



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0131187

(43) 공개일자 2015년11월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H05G 2/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H05G 2/003 (2013.01)

H05G 2/005 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-7028568

(22) 출원일자(국제) 2014년02월25일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2015년10월12일

(86) 국제출원번호 PCT/US2014/018422

(87) 국제공개번호 WO 2014/149436

국제공개일자 2014년09월25일

(30) 우선권주장

13/843,626 2013년03월15일 미국(US)

(71) 출원인

에이에스엠엘 네델란즈 비.브이.

네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324

(72) 발명자

타오 예젠

미국 92127 캘리포니아주 샌디에고 쏘민트 코트 17075

라팍 로버트 제이.

미국 92127 캘리포니아주 샌디에고 쏘민트 코트 17075

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 극자의 광원

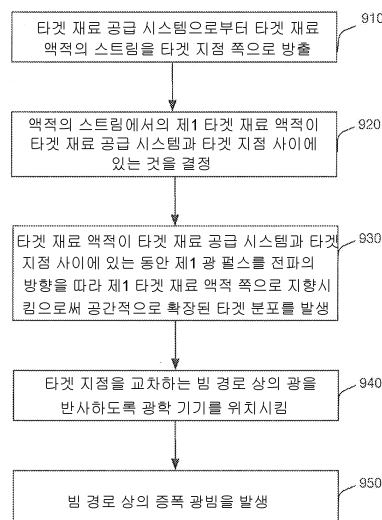
(57) 요약

타겟 지점에 진입하기 전에 공간적으로 확장된 타겟 분포 또는 확장된 타겟으로 변형된 타겟 재료로부터의 피드백으로 극자의 광원으로부터의 파워를 향상시키는 기술을 개시한다. 왕복 길이 및 방향(round-trip length and direction)과 같은 피드백이 발생하는 경로의 지오메트리가 시간에 맞게 바뀔수 있거나 또는 공간적으로 확장된

(뒷면에 계속)

대표도 - 도9

900



타겟 분포의 형상이 매끄러운 충분한 반사도(reflectance)를 제공하지 못할 수도 있기 때문에 공간적으로 확장된 타겟 분포로부터의 피드백은 비공진성 광학 캐비티(nonresonant optical cavity)를 제공한다. 그러나, 전술한 기하학적 및 물리적 제약이 극복된다면, 공간적으로 확장된 타겟 분포로부터의 피드백이 공진성 및 코히어런트성 광학 캐비티를 제공하는 것이 가능하게 될 수 있다. 어떠한 경우에, 피드백은 비-발진기 이득 매체(non-oscillator gain medium)로부터 발생하는 자발적으로 방출된 광(spontaneously emitted light)을 사용하여 발생될 수 있다.

(52) CPC특허분류

**H05G 2/008** (2013.01)

(72) 발명자

**포덴코브 이고르 브이.**

미국 92127 캘리포니아주 샌디에고 쏘민트 코트  
17075

**브라운 다니엘 제이.더블유.**

미국 92127 캘리포니아주 샌디에고 쏘민트 코트  
17075

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

타겟 재료 액적의 스트림을 타겟 영역 쪽으로 방출하는 단계로서, 상기 스트림에서의 액적은 타겟 재료 공급 시스템으로부터 상기 타겟 영역으로 궤적을 따라 이동하는, 방출하는 단계;

제1 타겟 재료 액적이 타겟 재료 공급 장치와 상기 타겟 영역 사이에 있는 동안 제1 광 펄스를 전파의 방향을 따라 상기 제1 타겟 재료 액적 쪽으로 지향시킴으로써 공간적으로 확장된 타겟 분포(spatially-extended target distribution)를 발생하는 단계로서, 상기 제1 타겟 재료 액적에 상기 제1 광 펄스가 충돌하는 것에 의해 상기 전파의 방향과 마주보는 평면에서의 상기 제1 타겟 재료 액적의 단면 직경이 증가되고, 상기 전파의 방향에 평행한 방향을 따라 상기 제1 타겟 재료 액적의 두께가 감소되는, 공간적으로 확장된 타겟 분포를 발생하는 단계;

타겟 지점과 교차하는 빔 경로를 구축하도록 광학 기기를 위치시키는 단계;

상기 빔 경로에 이득 매체를 커플링하는 단계; 및

상기 이득 매체로부터 방출된 광자(photon)를 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포에 대해 산란시킴으로써 극자의 (EUV)광을 발생하는 플라즈마를 생성하도록 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포와 상호작용하는 증폭 광빔을 생성하는 단계로서, 산란된 광자 중 적어도 몇몇이 상기 증폭 광빔을 생성하도록 빔 경로 상에 위치되는, 증폭 광빔을 생성하는 단계

를 포함하는 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 EUV 광은 외부 광자를 상기 빔 경로에 제공하지 않고 발생되는, 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 스트림은 상기 궤적을 따라 각각 서로 분리된 복수의 타겟 재료 액적을 포함하며, 상기 스트림의 액적 중 하나보다 많은 액적으로부터 별도의 공간적으로 확장된 타겟 분포가 생성되는, 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 광 펄스는 1.06  $\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는, 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전파의 방향을 가로지르는 평면에서의 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포의 단면 직경은 상기 제1 타겟 재료 액적의 단면 직경보다 3 내지 4배 더 큰, 방법.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 공간적으로 확장된 타겟 분포는 상기 제1 광 펄스가 상기 제1 타겟 재료 액적에 충돌하고나서 소정 시간 기간 후에 생성되는, 방법.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 광 펄스는 10 ns의 지속기간을 갖는, 방법.

#### 청구항 8

제1항에 있어서,

상기 증폭 광빔은 400-500 ns의 풋-투-풋(foot-to-foot) 지속기간을 갖는, 방법.

#### 청구항 9

제1항에 있어서,

상기 증폭 광빔은 10.6  $\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는 광을 포함하는, 방법.

#### 청구항 10

제1항에 있어서,

상기 증폭 광빔은 상기 제1 광 펄스의 파장의 약 10배인 파장을 갖는 광을 포함하는, 방법.

#### 청구항 11

제1항에 있어서,

상기 액적의 스트림에서의 제1 타겟 재료 액적이 상기 타겟 재료 공급 시스템과 상기 타겟 영역 사이에 있는 것을 감지하는 단계를 더 포함하는, 방법.

#### 청구항 12

제1항에 있어서,

상기 공간적으로 확장된 타겟 분포는 디스크의 형태인, 방법.

#### 청구항 13

제12항에 있어서,

상기 디스크는 용융 금속의 디스크를 포함하는, 방법.

#### 청구항 14

제1항에 있어서,

상기 증폭 광빔은 임의의 코히어런트 방사선이 생성되지 않고 극자외(EUV) 광을 발생하도록 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포와 상호작용하는, 방법.

#### 청구항 15

제1항에 있어서,

상기 광학 기기는 광을 역으로 상기 빔 경로로 반사하기 위해 상기 타겟 지점 반대쪽의 상기 이득 매체의 측에 위치되는, 방법.

#### 청구항 16

극자외 광원에 있어서,

광을 빔 경로에 제공하도록 위치된 광학 기기;

타겟 공급 시스템으로부터 상기 빔 경로와 교차하는 타겟 지점까지의 궤적을 따라 타겟 재료 액적의 스트림을 발생하는 타겟 공급 시스템;

상기 타겟 공급 시스템과 상기 타겟 지점 사이에 있는 지점에서 타겟 재료 액적의 스트림에서의 타겟 재료 액적

을 조사하도록 위치되며, 상기 타겟 재료 액적을 공간적으로 확장된 타겟 분포로 물리적으로 변형하기에 충분한 에너지의 광을 방출하는 광원;

상기 타겟 지점과 상기 광학 기기 사이의 빔 경로 상에 위치한 이득 매체; 및

상기 빔 경로를 따라 공간적으로 확장된 타겟 분포와 상기 광학 기기 사이에 광학 캐비티를 형성하기 위해 상기 타겟 지점과 적어도 부분적으로 일치하도록 위치설정 가능한 공간적으로 확장된 타겟 분포

를 포함하며,

상기 공간적으로 확장된 타겟 분포 및 상기 타겟 재료 액적은 플라즈마 상태에서 EUV 광을 방출하는 재료를 포함하는,

극자의 광원.

## 청구항 17

제16항에 있어서,

상기 타겟 재료는 주석을 포함하며, 상기 타겟 재료 액적은 용융 주석의 액적을 포함하는, 극자의 광원.

## 청구항 18

제16항에 있어서,

상기 공간적으로 확장된 타겟 분포는 상기 광학 캐비티에 의해 생성되는 증폭 광빔의 전파의 방향에 수직한 평면에서의 단면 직경을 가지며, 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포의 단면 직경은 상기 타겟 재료 액적의 단면 직경보다 3-4배 더 큰, 극자의 광원.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001]

본 발명은 공간적으로 확장된 타겟 분포로부터의 피드백으로 극자외(extreme ultraviolet, EUV) 광원으로부터의 파워를 향상시키는 것에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002]

예컨대 약 13 nm의 파장의 광을 포함하는 약 50 nm 이하의 파장을 갖는 전자기 방사선(소프트 X-선이라고도 함)과 같은 극자외(EUV) 광이 예컨대 실리콘 웨이퍼와 같은 기판에 극소형의 피처(feature)를 생성하기 위해 포토리소그래피 공정에 사용될 수 있다.

[0003]

EUV 광을 발생하는 방법은, 반드시 이러한 것으로 한정되는 것은 아니지만, 예컨대 크세논, 리튬 또는 주석과 같은 원소를 갖는 재료를 EUV 범위의 방출선(emission line)을 이용하여 플라즈마 상태로 변환하는 단계를 포함한다. 레이저 생성 플라즈마(laser produced plasma, LPP)로 지칭되기도 하는 한 가지 이러한 방법에서, 예컨대 재료의 액적(droplet), 스트림 또는 클러스터의 형태의 타겟 재료를 구동 레이저로 지칭될 수 있는 증폭 광빔(amplified light beam)으로 조사함으로써 플라즈마가 발생될 수 있다. 이 공정을 위하여, 플라즈마는 전형적으로 밀봉 용기, 예컨대 진공 챔버에서 발생되고, 다양한 유형의 계측 기기를 사용하여 모니터링된다.

