 펄스 에너지는 펄스 형상을 컨트롤하기 위해 변경될 수 있다.

- [0063] 도 10은 펠스 스트레처(2300)가 이온 플럭스를 감소시키는 성형 펠스를 발생시키기 위해 채용될 수 있는 배열을 도시한다. 도시된 바와 같이, 소스(2022')는 오실레이터 유닛(2200'), 일시적 펠스 스트레처/멀티플라이어(2300), 및 증폭 유닛(2202')을 포함할 수 있다. 도 10은 오실레이터 유닛(2200')과 증폭 유닛(2202') 사이에 위치된 펠스 스트레처(2300)를 도시하고 있으나, 펠스 스트레처(2300)는 (증폭 유닛이 더 높은 광 파워를 볼 수 있더라도) 증폭 유닛의 다운스트림에 위치될 수 있고, 또는 "성형 펠스"를 발생시키기 위해 단일 챔버 레이저와 함께 사용될 수 있다. 일시적 펠스 스트레처에 관한 더욱 상세한 내용은 2005년 8월 9일 웹 등에게 허여된 "긴 지연 및 고 TIS 펠스 스트레처"란 제목의 미국특허번호 제6,928,093호, 2006년 3월 31일에 출원된 "동초점 펠스 스트레처"란 제목의 미국 출원번호 제11/394,512호, 2005년 5월 26일에 출원된 "라인 범으로 성형된 레이저와 기판에 중착된 필름 사이의 상호작용을 구현하는 시스템 및 방법"이란 제목의 미국 출원번호 제11/138,001호, 및 "빔 전달과 레이저 리소그래피 광원"란 제목의 2002년 5월 7일에 출원된 미국 출원번호 제10/141,216호, 현재 미국특허 제6,693,939호에서 찾을 수 있다.
- [0064] 전형적으로, 이러한 광 펠스 스트레처/멀티플라이어는 적절한 범 스플리터 반사율 및 지연 경로 길이를 선택함으로써 스트레처를 빠져나가는 펠스 형상이 컨트롤될 수 있게 하는 지연 경로(2304)를 따라 범의 일부를 통과시키는 범 스플리터(2302)를 포함한다. 더욱 상세하게는, 펠스 스트레처(2300)는 일반적으로 (즉, 강도 vs. 시간의 플롯에서) 단일 피크를 가지는 입력 펠스를 수신하고, 복수의 시간적으로 이격된 피크를 가지는 펠스를 출력한다. 도시된 바와 같이, 스트레처(2300)는 실질적으로 비손실일 수 있다.
- [0065] 도시된 스트레처(2300)에 대하여, 범 스플리터(2302)의 반사율은 출력 피크의 상대적 크기에 영향을 줄 것이고, 지연 경로의 길이는 피크 사이의 시간 간격을 형성할 수 있다. 그러므로, 출력 펠스 형상은 범 스플리터 반사율, 및 지연 경로의 길이의 적절한 선택에 의해 설계될 수 있다.
- [0066] 몇몇 어플리케이션에 대하여 최적일 수 있는 하나의 특정 펠스 형상은 도 10a 및 10b에 도시된 바와 같이 더 큰 강도의 메인 펠스 피크가 뒤따르는 프리-펠스 피크를 포함한다. 더욱 상세하게, 도 10a는 범 스플리터의 반사율이 제2피크(2312)가 제1피크(2314)보다 강도가 더 크게 선택되고 지연 경로 길이는 처음 두 개의 피크가 시간  $t_1$ 만큼 떨어지도록 선택된 펠스 스트레처를 빠져나가는 펠스(2310)에 대한 형상을 도시한다. 설명을 위해, 도 10b는 범 스플리터의 반사율이 도 10a에 대응하는 범 스플리터와 대략적으로 동일하고, 제2피크(2312')가 제1피크(2314') 보다 강도가 더 크지만, 더 긴 지연 경로가 채용되어 두 피크가 시간  $t_2$ ( $t_2 > t_1$ )만큼 떨어져 있는 펠스 스트레처를 빠져나가는 펠스(2310')에 대한 형상을 도시한다. 한편, 도 10c는, 다시 설명을 위해, 범 스플리터의 반사율이 도 10a에 대응하는 범 스플리터보다 작고, 그러므로 제2피크(2312")가 제1피크(2314")보다 강도가 더 작은 펠스 스트레처를 빠져나가는 펠스(2310")에 대한 형상을 도시한다, 펠스(2310")에 대한 지연 경로 길이는 펠스(2310)에 대한 지연 경로 길이와 대략적으로 동일하여 피크 간격 시간  $t_3$ ( $t_3 = t_1$ )를 가짐을 이해해야 한다. 그러므로, 도 10a-c는 범 스플리터 반사율 및 지연 경로 길이를 변경함으로써 넓은 범위의 펠스 형상이 생성될 수 있음을 도시한다.
- [0067] 프리-펠스의 사용의 상세한 내용은 동시계류중인 "프리-펠스를 가진 레이저 생성 플라즈마 EUV 광원"이란 제목의 2006년 2월 21일에 출원된 미국 출원번호 제11/358,988호에서 찾을 수 있다.
- [0068] 도 11은 조사 존(3004)으로부터 소스 재료를 받도록 위치된 수용 구조(3002)를 가진 디바이스(3000)를 도시한다. 본 명세서에 서술된 바와 같이, 특정 어플리케이션에 따라, 수용 구조(3002)는 단독으로, 또는 상기 서술된 이온 감속 가스의 사용, (이온 감속 또는 디플렉팅 가스와 함께, 또는 없이) 포일 쉴드의 사용, 이온을 디플렉팅하거나 감속시키기 위한 전기장 및/또는 자기장의 사용, 및 (상기 서술된) 펠스형상 범의 사용과 같은 하나 이상의 짜꺼기 경감 기술과 결합하여 사용될 수 있다.
- [0069] 도 11에 도시된 바와 같이, 디바이스(3000)는 레이저 입력창(3010)을 통해 챔버(3008)로 들어가고, 플라즈마를 형성하고 EUV 광을 방출하도록 조사 존(3004)에서 소스 재료를 조사하는 레이저 범(3006)을 발생시키는 (도시되지 않은) 레이저 소스를 포함할 수 있다. 미러(3012)(예컨대, 다층 타원형 미러)는 챔버(3008) 내에 배치될 수 있고, 도시된 바와 같이, EUV 광을 중간 영역(3014)으로 지향하도록 위치된다. 중간 영역(3014)은 도시된 바와 같은, 초점 스포일 수 있고, 또는 미러(3012)의 형상 및 구성에 따라 몇몇 다른 형상을 가질 수 있다(예컨대, 링 형상의 단면 등을 가질 수 있다).
- [0070] 또한, 도 11은 수용 구조(3002)가 중간 영역(3014)으로부터 거리  $D_2$ 에 위치될 수 있고, 중간 영역(3014)은 조사 존(3004)으로부터 거리  $D_1$ 에 위치될 수 있음을 볼 수 있고, 도 11로부터  $D_1 > D_2$ 임을 확인할 수 있다. 도 11-13에

