



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년09월04일

(11) 등록번호 10-2151765

(24) 등록일자 2020년08월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05G 2/00 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
G21K 5/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H05G 2/008 (2013.01)
G03F 7/70033 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-7027195

(22) 출원일자(국제) 2014년02월18일

심사청구일자 2019년01월24일

(85) 번역문제출일자 2015년10월01일

(65) 공개번호 10-2015-0131084

(43) 공개일자 2015년11월24일

(86) 국제출원번호 PCT/US2014/016967

(87) 국제공개번호 WO 2014/143504

국제공개일자 2014년09월18일

(30) 우선권주장

13/830,461 2013년03월14일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

JP2013004258 A*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 21 항

심사관 : 오승재

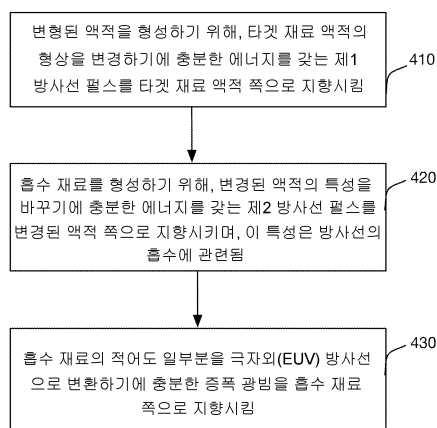
(54) 발명의 명칭 레이저 생성 플라즈마 극자의 광원용 타겟

(57) 요약

EUV(extreme ultraviolet) 광을 발생하는 기술은, 변형된 액적(modified droplet)을 형성하기 위해, 타겟 재료 액적의 형상을 변경하기 위해 충분한 에너지를 갖는 제1 방사선 펄스를 타겟 재료 액적 쪽으로 지향시키는 단계와, 흡수 재료를 형성하기 위해, 변형된 액적의 특성을 바꾸기에 충분한 에너지를 갖는 제2 방사선 펄스를 변형된 액적 쪽으로 지향시키는 단계로서, 이 특성은 방사선의 흡수에 관련되는, 제2 방사선 펄스를 지향시키는 단계와, 흡수 재료의 적어도 일부분을 극자외(EUV) 광으로 변환하기에 충분한 증폭 광빔을 상기 흡수 재료 쪽으로 지향시키는 단계를 포함한다.

대표도 - 도4

400



(52) CPC특허분류

G21K 5/00 (2013.01)

H05G 2/005 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

US20100303199 A1

US20080067456 A1

KR1020090117810 A

KR1020070110890 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

EUV(extreme ultraviolet) 광을 발생하는 방법에 있어서,

용융 금속의 디스크 형상 세그먼트를 포함하는 변형된 액적(modified droplet)을 형성하기 위해, 타겟 재료 액적의 형상을 변경하기에 충분한 에너지를 갖는 제1 방사선 펄스를 상기 타겟 재료 액적 쪽으로 지향시키는 단계;

흡수 재료를 형성하기 위해, 상기 변형된 액적의 특성을 바꾸기에 충분한 에너지를 갖는 제2 방사선 펄스를 상기 변형된 액적 쪽으로 지향시키는 단계로서, 상기 특성은 방사선의 흡수와 관련된 것이고, 상기 흡수 재료는 타겟 재료의 연속적인 세그먼트를 포함하는, 제2 방사선 펄스를 지향시키는 단계; 및

상기 흡수 재료의 적어도 일부분을 극자외(EUV) 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한 에너지를 갖는 증폭 광빔을 상기 흡수 재료 쪽으로 지향시키는 단계

를 포함하는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 변형된 액적은, 제1 방향을 따라 연장되는 폭 및 상기 제1 방향과 상이한 제2 방향을 따라 상기 제2 방사선 펄스의 전파의 방향으로 연장되는 두께를 갖는 타겟 재료의 연속적인 세그먼트를 포함하며,

상기 폭은 상기 두께보다 큰,

EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 제1 방향을 포함하는 평면이 상기 제2 방사선 펄스의 전파의 방향에 대하여 각도를 이루는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 변형된 액적의 특성은 전자 밀도와 이온 밀도 중의 하나 이상을 포함하며, 상기 흡수 재료는 상기 타겟 재료의 연속적인 세그먼트의 표면에 인접한 플라즈마를 포함하는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 변형된 액적의 특성은 표면적을 포함하며, 상기 흡수 재료는 타겟 재료의 복수의 조각을 포함하며, 상기 복수의 조각이 상기 변형된 액적보다 큰 집합 표면적(collective surface area)을 갖는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 제1 방사선 펄스는 10 μm 의 파장, 20-70 ns의 펄스 지속기간, 및 15-60 mJ의 에너지를 갖는 광의 펄스를 포함하며,

상기 제2 방사선 펄스는 1-10 μm 의 파장, 10 ns의 펄스 지속기간, 및 1-10 mJ의 에너지를 갖는 광의 펄스를 포함하는,

EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1 방사선 펄스 및 상기 제2 방사선 펄스는 1 ns 이상의 지속기간을 갖는 광의 펄스인, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제2 방사선 펄스는 1 ns 내지 100 ns의 지속기간을 갖는 광의 펄스를 포함하는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 제2 방사선 펄스는 상기 제1 방사선 펄스가 타겟 재료 액적 쪽으로 지향되고나서 1-3 μs 후에 상기 변형된 액적 쪽으로 지향되는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 증폭 광빔 중 적어도 2%가 EUV 방사선으로 변환되는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 증폭 광빔은 광의 펄스를 포함하며, 광의 후속 펄스는 상기 증폭 광빔이 상기 흡수 재료 쪽으로 지향되고 나서 25 μs 이하의 시간 후에 제2 흡수 재료 쪽으로 지향되며, 상기 제2 흡수 재료는 상기 흡수 재료 이후에 형성되고, 제2 타겟 재료 액적으로 형성되는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 제1 방사선 펄스는 300 ps 이하의 지속기간을 갖는 방사선의 펄스를 포함하는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 변형된 액적은 타겟 재료의 입자의 반구 형상 체적부인, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 15

극자의 광원에 있어서,

증폭 광빔, 제1 방사선 펄스 및 제2 방사선 펄스를 발생하는 소스;

타겟 재료 전달 시스템;

상기 타겟 재료 전달 시스템에 연결된 진공 챔버; 및

상기 증폭 광빔, 상기 제1 방사선 펄스 및 상기 제2 방사선 펄스를, 상기 진공 챔버 내에서 상기 타겟 재료 전

달 시스템으로부터 타겟 재료를 받아들이는 타겟 지점 쪽으로 조향(steer)하고 포커싱하도록 구성된 조향 시스템

을 포함하며,

상기 제1 방사선 펄스는 용융 금속의 디스크 형상 세그먼트를 포함하는 변형된 액적을 생성하도록 타겟 재료의 형상을 변경하기에 충분한 에너지를 가지며,

상기 제2 방사선 펄스는, 흡수 재료를 형성하도록, 방사선의 흡수와 관련되는 상기 변형된 액적의 특성을 바꾸기에 충분한 에너지를 가지며,

상기 증폭 광빔은 상기 흡수 재료의 적어도 일부분을 극자외(EUV) 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한,

극자외 광원.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 소스는 제1 소스, 제2 소스, 및 제3 소스를 포함하며, 상기 제1 소스가 상기 제1 방사선 펄스를 발생하고, 상기 제2 소스가 상기 제2 방사선 펄스를 발생하고, 상기 제3 소스가 상기 증폭 광빔을 발생하는, 극자외 광원.

청구항 17

제15항에 있어서,

상기 소스는 상기 증폭 광빔 및 상기 제1 방사선 펄스를 발생하는 제1 소스와, 상기 제2 방사선 펄스를 발생하는 제2 소스를 포함하는, 극자외 광원.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 제1 소스는 CO₂ 레이저를 포함하며, 상기 증폭 광빔 및 상기 제1 방사선 펄스는 상이한 파장을 갖는, 극자외 광원.

청구항 19

제1항에 있어서,

상기 용융 금속의 디스크 형상 세그먼트는 용융 주석을 포함하는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 20

EUV 광을 발생하는 방법에 있어서,

변형된 액적을 형성하기 위해, 타겟 재료 액적의 형상을 변경하기에 충분한 에너지를 갖는 제1 방사선 펄스를 상기 타겟 재료 액적 쪽으로 지향시키는 단계;

흡수 재료를 형성하기 위해, 상기 변형된 액적의 특성을 바꾸기에 충분한 에너지를 갖는 제2 방사선 펄스를 상기 변형된 액적 쪽으로 지향시키는 단계로서, 상기 특성은 방사선의 흡수에 관련되는, 제2 방사선 펄스를 지향시키는 단계; 및

상기 흡수 재료의 적어도 일부분을 극자외(EUV) 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한 에너지를 갖는 증폭 광빔을 상기 흡수 재료 쪽으로 지향시키는 단계

를 포함하고, 상기 제1 방사선 펄스는 100ps 내지 300ps의 지속기간을 갖는 방사선의 펄스를 포함하고, 상기 변형된 액적은 타겟 재료의 입자의 반구 형상 체적부인, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 21

EUV 광을 발생하는 방법으로서,

변형된 타겟을 형성하기 위해, 플라즈마로 변환될 때 EUV 광을 방출하는 타겟 재료를 포함하는 초기 타겟 쪽으로 제1 방사선 펄스를 지향시키는 단계로서, 상기 변형된 타겟은 상기 초기 타겟과는 상이한 기하학적 분포의 타겟 재료를 포함하는, 제1 방사선 펄스를 지향시키는 단계;

타겟을 형성하기 위해 상기 변형된 타겟 쪽으로 제2 방사선 펄스를 지향시키는 단계; 및

상기 타겟 쪽으로 증폭 광빔을 지향시키는 단계로서, 상기 증폭 광빔은 상기 타겟의 적어도 일부분을 EUV 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한 에너지를 가지고, 상기 증폭 광빔과 제2 방사선 펄스는 1 내지 200 ns 의 지연 시간만큼 시간상으로 분리되어 있고, 상기 타겟 재료는 주석을 포함하는, 증폭 광빔을 지향시키는 단계를 포함하는, EUV 광을 발생하는 방법.

청구항 22

극자외(EUV) 광원에 있어서,

증폭 광빔, 제1 방사선 펄스 및 제2 방사선 펄스를 발생하는 소스;

타겟 재료 전달 시스템;

상기 타겟 재료 전달 시스템으로부터 타겟 지점에서 초기 타겟을 받아들이는 진공 챔버로서, 상기 초기 타겟은 플라즈마로 변환될 때 EUV 광을 방출하는 타겟 재료를 포함하고, 상기 타겟 재료는 주석을 포함하는, 진공 챔버;

상기 증폭 광빔, 상기 제1 방사선 펄스 및 상기 제2 방사선 펄스를 상기 타겟 지점 쪽으로 조향하도록 구성된 조향 시스템으로서, 상기 제1 방사선 펄스는 변형된 타겟을 형성하도록 상기 초기 타겟에서의 타겟 재료의 기하학적 분포를 변경하기에 충분한 에너지를 가지며, 상기 제2 방사선 펄스는 타겟을 형성하도록 상기 변형된 타겟의 흡수 특성을 바꾸기에 충분한 에너지를 가지며, 상기 증폭 광빔은 상기 타겟의 적어도 일부분을 EUV 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한, 조향 시스템; 및

광원의 레이저 타이밍 회로를 제어하도록 구성되고, 컴퓨터 판독가능 매체 상에 저장된 실행가능한 명령을 포함하며, 상기 증폭 광빔이 상기 제2 방사선 펄스이후 1 ns 내지 200 ns에 발생하게 하도록 구성되는, 레이저 제어 시스템

을 포함하는, 극자외(EUV) 광원.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 레이저 생성 플라즈마 극자외 광원용 타겟에 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(extreme ultraviolet, EUV) 광이 예컨대 실리콘 웨이퍼와 같은 기판에 극소형의 피처(feature)를 생성하기 위한 광 리소그래피 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), 플레이트, 테이프, 스트림 또는 클러스터의 형태의 타겟 재료를 구동 레이저로 지칭될 수 있는 증폭 광빔(amplified light beam)으로 조사함으로써 원하는 플라즈마가 발생될 수 있다. 이 공정을 위하여, 플라즈마는 전형적으로 밀봉 용기, 예컨대 진공 챔버에서 발생되고, 다양한 유형의 계측 기기를 사용하여 모니터링된다.

발명의 내용

[0004] 하나의 전반적인 양태에서, EUV(extreme ultraviolet) 광을 발생하는 방법은, 변형된 액적(modified droplet)을 형성하기 위해, 타겟 재료 액적의 형상을 변경하기에 충분한 에너지를 갖는 제1 방사선 펄스를 상기 타겟 재

료 액적 쪽으로 지향시키는 단계와, 흡수 재료를 형성하기 위해, 상기 변형된 액적의 특성을 바꾸기에 충분한 에너지를 갖는 제2 방사선 펄스를 상기 변형된 액적 쪽으로 지향시키는 단계로서, 상기 특성은 방사선의 흡수에 관련되는, 제2 방사선 펄스를 상기 변형된 액적 쪽으로 지향시키는 단계와, 상기 흡수 재료의 적어도 일부분을 극자의(EUV) 광으로 변환하기에 충분한 에너지를 갖는 증폭 광빔을 상기 흡수 재료 쪽으로 지향시키는 단계를 포함한다.