### 발명의 내용

[0004]

몇몇 전반적인 양태에서, 본 발명에 따른 방법은, 타겟 재료 액적의 스트림을 타겟 영역 쪽으로 방출하는 단계로서, 상기 스트림에서의 액적은 타겟 재료 공급 시스템으로부터 상기 타겟 영역으로 제1 광 펄스를 방출하는 단계와, 제1 타겟 재료 액적이 타겟 재료 공급 장치와 상기 타겟 영역 사이에 있는 동안 제1 광 펄스를 전파의 방향을 따라 상기 제1 타겟 재료 액적 쪽으로 지향시킴으로써 공간적으로 확장된 타겟 분포(spatially-extended target distribution)를 발생하는 단계로서, 상기 제1 타겟 재료 액적에 상기 제1 광 펄스가 충돌하는 것에 의해 상기 전파의 방향과 마주보는 평면에서의 상기 제1 타겟 재료 액적의 단면 직경이 증가되고, 상기 전파의 방향에 평행한 방향을 따라 상기 제1 타겟 재료 액적의 두께가 감소되는, 공간적으로 확장된 타겟 분포를 발생하는 단계와, 타겟 지점과 교차하는 빔 경로를 구축하도록 광학 기기를 위치시키는 단계와, 상기 빔 경로에 이득 매체를 커플링하는 단계와, 상기 이득 매체로부터 방출된 광자(photon)를 상기 공간적으로 확장된 타겟 분

포에 대해 산란시킴으로써 극자외(EUV)광을 발생하는 플라즈마를 생성하도록 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포와 상호작용하는 증폭 광빔을 생성하는 단계로서, 산란된 광자 중 적어도 몇몇이 상기 증폭 광빔을 생성하도록 빔 경로 상에 위치되는, 증폭 광빔을 생성하는 단계를 포함한다.

- [0005] 본 발명의 구현예는 이하의 특징 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 예컨대, 상기 EUV 광은 외부 광자를 상기 빔 경로에 제공하지 않고 발생될 수 있다.
- [0006] 상기 스트림은 상기 궤적을 따라 각각 서로 분리된 복수의 타겟 재료 액적을 포함할 수 있으며, 상기 스트림의 액적 중 하나보다 많은 액적으로부터 별도의 공간적으로 확장된 타겟 분포가 생성된다.
- [0007] 상기 제1 광 펄스는 1.06  $\mu\text{m}$ 의 파장을 가질 수 있다. 상기 전파의 방향을 가로지르는 평면에서의 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포의 단면 직경은 상기 제1 타겟 재료 액적의 단면 직경보다 3 내지 4배 더 클 수 있다.
- [0008] 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포는 상기 제1 광 펄스가 상기 제1 타겟 재료 액적에 충돌하고나서 소정 시간 기간 후에 생성될 수 있다.
- [0009] 상기 제1 광 펄스는 10 ns의 지속기간을 가질 수 있다. 상기 증폭 광빔은 400-500 ns의 풋-투-풋(foot-to-foot) 지속기간을 가질 수 있다.
- [0010] 상기 증폭 광빔은 10.6  $\mu\text{m}$ 의 파장을 가질 수 있다. 상기 증폭 광빔은 상기 제1 광 펄스의 파장의 약 10배인 파장을 가질 수 있다.
- [0011] 본 방법은 상기 액적의 스트림에서의 제1 타겟 재료 액적이 상기 타겟 재료 공급 시스템과 상기 타겟 영역 사이에 있는 것을 감지하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포는 디스크의 형태로 될 수 있다. 상기 디스크는 용융 금속의 디스크를 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 증폭 광빔은 임의의 코히어런트 방사선이 생성되지 않고 극자외(EUV) 광을 발생하도록 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포와 상호작용할 수 있다.
- [0014] 상기 광학 기기는 광을 역으로 상기 빔 경로로 반사하기 위해 상기 타겟 지점 반대쪽의 상기 이득 매체의 측에 위치될 수 있다.
- [0015] 본 발명의 다늘 전반적인 양태에서, 극자외 광원은, 광을 빔 경로에 제공하도록 위치된 광학 기기와, 타겟 공급 시스템으로부터 상기 빔 경로와 교차하는 타겟 지점까지의 궤적을 따라 타겟 재료 액적의 스트림을 발생하는 타겟 공급 시스템과, 상기 타겟 공급 시스템과 상기 타겟 지점 사이에 있는 지점에서 타겟 재료 액적의 스트림에서의 타겟 재료 액적을 조사하도록 위치되며, 상기 타겟 재료 액적을 공간적으로 확장된 타겟 분포로 물리적으로 변형하기에 충분한 에너지의 광을 방출하는 광원과, 상기 타겟 지점과 상기 광학 기기 사이의 빔 경로 상에 위치된 이득 매체와, 상기 빔 경로를 따라 공간적으로 확장된 타겟 분포와 상기 광학 기기 사이에 광학 캐비티를 형성하기 위해 상기 타겟 지점과 적어도 부분적으로 일치하도록 위치설정 가능한 공간적으로 확장된 타겟 분포를 포함한다. 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포 및 상기 타겟 재료 액적은 플라즈마 상태에서 EUV 광을 방출하는 재료를 포함한다.
- [0016] 본 발명의 구현예는 이하의 특징 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 예컨대, 상기 타겟 재료는 주석을 포함할 수 있으며, 상기 타겟 재료 액적은 용융 주석의 액적을 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포는 상기 광학 캐비티에 의해 생성되는 증폭 광빔의 전파의 방향에 수직한 평면에서의 단면 직경을 가질 수 있으며, 상기 공간적으로 확장된 타겟 분포의 단면 직경은 상기 타겟 재료 액적의 단면 직경보다 3-4배 더 크게 될 수 있다.
- [0018] 전술한 임의의 기술의 구현예는 공간적으로 확장된 타겟 분포로부터의 광학 피드백을 발생하기 위한 방법, 프로세스, 타겟, 조립체, 또는 디바이스, 기존의 EUV 광원을 재조정하기 위한 키트 또는 사전-조립된 시스템, 또는 장치를 포함할 수 있다. 하나 이상의 구현예의 자세한 내용이 첨부 도면과 이하의 발명의 구체적인 내용에서 기재되어 있다. 발명의 구체적인 내용 및 도면, 그리고 청구범위로부터 다른 특징이 명백하게 될 것이다.

## 도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 일례의 레이저 생성 플라즈마 극자외 광원의 블록 다이어그램이다.

도 2는 도 1의 광원에서 사용될 수 있는 구동 레이저 시스템의 예에 대한 블록 다이어그램이다.

도 3은 레이저 생성 플라즈마 극자외(EUV) 광원 및 EUV 광원에 연결된 리소그래피 톨의 평면도이다.

도 4 내지 도 7은 4개의 상이한 시간에서의 또 다른 예의 레이저 생성 플라즈마 극자의 광원의 측면도이다.

도 8은 사전-펄스(pre-pulse) 및 증폭 광빔의 펄스의 일례의 파형을 도시하는 도면이다.

도 9는 공간적으로 확장된 타겟 분포로부터의 피드백을 이용하여 EUV 광원에서의 파워를 향상시키기 위한 일례의 프로세스의 흐름도이다.

도 10은 또 다른 예의 레이저 생성 플라즈마 극자의 광원을 도시하는 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020]

타겟 지점에 진입하기 전에 공간적으로 확장된 타겟 분포 또는 확장된 타겟으로 변형된 타겟 재료로부터의 피드백으로 극자외 광원으로부터의 파워를 향상시키는 기술을 개시한다. 왕복 길이 및 방향(round-trip length and direction)과 같은 피드백이 발생하는 경로의 지오메트리가 시간에 맞게 바뀔 수 있거나 또는 공간적으로 확장된 타겟 분포의 형상이 매끄러운 충분한 반사도(reflectance)를 제공하지 못할 수도 있기 때문에 공간적으로 확장된 타겟 분포로부터의 피드백은 비공진성 광학 캐비티(nonresonant optical cavity)를 제공한다. 그러나, 전술한 기하학적 및 물리적 제약이 극복된다면, 공간적으로 확장된 타겟 분포로부터의 피드백이 공진성 및 코히어런트 성 광학 캐비티를 제공하는 것이 가능하게 될 수 있다. 어떠한 경우에, 피드백은 비-발진기 이득 매체(non-oscillator gain medium)로부터 발생하는 자발적으로 방출된 광(spontaneously emitted light)을 사용하여 발생될 수 있다.

[0021]

구체적으로, 타겟 재료의 액적의 형상은 변형된 타겟 재료가 타겟 지점에 도달하는 때에 변형된 타겟 재료의 반사율이 타겟 재료 액적의 반사율보다 훨씬 크게 되도록 타겟 재료의 액적이 타겟 지점 쪽으로 이동하는 때에 사전-펄스 광빔으로 변형된다. 이러한 방식으로, 변형된 타겟 재료 및 광학 기기가 발진하는 광학 캐비티를 형성하기 위해 타겟 지점을 교차하는 빔 경로 상에서 광을 반사하도록 반사 광학 기기가 위치되면 공간적으로 확장된 타겟 분포를 광학 이득 매체로부터 발생된 광으로 조사함으로써 이득 매체를 포함하는 광 경로에서의 피드백을 제공하는 것이 가능하다.

[0022]

공간적으로 확장된 타겟 분포로부터 반사되는 광이 별개의 경로를 따라 광을 반사하는 산란 표면을 제공하여, 반사 광이 1회의 왕복 후에 자신의 원래 위치(예컨대, 반사 광학 기기)로 복귀하지 않을 수 있게 된다면, 공간적으로 확장된 타겟 분포의 반사에 의해 발생된 발진 광학 캐비티는 비간섭성 피드백(incoherent feedback)을 갖는 랜덤 레이저로 간주될 수 있다. 전자기장을 위한 공간적 공진은 이러한 캐비티에 존재하지 않을 수도 있으며, 그러므로 이러한 레이저에서의 피드백은 에너지 또는 광자의 일부분을 이득 매체에 리턴하기 위해 이용된다. 이 시나리오에서, 광학 캐비티에서의 다수의 모드는 대체로 이득 매체와 상호작용하며, 이 경우에서의 레이저 방출의 통계적 특성은 좁은 범위의 스펙트럼에서의 극히 밝은 흑체(black body)의 방출의 특성에 가깝게 되거나 근접하게 될 수 있다. 또한, 공간적 코히어런스(spatial coherence)가 없을 수도 있다.

[0023]

타겟 재료 액적은 타겟 지점 쪽으로 방출되는 타겟 재료의 스트림의 일부분이다. 타겟 지점은 광학 이득 매체 및 빔 경로의 축 상에 있다. 타겟 지점에 도달하기 전에, 사전-펄스 광빔은 평탄화된 또는 디스크 형상의 타겟과 같은 타겟 재료의 변형된 형상인 공간적으로 확장된 타겟 분포를 형성하기 위해 타겟 재료를 조사한다. 타겟 재료의 변형된 형상은 디스크 형상의 타겟과 유사한 특성을 가질 수 있는 미스트(mist), 단편(fragment)의 클라우드, 또는 반구형 타겟이어도 된다. 어떠한 경우에, 타겟 재료의 변형된 형상은 타겟 지점에서 증폭 광빔을 향하고 있는 더 큰 범위 또는 더 큰 표면적을 갖는다. 원래의 타겟 재료 액적과 비교하여, 공간적으로 확장된 타겟 분포는 더 큰 직경 및 더 큰 반사율을 갖는다. 공간적으로 확장된 타겟 분포는 빔 경로와 정렬되는 타겟 지점에 도달하며, 이득 매체에서의 피드백을 발생하는 것을 개시한다.