도시된 수용 구조(3002)의 특정 실시예에 대하여, 수용 구조(3002)가 축(3018)을 형성하는 원뿔형 쉘(3016)을 포함할 수 있고, 수용 구조(3002)는 복수의(이 경우 6개) 방사형으로 방향진 날개(3020)를 더 포함할 수 있다(네스팅된(nested) 원뿔형 날개를 도시하는 도 4d를 참조). 빔 스탑(3022)이 도시된 바와 같이 제공될 수 있다. 디바이스(3000)에 대하여, 빔 스탑(3022)은 수용 구조(3002)와 분리될 수 있고, 또는 수용 구조(3002)에 부착될 수 있고, 또는 수용 구조(3002)와 통합될 수 있다.

[0072] 도 11을 계속 참조하면, 온도 컨트롤 시스템(3024)은 수용 구조(3002)를 미리 선택된 동작 온도로(또는 미리 선택된 온도 범위 내로) 유지하도록 수용 구조(3002)를 가열 및/또는 냉각하기 위해 제공될 수 있다. 예를 들어, 물 또는 액체 갈륨과 같은 열교환 유체를 통과시키기 위해 수용 구조 내에 통로가 형성될 수 있다. 그 다음, 열교환 유체는 온도 컨트롤 시스템(3024) 내의 하나 이상의 가열 및/또는 냉각 서브시스템을 통과할 수 있다. 대안으로서 또는 부가적으로, 상기 서술된 외부 가열 및/또는 냉각 서브시스템, 하나 이상의 히터(예컨대, 저항형 히터) 등, 및/또는, 예컨대, 줄-톰슨 확장을 이용한 냉각 유닛이 수용 구조(3002) 내에 내장될 수 있다.

[0073] 디바이스(3000)의 동작에 있어서, 방울과 같은 타겟 재료는 플라즈마를 발생시키기 위해 하나 이상의 펄스에 의해 조사된다. 전형적으로, 조사된 타겟 재료는 빔 방향을 따라 이동하고, 넓은 입체각으로 퍼진다. 재료의 대부분은 또한 온도 컨트롤될 수 있는 빔 스탑(3022)에 의해 수집될 수 있다. 예를 들어, LPP 타겟 재료를 수집하고 지향하는 온도 컨트롤된 빔 스탑은 "레이저 생성 플라즈마 EUV 광원용 소스 재료 수집 유닛"이란 제목의 2006년 8월 25일에 출원된 동시계류중인 미국특허 출원번호 제11/509.925호에 개시되고 청구되어 있다.

[0074] 타겟 재료 조사의 부산물은 금속 먼지, 타겟 재료 증기, 및 미세(micro)-방울 또는 클러스터를 포함할 수 있고, 몇가지 형태일 수 있는데, 예컨대, 주석(예컨대, 순수한 주석), 또는 주석 화합물(예컨대,  $\text{SnBr}_4$ ,  $\text{SnH}_4$ ,  $\text{SnBr}_2$ ) 등이 소스 재료로서 사용된 때, 부산물은 주석 및 산화물을 포함한 주석 화합물을 포함할 수 있다. 예컨대, 수집 미리 부식 등으로 인한 먼지 및 다른 오염물이 또한 챔버 내에 존재할 수 있다. 이러한 부산물은 특히 광학부재를 손상시키고, EUV 방사선을 흡수/산란할 수 있다.

[0075] 제한하지 않는 예로서, 수용 구조(3002)는 액체, 및 고체(몇몇 경우에 재용융 고체), 및/또는 농축 증기가 수집되도록 기능할 수 있다.  $\text{Sn}$ 을 함유한 타겟 재료에 대하여, 수용 구조(3002)의 동작가능한 표면의 일부 또는 모두는  $\text{Sn}$ 의 용융점 보다 높은 온도(예컨대, 대략 230°C 초과의 온도)로 유지될 수 있다. 이러한 온도에서, 미세-방울은 수용 구조(3002)의 표면에 달라붙을 수 있고, 몇몇 경우에 중력에 의해 아래로 흘러내릴 수 있다. 고체화된 금속 먼지는 재용융될 수 있고, 용융된 재료는 아래로 흘러내릴 수 있다.  $\text{Sn}$ 의 화합물(예컨대, 산화물)은 또한 액체 유동에 의해 트랩되고, 챔버로부터 제거될 수 있다. 수용 구조(3002)는 액체 금속을 표면으로부터 액체 금속이 수집되는 바닥으로 지향하기 위해 (도시되지 않은) 내부 연결된 채널을 가질 수 있다. 이러한 채널의 위치 및 방향은 수용 구조(3002) 상에서 액체의 적절한 흐름을 보장하기 위해 EUV 소스 방향에 상대적으로 구성될 수 있다(예컨대, 광원 축은 수평에 비해 대략 28도 기울어질 수 있다). 한편, 몇몇 어플리케이션에서 수용 구조(3002)의 동작가능한 표면의 일부 또는 모두는 ( $\text{Sn}$ 을 함유한 타겟 재료에 대하여)  $\text{Sn}$ 의 용융점 아래의 온도로(예컨대, 대략 230°C 미만으로) 유지될 수 있다. 이러한 온도에서, 응축이 촉진되고, 액체 및 고체는 수용 구조(3002) 상에 축적되는 것이 가능하게 될 수 있다.

