



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년01월29일  
(11) 등록번호 10-1943528  
(24) 등록일자 2019년01월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/027 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2013-7032824  
(22) 출원일자(국제) 2012년03월29일  
심사청구일자 2017년03월02일  
(85) 번역문제출일자 2013년12월10일  
(65) 공개번호 10-2014-0041537  
(43) 공개일자 2014년04월04일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/031257  
(87) 국제공개번호 WO 2013/077901  
국제공개일자 2013년05월30일  
(30) 우선권주장  
13/107,804 2011년05월13일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
KR1020100041712 A\*  
US20060192153 A1\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
에이에스엠엘 네델란즈 비.브이.  
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324  
(72) 발명자  
라즈야구루 치라그  
미국 캘리포니아 92127 샌디에고 쏘민트 코트  
17075  
바움가르트 피터  
미국 캘리포니아 92127 샌디에고 쏘민트 코트  
17075  
바스첸코 조글리 오.  
미국 캘리포니아 92127 샌디에고 쏘민트 코트  
17075  
(74) 대리인  
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 17 항

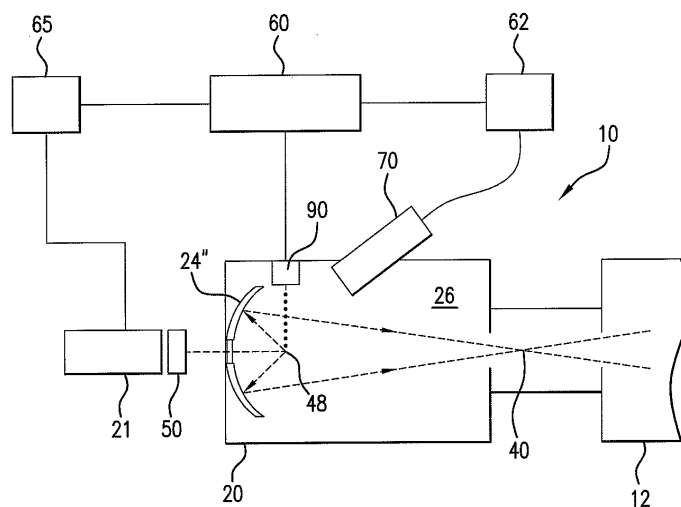
심사관 : 이석주

(54) 발명의 명칭 구동기 유도 노즐 세정 기능을 갖는 방울 생성기

(57) 요약

조사 영역으로 지향된 레이저 빔을 생성하는 배열 및 방울 소스를 포함하는 EUV 광선을 발생시키기 위한 시스템 (및 그 방법)이 개시되어 있다. 이러한 방울 소스는 오리피스에서 나가는 유체 및 상기 유체에 외란을 생성하는 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하고 있다. 상기 전기 구동가능한 소자는 EUV 광선을 발생시키도록 조사용 방울을 생성하기 위한 제1 파형 및 상기 제1 파형과 상이하고 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하는 제2 파형에 의해 구동되고, 상기 제1 파형에 의해 생성되는 방울은 상이한 초기 속도를 가져서 방울이 상기 조사 영역으로 이동할 때 적어도 일부 인접한 방울이 합쳐지도록 한다.

대표도 - 도1a



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

액적 생성을 위한 장치로서,

조사 영역으로 지향되는 레이저 빔을 생성하는 시스템; 및

오리피스에서 나가는 유체 및 상기 유체에 외란을 생성하는 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하는 방울 소스를 포함하고,

상기 전기 구동가능한 소자는 EUV 광선을 발생시키도록 조사용 방울을 생성하기 위한 제1 파형 및 상기 제1 파형과 상이하고 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하기 위한 제2 파형에 의해 구동되고,

상기 제1 파형에 의해 생성되는 방울은 상이한 초기 속도를 가져서 방울이 상기 조사 영역으로 이동할 때 적어도 일부 인접한 방울이 합쳐지도록 하고,

상기 제1 파형은 상기 제2 파형보다 낮은 주기성 주파수를 갖는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1 파형은 상기 제2 파형과 상이한 주기성 형상을 갖는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 파형은 상기 제2 파형 보다 작은 피크 진폭을 갖는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제1 파형은 일련의 전기 펄스를 포함하고, 상기 전기 펄스의 각각은 기본 주파수 및 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 고조파를 발생시키도록 설정되는 상승시간과 하강시간 중 적어도 하나를 가지는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 6

제1항에 있어서, 상기 오리피스는 튜브의 일단부에 형성되어 있고 상기 전기 구동가능한 소자는 상기 튜브의 원주를 둘러싸도록 위치되고 링 형상을 갖고 있는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 7

제1항에 있어서, 상기 제1 파형은 구형파, 방형파 및 피크-비정현파로 구성된 파형의 그룹으로부터 선택된, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 8

제7항에 있어서, 상기 피크-비정현파는 고속 펄스파, 고속 램프파 및 싱크함수파로 구성된 파형의 그룹으로부터 선택된, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 9

제1항에 있어서, 상기 제1 파형은 주파수 변조된 파형 및 진폭 변조된 파형으로 구성된 변조된 파형의 그룹으로부터 선택된 파형을 포함하는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 10