[0024]

발진 광학 캐비티는 공간적으로 확장된 타겟 분포로부터 반사되는 광이 빔 경로를 따라 광을 반사하는 비-산란 표면을 제공하여, 반사 광의 몇몇이 각각의 왕복 후에 자신의 원래 위치(예컨대, 반사 광학 기기)로 리턴하도록 하면 몇몇 코히어런트 피드백을 갖는 레이저로 간주될 수 있다. 전자기장을 위한 공간적 공진이 이러한 캐비티에 존재하게 될 수 있으며, 그러므로 이러한 레이저에서의 피드백은 에너지 또는 광자의 많은 부분을 이득 매체에 리턴하도록 이용된다.

[0025]

공간적으로 확장된 타겟 분포는 레이저 생성 플라즈마(LPP) 극자외(EUV) 광원에서 사용될 수 있다. 공간적으로



확장된 타겟 분포는 플라즈마 상태로 있을 때에 EUV 광을 방출하는 타겟 재료를 포함한다. 타겟 재료는 타겟 물질과 비-타겟 입자와 같은 불순물을 포함하는 타겟 혼합물이어도 된다. 타겟 물질은 EUV 범위에서 방출선을 갖는 플라즈마 상태로 변환되는 물질이다. 타겟 물질은 예컨대 액상 또는 용융 금속의 액적, 액상 스트림의 일부분, 고상 입자 또는 클러스터, 액상 액적 내에 함유된 고상 입자, 타겟 재료의 폼(foam), 또는 액상 스트림의 일부분 내에 함유된 고상 입자이어도 된다. 타겟 물질은 예컨대 물, 주석, 리튬, 크세논, 또는 플라즈마 상태로 변환된 때에 EUV 범위에서 방출선을 갖는 어떠한 재료이어도 된다. 예컨대, 타겟 물질은 순수 주석(Sn)으로서 사용되거나, 예컨대  $\text{SnBr}_4$ ,  $\text{SnBr}_2$ ,  $\text{SnH}_4$ 와 같은 주석 화합물로서 사용되거나, 예컨대 주석-갈륨 합금, 주석-인듐 합금, 주석-인듐-갈륨 합금, 또는 이들 합금의 임의의 조성물과 같은 주석 합금으로서 사용될 수 있는 주석 원소이어도 된다. 더욱이, 불순물이 없는 상황에서, 타겟 재료는 타겟 물질만을 포함한다. 아래에서의 논의는 타겟 재료가 용융 금속으로 이루어진 타겟 재료 액적인 예를 제공한다. 이들 예에서, 타겟 재료는 타겟 재료 액적으로서 지칭된다. 그러나, 타겟 재료는 다른 형태를 취할 수도 있다.

[0026] 도 1을 참조하여, 본 기술이 구현되는 일례의 LPP EUV 광원(100)에 대한 전반적인 설명이 배경으로서 먼저 제공된다.

[0027] LPP EUV 광원(100)은 타겟 혼합물(114) 쪽으로 빔 경로를 따라 이동하는 증폭 광빔(110)으로 타겟 지점(105)에 있는 타겟 혼합물(114)을 조사하도록 형성된다. 조사 사이트로도 지칭되는 타겟 지점(105)은 진공 챔버(130)의 내부(107)에 있다. 증폭 광빔(110)이 타겟 혼합물(114)에 부딪힐 때, 타겟 혼합물(114) 내의 타겟 재료는 EUV 범위 내의 방출선을 갖는 원소를 포함하는 플라즈마 상태로 변환된다. 생성된 플라즈마는 타겟 혼합물(114) 내의 타겟 재료의 구성에 좌우되는 특정한 특징을 갖는다. 이러한 특징은 플라즈마에 의해 발생된 EUV 광의 파장 및 플라즈마로부터 방출된 부스러기(debris)의 유형과 양을 포함할 수 있다.

[0028] 광원(100)은 또한 액상 액적, 액상 스트림, 고상 입자 또는 클러스터, 액상 액적 내에 함유된 고상 입자, 또는 액상 스트림 내에 함유된 고상 입자의 형태의 타겟 혼합물(114)을 전달하고, 제어하고, 지향(direct)시키는 타겟 재료 전달 시스템(125)을 포함한다. 타겟 혼합물(114)은 예컨대 물, 주석, 리튬, 크세논, 또는 플라즈마 상태로 변환된 때에 EUV 범위에서 방출선을 갖는 임의의 재료와 같은 타겟 재료를 포함한다. 예컨대, 주석 원소는 순수 주석(Sn)으로서 사용되거나, 예컨대  $\text{SnBr}_4$ ,  $\text{SnBr}_2$ ,  $\text{SnH}_4$ 와 같은 주석 화합물로서 사용되거나, 예컨대 주석-갈륨 합금, 주석-인듐 합금, 주석-인듐-갈륨 합금, 또는 이들 합금의 임의의 조성물과 같은 주석 합금으로서 사용될 수 있다. 타겟 혼합물(114)은 또한 비-타겟 입자와 같은 불순물을 포함할 수 있다. 그러므로, 불순물이 없는 상황에서는, 타겟 혼합물(114)은 타겟 재료만으로 구성된다. 타겟 혼합물(114)은 타겟 재료 전달 시스템(125)에 의해 챔버(130)의 내부(107)에 전달되고 타겟 지점(105)으로 전달된다.

[0029] 광원(100)은 구동 레이저 시스템(115)의 이득 매체 또는 매체들 내의 밀도 반전(population inversion)으로 인해 증폭 광빔(110)을 발생시키는 구동 레이저 시스템(115)을 포함한다. 광원(100)은 레이저 시스템(115)과 타겟 지점(105) 사이에 빔 전달 시스템을 포함하며, 빔 전달 시스템은 빔 수송 시스템(120)과 포커스 조립체(122)를 포함한다. 빔 수송 시스템(120)은 레이저 시스템(115)으로부터 증폭 광빔(110)을 수신하고, 요구된 바대로 증폭 광빔(110)을 조향하고 변형시키며, 증폭 광빔(110)을 포커스 조립체(122)에 출력한다. 포커스 조립체(122)는 증폭 광빔(110)을 수신하고, 증폭 광빔(110)을 타겟 지점(105)에 포커싱한다.

[0030] 몇몇 구현예에서, 구동 레이저 시스템(115)은 하나 이상의 메인 펄스 및 몇몇 경우에는 하나 이상의 사전-펄스를 제공하기 위해 하나 이상의 광학 증폭기, 레이저, 및/또는 램프를 포함할 수 있다. 각각의 광학 증폭기는 높은 이득으로 원하는 파장을 광학적으로 증폭시킬 수 있는 이득 매체, 여기 소스(excitation source) 및 내부 광학 기기를 포함한다. 광학 증폭기는 레이저 미러, 또는 레이저 캐비티를 형성하는 다른 피드백 디바이스를 가질 수도 있고 또는 갖지 않을 수도 있다. 따라서, 레이저 시스템(115)은 레이저 캐비티를 형성하는 영구적인 피드백 디바이스가 없는 경우에도 레이저 증폭기의 이득 매체 내의 밀도 반전에 의해 증폭 광빔(110)을 발생한다. 더욱이, 레이저 시스템(115)은 레이저 시스템(115)에 충분한 피드백을 제공하기 위하여 레이저 캐비티가 존재한다면 코히어런트 레이저 빔(coherent laser beam)이 되는 증폭 광빔(110)을 발생시킬 수 있다. "증폭 광빔"이라는 용어는, 단지 증폭되기는 하지만 영구적인 광학 피드백 디바이스를 갖지 않고 그에 따라 반드시 코히어런트 레이저 발진을 제공하지는 않을 수도 있는 레이저 시스템(115)으로부터의 광파, 증폭되고(외부적으로 또는 발진기의 이득 매체 내에서) 또한 영구적인 광학 피드백 디바이스에 의해 코히어런트 레이저 발진인 레이저 시스템(115)으로부터의 광 중의 하나 이상을 포함한다.

[0031] 레이저 시스템(115) 내의 광학 증폭기는  $\text{CO}_2$ 를 포함하는 충전 가스를 이득 매체로서 포함할 수 있고, 약  $9.1 \mu\text{m}$



내지 약 11  $\mu\text{m}$  사이의 파장에서, 특히 약 10.6  $\mu\text{m}$ 에서, 1000 이상의 이득으로 광을 증폭할 수 있다. 몇몇 예에서, 광학 증폭기는 10.59  $\mu\text{m}$ 의 파장에서 광을 증폭시킨다. 레이저 시스템(115)에 사용하기 적합한 증폭기 및 레이저는 예컨대 10 kW 이상의 비교적 고전력 및 예컨대 50 kHz 이상의 높은 펄스 반복률(high pulse repetition rate)에서 작동하여 예컨대 약 9.3  $\mu\text{m}$  또는 약 10.6  $\mu\text{m}$ 에서, 예를 들어 DC 또는 RF 여기로, 방사선을 발생시키는 펄스식 가스-방전  $\text{CO}_2$  레이저 디바이스와 같은 펄스식 레이저 디바이스(pulsed laser device)를 포함할 수 있다. 레이저 시스템(115) 내의 광학 증폭기는 또한 더 높은 전력에서 레이저 시스템(115)을 작동할 때 사용될 수 있는 물과 같은 냉각 시스템을 포함할 수 있다.

[0032] 도 2는 일례의 구동 레이저 시스템(180)의 블록 다이어그램을 도시한다. 구동 레이저 시스템(180)은 광원(100) 내의 구동 레이저 시스템(115)으로서 사용될 수 있다. 구동 레이저 시스템(180)은 3개의 전력 증폭기(181, 182, 183)를 포함한다. 임의의 또는 모든 전력 증폭기(181, 182, 183)는 내부 광 요소(미도시)를 포함할 수 있다. 각각의 전력 증폭기(181, 182, 183)는 외부 전기 소스 또는 광학 소스로 펌핑되는 때에 그 안에서 증폭이 발생하는 이득 매체를 포함한다. 예컨대, 각각의 전력 증폭기(181, 182, 183)는 외부 전기 소스를 제공하기 위해 이득 매체의 각각의 측면 상에 한 쌍의 전극을 포함한다. 이에 부가하여, 반사성 광학 기기(112)는 증폭기(181, 182, 183)들 사이에 형성된 빔 경로를 따라 배치된다.