- [0005] 본 발명의 구현에는 이하의 특징의 하나 이상을 포함할 수 있다. 상기 변형된 액적은, 제1 방향을 따라 연장되는 폭 및 상기 제1 방향과 상이한 제2 방향을 따라 연장되는 두께를 갖는 타겟 재료의 연속적인 세그먼트를 포함할 수 있다. 상기 제2 방향은 상기 제2 방사선 펄스의 전파의 방향이며, 상기 폭은 상기 두께보다 크다. 상기 제1 방향을 포함하는 평면이 상기 제2 방사선 펄스의 전파의 방향에 대하여 각도를 이룰 수 있다. 상기 흡수 재료는 상기 타겟 재료의 연속적인 세그먼트를 포함할 수 있다.
- [0006] 상기 변형된 액적의 특성은 전자 밀도와 이온 밀도 중의 하나 이상일 수 있으며, 상기 흡수 재료는 상기 타겟 재료의 연속적인 세그먼트의 표면에 인접한 플라스마를 포함할 수 있다. 상기 변형된 액적의 특성은 표면적일 수 있다. 상기 흡수 재료는 상기 타겟 재료의 복수의 조각을 포함할 수 있으며, 상기 복수의 조각이 상기 변형된 액적보다 큰 집합 표면적(collective surface area)을 갖는다.
- [0007] 상기 제1 방사선 펄스는 10 μm 의 파장, 40 ns의 펄스 지속기간, 및 20 mJ의 에너지를 갖는 광의 펄스이어도 되며, 상기 제2 방사선 펄스는 1 μm 의 파장, 10 ns의 펄스 지속기간, 및 5 mJ의 에너지를 갖는 광의 펄스이어도 된다.
- [0008] 상기 제1 방사선 펄스는 10 μm 의 파장, 20-70 ns의 펄스 지속기간, 및 15-60 mJ의 에너지를 갖는 광의 펄스이어도 되며, 상기 제2 방사선 펄스는 1-10 μm 의 파장, 10 ns의 펄스 지속기간, 및 1-10 mJ의 에너지를 갖는 광의 펄스이어도 된다.
- [0009] 상기 제1 방사선 펄스는 1-10 μm 의 파장, 40 ns의 펄스 지속기간, 및 20 mJ의 에너지를 갖는 광의 펄스이어도 되며, 상기 제2 방사선 펄스는 1 μm 의 파장, 10 ns의 펄스 지속기간, 및 1 mJ의 에너지를 갖는 광의 펄스이어도 된다.
- [0010] 상기 제1 방사선 펄스 및 상기 제2 방사선 펄스는 1 ns 이상의 지속기간을 갖는 광의 펄스이어도 된다.
- [0011] 상기 제2 방사선 펄스는 1 ns 내지 100 ns의 지속기간을 갖는 광의 펄스이어도 된다.
- [0012] 상기 제2 방사선 펄스는 상기 제1 방사선 펄스가 타겟 재료 액적 쪽으로 지향되고나서 1-3 μs 후에 상기 변형된 액적 쪽으로 지향될 수 있다.
- [0013] 상기 제1 방사선 펄스는 적어도 1 ns의 지속기간을 갖는 광의 펄스이어도 되며, 상기 제2 방사선 펄스는 적어도 1 ns의 지속기간을 갖는 광의 펄스이어도 된다.
- [0014] 몇몇 구현예에서, 상기 증폭 광빔 중 적어도 2%가 EUV 방사선으로 변환될 수 있다.
- [0015] 상기 증폭 광빔은 광의 펄스이어도 되며, 광의 후속 펄스는 상기 증폭 광빔이 상기 흡수 재료 쪽으로 지향되고 나서 25 μs 이하의 시간 후에 제2 흡수 재료 쪽으로 지향될 수 있다. 상기 제2 흡수 재료는 상기 흡수 재료 이후에 형성되고, 제2 타겟 재료 액적으로 형성된다.
- [0016] 상기 제1 방사선 펄스는 300 ps 이하의 지속기간을 갖는 방사선의 펄스이어도 된다. 상기 제1 방사선 펄스는 100 ps 내지 300 ps의 지속기간을 갖는 방사선의 펄스이어도 된다. 상기 변형된 액적은 타겟 재료의 입자의 반구 형상 체적부이어도 된다.
- [0017] 또 다른 전반적인 양태에서, 극자의 광원은, 증폭 광빔, 제1 방사선 펄스 및 제2 방사선 펄스를 발생하는 소스와, 타겟 재료 전달 시스템과, 상기 타겟 재료 전달 시스템에 연결된 진공 챔버와, 상기 증폭 광빔, 상기 제1 방사선 펄스 및 상기 제2 방사선 펄스를, 상기 진공 챔버 내에서 상기 타겟 재료 전달 시스템으로부터의 타겟 재료를 받아들이는 타겟 지점 쪽으로 조향(steer)하고 포커싱하도록 구성된 조향 시스템을 포함한다. 상기 제1 방사선 펄스는 변형된 액적을 생성하도록 타겟 재료 액적의 형상을 변경하기에 충분한 에너지를 가지며, 상기 제2 방사선 펄스는 방사선의 흡수에 관련되는 상기 변형된 액적의 특성을 바꾸기에 충분한 에너지를 가지며, 상기 증폭 광빔은 상기 흡수 재료의 적어도 일부분을 극자의(EUV) 광으로 변환하기에 충분하다.
- [0018] 본 발명의 구현에는 이하의 특징의 하나 이상을 포함할 수 있다. 상기 소스는 제1 소스, 제2 소스, 및 제3 소스를 포함할 수 있으며, 상기 제1 소스가 상기 제1 방사선 펄스를 발생하고, 상기 제2 소스가 상기 제2 방사선

펄스를 발생하고, 상기 제3 소스가 상기 증폭 광빔을 발생한다.

[0019] 상기 소스는 상기 증폭 광빔 및 상기 제1 방사선 펄스를 발생하는 제1 소스와, 상기 제2 방사선 펄스를 발생하는 제2 소스를 포함할 수 있다.

[0020] 상기 제1 소스는 CO₂ 레이저를 포함할 수 있으며, 상기 증폭 광빔 및 상기 제1 방사선 펄스는 상이한 파장을 가질 수 있다.

[0021] 전술한 임의의 기술의 구현예는 레이저 생성 플라즈마 EUV 광원용 타겟, EUV 광원, EUV 광원을 제조정하기 위한 시스템, 방법, 프로세스, 디바이스, 컴퓨터 판독 가능 매체 상에 저장된 실행 가능 명령, 또는 장치를 포함할 수 있다. 하나 이상의 구현예의 자세한 내용이 첨부 도면과 이하의 발명의 구체적인 내용에서 기재된다. 발명의 구체적인 내용 및 도면, 그리고 청구범위로부터 다른 특징이 명백하게 될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1a는 일례의 타겟으로 변환되는 타겟 재료 액적을 도시하는 도면이다.

도 1b는 도 1a의 타겟을 발생하기 위한 일례의 파형의 플롯이다.

도 1c는 타겟 재료에 부딪히는 방사선의 2개의 펄스의 측면도이다.

도 1d는 EUV 광원을 위한 일례의 파형의 플롯이다.

도 2a는 레이저 생성 플라즈마 극자와 광원의 블록 다이어그램이다.

도 2b는 도 2a의 광원에 사용될 수 있는 일례의 구동 레이저 시스템의 블록 다이어그램이다.

도 3a는 또 다른 레이저 생성 플라즈마 극자와(EUV) 광원 및 EUV 광원에 연결된 리소그래피 툴의 평면도이다.

도 3b 내지 도 3d는 3개의 상이한 시간에서의 도 3a의 EUV 광원의 진공 챔버의 평면도이다.

도 4는 EUV 광을 발생하기 위한 일례의 공정의 흐름도이다.

도 5는 EUV 광을 발생하기 위한 또 다른 예의 파형의 플롯이다.

도 6a 내지 도 6e는 도 5의 파형과의 상호작용을 통해 타겟으로 변형되고 있는 타겟 재료 액적의 측면도이다.

도 6f 및 도 6g는 도 6c의 중간 타겟의 측면도이다.

도 7은 EUV 광을 발생하기 위한 또 다른 예의 파형의 플롯이다.

도 8의 (A)~(E)는 도 7의 파형과의 상호작용을 통해 타겟으로 변형되고 있는 타겟 재료 액적의 측면도이다.

도 9는 EUV 광을 발생하기 위한 또 다른 예의 파형의 플롯이다.

도 10의 (A)~(E)는 도 9의 파형과의 상호작용을 통해 타겟으로 변형되고 있는 타겟 재료 액적의 측면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 레이저 생성 플라즈마(LPP) 극자와(EUV) 광원에 사용하기 위한 타겟을 생성하는 기술이 개시된다. 타겟은 타겟 재료를 광의 2개의 펄스로 연속적으로 조사함으로써 생성된다. 제1 펄스는 중간 타겟을 발생하고, 제2 펄스는 중간 타겟과 상호작용하여 타겟을 발생한다. 그리고 나서, 타겟은 타겟 내의 타겟 재료를 EUV 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한 에너지를 갖는 증폭 광빔으로 조사된다. 몇몇 구현예에서, 광의 2개의 펄스의 각각은 적어도 1 ns의 펄스 폭 또는 시간적 지속기간(temporal duration)을 갖는다.

[0024] 도 1a 및 도 1b를 참조하면, 일례의 파형(5)이 타겟 재료(50)를 타겟(55)으로 변형시킨다. 타겟(55)은 플라즈마로 변환된 때에 EUV 광을 방출하는 타겟 재료를 포함한다. 타겟 재료(50)는 타겟 물질 및 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 임의의 재료이어도 된다. 예컨대, 타겟 물질은 순수 주석(Sn)으로서 사용되거나, 예컨대 SnBr₄, SnBr₂, SnH₄와 같은 주석 화합물로서 사용되거나, 예컨대 주석-갈륨 합금, 주석-인듐 합금, 주석-인듐-갈

를 합금, 또는 이들 합금의 임의의 조성물과 같은 주석 합금으로서 사용될 수 있는 주석 원소이어도 된다. 더욱이, 불순물이 없는 상황에서는, 타겟 재료는 타겟 물질만을 포함한다. 아래에서의 논의는 타겟 재료(50)가 용융 금속으로 이루어진 타겟 재료 액적인 예를 제공한다. 타겟 재료(50)는 타겟 재료 액적(50)으로서 지칭된다. 그러나, 타겟 재료(50)는 다른 형태를 취할 수도 있다.

[0025] 도 1a는 시간 기간에 걸쳐 중간 타겟(51)으로 그리고 나서 타겟(55)으로 물리적으로 변형되는 타겟 재료 액적(50)을 도시하고 있다. 타겟 재료 액적(50)은 파형(5)에 따라 시간에 맞게 전달된 방사선과의 상호작용을 통해 변형된다. 도 1b는 도 1a의 시간 기간에 걸쳐서의 시간을 함수로 하는 파형(5)에서의 에너지의 플롯이다. 타겟 재료 액적(50) 및 중간 타겟(51)에 비하여, 타겟(55)은 증폭 광빔(8)을 더 많이 흡수하고, 증폭 광빔(8)의 에너지의 더 많은 부분을 EUV 광(57)으로 변환한다.

[0026] 파형(5)은 타겟 재료 액적(50) 및 시간이 지남에 따른 타겟 재료 액적의 변형된 형태(modified form)와 상호작용하는 에너지의 표현이다. 파형(5)이 시간을 함수로 하는 단일 파형으로서 도시되어 있지만, 파형(5)의 여러 부분은 상이한 소스에 의해 발생될 수도 있다. 파형(5)은 제1 방사선 펄스(6)(제1 사전-펄스(6))의 표현 및 제2 방사선 펄스(7)(제2 사전-펄스(7))의 표현을 포함한다. 제1 사전-펄스(6) 및 제2 사전-펄스(7)는 타겟 재료 액적(50) 및 중간 타겟(51)에 각각 작용하기에 충분한 에너지를 갖는 어떠한 유형의 펄스식 방사선(pulsed radiation)이어도 된다. 사전-펄스의 예는 도 3a~도 3d, 도 4, 도 5, 도 7 및 도 9에 대하여 설명된다.

[0027] 제1 사전-펄스(6)는 시간 $t=t_1$ 에서 발생하고, 도면부호 12의 펄스 지속기간을 가지며, 제2 사전-펄스(7)는 시간 $t=t_2$ 에서 발생하고, 도면부호 14의 펄스 지속기간을 갖는다. 펄스 지속기간은 펄스가 펄스의 최대 세기의 적어도 절반인 세기를 갖는 시간의 양을 나타내는 반치전폭(full width at half maximum)에 의해 표현될 수 있다. 그러나, 펄스 지속기간을 결정하기 위해 다른 계량법이 사용될 수도 있다. 시간 t_1 과 t_2 는 제1 사전-펄스(6) 이후에 제2 사전-펄스(7)가 발생하기까지의 기간인 제1 지연 시간(11)에 의해 분리된다.

[0028] 파형(5)은 또한 증폭 광빔(8)의 표현을 보여주고 있다. 증폭 광빔(8)은 메인 빔 또는 메인 펄스로 지칭될 수 있다. 증폭 광빔(8)은 타겟(55) 내의 타겟 재료를 EUV 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한 에너지를 갖는다. 제2 사전-펄스(7)와 증폭 광빔(8)은 제2 사전-펄스(7) 후에 증폭 광빔(8)이 발생하기까지의 기간을 나타내는 제2 지연 시간(13)에 의해 시간적으로 분리된다.

[0029] 타겟(55)을 발생하거나 및/또는 사용할 수 있는 EUV 광원의 예가 도 2a, 도 2b 및 도 3a~도 3e에 도시되어 있다. EUV 광원을 설명하기 전에, 제1 사전-펄스(6) 및 제2 사전-펄스(7)를 포함한 광의 펄스와 타겟 재료 액적(50) 및 중간 타겟(51)과의 상호작용에 대한 설명이 제공된다.

[0030] 레이저 펄스가 금속성인 타겟 재료 액적에 충돌할 때(부딪힐 때), 펄스의 리딩 에지는 반사성 금속인 표면을 만나게 된다(상호작용하게 된다). 타겟 재료 액적(50)은 펄스의 리딩 에지에서의 에너지의 대부분을 반사하고, 약간만 흡수한다. 흡수되는 소량은 액적의 표면을 가열시켜서 표면을 증발 및 제거(ablate)한다. 액적의 표면으로부터 증발되는 타겟 재료는 표면에 가깝게 전자 및 이온의 클라우드(cloud)를 형성한다. 방사선의 펄스가 타겟 재료 액적에 지속적으로 충돌함에 따라, 레이저 펄스의 전기장은 클라우드 내의 전자가 이동되게 할 수 있다. 이동하는 전자는 가까이 있는 이온과 충돌하여, 클라우드 내의 전자와 이온의 밀도의 곱(product)에 대략적으로 비례하는 속도로 운동 에너지의 전달을 통해 이온을 가열한다. 이동하고 있는 전자가 이온에 부딪히는 것과 이온의 가열의 조합을 통해, 클라우드는 펄스를 흡수한다.