제1항에 있어서, 상기 제2 파형은 제1 주기성 주파수로부터 제2 주기성 주파수로 전이하는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 11

제1항에 있어서, 상기 제2 파형은 복수의 주기성 주파수에서 그 주파수가 변화하는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 12

액적 생성을 위한 방법으로서,

레이저 빔을 조사 영역으로 지향시키는 단계;

오리피스에서 나가는 유체 및 상기 유체에 외란을 생성하는 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하는 방울 소스를 제공하는 단계;

EUV 광선을 발생시키도록 상기 레이저 빔에 의해 조사용 방울을 생성하기 위해 제1 파형에 의해 상기 전기 구동가능한 소자를 구동하는 단계; 및

상기 오리피스로부터 오염물을 제거하기 위해 상기 제1 파형과 상이한 제2 파형에 의해 상기 전기 구동가능한 소자를 구동하는 단계를 포함하고,

상기 방울은 상이한 초기 속도를 가져서 방울이 상기 조사 영역으로 이동할 때 적어도 일부 인접한 방울이 합쳐지도록 하고,

상기 제1 파형은 상기 제2 파형보다 낮은 주기성 주파수를 갖는, 액적 생성을 위한 방법.

#### 청구항 13

삭제

#### 청구항 14

제12항에 있어서, 상기 제1 파형은 상기 제2 파형과 상이한 주기성 형상을 갖는, 액적 생성을 위한 방법.

#### 청구항 15

제12항에 있어서, 상기 제1 파형은 상기 제2 파형보다 작은 진폭을 갖는, 액적 생성을 위한 방법.

#### 청구항 16

제12항에 있어서, 상기 제1 파형은 일련의 펄싱된 외란을 포함하고, 각 펄싱된 외란은 기본 주파수 및 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 고조파를 발생시키도록 설정되는 상승시간 및 하강시간 중 적어도 하나를 갖는, 액적 생성을 위한 방법.

#### 청구항 17

제12항에 있어서, 상기 오리피스는 튜브의 일단부에 형성되어 있고 상기 전기 구동가능한 소자는 상기 튜브의 원주를 둘러싸도록 위치되고 링 형상을 갖고 있는, 액적 생성을 위한 방법.

#### 청구항 18

액적 생성을 위한 장치로서,

조사 영역으로 지향되는 레이저 빔을 생성하는 시스템; 및

튜브를 통해 흐르고 오리피스에서 나가는 유체 및, 제1 링 형상의 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하는 타겟 재료 방울의 소스; 및

상기 유체에 결합되어 있고, 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하도록 구동가능한 제2 전기 구동가능한 소자를 포함하고,

상기 제1 링 형상의 전기 구동가능한 소자는 상기 튜브의 원주를 둘러싸도록 위치되어 있고, EUV 광선을 발생시

키도록 조사용 방울을 생성하기 위해 상기 유체에 외란을 생성하도록 구동가능하며,

EUV 광선을 발생시키도록 조사용 방울을 생성하기 위해 상기 제1 링 형상의 전기 구동가능한 소자에 의해 발생되는 제1 파형은, 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하기 위해 상기 제2 전기 구동가능한 소자에 의해 발생되는 제2 파형보다 낮은 주기성 주파수를 갖는, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 19

액적 생성을 위한 장치로서,

조사 영역으로 지향되는 레이저 빔을 생성하는 시스템; 및

오리피스에서 나가는 유체 및 상기 유체에 외란을 생성하는 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하는 방울 소스를 포함하고,

상기 전기 구동가능한 소자는 상기 조사 영역에 도달하기 전에 온전히 합쳐지고, 막히지 않은 오리피스에 대해 안정한 방울 포인팅을 갖는 방울을 생성하는  $A_{min}$  내지  $A_{max}$ 의 진폭의 범위를 갖는 파형에 의해 구동되고,

파형 진폭 A는, 상기 조사 영역에서 EUV 생성 플라즈마를 발생시키기 위한 방울을 생성함과 동시에 기본 주파수의 적어도 하나의 고조파의 증가된 진폭으로 인하여 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하도록  $2/3 A_{max}$  보다 큰, 액적 생성을 위한 장치.

#### 청구항 20

삭제

#### 청구항 21

삭제

#### 청구항 22

삭제

### 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 사건 번호 2008-0055-01, LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE 표제의, 2010년 3월 10일 출원되고, US 2010-0294953-A1로서 2010년 11월 25일 공개된 미국 특허 출원 번호 12/721,317; 사건 번호 2005-0102-01, SOURCE MATERIAL DISPENSER FOR EUV LIGHT SOURCE 표제의, 2006년 2월 21일 출원된 미국 특허 출원 번호 11/358,983; 및 사건 번호 2007-0030-01, LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE HAVING A DROPLET STREAM PRODUCED USING A MODULATED DISTURBANCE WAVE 표제의 2007년 7월 13일 출원된 미국 특허 출원 번호 11/827,803와 관련되어 있고, 그 전체 내용은 여기에 언급되어 통합되어 있다.