[0033] 증폭기(181, 182, 183)의 이득 매체 내에서부터 자발적으로 방출된 광자는 공간적으로 확장된 타겟 분포가 타겟 지점 내에 있는 때에는 공간적으로 확장된 타겟 분포에 의해 산란될 수 있으며(아래에 설명되는 바와 같이), 이들 산란된 광자의 적어도 몇몇은 이들이 각각의 전력 증폭기(181, 182, 183)를 통해 이동하는 빔 경로 상에 위치된다. 이 빔 경로가 다음으로 설명된다.

[0034] 광(184)은 한 쌍의 커브식 미러(curved mirror)(186, 188)에서 반사됨에 의하여 전력 증폭기(181)의 커플링 윈도우(185) 및 전력 증폭기(182)의 커플링 윈도우(189)를 통해 전력 증폭기 181 및 전력 증폭기 182 사이를 이동한다. 광(184)은 전력 증폭기(182)에서 증폭되고, 또 다른 커플링 윈도우(190)를 통해 광(191)으로서 전력 증폭기(182)의 밖으로 지향된다. 광(191)은 접이식 미러(192)에서 반사되고 커플링 윈도우(193)를 통해 증폭기(183)에 진입하고 빠져나오에 따라 증폭기 183과 증폭기 182 사이를 이동한다. 증폭기 183는 광(191)을 증폭하고, 빔 수송 시스템(120) 쪽으로 증폭기(183)를 빠져나오는 광(191)은 증폭 광빔(195)으로서 커플링 윈도우 194를 통해 이동한다. 접이식 미러 196은 증폭 광빔(195)을 빔 수송 시스템(120)을 향하여 위쪽으로(도면 페이지의 밖으로) 지향시키도록 위치될 수 있다.

[0035] 공간 필터(187)는 애퍼처(197)를 형성하며, 이 애퍼처는 예컨대 광(184)이 통과하는 원형 개구부이어도 된다. 커브식 미러(186, 188)는 예컨대 각각 약 1.7 m와 2.3 m의 초점 거리를 갖는 오프-엑시스 파라볼라 미러(off-axis parabola mirror)이어도 된다. 공간 필터(187)는 애퍼처(197)가 구동 레이저 시스템(180)의 초점과 일치하도록 위치될 수 있다. 도 2의 예는 3개의 전력 증폭기를 도시하고 있지만, 더 많거나 더 적은 수의 전력 증폭기가 사용될 수도 있다.

[0036] 다시 도 1을 참조하면, 광원(100)은 증폭 광빔(110)이 통과하여 타겟 지점(105)에 도달하도록 하는 애퍼처(140)를 갖는 집광기 미러(collector mirror)(135)를 포함한다. 집광기 미러(135)는 예컨대 타겟 지점(105)에 1차 초점을 갖고 중간 지점(145)에 2차 초점(중간 초점이라고도 함)을 갖는 타원체 미러이어도 되고, 이때 EUV 광이 광원(100)으로부터 출력될 수 있고, 예컨대 집적회로 빔 위치설정 시스템 톨(도시하지 않음)에 입력될 수 있다. 광원(100)은 또한 증폭 광빔(110)이 타겟 지점(105)에 도달하도록 하면서, 포커스 조립체(122) 및/또는 빔 수송 시스템(120)에 진입하는 플라스마-생성 부스러기의 양을 감소시키기 위해 집광기 미러(135)로부터 타겟 지점(105) 쪽으로 테이퍼링되는 개방-단부식, 중공 원추형 쉬라우드(open-ended, hollow conical shroud)(150)(예컨대, 가스 콘)를 포함할 수 있다. 이러한 목적으로, 타겟 지점(105)을 향하여 지향되는 가스 흐름이 쉬라우드에 제공될 수 있다.

[0037] 광원(100)은 액적 위치 검출 피드백 시스템(156), 레이저 제어 시스템(157), 및 빔 제어 시스템(158)에 접속되는 마스터 컨트롤러(155)를 포함할 수 있다. 광원(100)은, 예컨대 타겟 지점(105)에 대하여 액적의 위치를 나타내는 출력을 제공하고, 이 출력을 액적 위치 검출 피드백 시스템(156)에 제공하는 하나 이상의 타겟 또는 액적 이미징 장치(target or droplet imager)(160)를 포함할 수 있으며, 액적 위치 검출 피드백 시스템은 예컨대 액적 위치와, 액적 위치 오차가 하나의 액적씩을 기반으로(droplet by droplet basis) 또는 평균으로 계산될 수 있는 궤적(trajec-tory)을 계산할 수 있다. 따라서, 액적 위치 검출 피드백 시스템(156)은 액적 위치 오차를 마스터 컨트롤러(155)에의 입력으로서 제공한다. 따라서, 마스터 컨트롤러(155)는, 레이저 위치, 방향 및 타이밍 정정 신호를, 예컨대 레이저 타이밍 회로를 제어하도록 사용될 수 있는 레이저 제어 시스템(157)에 제공할 수

있고, 및/또는 챔버(130) 내의 빔 초점 스팟의 지점 및/또는 초점력(focal power)을 변경하도록 증폭 광빔 위치와 빔 수송 시스템(120)의 성형(shaping)을 제어하기 위해 빔 제어 시스템(158)에 제공할 수 있다.

[0038] 타겟 재료 전달 시스템(125)은, 예컨대 원하는 타겟 지점(105)에 도달하는 액적에 있어서의 오차를 정정하기 위하여 타겟 재료 공급 장치(127)에 의해 방출되는 때의 액적의 방출 포인트를 수정하기 위해, 마스터 컨트롤러(155)로부터의 신호에 응답하여 작동 가능한 타겟 재료 전달 제어 시스템(126)을 포함한다.

[0039] 추가로, 광원(100)은, 이러한 것으로 한정되지는 않는, 펄스 에너지, 파장을 함수로 하는 에너지 분포, 파장의 특정 대역 내에서의 에너지, 파장의 특정 대역 외측에서의 에너지, 및 EUV 세기의 각도 분포 및/또는 평균 전력을 포함하는, 하나 이상의 EUV 광 파라미터를 측정하는 광원 검출기(165)를 포함할 수 있다. 광원 검출기(165)는 마스터 컨트롤러(155)에 의해 사용하기 위한 피드백 신호를 생성한다. 피드백 신호는, 예컨대 적절한 장소에 있는 액적을 적절히 인터셉트(intercept)하기 위한 레이저 펄스의 타이밍 및 초점과 효율적이고 효과적인 EUV 광 발생을 위한 시간과 같은 파라미터에서의 오차를 나타낼 수 있다.

[0040] 광원(100)은 또한 광원(100)의 다양한 섹션을 정렬하거나 또는 증폭 광빔(110)을 타겟 지점(105)으로 조향하는데 도움이 되도록 사용될 수 있는 가이드 레이저(175)를 포함할 수 있다. 가이드 레이저(175)에 관련하여, 광원(100)은 가이드 레이저(175)로부터 광의 부분 및 증폭 광빔(110)을 샘플링하도록 포커스 조립체(122) 내에 위치하는 계측 시스템(124)을 포함한다. 다른 구현예에서는, 계측 시스템(124)이 빔 수송 시스템(120) 내에 위치한다. 계측 시스템(124)은 광의 서브셋을 샘플링하거나 리다이렉팅하는 광학 요소를 포함하며, 이러한 광학 요소는 증폭 광빔(110)과 가이드 레이저 빔의 파워를 견딜 수 있는 어떠한 재료로도 이루어진다. 마스터 컨트롤러(155)가 가이드 레이저(175)로부터의 샘플링된 광을 분석하고, 이 정보를 이용하여 빔 제어 시스템(158)을 통해 포커스 조립체(122) 내의 컴포넌트를 조정하기 때문에, 빔 분석 시스템은 계측 시스템(124) 및 마스터 컨트롤러(155)로 형성된다.

[0041] 따라서, 요약하면, 광원(100)은 레이저 시스템(115)으로부터의 빔 경로 상의 자발적으로 방출되는 광자의 적어도 몇몇이 레이저 시스템(115)(충분한 자극 방출이 있음)에서의 레이저 동작을 제공하기 위해 빔 경로를 따라 이득 매체의 이득 대역(gain band) 내의 파장에서 더 많은 광을 생성하도록 공간적으로 확장된 타겟 분포 및 반사 광학 기기(112)로부터 반사되는 때에 빔 경로를 따라 지향되는 증폭 광빔(110)을 발생한다. 이러한 방식으로, 공간적으로 확장된 타겟 분포 내의 타겟 재료에 충분한 에너지가 가해지게 되며, 이에 의해 타겟 재료가 EUV 범위에서 광을 방출하는 플라즈마로 변환된다. 증폭 광빔(110)은 레이저 시스템(115)의 설계 및 특성에 기초하여 결정되는 특정 파장(소스 파장으로도 지칭됨)에서 동작한다. 증폭 광빔(110)의 적어도 몇몇은 레이저 시스템(115)에 피드백을 제공하기 위해 공간적으로 확장된 타겟 분포에서 빔 경로 내로 역으로 반사된다.

[0042] 도 3을 참조하면, 일례의 광학 이미징 시스템(300)의 평면도가 도시되어 있다. 광학 이미징 시스템(300)은 EUV 광(306)을 리소그래피 툴(310)에 제공하는 LPP EUV 광원(305)을 포함한다. 광원(305)은 도 1의 광원(100)과 유사하거나 및/또는 광원(100)의 부품의 일부 또는 전부를 포함할 수 있다.

[0043] 광원(305)은 구동 레이저 시스템(315), 광학 요소(322), 사전-펄스 소스(324), 포커싱 조립체(326), 진공 챔버(340), 및 EUV 집광 광학 기기(346)를 포함한다. EUV 집광 광학 기기(346)는 타겟 지점(342)으로부터 방출된 EUV 광을 리소그래피 툴(310)에 지향시킨다. EUV 집광 광학 기기(346)는 집광체 미러(135)(도 1)이어도 되며, 타겟 지점(342)은 집광 광학 기기(346)의 초점에 있어도 된다.

[0044] 구동 레이저 시스템(315)은 증폭 광빔(316)을 발생한다. 구동 레이저 시스템(315)은 예컨대 도 2의 구동 레이저 시스템(180)이어도 된다. 사전-펄스 소스(324)는 방사선의 펄스(317)를 방출한다. 사전-펄스 소스(324)는 예컨대 Q-스위치드 Nd:YAG 레이저이어도 되며, 방사선의 펄스(317)는 Nd:YAG 레이저로부터의 펄스이어도 된다.