[0031] 클라우드가 레이저 펄스의 더 나중의 부분에 노출됨에 따라, 클라우드 내의 전자는 지속적으로 이동하고, 이온과 충돌하며, 클라우드 내의 이온이 지속적으로 가열된다. 전자는 확산되고, 타겟 재료 액적(또는 클라우드 아래에 있는 벌크 재료)의 표면에 열을 전달하여, 타겟 재료 액적의 표면을 추가로 증발시킨다. 클라우드 내의 전자 밀도는 타겟 재료 액적의 표면에 가장 근접한 클라우드의 부분에서 증가된다. 클라우드는 클라우드의 일부분이 레이저 펄스를 흡수하는 대신 레이저 펄스를 반사하도록 전자의 밀도가 증가하는 포인트에 도달할 수 있다.

[0032] LPP EUV 광원을 위한 타겟을 발생하기 위한 본 기술은 타겟 재료 액적을 에너지를 보다 용이하게 흡수는 타겟으로 물리적으로 변형시키기 위해 타겟 재료 액적에 2개의 사전-펄스를 인가한다. 제1 사전-펄스(6)는 중간 타겟(51)이 되는 타겟 재료의 기하학적 분포를 형성한다. 제2 사전-펄스(7)는 중간 타겟(51)을 타겟(55)으로 변형시킨다. 제1 사전-펄스(6) 및 제2 사전-펄스(7)가 그 다음으로 아래에서 설명된다.

[0033] 도 1c를 참조하면, 제1 사전-펄스(6)는 타겟 재료 액적을 타겟 재료의 기하학적 분포(52)로 물리적으로 변형시

킨다. 기하학적 분포(52)는 이온화되지 않은 재료(플라즈마가 아닌 재료)이어도 된다. 기하학적 분포(52)는 예컨대 액상 또는 용융 금속의 디스크, 보이드 또는 실질적인 갭을 갖지 않는 타겟 재료의 연속적인 세그먼트, 마이크로 입자 또는 나노 입자의 미스트(mist), 또는 원자 증기의 클라우드이어도 된다. 기하학적 분포(52)는 제1 지연 시간(11) 동안 공간적으로 확장되고, 중간 타겟(51)이 된다. 제1 사전-펄스(6)는 타겟 재료 액적(50)을 공간적으로 확산시킨다. 타겟 재료 액적(50)을 확산시키는 것은 2개의 효과를 가질 수 있다.

[0034] 첫 번째로, 제1 사전-펄스(6)에 의해 발생된 중간 타겟(51)은 접근하는 방사선의 펄스(사전-펄스(7)와 같은)에 대해 더 큰 면적을 나타내는 형태를 갖는다. 중간 타겟(51)은 전체 사전-펄스(7)를 받아들이도록 사전-펄스(7)의 빔 직경보다 큰 횡단면 직경(54)을 갖는다. 또한, 중간 타겟(51)은 사전-펄스(7)의 전파의 방향에서 타겟 재료 액적(50)의 두께(59)보다 얇은 두께(58)를 가질 수 있다. 중간 타겟(51)의 상대적인 두께는, 사전-펄스 빔(7)으로 하여금, 사전-펄스(7)가 중간 타겟(51)에 처음에 도달하는 때에 사전-펄스(7)에 의해 조사되지 않은 많은 타겟 재료를 포함한 중간 타겟(51)에 있는 타겟 재료를 더 많이 조사하도록 한다.

[0035] 두 번째로, 액적(50)의 타겟 재료를 공간적으로 확산하는 것은, 발생된 EUV 광을 차단할 수 있는 강한 펄스(8)에 의한 플라즈마의 가열 동안의 과도하게 높은 재료 밀도의 영역의 발생을 최소화할 수 있다. 플라즈마 밀도가 레이저 펄스로 조사되는 영역 전반에 걸쳐 높다면, 레이저 펄스의 흡수는 레이저 펄스를 최초로 받아들이는 영역의 부분으로 제한된다. 이 흡수에 의해 발생된 열은 벌크 타겟 재료로부터 너무 멀어서 펄스(8)의 한정된 지속기간 동안 벌크 타겟 재료의 의미있는 양을 이용하기에(증발시키기에) 충분한 정도로 길게 타겟 재료 표면의 증발 및 가열의 프로세스를 유지하지 못한다. 영역이 높은 전자 밀도를 갖는 경우에, 광 펄스는 전자 밀도가 높아서 광 펄스가 반사되는 "임계 표면"에 도달하기 전에 그 영역 내로의 경로의 일부만을 침투한다. 광 펄스는 그 영역의 부분 내로 이동할 수 없으며, 그 영역에서의 타겟 재료로부터 EUV 광이 거의 발생되지 않는다. 높은 플라즈마 밀도의 영역은 또한 EUV 광을 방출하는 영역의 부분으로부터 방출되는 EUV 광을 차단할 수 있다. 그 결과, 영역으로부터 방출되는 EUV 광의 총량은 그 영역이 높은 플라즈마 밀도의 부분이 없는 경우에서의 총량보다 낮다. 이와 같이, 타겟 재료 액적(50)을 더 큰 체적의 중간 타겟(51)으로 확산시키는 것은, 입사 광이 반사되기 전에 중간 타겟(51) 내의 더 많은 재료에 도달한다는 것을 의미한다. 이것은 후속하여 발생하는 EUV 광의 양을 증가시킬 수 있다.

[0036] 파형(5)은 또한 제2 사전-펄스(7)의 표현을 보여주고 있다. 제2 사전-펄스(7)는 중간 타겟(51)에 충돌하고, 증폭 광빔(8)이 도착하기 전에 타겟(55)을 형성한다. 타겟(55)은 다수의 형태를 취할 수 있다. 예컨대, 타겟(55)은 벌크 타겟 재료에 공간적으로 가까이 있는 사전-플라즈마일 수 있다. 사전-플라즈마는 입사광(사전-펄스(7) 또는 증폭 광빔과 같은)의 흡수를 향상시키기 위해 사용되는 플라즈마이다. 사전-플라즈마가 몇몇 경우에는 적은 양의 EUV 광을 방출할 수 있지만, 방출되는 EUV 광은 타겟(55)에 의해 방출되는 파장 또는 양의 것이 아니다. 다른 구현예에서, 타겟(55)은 타겟 재료의 단편(fragment) 또는 미스트(mist)의 체적이다. 사전-플라즈마를 형성할 수 있는 제2 사전-펄스를 포함하는 파형의 예는 도 5를 참조하여 아래에 설명되어 있다. 타겟 재료의 단편을 형성할 수 있는 제2 사전-펄스를 포함하는 파형의 예는 도 7을 참조하여 아래에 설명되어 있다. 다른 구현예에서, 타겟(55)은 반구 형상 체적부 전반에 걸쳐 분포된 타겟 재료의 입자의 집합체(collection)에 근접하게 형성된 사전-플라즈마이다. 이러한 타겟의 예가 도 9를 참조하여 아래에 설명되어 있다.

[0037] 몇몇 구현예에서, 제1 사전-펄스(6)의 펄스 지속기간(12) 및 제2 사전-펄스(7)의 펄스 지속기간(14)은 1 ns 이상이다. 1 ns보다 큰 2개의 사전-펄스를 사용함으로써, 피코초(ps) 또는 더 짧은 펄스를 발생하는 레이저를 사용하지 않고서도 발생하는 방사선의 펄스를 사용하여 타겟(55)을 생성하는 것이 가능하다. 나노초(ns)-지속기간 펄스를 방출하고 비교적 높은 반복률(repetition rate)(50 kHz-100 kHz)을 갖는 레이저가 피코초(ps)-펄스를 방출하는 레이저보다 더욱 용이하게 이용 가능하게 될 수 있다. 사전-펄스(6, 7)를 발생하기 위해 더 높은-반복률 ns-펄스 발생 레이저를 사용하는 것은 타겟(55)을 사용하는 EUV 광원이 더 높은 전체적인 시스템 반복률을 갖도록 할 수 있다.

[0038] 도 1d는 EUV 광원의 2개의 연속 사이클에 걸쳐서의 파형(60)의 일례의 플롯을 도시하고 있다. 파형(60)은 파형(5)(도 1b)의 2개의 실례이며, 각각의 사이클의 EUV 광원이 사이클당 한 번 EUV 광을 방출하도록 파형(5)의 실례를 2개의 별도의 타겟 재료 액적에 인가한다(사이클당 하나). 도 1d에 도시된 예에서, 파형(5)의 실례가 타겟 재료 액적에 인가된 후에 EUV 발광(61, 62)이 발생한다. 발광(61, 62)은 EUV 광원의 반복률의 역인 시간(64)에 의해 시간에 맞게 분리된다. EUV 광원의 반복률은 또한 2개의 연속적인 EUV 발광 사이의 시간의 최소량으로서 간주될 수 있다. EUV 발광(61, 62) 사이의 시간이 파형(5)의 실례가 얼마나 빨리 발생될 수 있는지에 좌우되기 때문에, 사전-펄스(6, 7)를 발생하는 광원의 반복률은 적어도 부분적으로는 시스템 반복률을 결정한다. 사전-펄스(6, 7)로서 2개의 ns-지속기간을 사용하는 때에, EUV 광원의 시스템 반복률은 예컨대 40

kHz-100 kHz일 수 있다.

- [0039] 도 1d의 예가 EUV 광의 연속적인 방출을 도시하고 있지만, EUV 광이 시스템 반복물에 의해 결정된 주기적인 간격으로 방출되는 곳에서, EUV 광원은 발생한 EUV 광을 수신하는 리소그래피 툴의 요구에 따라 다른 모드로 작동될 수 있다. 예컨대, EUV 광원은 또한 시스템 반복물보다 큰 양에 의해 시간에 맞게 또는 불규칙한 간격으로 분리되는 버스트로 EUV 광을 방출하도록 작동되거나 설정될 수 있다. 도 1a에 대해 논의된 시스템 반복물은 EUV 발광들 사이의 최소량의 시간의 예로서 제공된다.
- [0040] 도 2a, 도 2b 및 도 3a 내지 도 3c는 타겟(55)이 사용될 수 있는 일례의 LPP EUV 광원을 도시하고 있다.
- [0041] 도 2a를 참조하면, LPP EUV 광원(100)은 타겟 혼합물(114)을 향하여 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 플라스마 상태로 변환된다. 생성된 플라스마는 타겟 혼합물(114) 내의 타겟 재료의 구성에 좌우되는 특정한 특징을 갖는다. 이러한 특징은 플라스마에 의해 발생한 EUV 광의 파장 및 플라스마로부터 방출된 부스러기(debris)의 유형과 양을 포함할 수 있다.
- [0042] 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 또한 비-타겟 입자와 같은 불순물을 포함할 수 있다. 타겟 혼합물(114)이 타겟 재료 전달 시스템(125)에 의해 챔버(130)의 내부(107)에 전달되고 타겟 지점(105)으로 전달된다.
- [0043] 광원(100)은 구동 레이저 시스템(115)의 이득 매질 또는 매질들 내의 밀도 반전(population inversion)으로 인해 증폭 광빔(110)을 발생하는 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(steer) 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.
- [0044] 몇몇 구현예에서, 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 매질, 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 캐비티가 없는 경우에도 레이저 증폭기의 이득 매질 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 반드시 코히어런트 레이저 발진일 필요는 없는 레이저 시스템(115)으로부터의 광파, 증폭되고(외부적으로 또는 발진기의 이득 매질 내에서) 또한 코히어런트 레이저 발진인 레이저 시스템(115)으로부터의 광 중의 하나 이상을 포함한다.
- [0045] 레이저 시스템(115) 내의 광학 증폭기는 이득 매질로서 CO₂를 포함하는 충전 가스를 포함할 수 있고, 약 9100 내지 약 11000 nm 사이의 파장에서, 특히 약 10.6 μm 에서, 1000 이상의 이득으로 광을 증폭할 수 있다. 몇몇 예에서, 광학 증폭기는 10.59 μm 파장에서 광을 증폭한다. 레이저 시스템(115)에 사용하기 적합한 증폭기 및 레이저는 예컨대 10 kW 이상의 비교적 고전력 및 예컨대 50 kHz 이상의 고 펄스 반복률(high pulse repetition rate)에서 작동하여 예컨대 약 9300 nm 또는 약 10600 nm에서, 예를 들어 DC 또는 RF 여기로, 방사선을 발생하는 펄스식 가스-방전 CO₂ 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.
- [0046] 도 2b는 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)가 내부 광 요소(미도시)를 포함할 수 있다. 각각의 전력 증폭기(181, 182, 183)는 외부 전기 소스 또는 광학 소스로 펌핑되는 때에 증폭을 발생

하는 이득 매질을 포함한다.

- [0047] 광(184)은 출력 윈도우(185)를 통해 전력 증폭기(181)로부터 빠져나오며, 커브식 미러(curved mirror)(186)에서 반사된다. 반사 이후에, 광(184)은 공간 필터(spatial filter)(187)를 통과하고, 커브식 미러(188)에서 반사되고, 입력 윈도우(189)를 통해 전력 증폭기(182)에 진입된다. 광(184)은 전력 증폭기(182)에서 증폭되고 출력 윈도우(190)를 통하여 광(191)으로서 전력 증폭기(182)의 외부로 리다이렉팅된다(redirected). 광(191)은 접이식 미러(192)로 증폭기(183) 쪽으로 지향되며, 입력 윈도우(193)를 통하여 증폭기(183)에 진입된다. 증폭기(183)는 광(191)을 증폭하고, 광(191)을 출력 윈도우(194)를 통하여 출력 빔(195)으로서 증폭기(183)의 외부로 지향시킨다. 접이식 미러(196)는 출력 빔(195)을 빔 수송 시스템(120)을 향하여 위쪽으로(도면 페이지의 밖으로) 지향시킨다.
- [0048] 공간 필터(187)는 애퍼처(197)를 형성하며, 이 애퍼처는 광(184)이 통과하는 원이어도 된다. 커브식 미러(186, 188)는 예컨대 각각 약 1.7 m와 2.3 m의 초점 거리를 갖는 오프-엑시스 포물선 미러(off-axis parabola mirror)이어도 된다. 애퍼처(197)가 구동 레이저 시스템(180)의 초점과 일치하도록 공간 필터(187)의 위치가 설정될 수 있다. 도 2b의 예는 3개의 전력 증폭기를 도시하고 있다. 그러나, 더 많거나 더 적은 전력 증폭기가 사용될 수도 있다.
- [0049] 도 2a를 참조하면, 광원(100)은 증폭 광빔(110)이 통과하여 타겟 지점(105)에 도달하도록 하는 애퍼처(140)를 구비한 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 광(106)이 광원(100)으로부터 출력될 수 있고, 예컨대 집적회로 빔 위치설정 시스템 툴(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 집광 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.
- [0050] 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(trajecory)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.
- [0051] 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.
- [0052] 추가로, 광원(100)은, 이러한 것으로 한정되지는 않는, 펄스 에너지, 파장의 함수로서의 에너지 분포, 파장의 특정 대역 내의 에너지, 파장의 특정 대역 외부의 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 액적 및 효율적이고 효과적인 EUV 광 발생을 위한 시간을 적절히 인터셉트(intercept)하도록 레이저 펄스의 타이밍 및 초점과 같은 파라미터에서의 오차를 나타낼 수 있다.
- [0053] 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 구현예에서, 계측 시스템(124)이 빔 수송 시스템(120) 내에 위치한다. 계측 시스템(124)은 광의 서브셋을 샘플링하거나 리다이렉팅하는 광 요소를 포함하며, 그러한 광 요소는 증폭 광빔(110)과 가이드 레이저 빔의 파워를 전달 수 있는 어떠한 재료로도 이루어진다. 마스터 컨트롤러

(155)가 가이드 레이저(175)로부터 샘플링된 광을 분석하고, 빔 제어 시스템(158)을 통해 포커스 조립체(122) 내의 컴포넌트를 조정하기 위해 이 정보를 사용하기 때문에, 빔 분석 시스템은 계측 시스템(124) 및 마스터 컨트롤러(155)로 형성된다.