[0076] 수용 구조(3002)는 또한 챔버 내에 존재하는 증기(예컨대,  $\text{Sn}$  증기)를 응축시키는 냉각 트랩으로 기능할 수 있다. 아래의 표는 다양한 온도에서의  $\text{Sn}$  증기압을 보여준다.

온도, C	400C	500C	600C
증기압, torr	$4.4 \times 10^{-15}$	$3.6 \times 10^{-12}$	$6.3 \times 10^{-10}$

[0077] [0078] 디바이스(3000)의 전형적인 동작은 수용 구조(3002)를 250-500°C로 유지하는 것을 포함한다.  $\text{Sn}$  증기 평형압은 대략  $10^{-11}$  Torr보다 작은 것으로 추정될 수 있다. 디바이스(3000)에 대하여, 수용 구조(3002)를 통과하는  $\text{Sn}$  증기는 수용 구조(3002)의 벽으로 확산할 수 있고, 증기압이 주어진 온도에서 평형압보다 낮다면 그 벽 위에서 응축될 수 있다.

[0079] 그 벽 위에서의 응축으로 인한 증기 농도의 감쇠는 일반적으로 종횡비에 의해 정의된다. 유한한 폭, 농도, n을 가지고, 평평하고, 공간적으로 떨어진 평행한 판에 대하여, 판 길이의 함수 n은 아래의 식으로 서술된다.

$$[0080] n = n_0 e^{-\frac{\pi x}{2a}} \cos\left(\frac{\pi y}{2a}\right) \quad (1)$$

[0081] 여기서,  $n_0$ 는 입구에서의 증기 농도이고,  $x$ 는 채널을 따른 좌표이고,  $a$ 는 관 사이의 거리이다. 이 코사인 함수는 방사형 프로파일을 설명한다. 실린더 채널에 대하여, 분포는 다음과 같이 서술된다.

$$[0082] n(x, r) \approx n_0 e^{-\frac{2.4x}{R}} J_0\left(\frac{2.4r}{R}\right) \quad (2)$$

[0083] 여기서,  $R$ 은 실린더 반지름이고, 방사형 분포는 베셀 함수  $J_0$ 로 서술된다. 그러므로, 관 및 실린더 모두에 대하여, 지수( $e$ )의 높은 종횡비,  $x/a$  또는  $x/R$ 이 큰 종횡비의 경우에 관 또는 실린더의 길이를 따른 증기압의 큰 감쇠를 야기한다. 이 분석으로부터, 도 11-16에 도시된 수용 구조(3002, 3002')에 대하여, 증기압 감쇠는 방사 방향의 날개(3020, 3020') 사이의 공간에 따를 것임을 이해해야 한다.

[0084] 도 11은 EUV 광 사용 툴(예컨대, (도시되지 않은) 리소그래피 스캐너)이 최소 NA 각(3026)과 최대 NA 각(3028) 사이의 EUV 광만을 사용함을 도시한다. 이러한 툴에 대하여, 수용 구조(3002)는 수용 구조(3002)의 중심부(3030)가 최소 NA 각(3026) 이내에 위치되고, 원뿔형 웰(3016)이 최대 NA 각(3028)에, 또는 그 부근에, 또는 그 바깥쪽에 배치되도록 하는 크기, 및 구성일 수 있다.

[0085] 전형적으로, 디바이스(3000)에 대하여, 상당량의 재료는 입체각(3031)을 벗어나 흘어질 수 있고, 그러므로 빔 스탑(3022)을 지나지 않을 수 있고, 입체각(3031)은 조사 영역(3004)으로부터 뺀어 교점(3034)에서 수용 구조(3002)에 도달하는 라인(3032)에 의해 도시된 바와 같이 한정된다. 또한 도시된 바와 같이, 수용 구조(3002)는 교점(3034)을 지나, 중간 영역(3014)을 향해 뺀을 수 있다. 그러므로, 수용 구조(3002)의 에지(3035)는 교점(3034)과 중간 영역(3014) 사이에 위치될 수 있다. 다른 끝에서, 수용 구조(3002)의 에지(3037)는 미러(3012)에 부착되거나, 그 부근에 위치될 수 있다. (도시되지 않은) 포트는 보조 장치(예컨대, 방울 발생기, 측정 장치 등)가 조사 존(3004)과 상호작용할 수 있게 하기 위해 제공될 수 있다.

[0086] 도 11은 또한 디바이스(3000)가 하나 이상의 가스를 주입하고 배출하기 위해 입력 포트(3036), 및 배출 펌프(3038a,b)(예컨대, 터보펌프)를 포함할 수 있음을 도시한다. 이러한 가스는 (상기 서술된 바와 같이) 이온을 감속시키기 위해, 그리고/또는 하나 이상의 광학부재(예컨대, 미러(3012))를 예칭/세척하기 위해, 그리고/또는 수용 구조(3002)에 의한 먼지/증기의 수집을 돋기 위해 사용될 수 있다.