[0045] 광학 요소(322)는 증폭 광빔(316) 및 사전-펄스 소스(324)로부터의 방사선의 펄스(317)를 챔버(340)에 지향시킨다. 광학 요소(322)는 증폭 광빔(316) 및 방사선의 펄스(317)를 유사한 경로를 따라 지향시키고, 증폭 광빔(316) 및 방사선의 펄스(317)를 챔버(340)에 전달할 수 있는 어떠한 요소이어도 된다.

[0046] 증폭 광빔(316)은 챔버(340) 내의 타겟 지점(342)으로 지향된다. 방사선의 펄스(317)는 도면부호 341 지점으로 지향된다. 지점 341은 타겟 지점(342)으로부터 "-x" 방향으로 변위되어 있다. 이러한 양상으로, 방사선의 펄스(317)는 타겟 지점(342)에 도달하기 전에 타겟 지점(342)으로부터 물리적으로 떨어져 있는 지점에 있는 타겟 재료 액적을 조사할 수 있는 "사전-펄스"이다.

[0047] 도 4는 EUV 광을 생성하는 일례의 광원(400)의 측면도를 도시하고 있다. 도 4는 제1 시간  $t=t_1$ 에서의 광원

(400)을 도시하고 있다. 도 5 내지 도 7은 그 이후의 시간  $t=t_2$ ,  $t=t_3$  및  $t=t_4$ 에서의 광원(400)을 도시하고 있으며, 이들 시간의 각각은 그 앞의 시간보다 나중의 시간이다. 도 4 내지 도 7은 공간적으로 확장된 타겟 분포로 변형되고 그 후에 이득 매체의 이득 대역에서의 이득을 증가시키기 위해 이득 매체를 포함하는 광 경로를 따라 더 많은 광자를 제공하는 타겟 재료 액적(405b)을 도시하고 있다.

[0048]

하술되는 바와 같이, 광원(400)은 반사성 광학 기기(412)와 공간적으로 확장된 타겟 분포 사이에 광학 캐비티를 형성함으로써 빔 경로(410) 상의 이득 매체(420)의 이득 대역 내의 파장에서 증폭 광을 생성한다. 공간적으로 확장된 타겟 분포를 생성하기 위해, 타겟 재료 액적(405b)은 타겟 재료 액적(405a)이 타겟 재료 공급 장치(447)와 타겟 지점(442) 사이에 있는 동안 방사선의 펄스(417)로 조사된다. 형성된 공간적으로 확장된 타겟 분포가 타겟 지점(442)에 도달하는 때에, 광학 기기(412)와 공간적으로 확장된 타겟 분포 사이에 광학 캐비티(비공진성일 수 있는)가 형성된다.

[0049]

도 4를 참조하면, 광원(400)은 광학 기기(412), 광학 이득 매체(420), 진공 챔버(440), EUV 집광 광학 기기(446), 및 타겟 재료 공급 장치(447)를 포함한다. 광원(400)은 또한 하나 이상의 액적 이미징 장치(imager)(460), 및 액적 위치 검출 피드백 시스템(456)을 포함할 수 있다. 타겟 재료 공급 장치(447)는 타겟 재료 공급 장치 127(도 1)과 유사하여도 된다. 액적 이미징 장치(460) 및 액적 위치 검출 피드백 시스템(456)은 액적 이미징 장치 160 및 액적 위치 검출 피드백 시스템 156(도 1)과 유사하여도 된다. 위치 검출 피드백 시스템(456)은 전자 프로세서 및 탠저블(tangible) 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함할 수 있으며, 탠저블 컴퓨터 판독 가능 매체는 명령을 저장하고, 이 명령은, 실행되는 때에, 전자 프로세서로 하여금 액적 이미징 장치(460)로부터의 정보에 기초하여 타겟 재료 액적의 위치를 결정하도록 한다.

[0050]

$t=t_1$ 에서(도 4에 도시된 바와 같이), 타겟 재료 공급 장치(447)는 타겟 재료 액적(405b) 및 타겟 재료 액적(405a)을 방출한다. 액적(405a, 405b)은 타겟 지점(442) 쪽으로 "x" 방향으로 이동한다. 타겟 지점(442)은 EUV 집광 광학 기기(446)의 초점에 대응하는 챔버(440) 내의 지점이다. 타겟 지점(442)은 또한 반사성 광학 기기(412)가 광을 지향시키는 경로인 빔 경로와 교차한다. 빔 경로(410)는 광학 이득 매체(420)와 광학 이득 매체(420)의 배열 내에 있을 수도 있는 에퍼처 및 공간 필터의 구성에 의해 정해진다. 광학 기기(412)는 예컨대 부분 반사성 또는 전체 반사성의 미러이어도 된다.

[0051]

광원(400)은 또한 광학 이득 매체(420)를 포함한다. 도 4의 예에서, 광학 이득 매체(400)는 복수의 광학 증폭기(420a, 420b, 420c)를 포함한다. 각각의 광학 증폭기(420a, 420b, 420c)는 외부 전기 소스를 제공하기 위해 각자의 이득 매체의 각각의 측면 상에 한 쌍의 전극을 포함한다. 광학 증폭기(420a, 420b, 420c)는 도 2에 대하여 설명된 증폭기(181, 182, 183)와 유사하여도 된다. 광학 이득 매체(420)는 빔 경로(410)에 연결되고 부분적으로 빔 경로(410)를 형성한다. 즉, 광학 기기(412)로부터 반사되는 광이 광학 이득 매체(420)에 진입하고 광학 이득 매체(420)를 통과할 수 있다. 광학 증폭기(420a, 420b, 420c)의 이득 매체 내로부터의 자발적으로 방출된 광자는 빔 경로(410) 상으로 그리고 빔 경로(410)를 따라 이득 매체(420)를 빠져나올 수 있다.

[0052]

광원(400)은 또한 액적 위치 검출 피드백 시스템(456)에 연결되는 하나 이상의 액적 이미징 장치(460)를 포함한다. 타겟 재료 액적(405b)이 타겟 지점(442)으로 이동하는 때에, 액적 이미징 장치(460)는 액적 위치 검출 피드백 시스템(456)이 "x" 방향에서의 타겟 재료 액적(405b)의 위치를 결정하기 위해 사용하는 데이터를 측정한다.

[0053]

타겟 재료 액적(405b)이 "-x" 방향으로의 빔 경로(410)로부터의 거리 "d"인 지점에 도달하기 직전에, 방사선의 펄스(417)가 그 지점에 도달하고, 타겟 재료 액적(405b)을 조사한다. 거리 "d"는 조사된 타겟 재료 액적을 타겟 지점(442)에 도달하기 전에 타겟 재료 액적의 형상을 적절하게 변화시키기에 충분한 정도로 크다. 거리 "d"는 예컨대 약 100  $\mu\text{m}$ 와 200  $\mu\text{m}$  사이, 또는 120  $\mu\text{m}$ 이어도 된다.

[0054]

방사선의 펄스(417)는 사전-펄스 소스(324)(도 3a)와 유사한 소스로부터 발생될 수 있다. 몇몇 구현예에서, 방사선의 펄스(417)는 1  $\mu\text{m}$ 의 파장, 10 ns의 펄스 지속기간(반치전폭으로서 측정된), 및 1 mJ의 에너지를 가질 수 있다. 다른 구현예에서, 방사선의 펄스(417)는 1  $\mu\text{m}$ 의 파장, 2 ns의 펄스 지속기간(반치전폭 또는 FWHM 계측을 이용하여 측정된 때에), 및 0.5 mJ의 에너지를 가질 수 있다. 또 다른 구현예에서, 방사선의 펄스(417)는 1  $\mu\text{m}$ 의 파장, 10 ns의 FWHM 펄스 지속기간, 및 0.5 mJ의 에너지를 가질 수 있다. 방사선의 펄스(417)는 1-10  $\mu\text{m}$ 의 파장, 10-60 ns의 FWHM 지속기간, 및 10-50 mJ의 에너지를 가질 수 있다.

[0055]

도 5를 참조하면, 방사선의 펄스(417)가 타겟 재료 액적(405b)에 부딪힌 후의 시간인 시간  $t=t_2$ 에서의 광원(400)이 도시되어 있다. 타겟 재료 액적(405b)에 미치는 방사선의 펄스(417)의 충격은 타겟 재료 액적(405b)을

타겟 재료를 포함하는 기하학적 분포(505)로 물리적으로 변형시킨다. 기하학적 분포(505)는 예컨대 보이드가 거의 없거나 전혀 없는 용융 금속의 영역이어도 된다. 기하학적 분포(505)는 타겟 재료 액적(405b)에 비하여 "x" 방향으로 길게 되어 있다. 기하학적 형상(505)은 또한 "z" 방향을 따라 타겟 재료 액적(405b)보다 얇게 될 수 있다. 기하학적 형상(505)은 타겟 지점(442) 쪽으로 이동함에 따라 "x" 방향으로 지속적으로 확장된다.

[0056] 도 6을 참조하면, 시간  $t=t_3$ 에서, 기하학적 분포(505)가 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)로 확장되며, "-x" 방향에서 빔 경로(410) 바로 이전의 지점에 있다. 디스크 형상 타겟(605)이 실질적으로 이온화되지 않고 빔 경로 축(410)에 도달한다. 즉, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)는 빔 경로 축(410)에 도달하기 전에 사전 형성되는 것으로 간주될 수 있다.

[0057] 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)는 세로방향 연장정도(longitudinal extent)(606) 및 가로방향 연장정도(latitudinal extent)(607)를 갖는다. 연장정도(606, 607)는 방사선의 펄스(417)의 펄스 지속기간 및 에너지 뿐만 아니라  $t=t_1$ (타겟 재료 액적(405b)이 방사선의 펄스(417)에 의해 부딪히는 때)와  $t=t_3$  사이에 경과된 시간의 양에 좌우된다. 연장정도 606은 경과 시간의 양이 증가하는 때에 일반적으로 증가한다. 2000 ns의 경과 시간에 대해서는, 연장정도 606은 약 80-300  $\mu\text{m}$ 일 수 있다. 이에 비교하여, 타겟 재료 액적(405a)의 유사한 치수는 약 20-40  $\mu\text{m}$ 이다.