- [0054] 따라서, 요약하면, 광원(100)은 타겟 지점(105)에 있는 타겟 혼합물(114)을 조사하여, 혼합물(114) 내의 타겟 재료를 EUV 범위 내의 광을 방출하는 플라스마로 변환하기 위해 빔 경로를 따라 지향되는 증폭 광빔(110)을 발생한다. 증폭 광빔(110)은 레이저 시스템(115)의 설계 및 특성에 기초하여 결정되는 특정 파장(소스 파장으로도 지칭됨)에서 동작한다. 추가로, 코히어런트 레이저 광을 발생하도록 타겟 재료가 충분한 피드백을 레이저 시스템(115)에 되돌려 제공하는 경우에 또는 구동 레이저 시스템(115)이 레이저 캐비티를 형성하기에 적합한 광학 피드백을 포함한다면, 증폭 광빔(110)이 레이저 빔일 수 있다.
- [0055] 도 3a를 참조하면, 일례의 광학 이미징 시스템(300)의 평면도가 도시되어 있다. 광학 이미징 시스템(300)은 EUV 광을 리소그래피 툴(310)에 제공하는 LPP EUV 광원(305)을 포함한다. 광원(305)은 도 2a 및 도 2b의 광원(100)과 유사하거나 및/또는 광원(100)의 부품의 일부 또는 전부를 포함할 수 있다. 아래에 설명되는 바와 같이, 타겟(55)은 광원(305)에 의해 방출된 광의 양을 증가시키기 위해 광원(305)에서 사용될 수 있다.
- [0056] 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(55)에 의해 방출된 EUV 광을 리소그래피 툴(310)에 지향시킨다. EUV 집광 광학 기기(346)는 도 2a의 집광기 미러(135)이어도 된다.
- [0057] 구동 레이저 시스템(315)은 증폭 광빔(316)을 발생한다. 증폭 광빔(316)은 도 1a 내지 도 1c의 증폭 광빔(18)과 유사할 수 있고, 메인 펄스 또는 메인 빔으로서 지칭될 수 있다. 증폭 광빔(316)은 타겟(55) 내의 타겟 재료를 EUV 광을 방출하는 플라스마로 변환하기에 충분한 에너지를 갖는다.
- [0058] 사전-펄스 소스(324)는 방사선의 펄스(317, 318)를 방출한다. 방사선의 펄스(317, 318)는 도 1b의 제1 사전-펄스(6) 및 제2 사전-펄스(7)와 유사하여도 된다. 사전-펄스 소스(324)는 50 kHz 반복률로 작동하는 예컨대 Q-스위치드 Nd:YAG 레이저이어도 되며, 방사선의 펄스(317, 318)는 1.06 μm 의 파장을 갖는 Nd:YAG 레이저로부터의 펄스이어도 된다. 사전-펄스 소스(324)의 반복률은 사전-펄스 소스(324)가 얼마나 자주 방사선의 펄스를 발생하는지를 나타낸다. 사전-펄스 소스(324)가 50 kHz 반복률을 갖는 예의 경우에는, 방사선의 펄스(317)는 매 20 마이크로초(μs)마다 사전-펄스 소스(324)로부터 방출된다.
- [0059] 사전-펄스 소스(324)로서 다른 소스가 사용될 수 있다. 예컨대, 사전-펄스 소스(324)는 에르븀-도핑 광섬유(Er:glass) 레이저와 같은 Nd:YAG 레이저 이외의 임의의 희토류-도핑 솔리드 스테이트 레이저이어도 된다. 사전-펄스 소스(324)는 제1 사전-펄스(6) 및 제2 사전-펄스(7)를 위해 사용된 에너지 및 파장을 갖는 광 펄스를 발생하는 어떠한 다른 방사선 소스 또는 광원이어도 된다.
- [0060] 광학 요소(322)는 증폭 광빔(316) 및 사전-펄스 소스(324)로부터의 방사선의 펄스(317, 318)를 챔버(340)로 지향시킨다. 광학 요소(322)는 증폭 광빔(316) 및 방사선의 펄스(317, 318)를 유사한 경로를 따라 지향시키고 증폭 광빔(316) 및 방사선의 펄스(317, 318)를 챔버(340)에 전달할 수 있는 어떠한 요소이어도 된다. 도 3a에 도시된 예에서, 광학 요소(322)는 증폭 광빔(316)을 수신하고 증폭 광빔을 챔버(340) 쪽으로 반사시키는 이색성 빔스플리터(dichroic beamsplitter)이다. 광학 요소(322)는 방사선의 펄스(317, 318)를 수신하고, 이들 펄스를 광학 챔버(340) 쪽으로 투과한다. 이색성 빔스플리터는 증폭 광빔(316)의 파장(들)을 반사하고 방사선의 펄스(317, 318)의 파장(들)을 투과하는 코팅을 갖는다. 이색성 빔스플리터는 예컨대 다이아몬드로 구성될 수 있다.
- [0061] 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.
- [0062] 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.
- [0063] 이에 부가하여, 방사선의 펄스(317, 318)는 다른 방식으로 챔버(340)에 전달될 수 있다. 예컨대, 펄스(317, 318)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 방

사선의 펄스(317, 318)를 챔버(340)의 벽에 형성된 개구부를 통해 챔버(340)의 내부로 직접 보낼 수 있다.

- [0064] 다시 도 3a의 예를 참조하면, 구동 레이저 시스템(315)으로부터의 증폭 광빔(316)은 광학 요소(322)로부터 반사되고, 포커싱 조리체(326)를 통해 전파한다. 포커싱 조리체(326)는 증폭 광빔(316)을 타겟 지점(342) 상으로 포커싱한다. 방사선의 펄스(317, 318)는 광학 요소(322)를 통과하고, 포커싱 조리체(326)를 통해 챔버(340)로 지향된다. 도 3b 내지 도 3d를 참조하면, 증폭 광빔(316), 방사선의 펄스 317, 및 방사선의 펄스 318의 각각은 챔버(340)에서 "x" 방향을 따라 상이한 지점으로 지향된다.
- [0065] 도 3b 내지 도 3d를 참조하면, 타겟 재료 액적의 스트림을 타겟 지점(342)을 향하여 "x" 방향으로 방출하는 타겟 재료 공급 장치(347)의 평면도가 도시되어 있다. 스트림은 액적(348a, 348b)을 포함한다. 타겟 지점(342)은 증폭 광빔(316)을 받아들이고 또한 EUV 집광 광학 기기(346)의 초점에 있을 수 있는 지점이다. 도 3b는 시간 $t=t_1$ 에서의 챔버(340)를 도시하며, 도 3c는 시간 $t=t_1$ 후에 발생하는 시간 $t=t_2$ 에서의 챔버(340)를 도시하며, 도 3d는 시간 $t=t_2$ 후에 발생하는 시간 $t=t_3$ 에서의 챔버(340)를 도시하고 있다.
- [0066] 증폭 광빔(316) 및 방사선의 펄스(317, 318)의 각각은 상이한 시간에 챔버(340) 내에서의 "x" 방향을 따라 상이한 지점 쪽으로 지향된다. 이것은 타겟 재료 액적이 타겟 지점(342)에 도달하기 전에 타겟으로 변환되게 한다. 도 3b 내지 도 3d는 타겟(55)으로 변환되고 있는 타겟 재료 액적(타겟 재료 액적 348a)의 예를 도시하고 있다. 시간 $t=t_1$ 에서(도 3b), 방사선의 펄스 빔(317)은 타겟 지점(342)로부터 "-x" 방향으로 변위되는 지점에서 시간 " t_1 "에서 타겟 재료 액적(348a)을 조사한다. 방사선의 펄스 빔(317)은 타겟 재료 액적(348b)을 중간 타겟(51)으로 변형시킨다. 시간 $t=t_2$ 에서(도 3c), 중간 타겟(51)은 타겟 지점(342)에 더 가깝게 "x" 방향으로 이동되고, 타겟 지점(342)에 대하여 "-x" 방향으로 변위되는 또 다른 지점에 도달한다. 방사선의 펄스 빔(318)은 중간 타겟(51)을 조사하고, 중간 타겟을 타겟(55)으로 변형시킨다. 타겟(55)은 "x" 방향으로 이동하고, 실질적으로 이온화되지 않고 타겟 지점(342)에 도달한다. 이러한 양상으로, 타겟(55)은 타겟 지점(342)에 진입하기 전의 시간에 형성되는 사전 형성된 타겟일 수 있다. 시간 t_3 에서(도 3d), 증폭 광빔(316)은 EUV 광을 방출하는 플라즈마를 발생하기 위해 타겟(55)을 조사한다.
- [0067] 도 3a에 도시된 예에서, 사전-펄스 소스(324)는 단일 블록으로 표현되어 있다. 사전-펄스 소스(324)는 단일 광원 또는 복수의 광원일 수 있으며, 예컨대 펄스(317, 318)를 발생하기 위해 2개의 별도의 소스가 사용될 수 있다. 2개의 별도의 소스는 상이한 파장 및 에너지를 갖는 방사선의 펄스를 발생하는 상이한 타입의 소스이어도 된다. 예컨대, 펄스 317는 10.6 μm 의 파장을 갖고, CO₂ 레이저에 의해 발생될 수 있으며, 펄스 318은 1.06 μm 의 파장을 갖고, 희토류-도핑 솔리드 스테이트 레이저에 의해 발생될 수 있다.
- [0068] 몇몇 구현예에서, 방사선의 펄스(317)는 구동 레이저 시스템(315)에 의해 발생될 수 있다. 예컨대, 구동 레이저 시스템은 2개의 CO₂ 시드 레이저 서브시스템 및 하나의 증폭기를 포함할 수 있다. 시드 레이저 서브시스템 중의 하나는 10.26 μm 의 파장을 갖는 증폭 광빔을 발생할 수 있으며, 다른 시드 레이저 서브시스템은 10.59 μm 의 파장을 갖는 증폭 광빔을 발생할 수 있다. 이들 2개의 파장은 CO₂ 레이저의 상이한 라인으로부터 제공될 수 있다. 다른 예에서, CO₂ 레이저의 다른 라인은 2개의 증폭 광빔을 발생하기 위해 사용될 수 있다. 2개의 시드 레이저 서브시스템으로부터의 둘 모두의 증폭 광빔은 동일한 전력 증폭기 체인에서 증폭되고, 그리고 나서 챔버(340) 내에서 상이한 지점에 도달하도록 각도를 이루며 분산된다. 10.26 μm 의 파장을 갖는 증폭 광빔은 사전-펄스(317)로서 사용될 수 있으며, 10.59 μm 의 파장을 갖는 증폭 광빔은 증폭 광빔 316으로서 사용될 수 있다.
- [0069] 더욱이, 증폭 광빔(316), 방사선의 펄스 317, 및 방사선의 펄스 318은 모두 동일한 증폭기에서 증폭된다. 예컨대, 증폭 광빔(316), 방사선의 펄스 317, 및 방사선의 펄스 318의 모두를 증폭하기 위해 3개의 전력 증폭기(181, 182, 183)(도 2b)가 사용될 수 있다. 이 구현예에서, 증폭기는 3개의 시드 레이저를 가질 수 있으며, 그 중 하나가 증폭 광빔(316), 방사선의 펄스 317, 및 방사선의 펄스 318의 각각을 발생하기 위해 사용된다. 더 많거나 더 적은 개수의 시드 레이저가 사용될 수 있다.
- [0070] 도 4를 참조하면, EUV 광을 발생하기 위한 일례의 프로세스(400)의 흐름도가 도시되어 있다. 프로세스(400)는 광원 100 또는 광원 305를 사용하여 수행될 수 있다.
- [0071] 제1 방사선 펄스가 변경된 액적을 형성하기 위해 타겟 재료 액적을 향하여 지향된다(410). 제1 방사선 펄스는 타겟 재료 액적의 형상을 변경하기에 충분한 에너지를 갖는 펄스일 수 있다. 제1 방사선 펄스는 적어도 1 ns의 지속기간을 가질 수 있으며, 예컨대 제1 방사선 펄스는 1-100 ns의 지속기간 및 1 μm 또는 10 μm 의 파장을 가질

수 있다. 일례에서, 제1 방사선 펄스는 15-60 mJ의 에너지, 20-70 ns의 펄스 지속기간, 및 1-10 μm 의 파장을 갖는 레이저 펄스일 수 있다. 몇몇 예에서, 제1 방사선 펄스는 1 ns 미만의 지속기간을 가질 수 있다. 예컨대, 제1 방사선 펄스는 300 ps 이하, 100 ps 이하, 100-300 ps 사이, 또는 10-100 ps 사이의 지속기간을 가질 수 있다.