[0087] 도 14-16은 (도 11-13에 도시된 수용 구조(3002)와 비교되는) 부가적인 방사형 날개(3020')를 포함하는 수용 구조(3002')의 다른 실시예를 도시한다. 이러한 부가적인 날개(3020')는 종횡비를 증가시키고, 최종적으로 수용 구조(3002')를 통한 증기 투과의 감쇠율을 증가시킨다. EUV의 몇몇 감쇠는 날개(3020')로 인해 잘 발생하지만, 이러한 작은 EUV 감쇠는 수용 구조(3002')가 날개(3020')로 가스 유동을 크게(high) 드래그(drag) 함으로 인한 전체 EUV 투과율의 이득 보다는 작을 수 있다. 이러한 '드래그'는 조사 존(3004')과 중간 영역(3014') 사이에 압력 차이를 만들 수 있다. 중간 영역(3014') 부근의 더 낮은 압력은 더 적은 EUV 흡수를 야기하고, 조사 영역(3004') 부근의 더 높은 압력은 이온을 감속시키고, 그리고/또는 광학부재(예컨대, 미러(3012'))를 예칭/세척하는데 유용할 수 있다. 수용 구조(3002')에 대하여, 스캐너 광학부재에 의해 형성된 가려진 영역 내에 위치될 수 있는 방사형 날개(3020')는 사용 가능한 EUV 광을 중간 영역(3014')에 도달하지 못하게 차단하는 것을 줄인다.

[0088] 도 14 및 15는 또한 수용 구조(3002')가 수용 구조(3002')로부터 개별적이거나, 수용 구조(3002')와 함께 통합적으로 형성될 수 있는 시일(3050)에 의해 챔버 벽에 실링될 수 있음을 도시한다.

[0089] 도 14는 또한 디바이스(3000')가 하나 이상의 가스를 주입하고 배출하기 위한 입력 포트(3036'), 및 배출 펌프(3038a',b')(예컨대, 터보펌프)를 포함할 수 있음을 보여준다. 이러한 가스는 (상기 서술된 바와 같은) 이온 감속을 위해, 그리고/또는 하나 이상의 광학부재(예컨대, 미러(3012'))를 예칭/세척하기 위해, 그리고/또는 수용 구조(3002')에 의한 먼지/증기의 수집을 돋기 위해 사용될 수 있다. 이러한 구조와 협력하여, 가스는 날개(3020')에 의해 형성된 수용 구조(3002') 내의 채널을 통해 흐를 것이다. (평균 자유 경로가 날개(3020')간 거리보다 적을 때인) 점성 있는 유동의 경우에, 수용 구조(3002')의 전면과 후면 사이의 압력 차이는 날개(3020')간 거리의 제곱에 반비례 할 것이다. 어떠한 거리에서, 대부분의 압력은 수용 구조(3002')로 떨어질 것이고, 이온을 정지시키기 위해 플라즈마 영역 내의 원하는 압력에서, 수용 구조(3002) 뒤쪽의 압력은 매우 작을 것이므

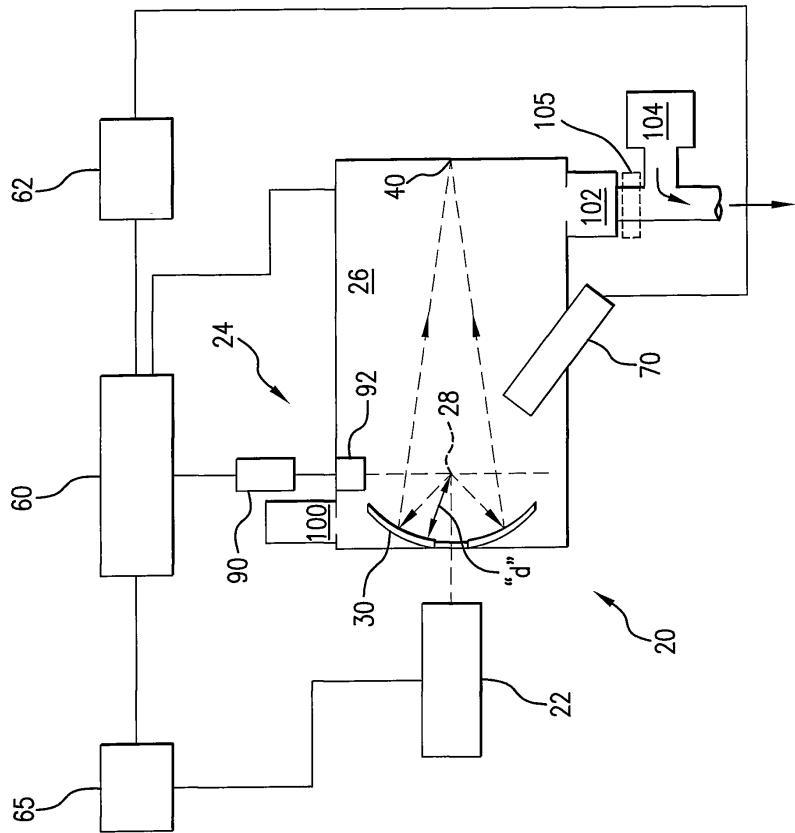
로, EUV의 전체 감쇠는 날개가 없을 때 보다 더 적을 수 있다. 날개의 길이(도 15에서 면쪽 예지(3052)의 위치)는 중간 영역(3014') 부근의 낮은 압력의 가스의 부피를 증가시키도록 최적화될 수 있다.