[0058] 도 7을 참조하면, 시간  $t=t_4$ 에서, 타겟(605)은 빔 경로(410)와 교차하며, 광학 캐비티(702)(실선 화살표 라인으로 표시된)가 타겟(605)과 광학 기기(412) 사이에 형성된다. 빔 경로 상의 자발적으로 방출된 광자는 빔 경로(410)를 따라 이득 매체(420)의 이득 대역에서 더 많은 광을 생성하기 위해 공간적으로 확장된 타겟 분포(605) 및 반사 광학 기기(412)로부터 반사되며, 충분한 피드백이 제공되면, 이 체인에서의 손실이 피드백으로부터의 증강(buildup)에 의해 해소되며, 이득 매체에 저장된 에너지의 전부가 자극 방출로 변환된다(증폭 광빔을 방출하기 위해). 공간적으로 확장된 타겟 분포(602)가 타겟 지점(442)에 있고, 그에 따라 빔 경로(410)를 교차하는 동안, 증폭 광빔은 공간적으로 확장된 타겟 분포(602)를 조사한다. 이러한 방식으로, 공간적으로 확장된 타겟 분포 내의 타겟 재료에 충분한 에너지가 가해지게 되며, 이에 의해 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)를 EUV 범위에서 광을 방출하는 플라즈마로 변환시킨다. 그리고, 이것은 타겟 지점에 광자를 제공하기 위해 별도의 코히어런트 광원을 사용하지 않고 행해진다.

[0059] 또한, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)가 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)를 형성하는 타겟 재료 액적(405b)보다 큰 연장정도(606)를 갖기 때문에, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)는 더 많은 광을 역으로 광학 증폭기(420)에 반사하며, 이에 의해 광학 증폭기(420)의 이득 대역 내에서의 광 생성을 향상시킨다. 광학 캐비티(702)를 형성하기 위해 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)를 이용하여 발생된 광은 변형되지 않은 타겟 재료 액적을 사용하여 발생되는 것보다 약 2-10배 더 많은 광을 발생할 수 있다.

[0060] 이에 부가하여, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)가 광빔이 전파하는 방향으로 더 작은 연장정도(607)를 갖기 때문에, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)는 EUV 광을 방출하는 플라즈마로 더욱 용이하게 변환된다. 연장정도(606)의 상대적인 두께는 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)가 광빔에 대해 더 많은 타겟 재료를 제공한다는 것을 의미한다(얇은 형상은 입사 광빔이 공간적으로 확장된 타겟 분포에서의 타겟 재료를 더 많이 조사하게 한다). 그 결과, 공간적으로 확장된 타겟 분포가 더 많이 플라즈마로 변환된다. 이것은 더 큰 변환 효율 및 더 적은 부스러기를 발생한다. 최종적으로, 타겟 재료 액적(405b)의 물리적인 형상을 변형시키기 위해 방사선의 펄스(417)를 사용하는 기술이 연장정도(606)를 증가시키기 때문에, 더 작은 초기 타겟 재료 액적이 사용될 수 있다. 더 작은 타겟 재료 액적을 사용하는 것은 광원(400)의 수명을 향상시킬 수 있다.

[0061] 도 8은 타겟 재료 액적을 변형시키기 위해 사용되는 펄스식 방사선 빔(802) 및 발진 광학 캐비티를 형성하기 위해 변형된 타겟 재료를 이용하여 생성되는 광빔(804)의 예를 도시하고 있다. 펄스식 방사선 빔(802)은 1  $\mu\text{m}$ 의 파장, 10 ns의 펄스 지속기간, 및 1 mJ의 에너지를 갖는다. 광빔(804)은 400-500 ns의 지속기간(예컨대, 풋-투-풋(foot-to-foot)과 같이 베이스라인을 따라 측정된)을 갖는다.

[0062] 도 9는 증폭 광빔을 생성하기 위한 일례의 프로세스(900)의 흐름도를 도시하고 있다. 프로세스(900)는 타겟 재료 액적을 변형시킬 수 있는 펄스식 방사선 빔을 방출하는 EUV 광원에 대해 수행될 수 있다. 일례의 프로세스(900)를 EUV 광원(400)을 참조하여 설명한다.

[0063] 타겟 재료 액적의 스트림이 타겟 재료공급 장치(447)로부터 방출된다(910). 타겟 재료 액적의 스트림은 타겟 재료 액적(405a, 405b)을 포함한다. 타겟 재료 액적의 스트림은 타겟 지점(442) 쪽으로 배출되거나 방출된다. 액적 위치 피드백 시스템(456)은 액적(405b)이 타겟 재료 공급 장치(447)와 타겟 지점(442) 사이에 있는 것을



결정하기 위해 사용될 수 있다(920). 타겟 재료 공급 장치(447)와 타겟 지점(442) 사이에 있는 타겟 재료 액적(405b)의 예가 도 4에 도시되어 있다. 몇몇 구현예에서, 타겟 재료 액적(405b)은 타겟 재료 액적(405b)이 타겟 재료 공급 장치(447)와 타겟 지점(442) 사이에 있는 것으로 결정된 때에는 "-x" 방향으로 약 120  $\mu\text{m}$  변위된다.

[0064]

공간적으로 확장된 타겟 분포(605)가 생성된다(930). 타겟 재료 액적(405b)이 타겟 재료 공급 장치(447)와 타겟 지점(442) 사이에 있는 동안 방사선의 펄스(417)를 타겟 재료 액적(405b) 쪽으로 지향시킴으로써 그리고 그 결과의 물리적으로 변형된 타겟 재료 액적을 확장되도록 함으로써, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)가 발생된다. 도 5에 도시된 바와 같이, 방사선의 펄스(417)와 타겟 재료 액적(405b) 간의 상호작용은 액적을 기하학적 분포(505)로 변형시킨다. 상호작용 후에 한정된 기간의 시간이 경과한 다음에, 기하학적 분포(505)는 타겟 지점(442) 쪽으로 이동하는 동안 길어지게 되고, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)를 형성한다. 방사선의 펄스(417)는 타겟 지점(442)에 도달하기 전에 타겟 재료 액적(405b) 쪽으로 지향된다. 이러한 양상으로, 타겟(605)은 사전 형성되며, 타겟 지점(442)에 도달하는 때에는 실질적으로 이온화되지 않는다.

[0065]

타겟 재료 액적(405b)에 비하여, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)는 접근하는 펄스식 방사선 빔을 마주보는 평면에서 더 큰 단면 직경을 갖는다. 접근하는 펄스식 방사선 빔을 마주보는 평면은 빔의 전파의 방향을 가로지르는 평면일 수 있다. 다른 예에서, 이 평면은 전파의 방향을 가로지르지 않지만 여전히 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)로 하여금 광을 역으로 증폭기(420)에 반사시키도록 하는 각도로, 펄스식 방사선 빔의 전파의 방향에 대하여, 각도를 이룰 수 있다. 더 큰 단면 직경은 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)로 하여금 타겟 재료 액적(405b)보다는 증폭기(420)로 더 많은 광을 반사하도록 한다.

[0066]

반사성 광학 기기(412)가 빔 경로(410) 상의 광의 일부를 반사하도록 위치된다(940). 빔 경로(410)는 타겟 지점(442)과 교차한다. 그러므로, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)가 공간에서 빔 경로(410)와 일치하는 때에, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)와 반사성 광학 기기는 비공진성일 수도 있는 광학 캐비티(702)(도 7)를 형성한다. 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)와 반사성 광학 기기(412) 사이에 증폭 광범이 발생된다(950).

[0067]

이 프로세스(900)는 이득 매체(420)의 이득 또는 증폭을 향상시키기 위해 또 다른 타겟 재료 액적으로 반복될 수 있다. 최초의 광범의 20-40 ns 후에 제2 광범이 형성될 수 있다. 이러한 방식으로, 타겟 재료 액적을 방사선의 펄스로 조사함으로써 형성되는 공간적으로 확장된 타겟 분포와 반사성 광학 기기(412) 사이에 광학 캐비티를 반복하여 형성함으로써 광 펄스의 트레인(train of light pulse)이 발생할 수 있다.

[0068]

도 10은 또 다른 예의 EUV 광원(1000)을 도시하고 있다. EUV 광원(1000)은 EUV 광원 400과 유사하며, EUV 광원(1000)은 타겟 재료 액적(405b)을 방사선의 펄스(417)로 조사함으로써 타겟 재료 액적(405b)을 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)로 물리적으로 변형시킨다. 그러나, EUV 광원(1000)은 외부 레이저 소스(1002)를 포함한다. 외부 레이저 소스(1002)는 증폭기(420)의 이득 대역 내에 있는 광자를 광 경로(410)에 공급한다.

[0069]

외부 레이저 소스(1002)로부터의 광을 예컨대 한쪽 끝에 있는 터닝 미러의 구멍부를 통해서 이득 매체(420)의 체인의 다른쪽 끝에 주입할 수 있는 것과 같은 몇몇 방식이 있다. 이 광은 공간적으로 확산된 타겟 분포에서 반사되고, 그리고 나서 역으로 레이저 내로 반사될 수 있다.

[0070]

공간적으로 확장된 타겟 분포(605)가 타겟 지점(442)에 도달하기 직전의 시간에서의 EUV 광원(1000)이 도시되어 있다. 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)가 타겟 지점(442)에 도달하는 때에, 광 경로(410)에 공급되는 추가의 광자(공간적으로 확장된 타겟 분포(605)에서의 반사로부터의)가 증폭기(420a, 420b, 420c) 내로부터의 자발 방출에 의해 방출되는 광자에 추가된다. 레이저 소스(1002)로부터의 광자는 증폭기(420a, 420b, 420c)의 이득 대역과 동일한 파장이어도 된다. 증폭기(420a, 420b, 420c)에 의해 증폭되는 추가의 광자의 존재는 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)와 반사성 광학 기기(412) 간의 광의 발생을 도와줄 수 있다. 예컨대, 레이저 소스(1002)가 없는 유사한 EUV 광원에 비하여, 광은 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)로부터 더 적은 광이 반사되는 상태로 발생할 수 있다.

[0071]

청구항들의 범위 내에서 다른 구현예도 가능하다. 예컨대, 공간적으로 확장된 타겟 분포(605)는 디스크로부터 약간 변경되는 형상을 가질 수 있다. 공간적으로 확장된 타겟 분포는 예컨대 하나 이상의 평탄 측면 및/또는 요철 표면(indented surface)을 가질 수 있다. 공간적으로 확장된 타겟 분포는 보울(bowl)과 같은 형상을 가질 수 있다.