[0072] 제1 방사선 펄스는 제1 사전-펄스(6)(도 1b) 또는 방사선의 펄스 317(도 3a 내지 도 3d)일 수 있다. 변경된 액적은 타겟 재료 액적(50)을 제1 사전-펄스(6)로 조사함으로써 형성되는 중간 타겟(51)(도 1a)일 수 있다. 타겟 재료 액적(50)은 주석 또는 플라즈마로 변환되는 때에 EUV를 방출하는 임의의 기타 재료와 같은 용융 금속의 액적일 수 있다. 예컨대, 변경된 액적은 타겟 재료 액적(50)을 제1 사전-펄스(6)가 부딪히게 함으로써 형성된 용융 주석의 디스크(disk)일 수 있다. 제1 사전-펄스(6)의 충격의 힘은 액적을 약 1-3 μs 후에 용융 금속의 디스크 형상 조각으로 확장되는 디스크에 더 가까운 형상으로 변형시킬 수 있다. 이 예에서, 디스크 형상 조각은 중간 타겟(51)으로 간주될 수 있다. 도 6c 및 도 8의 (C)는 디스크 형상으로 되는 일례의 중간 타겟(613)을 도시하고 있다.

[0073] 변경된 액적 또는 중간 타겟은 다른 기하학적 형태를 취할 수 있다. 예컨대, 제1 방사선 펄스가 그 지속기간이 1 ns 미만인 구현예에서, 변경된 액적은, 반구형 형상과 같은, 구체를 평면을 따라 슬라이스함으로써 형성되는 형상을 가질 수 있다. 도 10의 (C)는 반구 형상을 갖는 일례의 중간 타겟(1014)을 도시하고 있다. 도 10의 (C)에 도시된 예에서, 중간 타겟(1014)은 용융 주석의 디스크 형상 세그먼트 대신 입자의 체적이다.

[0074] 제2 방사선 펄스가 흡수 재료를 형성하기 위해 변경된 액적을 향해 지향된다(420). 흡수 재료는 증폭 광빔을 받아들이고 EUV 광을 방출하는 플라즈마로 변환되는(증폭 광빔과 타겟(55)의 상호작용에 의한 이온화에 의해) 타겟(55)이다. 제2 방사선 펄스는 방사선의 흡수에 관련되는 변경된 액적의 특성을 변경하기에 충분한 에너지를 갖는다. 즉, 단계 420에서 변경된 액적에 제2 방사선 펄스를 충돌시키는 것은, 광과 같은 방사선을 흡수하도록, 변경된 액적의 능력을 변경시킨다. 또한, 방사선의 흡수에 관련된 특성은 흡수 재료가 변경된 액적보다 입사 방사선의 많은 부분을 흡수할 수 있도록 변경된다.

[0075] 제2 방사선 펄스는 적어도 1 ns의 지속기간 및 1-10 mJ의 에너지를 가질 수 있다. 예컨대, 제2 방사선 펄스는 10 ns의 지속기간 및 5 mJ의 에너지를 가질 수 있다. 제2 방사선 펄스는 1.06 μm 의 파장을 가질 수 있다. 제2 방사선 펄스는 제2 사전-펄스(7)(도 1b) 또는 방사선의 펄스 318(도 3a 내지 도 3d)일 수 있다.

[0076] 타겟 재료 액적에 직접 가해지는 사전-펄스보다 제2 방사선 펄스의 에너지가 더 낮거나 및/또는 펄스 지속기간이 더 길 수 있지만, 흡수 재료(타겟(55)과 같은)는 EUV 광을 발생하기에 적합한 타겟(55)을 구성하는 물리적 특성을 갖는다.

[0077] 일례에서, 중간 타겟(51)은 타겟 재료 액적(50)에 비하여 입사 방사선 펄스의 전파의 방향을 따라 더 얇아지는 용융 주석의 디스크이다. 이 중간 타겟(51)은 타겟 재료 액적(50)보다 더욱 쉽게 타겟 재료의 단편(fragment)으로 쪼개지며, 중간 타겟(51)을 단편화하기 위해 더 적은 양의 에너지가 요구될 수 있다. 이 예에서, 제2 방사선 펄스는 중간 타겟(51)을 타겟 재료의 조각의 클라우드로 변형시키며, 타겟 재료의 조각들은, 함께 또는 집합적으로, 타겟 재료 액적(50)에 비하여 접근하는 방사선의 펄스의 경로에서 타겟 재료의 더 큰 표면적을 갖는다. 더 큰 표면적은 더 많은 타겟 재료가 증폭 광빔과 상호작용하도록 하며, 타겟 재료의 증가된 이온화 및 그에 따라 증가된 EUV 광 발생을 야기할 수 있다. 도 7은 중간 타겟(51)을 타겟 재료의 단편을 포함하는 타겟(55)으로 변환하는 제2 방사선 펄스의 예를 도시하고 있다.

[0078] 또 다른 예에서, 중간 타겟(51)은 역시 타겟 재료 액적보다 얇고 넓은 용융 주석의 디스크이다. 이 예에서, 제2 사전-펄스는 중간 타겟(51)을 조사하고, 제2 방사선 펄스를 받아들이는 중간 타겟의 표면 부근에 전자 및 이온(사전-플라즈마)의 클라우드를 발생한다. 중간 타겟(51)의 표면에 전자 및 이온의 클라우드를 생성함으로써, 제2 방사선 펄스는 중간 타겟(51)의 적어도 일부분의 전자 밀도 및/또는 이온 밀도를 변경한다. 도 5는 변형된 액적의 적어도 일부분의 전자 밀도 및/또는 이온 밀도를 변경시키는 제2 방사선 펄스의 예를 도시하고 있다.

[0079] 증폭 광빔이 흡수 재료로 지향된다(430). 증폭 광빔은 흡수 재료(중간 타겟(51)) 내의 타겟 재료를 이온화하고 그에 따라 EUV 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한 에너지를 갖는다. 증폭 광빔은 증폭 광빔 8(도 1b)이어도 된다.

[0080] 전술한 타겟(55) 및 파형의 예가 제공된다. 도 5, 도 7 및 도 9는 각각 타겟을 발생하기 위한 일례의 다른 파형(500, 700, 900)의 표현을 도시하고 있다. 도 6a~6e, 도 8의 (A)~(E), 및 도 10의 (A)~(E)는 타겟 재료 액적에 가해지고 있는 파형(500, 700, 900)의 에너지를 도시하고 있다.

- [0081] 도 5를 참조하면, 타겟 재료 액적을 EUV 광을 방출하는 타겟으로 변환하기 위해 사용될 수 있는 일례의 파형(500)의 플롯이 도시되어 있다. 도 6a 내지 도 6d는 타겟 재료 액적을 EUV 광을 방출하는 타겟으로 변형시키는 파형(500)을 도시하고 있다. 도 5 및 도 6a 내지 도 6d의 예의 타겟은 접근하는 증폭 광빔을 향하는 표면에 형성된 사전-플라즈마를 갖는 용융 금속의 평탄한 디스크이다. 표면이 증폭 광빔의 전파의 방향을 가로지르지 않는 경우에도, 표면은 증폭 광빔 쪽으로 가리키고 있는 경우에는 접근하는 광빔을 향할 수 있다.
- [0082] 파형(500)은 제1 사전-펄스(502)의 표현, 제2 사전-펄스(504)의 표현, 및 증폭 광빔(506)의 표현을 보여주고 있다. 이 예에서, 제1 사전-펄스(502)는 20-70 ns의 펄스 지속기간(503) 및 15-60 mJ의 에너지를 갖는다. 예컨대, 제1 사전-펄스(502)는 1 μm 또는 10.6 μm 의 파장을 가질 수 있다. 일례에서, 펄스 지속기간(503)은 40 ns이며, 에너지는 20 mJ이다. 제2 사전-펄스(504)는 1-10 ns인 펄스 지속기간(505), 1-10 mJ의 에너지, 및 1.06 μm 의 파장을 가질 수 있다. 일례에서, 제2 사전-펄스(503)의 지속기간(505)은 10 ns이며, 제2 사전-펄스의 에너지는 1 mJ이다.
- [0083] 제1 사전-펄스(502) 및 제2 사전-펄스(504)는 지연 시간(508)에 의해 시간에 맞게 분리되며, 제2 사전-펄스(504)는 제1 사전-펄스(502) 후에 발생한다. 지연 시간(508)은 중간 타겟(51)을 형성하도록 확장하기 위해 제1 사전-펄스(502)와의 상호작용을 통해 기하학적으로 변경되는 타겟 재료 액적을 허용하기에 충분한 정도로 긴 시간이다. 지연 시간(508)은 1-3 μs 일 수 있다.
- [0084] 제2 사전-펄스(504) 및 증폭 광빔(506)은 지연 시간(509)에 의해 시간에 맞게 분리되며, 증폭 광빔(506)이 제2 사전-펄스(504) 후에 발생한다. 지연 시간(509)은 제2 사전-펄스(504)가 디스크 형상 타겟의 표면에 형성하는 사전-플라즈마가 확장되도록 하기에 충분한 정도로 길다. 지연 시간(509)은 10-100 ns 사이 또는 1-200 ns 사이일 수 있다.
- [0085] 도 6a 내지 도 6e는 5개의 상이한 시간 t_1 - t_5 에서 타겟 지점(626) 쪽으로 타겟 재료 액적을 방출하는 타겟 재료 공급 장치의 측면도를 도시하고 있다. 타겟 지점(626)은 증폭 광빔(506)을 받아들이고 집광 광학 기기(346)(도 3a) 또는 미러(135)(도 2a)의 초점에 있는 챔버(챔버 340과 같은) 내의 지점이다. 도 6a는 가장 앞쪽의 시간 t_1 을 보여주며, 시간은 좌측에서 우측으로 증가하여, 도 6e는 가장 나중의 시간 t_5 을 보여준다. 타겟 재료 공급 장치(620)는 노즐(624)을 통해 액적의 스트림을 방출한다. 액적의 스트림은 타겟 재료 액적(611, 610)을 포함하며, 타겟 재료 액적 610은 타겟 재료 액적 611 이전에 노즐(624)로부터 방출된다. 도 6a 내지 도 6e는 증폭 광빔(506)이 부딪히는 때에 EUV 광을 방출하는 타겟(614)으로 변형되는 타겟 재료 액적(610)을 도시하고 있다.
- [0086] 도 6a를 참조하면, 타겟 재료 액적(610)은 제1 사전-펄스(502)가 부딪히게 된다. 도 6b에 도시된 바와 같이, 제1 사전-펄스(502)의 충격은 타겟 재료 액적(610)을 기하학적으로 변형시키고 타겟 재료(612)의 기다란 세그먼트로 확산시킨다. 기다란 세그먼트(612)는 디스크와 같은 형상을 가질 수 있으며, 기다란 세그먼트(612)는 용융 타겟 재료일 수 있다. 타겟 재료(612)의 기다란 세그먼트는 타겟 지점(626) 쪽으로 이동함에 따라 공간적으로 확장된다. 타겟 재료(612)의 기다란 세그먼트는 1-3 μs (지연 시간 508) 동안 확장된다.
- [0087] 도 6c를 참조하면, 제1 사전-펄스(502)가 타겟 재료 액적(610)에 부딪히고나서 1-3 μs 후인 시간 t_3 에서, 타원형상의 재료(oblong shaped material)(612)는 타겟 지점(626) 쪽으로 자신의 궤도를 따르는 것처럼 디스크 형상 중간 타겟(613)으로 확장된다. 도 6f를 참조하면, 중간 타겟(613)은 폭(632) 및 두께(630)를 갖는다. 중간 타겟(613)의 두께(630)는 폭보다 작다. 도 6c 및 도 6f에 도시된 예에서, 폭(632)은 "x" 방향이고, 두께(630)는 "y" 방향이며, 폭(632)은 제2 사전-펄스(504)의 전파의 방향을 가로지르는 방향을 따른다. 그러나, 중간 타겟(613)은 다른 각도의 배치를 가질 수 있다. 예컨대, 도 6g에 도시된 바와 같이, 중간 타겟(613)은 제2 사전-펄스(504)의 전파의 방향에 대하여 45° 각도를 이룰 수 있다. 중간 타겟(613)이 제2 사전-펄스(504)의 경로에 대하여 각도를 이루는 때에도, 사전-펄스(504)의 전파의 방향을 따라 측정된 중간 타겟(613)의 두께(631)는 중간 타겟(613)의 폭보다 작다. 이와 같이, 접근하는 광빔(제2 사전-펄스(504)와 같은)은 타겟 재료 액적(610)을 직접 통과하는 경우에 접근하는 광빔이 이동할 경로에 수직인 평면을 따르는 것보다 적은 전파 방향을 따른 타겟 면적을 만나게 된다.
- [0088] 도 6d를 참조하면, 제2 사전-펄스(504)와 중간 타겟(613) 간의 상호작용은 타겟(614)을 형성한다. 상호작용은 벌크 타겟 재료(616) 가까이 있는 사전-플라즈마(615)를 생성한다. 벌크 타겟 재료(616)는 타겟 재료일 수 있고, 용융 금속이어도 된다. 사전-플라즈마(615)는 지연 시간(509)에 걸쳐 확장되도록 허용되며, 확장된 플라즈마(615) 및 벌크 타겟 재료(616)가 타겟(614)을 형성한다. 시간 t_4 에서, 타겟(614)이 타겟 지점(626)에 도달

한다.