[0090]

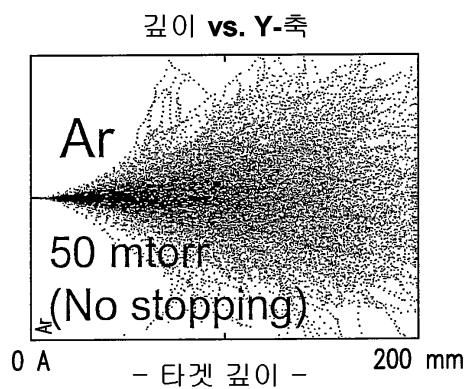
특허법의 발명의 상세한 설명의 기재요건을 충족시키기 위해 요구되는 세부사항에서 본 특허 출원에 서술되고 도시된 특정 실시예가 임의의 상기 서술된 목적, 임의의 다른 이유에 의해 해결되어야 할 문제, 또는 상기 서술된 실시예의 형태의 목적을 완전히 달성할 수 있으나, 상기 서술된 실시예는 본 출원에 의해 광범위하게 고려될 수 있는 본 발명의 예시, 설명 및 대표일 뿐임을 당업자들은 이해해야 한다. 아래의 청구항에서 단수인 구성요소에 대한 언급은, 분명하게 언급되어 있지 않다면, 그 청구 구성요소가 "하나 및 오직 하나"로 해석되고자 한 것이 아니라, "하나 이상의"로 해석되도록 의도된 것이다. 당업자들이 알고 있거나 이 후 알게될 상기 서술된 실시예의 임의의 구성요소에 대한 모든 구조 및 기능적 동등물은 참조에 의해 분명하게 통합되고, 청구항의 범위에 포함마 되도록 의도된 것이다. 명세서 및 청구항에 사용된 임의의 용어, 및 명세서 및 청구항에서 분명하게 주어진 의미들은 그러한 용어에 대한 임의의 사전적 의미 또는 다른 통상적으로 사용되는 의미에 관계없이 그러한 의미를 가진다. 실시예로서 명세서에 서술된 디바이스 또는 방법이 본 출원에 서술된 각각의 모든 문제를 다루거나 해결하기 위해 필수적인 것으로 의도되지 않았고, 이는 본 청구항의 범위에 속한다. 본 개시물에서 구성요소, 컴포넌트, 또는 방법 단계는 그 구성요소, 컴포넌트, 방법 단계가 청구항에 명백하게 기재되어 있는지 여부와 관계없이 대중에게 헌납할 의도가 아니다. 그 구성요소가 문구 "~ 수단"을 사용하여 분명하게 언급되어 있지 않다면, 또는 방법 청구항에서, 그 구성요소가, "동작" 대신 "단계"로 인용된다면, 첨부된 청구항내의 어떠한 청구 구성요소도 기능식 청구항으로 해석되지 않아야 한다.