[0072]

도 3에 도시된 예에서는, 구동 레이저 시스템(315)과 사전-펄스 소스(324)가 별도의 소스로서 도시되어 있다. 그러나, 다른 구현예에서는 방사선의 펄스(317)(방사선의 펄스 417로서 사용될 수 있는)와 증폭 광범(316) 둘 모두가 구동 레이저 시스템(315)에 의해 발생할 수도 있다. 이러한 구현예에서, 구동 레이저 시스템(315)은 2

개의 CO<sub>2</sub> 시드 레이저 서브시스템(seed laser subsystem) 및 하나의 증폭기를 포함할 수 있다. 시드 레이저 서브시스템 중의 하나는 10.26  $\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는 증폭 광빔을 발생할 수 있으며, 다른 시드 레이저 서브시스템은 10.59  $\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는 증폭 광빔을 발생할 수 있다. 이들 2개의 파장은 CO<sub>2</sub> 레이저의 상이한 라인으로부터 공급될 수 있다. 2개의 시드 레이저 서브시스템으로부터의 증폭 광빔 둘 모두는 동일한 파워 증폭기 체인에서 증폭되고, 그리고나서 챔버(340) 내의 상이한 지점에 도달하도록 각을 이루며 분산된다. 일례에서, 10.26  $\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는 증폭 광빔은 사전-펄스(317)로서 사용되며, 10.59  $\mu\text{m}$ 의 파장을 갖는 증폭 광빔은 증폭 광빔(316)으로서 사용된다. 다른 예에서, 상이한 파장을 발생할 수 있는 CO<sub>2</sub> 레이저의 다른 라인이 2개의 증폭 광빔(그 중 하나는 방사선의 펄스(317)이고, 다른 하나는 증폭 광빔(316)임)을 발생하도록 사용될 수 있다.

[0073]

증폭 광빔(316) 및 방사선의 펄스(317)를 챔버(340)에 지향시키는 광학 요소(322)(도 3)는 증폭 광빔(316) 및 방사선의 펄스(317)를 유사 경로를 따라 지향시킬 수 있는 어떠한 요소이어도 된다. 예컨대, 광학 요소(322)는 증폭 광빔(316)을 수신하고 증폭 광빔을 챔버(340) 쪽으로 반사시키는 이색성 빔스플리터(dichroic beamsplitter)이어도 된다. 이색성 빔스플리터는 방사선의 펄스(317)를 수신하고, 이 펄스를 광학 챔버(340) 쪽으로 투과한다. 이색성 빔스플리터는 예컨대 다이아몬드로 구성될 수 있다.

[0074]

다른 구현예에서, 광학 요소(322)는 애퍼처(도시하지 않음)를 형성하는 미러이다. 이 구현예에서 증폭 광빔(316)은 미러 표면으로부터 반사되고, 챔버(340) 쪽으로 지향되며, 방사선의 펄스는 애퍼처를 통과하고 챔버(340) 쪽으로 전파된다.

[0075]

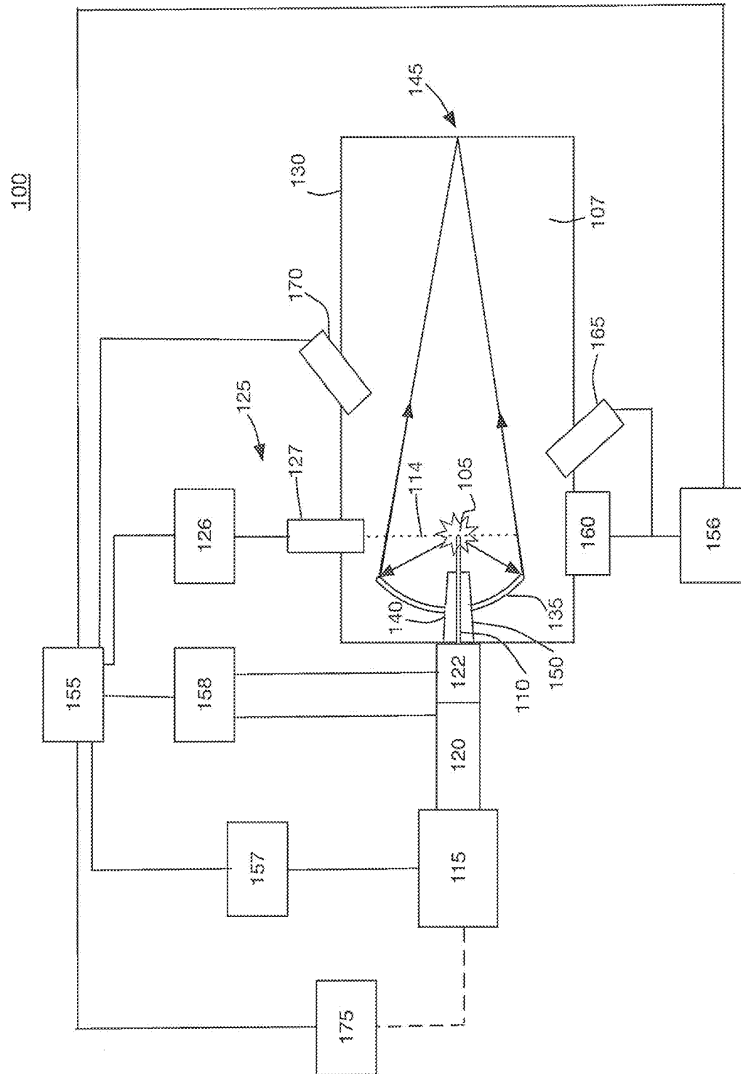
다른 구현예에서, 메인 펄스(316), 사전-펄스 317, 및 사전 펄스 318을 이들의 파장에 따라 상이한 각도로 분리하기 위해 웨지 형상 광학 기기(wedge-shaped optic)(예컨대, 프리즘)가 사용될 수 있다. 웨지 형상 광학 기기는 광학 요소(322)에 부가하여 사용될 수도 있고, 또는 광학 요소(322)로서 사용될 수도 있다. 웨지 형상 광학 기기는 포커싱 조립체(326)의 바로 위의 상류("-z" 방향에서)에 위치될 수 있다.

[0076]

이에 부가하여, 방사선의 펄스(317)는 다른 방식으로 챔버(340)에 전달될 수 있다. 예컨대, 펄스(317)는 광학 요소(322) 또는 기타 지향 요소(directing element)를 사용하지 않고서도 펄스(317, 318)를 챔버(340) 및/또는 포커싱 조립체(326)에 전달하는 광섬유를 통해 이동할 수 있다. 이들 구현예에서, 광섬유는 방사선의 펄스(317)를 챔버(340)의 벽에 형성된 개구부를 통해 챔버(340)의 내부로 직접 보낼 수 있다.