- [0089] 보다 상세하게, 제2 사전-펄스(504)가 중간 타겟(613)의 표면 상에 충돌하고, 사전-플라즈마(615)를 형성하도록 표면을 가열한다. 중간 타겟(613)이 사전-펄스(504)에 대해 얇은 치수로 제공되는 디스크와 같은 형상으로 되기 때문에, 사전-플라즈마(615)는 벌크 재료(616)에서의 타겟 재료의 더 많은 부분을 이용할 수 있다. 사전-플라즈마가 1-200 ns 동안 확장된 후, 사전-플라즈마 및 벌크 타겟 재료(616)는 통칭하여 타겟(614)으로 지칭된다. 사전-플라즈마(615)가 블로 오프(blow off)되거나 소산(dissipate)되기 전에 증폭 광빔(8)이 타겟(614)에 도달한다. 예컨대, 증폭 광빔(8)은 제2 사전-펄스(504)가 중간 타겟(613)에 부딪히고나서 10-100 ns 또는 1-200 ns 후에 도달할 수 있다. 증폭 광빔(506)이 도달하는 때에 사전-플라즈마(615)가 존재하기 때문에, 증폭 광빔(506)은 그 아래의 벌크 타겟 재료(616)에 도달하기 전에 사전-플라즈마(615)를 만나게 된다. 그 아래의 벌크 타겟 재료(616)에 비하여, 사전-플라즈마(615)는 반사성이 더 적고, 증폭 광빔(506)을 보다 용이하게 흡수한다. 그러므로, 사전-플라즈마(615)의 존재는 증폭 광빔(506)의 더 많은 부분이 흡수되도록 한다.
- [0090] 또한, 사전-플라즈마(615)가 없는 경우, 증폭 광빔(506)은 벌크 타겟 재료(616)에 직접 충돌하게 된다. 이 경우, 증폭 광빔(8)은 금속 표면을 만날 것이며, 대부분이 반사되고, 소량의 증폭 광빔(8)이 벌크 타겟 재료(616)의 표면을 제거(ablate)하고 그 표면 부근에 사전-플라즈마 클라우드를 형성하도록 흡수될 것이다. 클라우드는 표면 상에 펄스가 충돌하고나서 5-20 ns 후에 형성될 수 있다. 그러나, 타겟 재료를 EUV 광을 방출하는 플라즈마로 변환하기에 충분한 에너지를 갖는 다수의 펄스는 펄스의 첫 번째 10-20 ns에서 가파른 리딩 에지를 갖는다. 증폭 광빔(506)은 리딩 에지(510)(도 5)를 갖는다. 리딩 에지(510)(펄스와 타겟 간의 상호작용의 첫 번째 10-20 ns에 걸쳐 타겟 표면에 도달하는 펄스의 부분)의 세기는 시간을 함수로 하여 급격하게 증가하며, 전자 및 이온의 클라우드가 형성할 기회를 갖기 전에 그리고 가열 및 증발(evaporation) 프로세스가 시작되기 전에 증가한다. 그러므로, 사전-플라즈마(615)가 없으면, 증폭 광빔(8)의 고에너지성 리딩 에지(energetic leading edge)(510)의 다수가 반사되고 대부분 사용되지 않을 것이다. 그러나, 사전-플라즈마(615)는 리딩 에지(510)에서의 에너지의 일부분을 흡수하고, 이것을 벌크 타겟 재료(616)를 제거하는 열로 변환시킨다.
- [0091] 도 6e를 참조하면, 증폭 광빔(506)은 사전-플라즈마(615) 및 벌크 타겟 재료(616)의 대부분 또는 거의 전부를 EUV 광으로 변환시킨다.
- [0092] 도 7을 참조하면, 타겟 재료 액적을 EUV 광을 방출하는 타겟으로 변환하기 위해 사용될 수 있는 또 다른 예의 파형(700)의 플롯이 도시되어 있다. 도 8의 (A)~(E)는 타겟 재료 액적을 EUV 광을 방출하는 타겟으로 변형시키는 파형(700)을 도시하고 있다. 도 7 및 도 8의 (A)~(E)의 예의 타겟은 단편화된 타겟 재료의 집합체(collection)이다.
- [0093] 파형(700)은 제1 사전-펄스(702)의 표현, 제2 사전-펄스(704)의 표현, 및 증폭 광빔(706)의 표현을 보여주고 있다. 제1 사전-펄스(702)는 20-70 ns인 펄스 지속기간(703) 및 17-60 mJ의 에너지를 갖는다. 제1 사전-펄스(702)는 1 μm 또는 10.6 μm 의 파장을 가질 수 있다. 일례에서, 펄스 지속기간(703)은 40 ns이고, 에너지는 20 mJ이다. 제2 사전-펄스(704)는 1-10 ns의 펄스 지속기간(705) 및 1-10 mJ의 에너지를 갖는다. 제2 사전-펄스(704)는 1.06 μm 의 파장을 갖는다. 일례에서, 제2 사전-펄스(704)의 지속기간(705)은 10 ns이고, 제2 사전-펄스의 에너지는 5 mJ이다. 또 다른 예에서, 제2 사전-펄스(704)의 지속기간(705)은 10 ns이고, 제2 사전-펄스의 에너지는 10 mJ이다.
- [0094] 제1 사전-펄스(702)와 제2 사전-펄스(704)는 지연 시간(708)에 의해 시간에 맞게 분리되며, 제2 사전-펄스(704)가 제1 사전-펄스(702) 후에 발생한다. 지연 시간(708)은 제1 사전-펄스(702)에 의해 기하학적으로 변형되는 타겟 재료 액적이 디스크 형상 중간 타겟을 형성하도록 확장되게 하기에 충분한 정도로 긴 시간이다. 지연 시간(708)은 1-3 μs 일 수 있다.
- [0095] 제2 사전-펄스(704)와 증폭 광빔(706)은 지연 시간(709)에 의해 시간에 맞게 분리되며, 증폭 광빔(706)이 제2 사전-펄스(704) 후에 발생한다. 지연 시간(709)은 제2 사전-펄스(704)가 형성하는 단편을 최적의 거리로 분산되도록 하기에 충분한 정도로 길다. 지연 시간(709)은 100 ns 내지 1 μs 이여도 된다.
- [0096] 도 8의 (A)~(E)를 참조하면, 타겟 재료 공급 장치(620)의 5개의 스냅샷이 도시되어 있으며, 좌측의 도 8의 (A)로부터 우측의 도 8의 (E)로 시간이 증가하고 있다. 도 8의 (A) 내지 (C)는 도 6a 내지 도 6c에 대하여 설명한 바와 같이 디스크 형상 중간 타겟(613)을 발생한다. 도 8의 (D)는 타겟(814)의 발생을 도시하고 있다. 타겟(814)은 중간 타겟(613)을 제2 사전-펄스(704)로 조사함으로써 형성되는 타겟 재료의 조각 또는 입자의 집합체이다. 제2 사전-펄스(704)의 충격은 중간 타겟(613)을 타겟 재료의 다수의 단편으로 깨뜨리며, 그 각각은

중간 타겟(613)보다 작다.

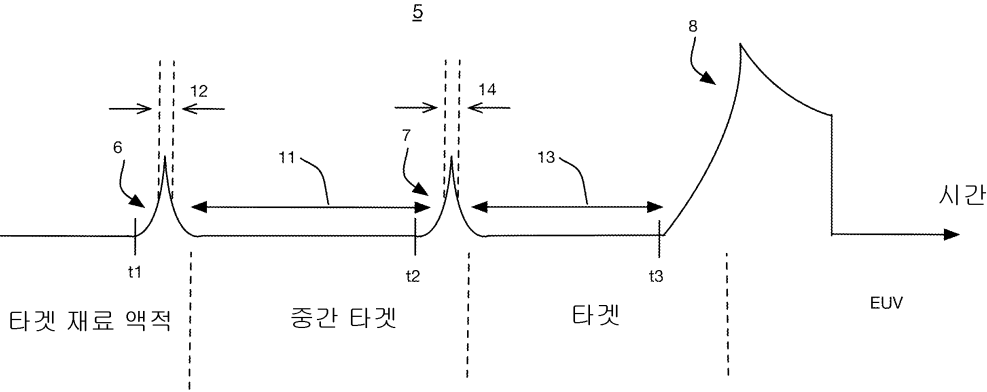
- [0097] 타겟 재료(613)를 단편으로 깨뜨리는 것은, 집합적으로는, 단편이 플라즈마로의 변환을 위한 타겟 재료의 더 큰 표면적을 제공하기 때문에 증폭 광빔(706)을 위한 더 많은 타겟 재료를 제공한다. 더욱이, 중간 타겟(613)의 두께 때문에, 제2 사전-펄스(704)는 타겟 재료 액적(610)을 단편의 집합체로 변형시킬 수 있는 사전-펄스보다 상대적으로 에너지가 적거나 및/또는 지속기간이 더 길어도 된다.
- [0098] 타겟(814)은 타겟 지점(626)에 도달하고, 증폭 광빔을 받아들인다. EUV 광(818)이 발생된다.
- [0099] 도 9를 참조하면, 타겟 재료 액적을 EUV 광을 방출하는 타겟으로 변환하기 위해 사용될 수 있는 또 다른 예의 파형(900)의 플로트가 도시되어 있다. 도 10의 (A)~(E)는 타겟 재료 액적을 EUV 광을 방출하는 타겟으로 변형시키는 파형(900)을 도시하고 있다. 도 9 및 도 10의 (A)~(E)의 예의 타겟은 반구 형상 타겟에 가깝게 형성되는 사전-플라즈마이다.
- [0100] 파형(900)은 제1 사전-펄스(902)의 표현, 제2 사전-펄스(904)의 표현, 및 증폭 광빔(906)의 표현을 보여주고 있다. 제1 사전-펄스(902)는 1 ns 미만의 펄스 지속기간(903)을 갖는다. 예컨대, 제1 사전-펄스(902)는 1.06 μm 의 파장, 300 ps 이하의 펄스 지속기간 및 1-10 mJ의 에너지를 가질 수 있다. 또 다른 예에서, 제1 사전-펄스는 100-300 ps의 지속기간, 1.06 μm 의 파장 및 1-10 mJ의 에너지를 갖는다. 또 다른 예에서, 제1 사전-펄스(902)는 150 ps의 지속기간, 1.06 μm 의 파장 및 5 mJ의 에너지를 갖는다.
- [0101] 제2 사전-펄스(904)는 1-10 ns의 펄스 지속기간(905) 및 1-10 mJ의 에너지를 갖는다. 제2 사전-펄스(904)는 1.06 μm 의 파장을 갖는다. 일례에서, 제2 사전-펄스(904)의 지속기간(905)은 10 ns이고, 제2 사전-펄스의 에너지는 5 mJ이다. 또 다른 예에서, 제2 사전-펄스(904)의 지속기간(905)은 10 ns이고, 제2 사전-펄스의 에너지는 10 mJ이다.
- [0102] 제1 사전-펄스(902)와 제2 사전-펄스(904)는 지연 시간(908)에 의해 시간에 맞게 분리되며, 제2 사전-펄스(904)가 제1 사전-펄스(902) 후에 발생한다. 지연 시간(908)은 제1 사전-펄스(902)에 의해 기하학적으로 변형되는 타겟 재료 액적이 반구 형상 타겟을 형성하도록 확장되게 하기에 충분한 정도로 긴 시간이다. 예컨대, 지연 시간(908)은 약 1000 ns이어도 된다. 지연 시간(909)은 제2 사전-펄스(904)가 반구 형상 타겟의 표면에서 형성하는 사전-플라즈마가 확장되도록 하기에 충분한 정도로 길다. 지연 시간(909)은 10-100 ns 또는 1-200 ns이어도 된다.
- [0103] 도 10의 (A)~(E)를 참조하면, 타겟 재료 공급 장치(620)의 5개의 스냅샷이 도시되어 있으며, 좌측의 도 10의 (A)로부터 우측의 도 10의 (E)로 시간이 증가하고 있다. 제1 사전-펄스(902)는 반구 형상 체적부(1012)를 형성하기 위해 타겟 재료 액적(610)을 조사한다. 반구 형상 체적부(1012)는 반구 형상 공간 전반에 걸쳐 분포된 입자(1013)의 미스트 또는 집합체이다. 입자(1013)는 제2 사전-펄스(904) 쪽으로 향하는 표면(1002)에서 최소가 되는 밀도 분포로 분포된다. 밀도 분포의 증가의 방향은 클라우드가 광을 반사하는 고밀도의 평면에 광이 도달하기 전에 광의 대부분이 체적부(1012)에 의해 흡수되기 때문에 체적부(1012)에 의해 흡수되는 광의 증가된 양에 기여한다. 반구 형상 체적부(1012)는 반구 형상 중간 타겟(1014)을 형성하도록 지연 시간(909)에 걸쳐 확장된다.
- [0104] 제2 사전-펄스(904)는 중간 타겟(1014)의 에지에서 사전-플라즈마를 발생하기 위해 반구 형상 중간 타겟(1014)을 조사하고, 또한 입자(1013)의 적어도 몇몇을 사전-플라즈마로 변환시킨다. 입자(1013)가 작기 때문에, 입자(1013)로부터 사전-플라즈마를 발생하는 것이 비교적 용이하다. 사전-플라즈마는 타겟(1015)을 형성하도록 지연 시간(909)에 걸쳐 확장된다. 타겟(1015)은 반구 형상 체적부(1017) 및 사전-플라즈마(1016)를 포함한다. 증폭 광빔(906)은 EUV 광을 발생하기 위해 타겟(1015)을 조사한다. 사전-플라즈마(1016)는 증폭 광빔(906)을 용이하게 흡수하는 매질을 제공하며, 그러므로 사전-플라즈마(1016)는 증폭 광빔을 EUV 광으로 변환하는 것을 증가시키고 향상시킬 수 있다.
- [0105] 이하의 청구항들의 범위 내에서 다른 구현에도 가능하다. 예컨대, 디스크 형상 중간 타겟(613)은 디스크와 유사하거나 또는 표면들 중의 하나에 오목부(indentation)를 포함하는 형상을 가질 수 있다. 전술한 파형들(5, 500, 700, 900) 중의 임의의 파형은 타겟 재료와 상호작용하는 2개보다 많은 사전-펄스를 가질 수도 있다.