## 도면

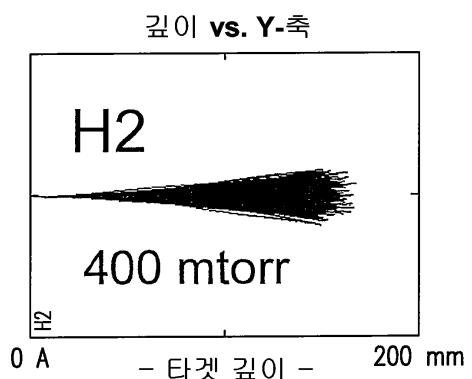
### 도면1



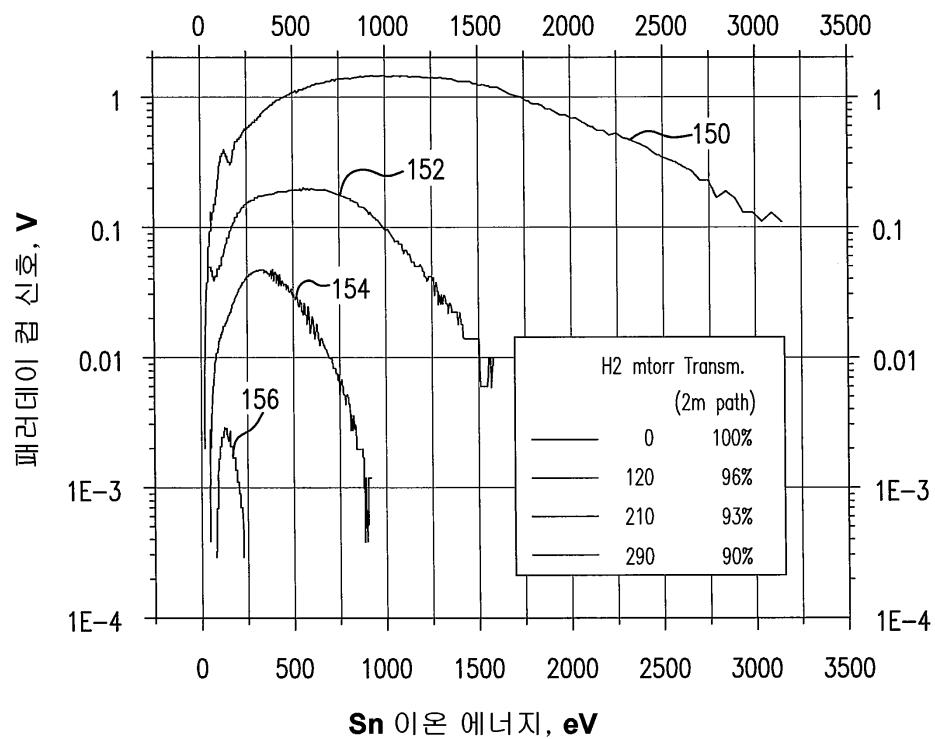
도면2a



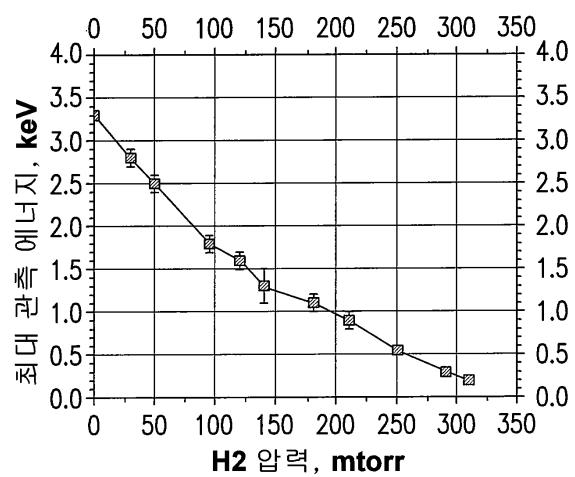
도면2b



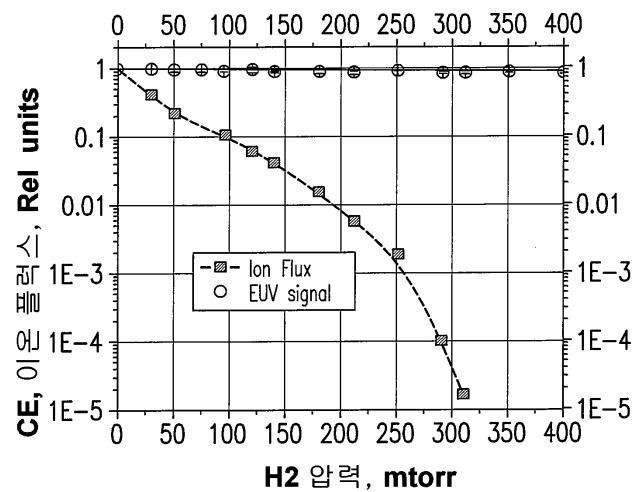
도면3



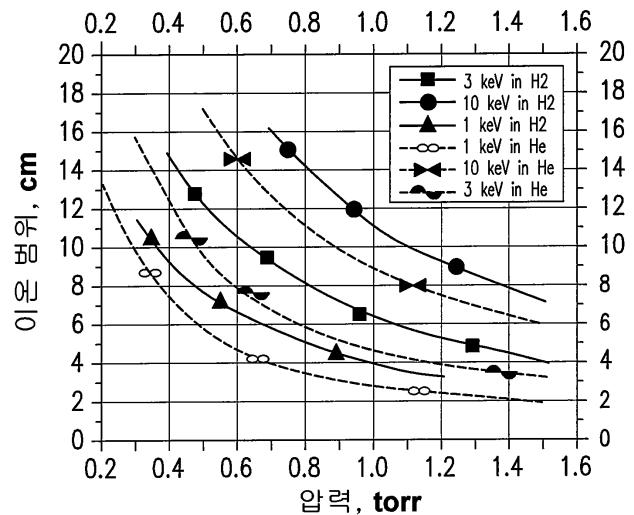
도면4a



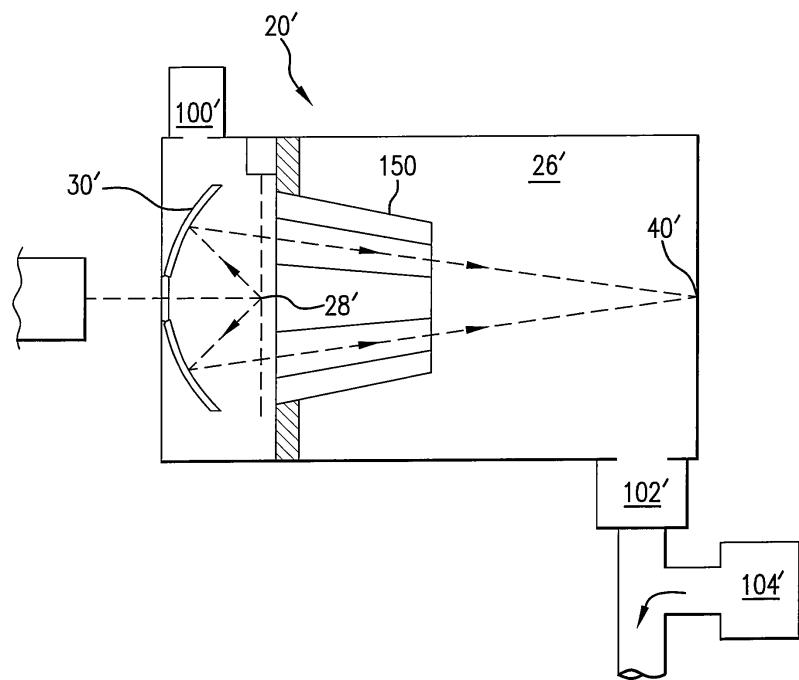
도면4b



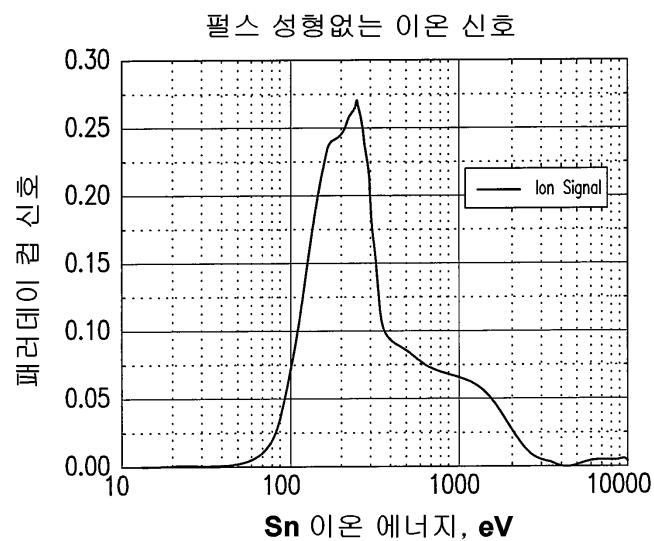
도면4c



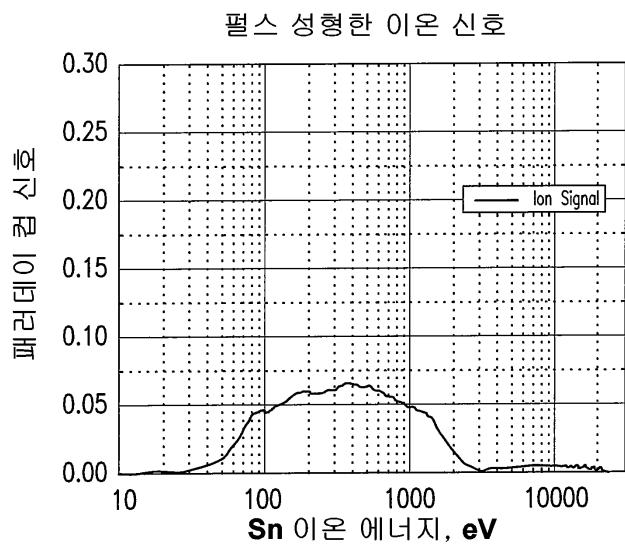