도면

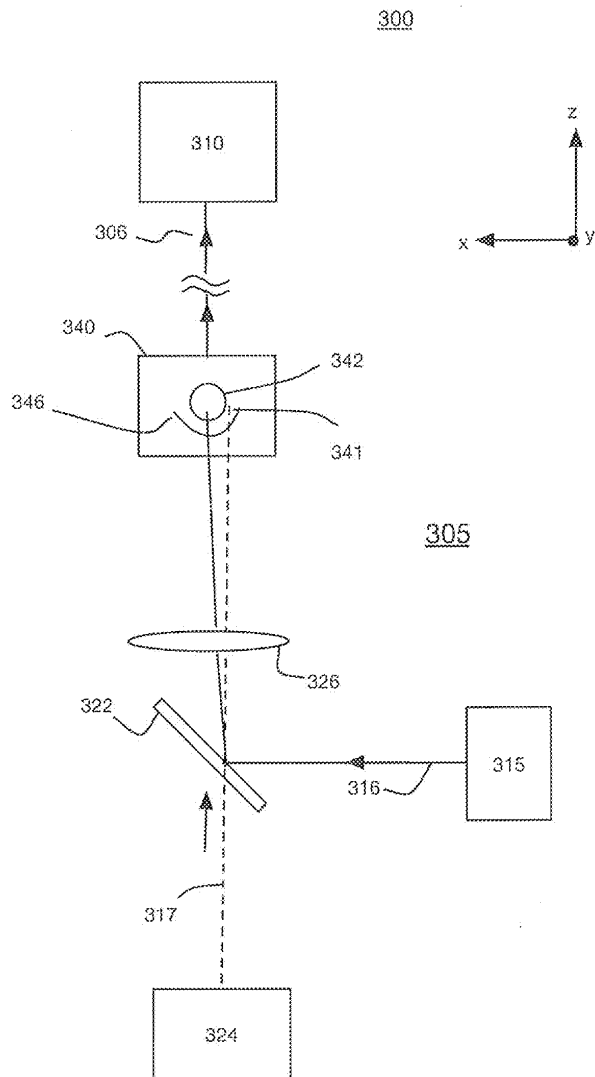
도면1



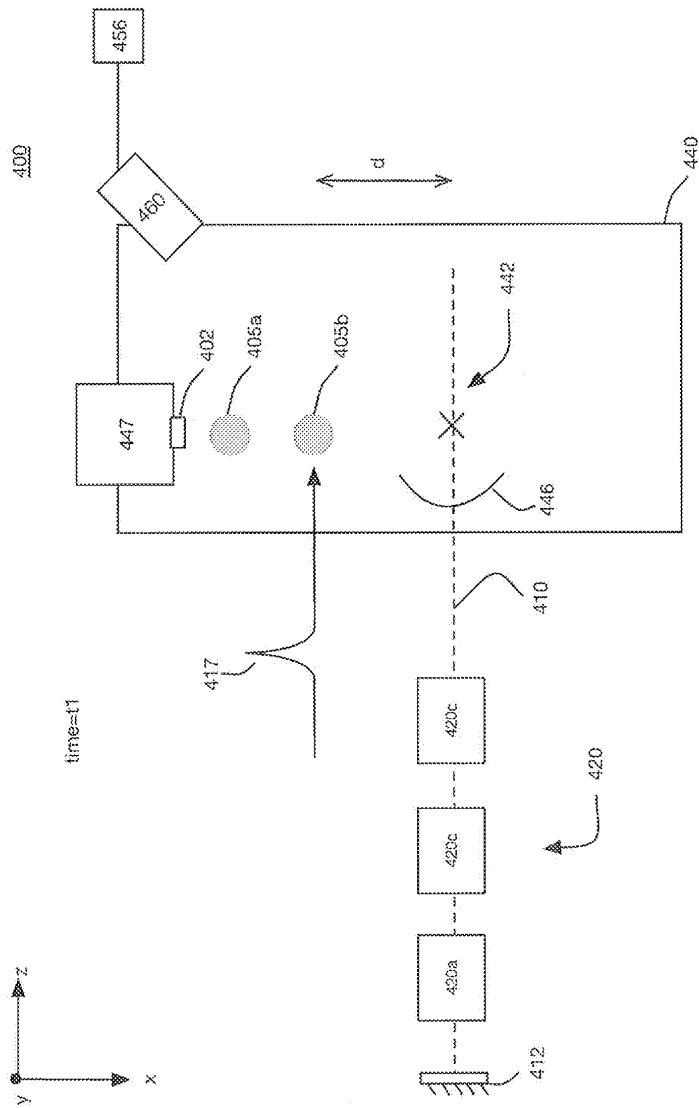




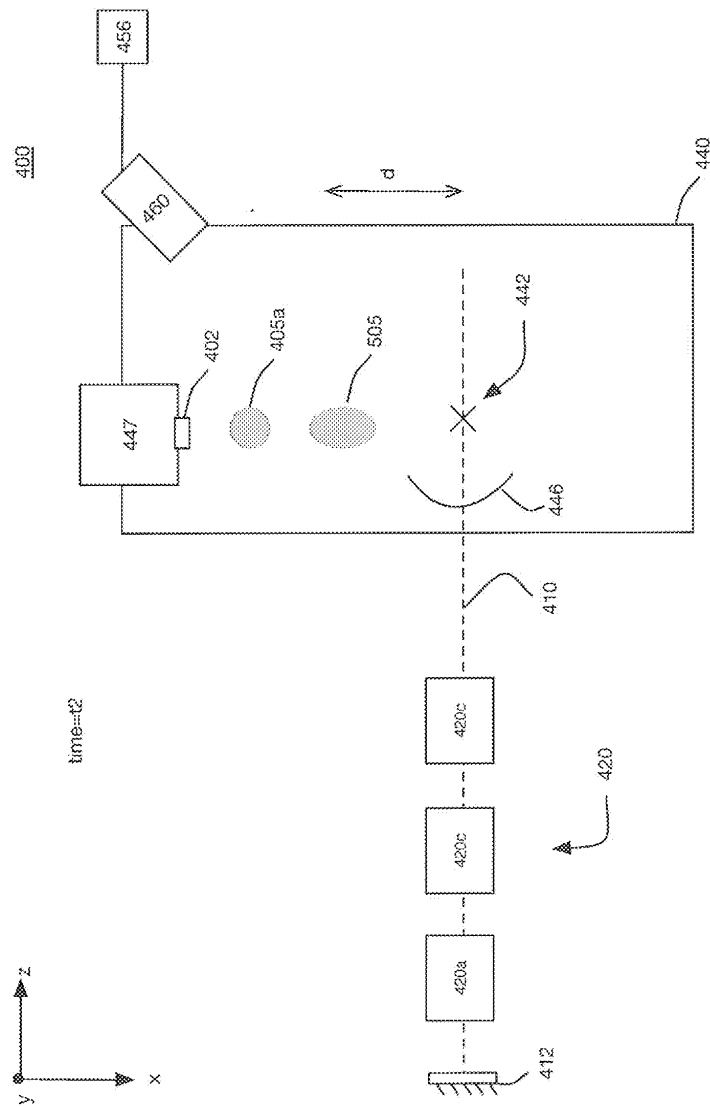
도면3



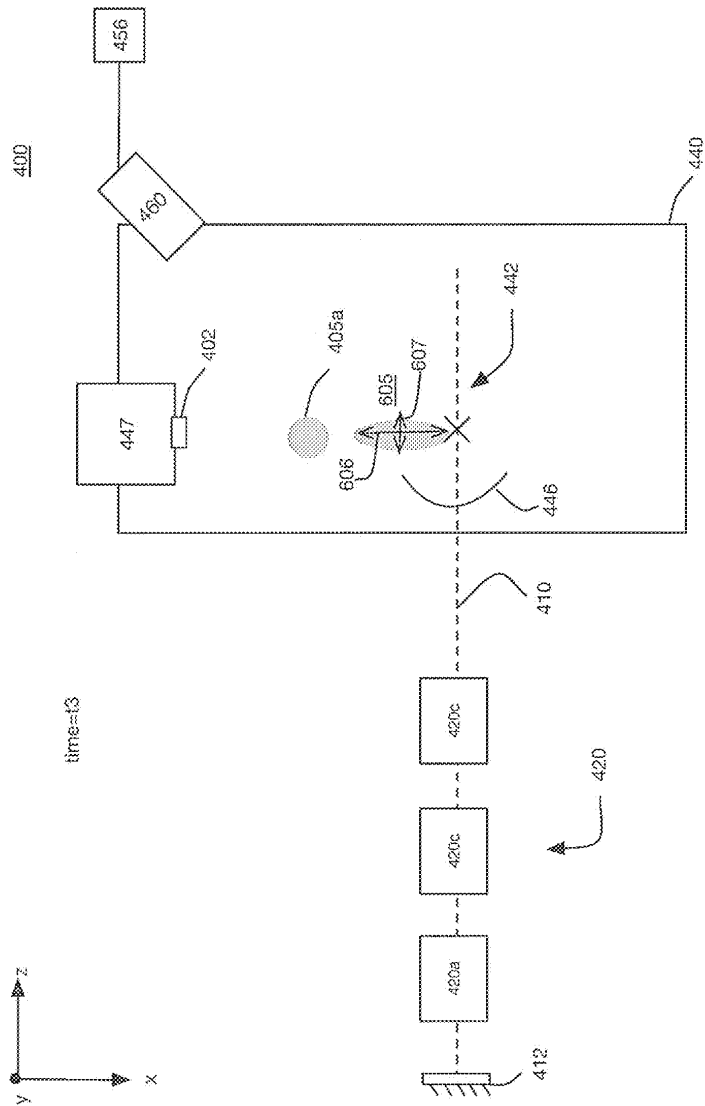
도면4



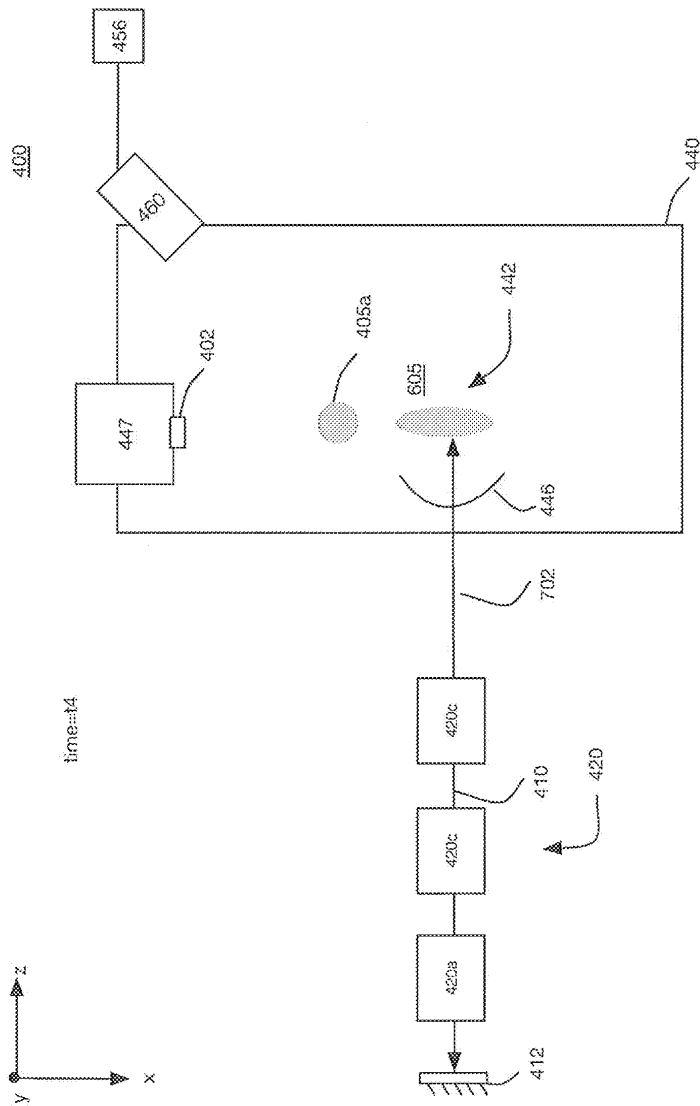
도면5



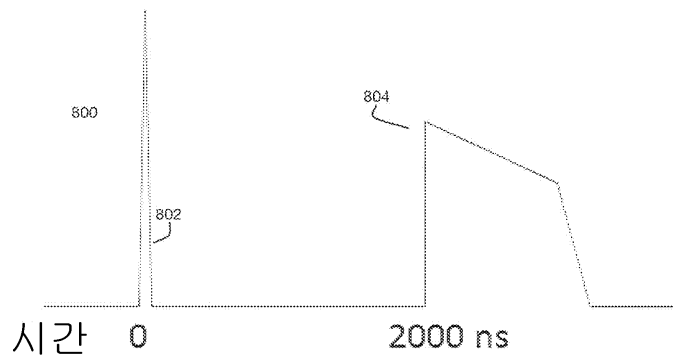
도면6



도면7

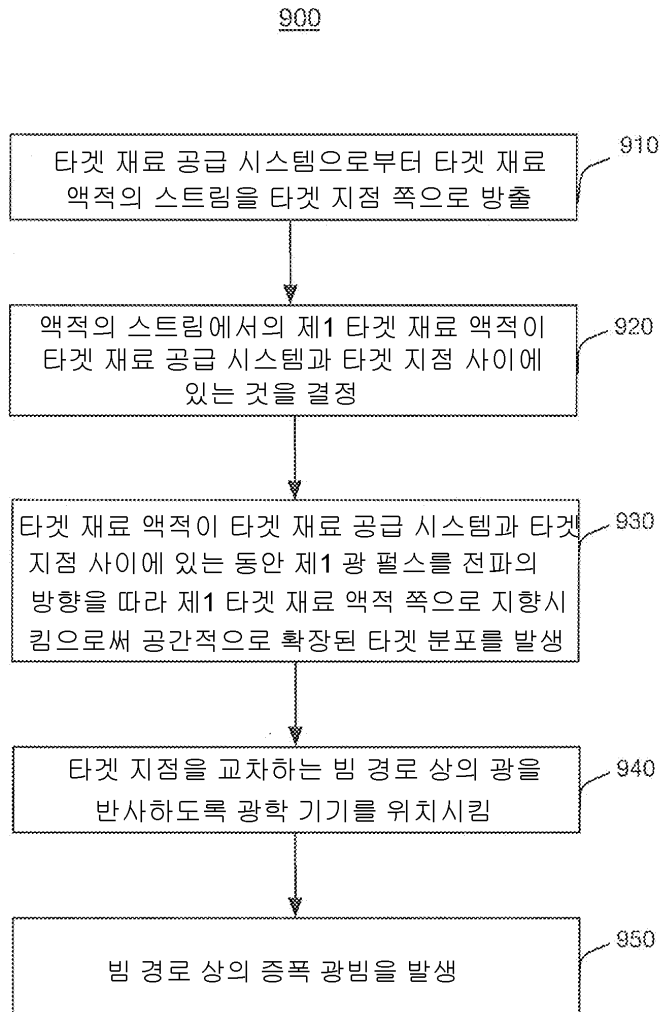


도면8





도면9



도면10