도면

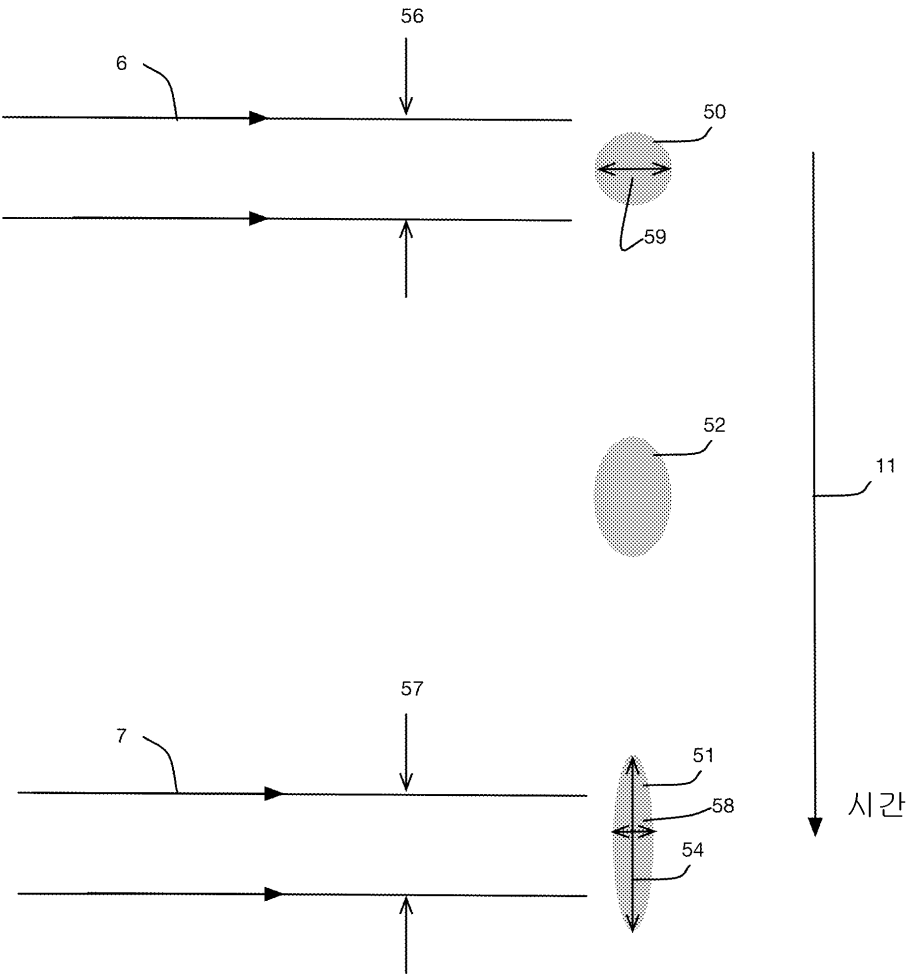
도면1a



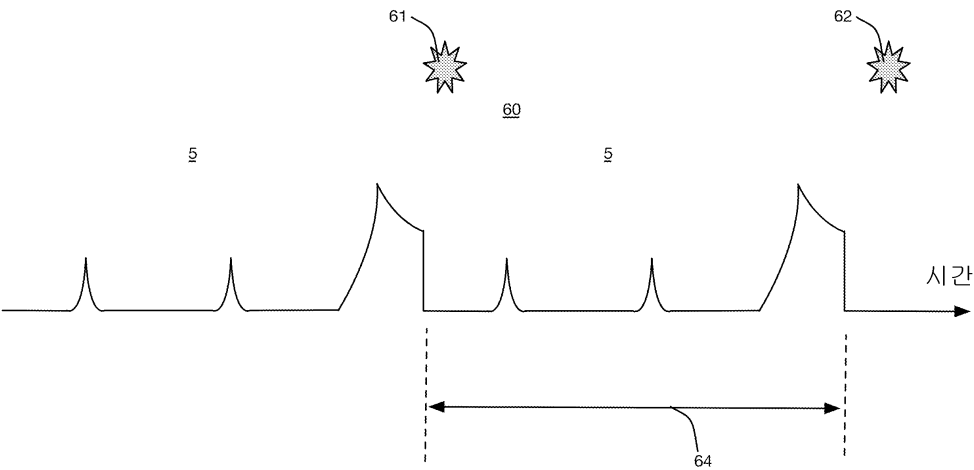
도면1b



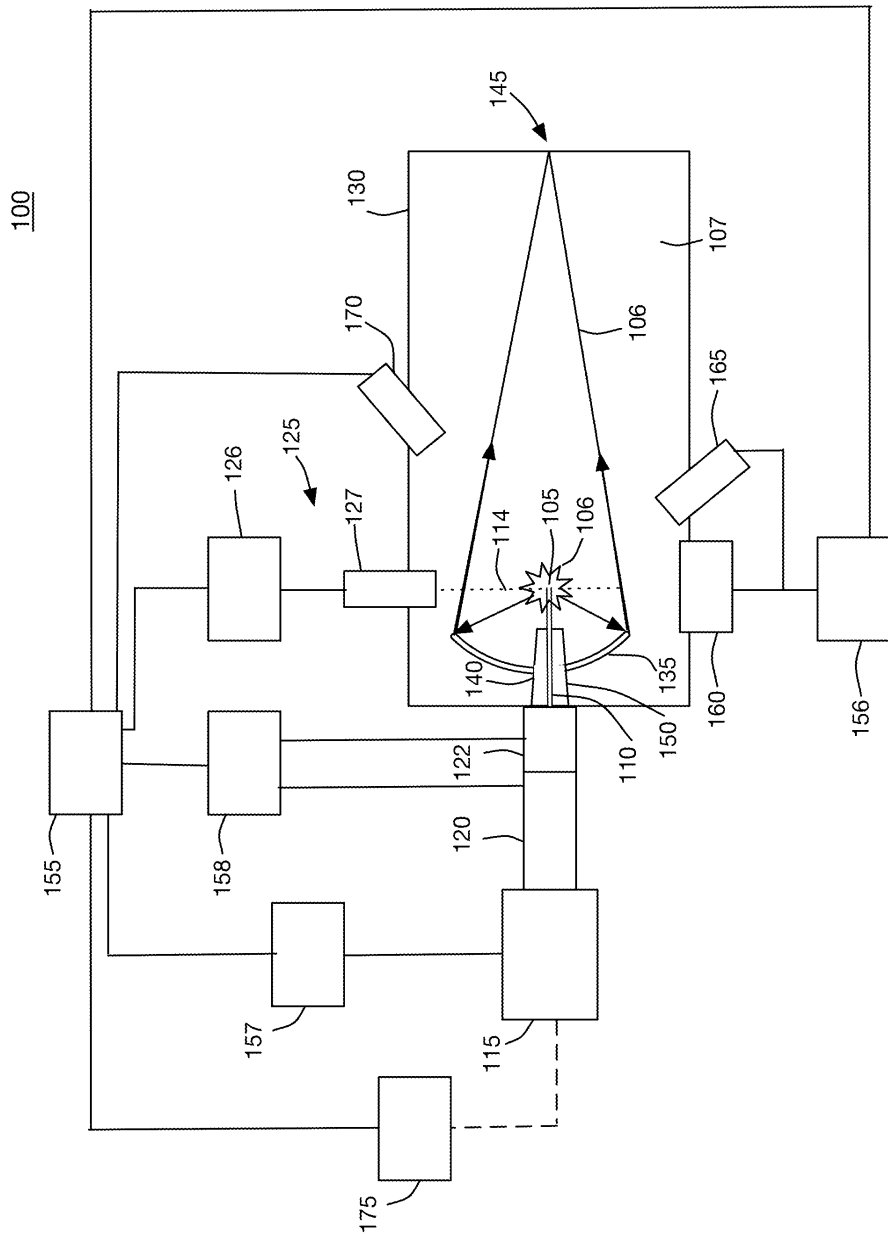
도면1c



도면1d

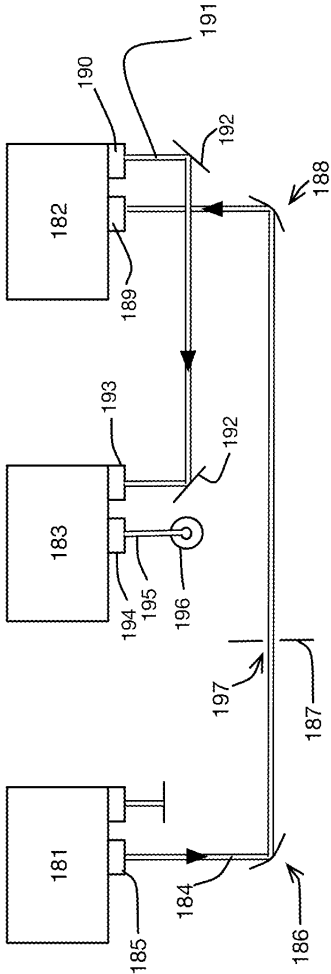


도면 2a

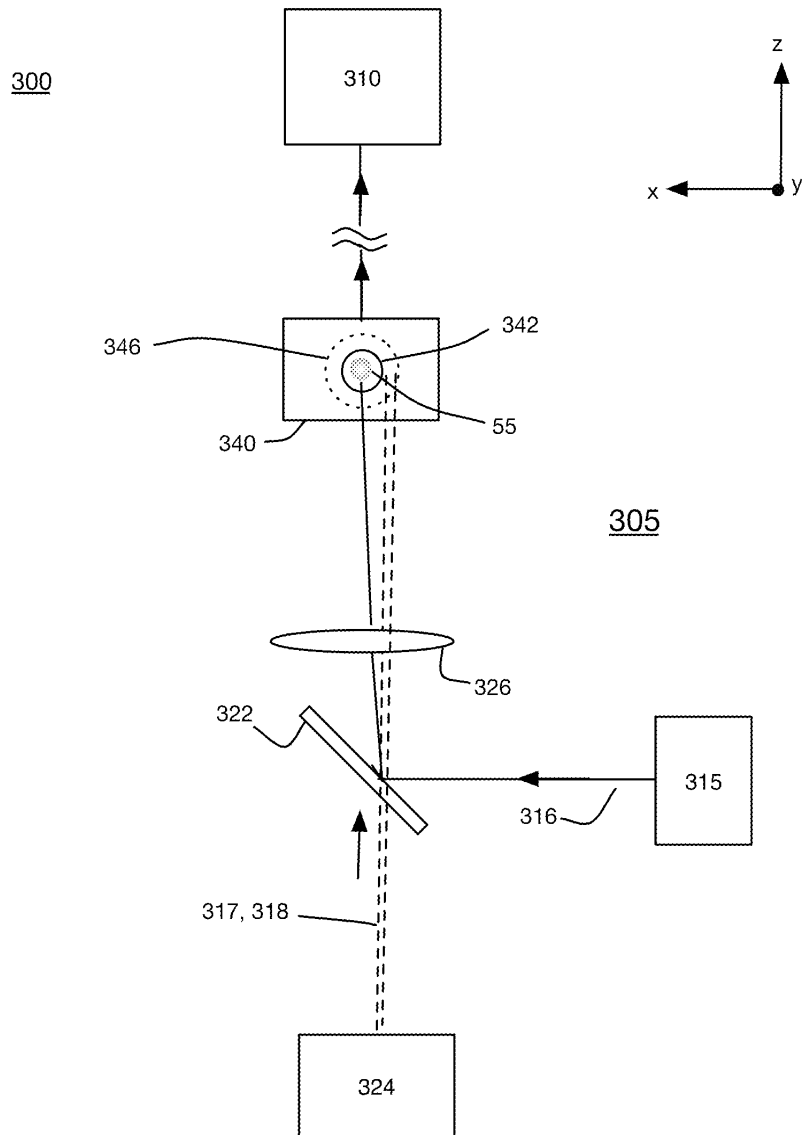


도면2b

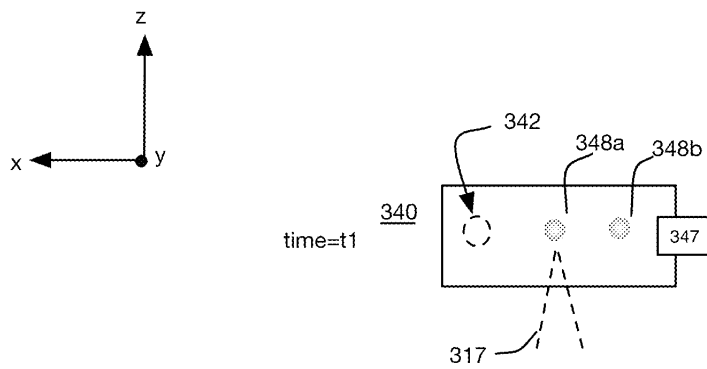
180



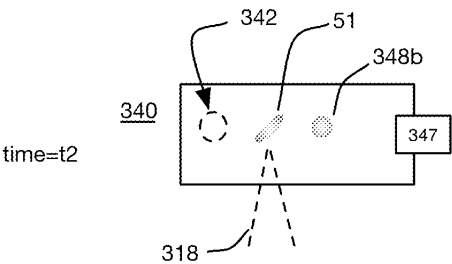
도면3a



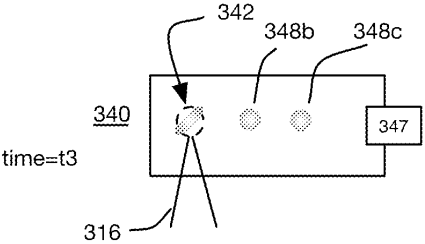
도면3b



도면3c

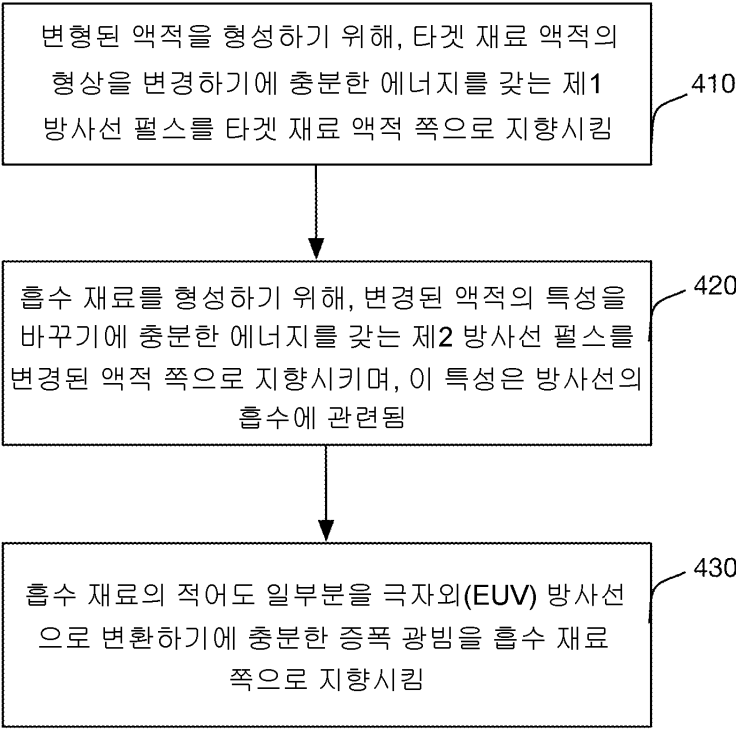


도면3d

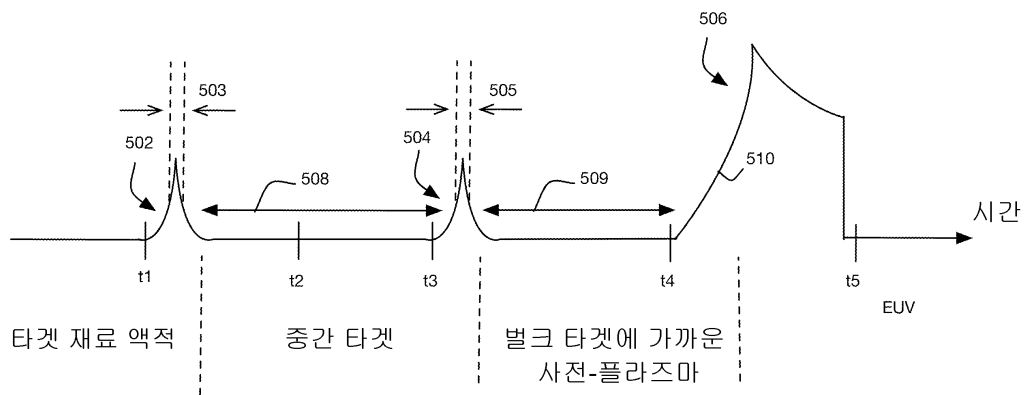


도면4