도면4d



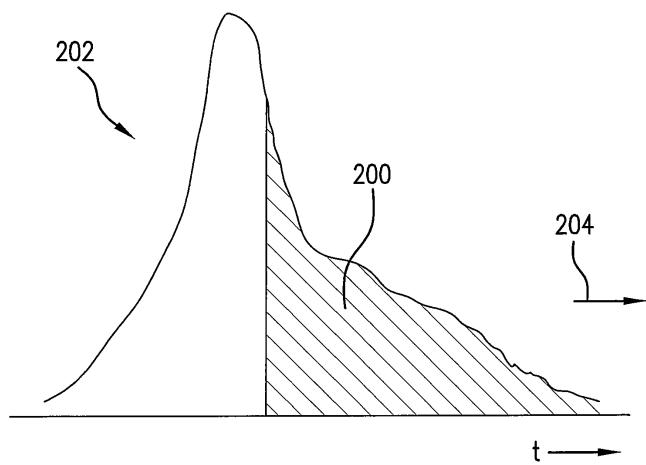
도면5a



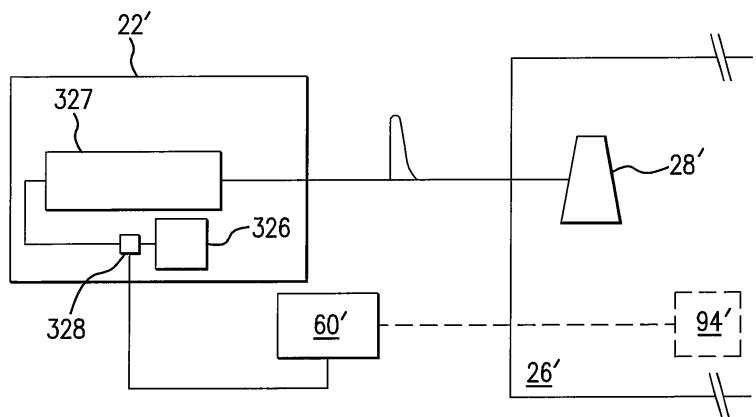
## 도면5b



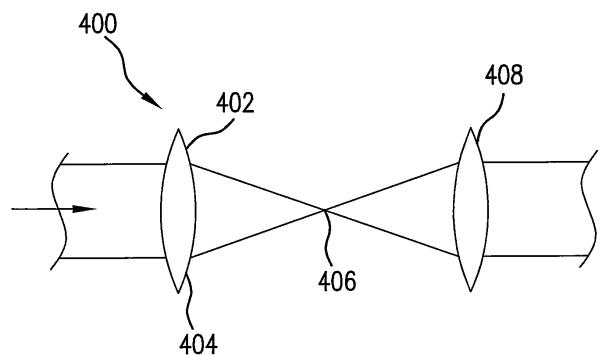
## 도면5c



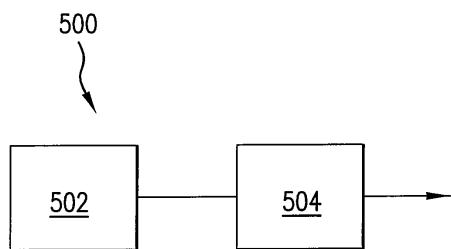
## 도면6



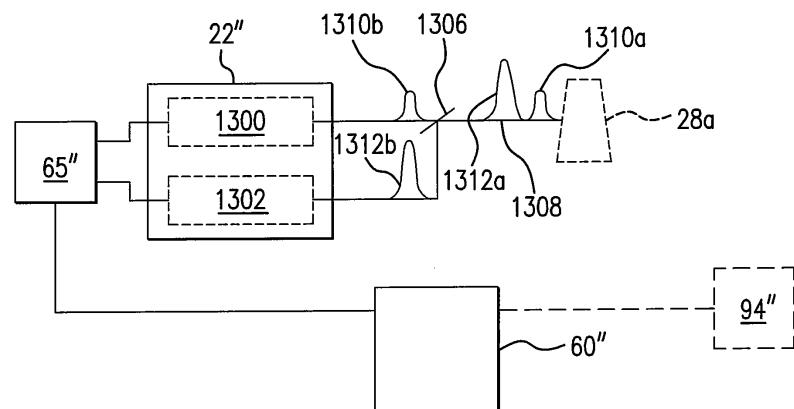
도면7



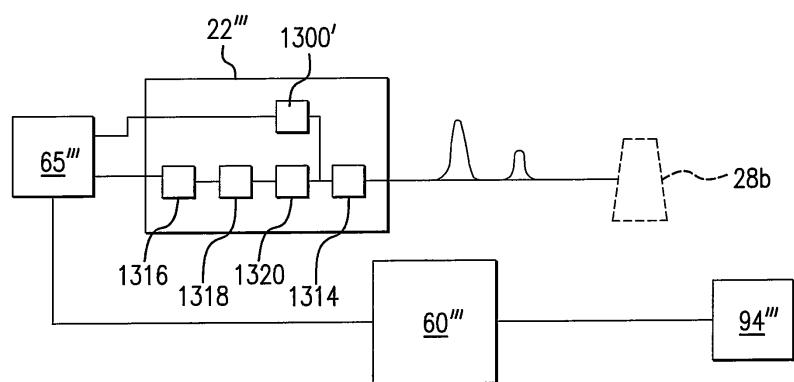
도면7a



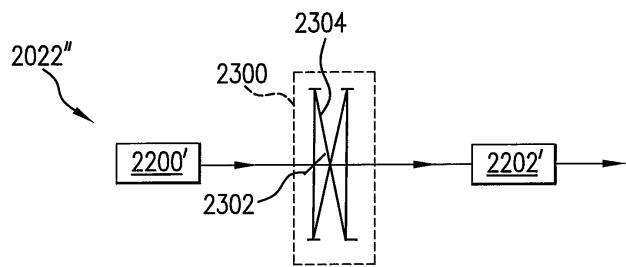
도면8



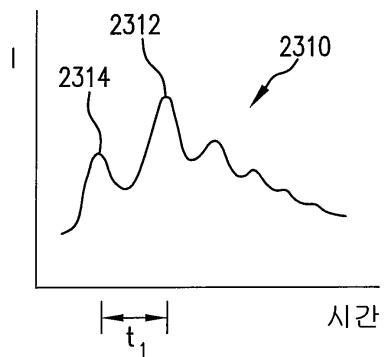
도면9



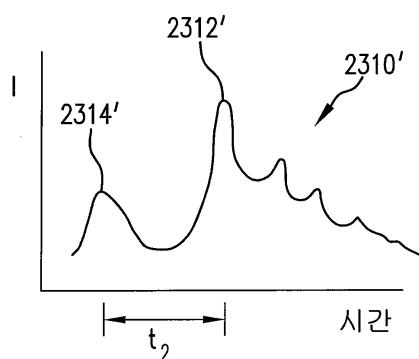
도면10



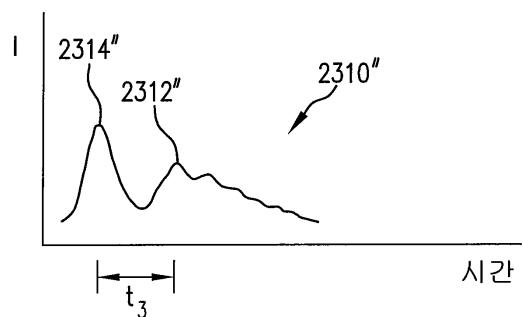
도면10a



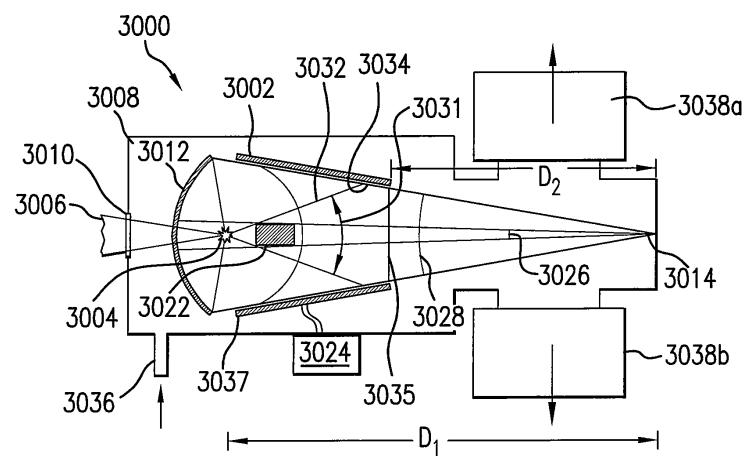
도면10b



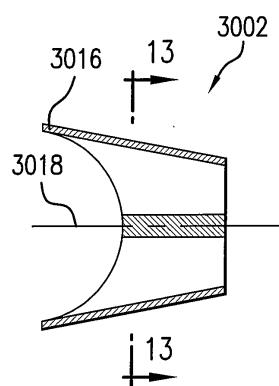
도면10c



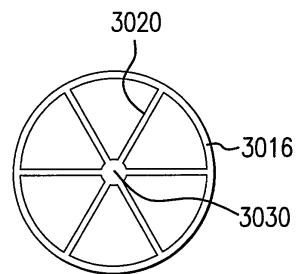
도면11



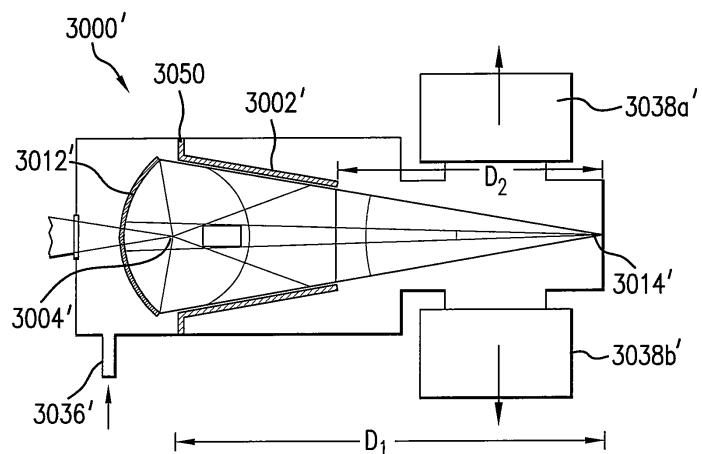
도면12



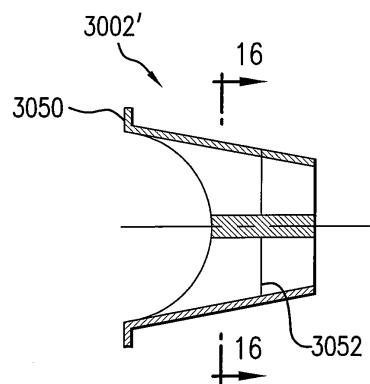
도면13



도면14



도면15



도면16