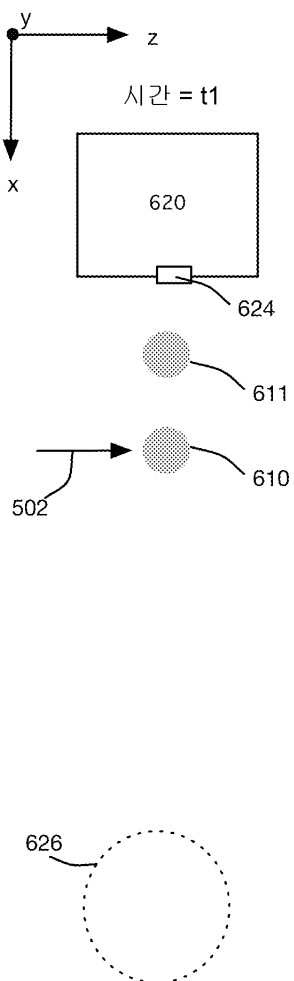
400



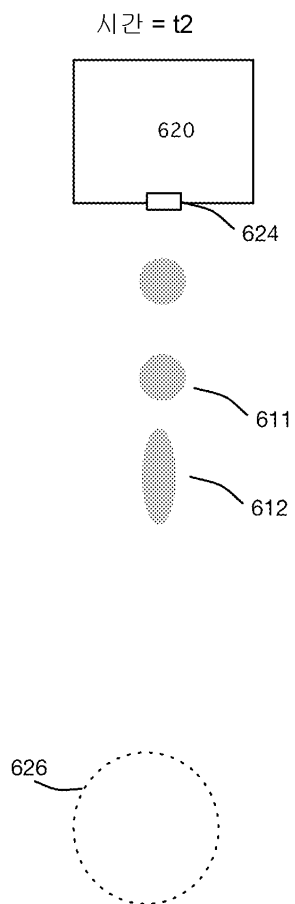
도면5



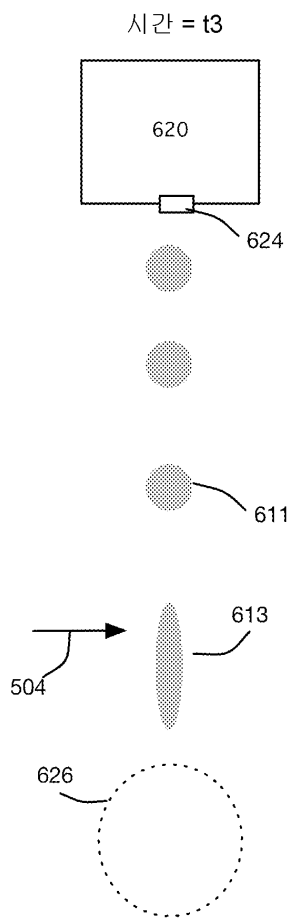
도면6a



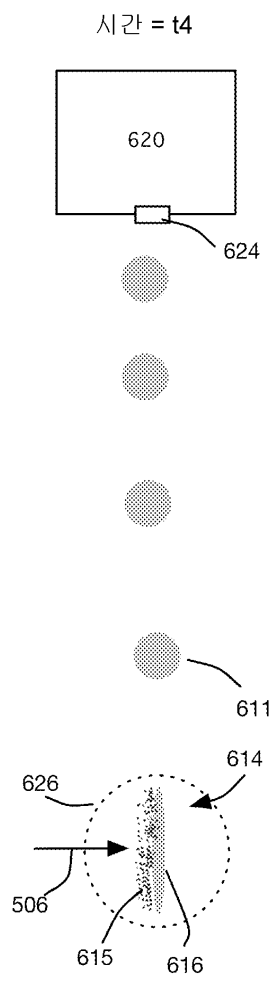
도면6b



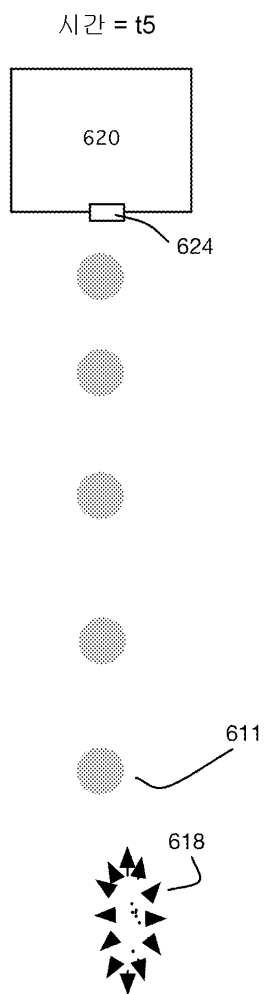
도면6c



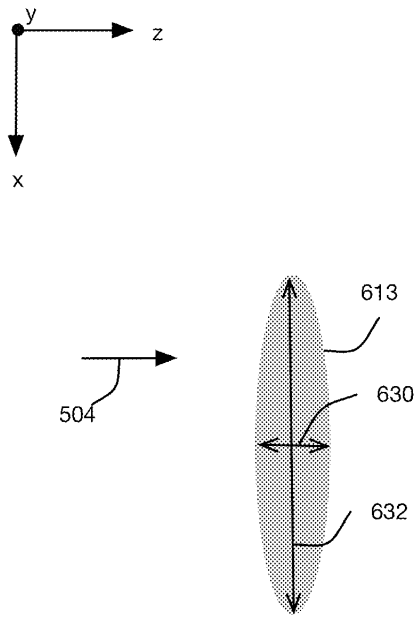
도면6d



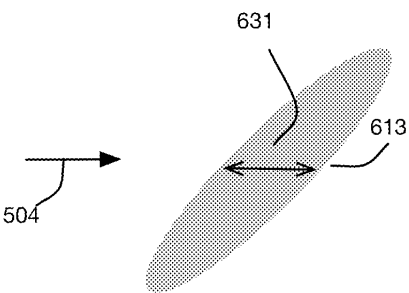
도면6e



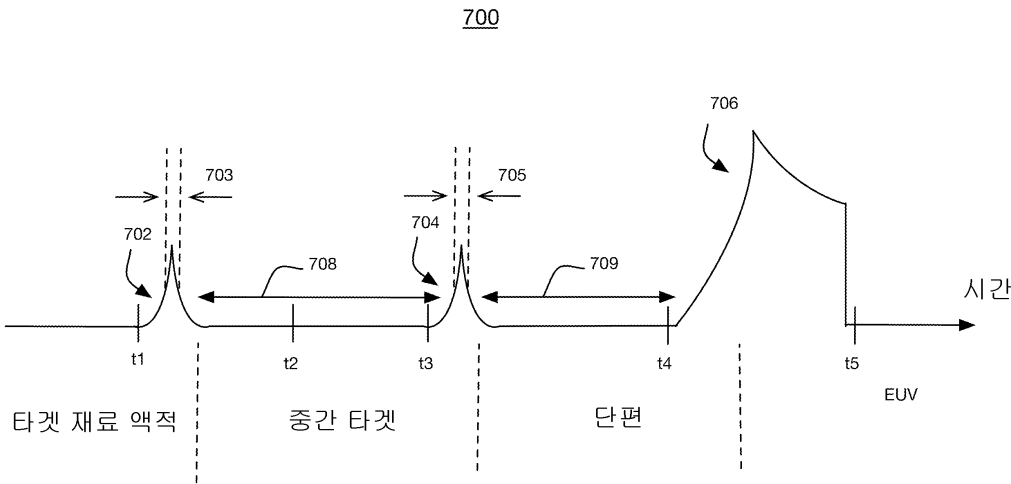
도면6f



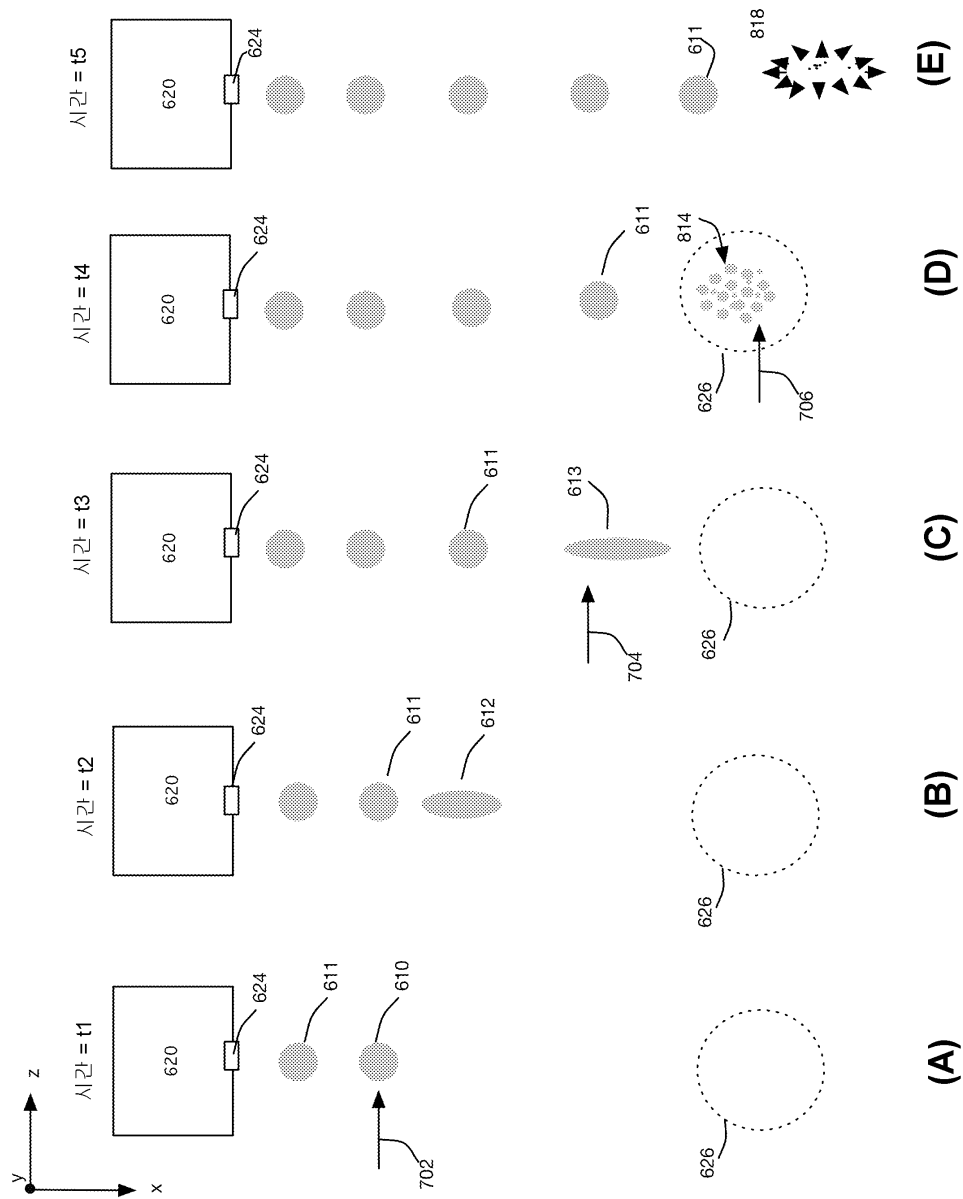
도면6g



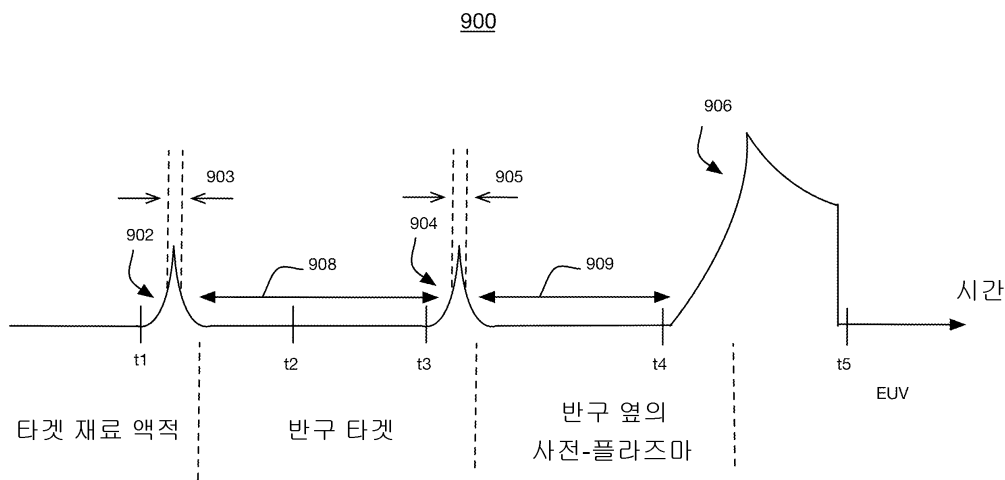
도면7



도면8



도면9



도면10