[0002] 본 발명은 극자외선("EUV") 광원 및 이들의 동작 방법에 관한 것이다. 이러한 광원은 소스 재료로부터 플라즈마를 생성함으로써 EUV 광을 제공한다. 하나의 적용에서, EUV 광은 반도체 집적 회로를 생산하기 위해 포토리소그래피 공정에서 수집되고 사용될 수 있다.

### 배경 기술

[0003] EUV 광의 패턴화된 빔은 실리콘 웨이퍼와 같은 레지스트-코팅된(resist-coated) 기판을 노출시키도록 사용될 수 있어서 이러한 기판에 극히 작은 특징부(feature)를 생성할 수 있다. 극자외선 광(또한 소프트 x-선으로 불린다)은 일반적으로 약 5-100 nm의 범위의 파장을 갖는 전자기파로서 정의된다. 포토리소그래피를 위한 관심의 한 특정 파장은 13.5 nm에서 발생하고, 현재, 보통 13.5 nm 시스템에 대한 "인밴드(in band) EUV"로 불리는 13.5 +/- 2%의 범위에서 광을 생산하기 위해 노력중이다.

[0004] EUV 광을 생산하는 방법은 EUV 범위에서 방사선을 갖는 화학 원소를 갖는 플라즈마 상태로 소스 재료를 전환하는 단계를 포함하지만 이에 반드시 제한되는 것은 아니다. 이러한 원소는 크세논, 리튬 및 주석을 포함하지만

이에 반드시 제한되는 것은 아니다.

- [0005] 이러한 하나의 방법에서, 자주 레이저 생성 플라즈마("LPP")로 불리는, 소량의 플라즈마가 예를 들어, 레이저 광선을, 방울, 스트림, 또는 와이어의 형태의 소스 재료에 조사함으로써 생성될 수 있다. 다른 방법에서, 자주 방전 생성 플라즈마("DPP")로 불리는, 소량의 플라즈마가 EUV 방사선을 갖는 소스 재료를 한 쌍의 전극 사이에 위치시키고, 이러한 전극 사이에 방전을 일으킴으로써 생성될 수 있다.
- [0006] 상술된 바와 같이, EUV 광을 생산하는 하나의 기술은 소스 재료를 조사하는 단계를 포함한다. 이러한 점에서, 적외선 파장, 즉, 9  $\mu\text{m}$  내지 11  $\mu\text{m}$ 의 범위의 파장에서 광을 출력하는 CO<sub>2</sub> 레이저가 LPP 프로세스에서 소스 재료를 조사하는 소위 '구동' 레이저로서 특정 장점을 제공할 수 있다. 이것은 특별히 특정 소스 재료, 예를 들어, 주석을 함유하는 소스 재료에 있어서 사실일 수 있다. 하나의 장점은 구동 레이저 입력 전력과 출력 EUV 전력 사이에 비교적 높은 전환 효율을 나타내는 능력을 포함할 수 있다.
- [0007] LPP 및 DPP 프로세스에 있어서, 플라즈마는 진공 챔버와 같은 밀봉된 용기에서 생산되고, 다양한 타입의 측량 장비를 사용하여 감시된다. 인밴드 EUV 방사선을 생성하는 것에 더하여, 이러한 플라즈마 프로세스는 또한 보통 바람직하지 않은 부산물을 생성한다. 이러한 부산물은 역외(out-of-band) 방사선, 높은 에너지 소스 재료 이온, 낮은 에너지 소스 재료 이온, 여기된 소스 재료 원자, 및 소스 재료 기화 또는 버퍼 가스 내의 가열된 소스 재료 이온에 의해 생산된 열 소스 재료 원자를 포함할 수 있다. 이러한 부산물은 또한 클러스터 및 다양한 크기의 미세방울의 형태이고 다양한 속도로 조사 사이트로부터 나가는 소스 재료를 포함할 수 있다. 이러한 클러스터 및 미세방울은 광학부 위에 직접 증착될 수 있거나 챔버 벽 또는 챔버 내의 다른 구조물로부터 '반사'되고 광학부 위에 증착될 수 있다.
- [0008] 보다 양적인 면에서, 약 100W의 EUV 광선을 생산하는 목표를 가지고 현재 개발중인 하나의 배열은 초당 약 40,000 - 100,000 주석 방울을 연속으로 조사하기 위해 방울 생성기와 동기화되는 펄싱된, 포커싱된 10-12kW CO<sub>2</sub> 구동 레이저를 사용하는 것을 고려하고 있다. 이러한 목적을 위해, 비교적 높은 반복율(예를 들어, 40-100kHz 이상)에서 안정한 스트림의 방울을 생산하고 비교적 긴 시간 동안 타이밍 및 위치 면에서 높은 정확도 및 양호한 반복도를 갖고 (즉, 매우 작은 "지터"를 갖고) 조사 사이트에 방울을 전달할 필요가 있다. 일반적으로, 챔버 내에 발생되는 플라즈마 생성 이물질의 양을 감소시키기 위해 약 10-50 $\mu\text{m}$ 의 범위의 직경을 갖는 방울과 같은 비교적 작은 방울을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0009] 방울을 발생시키는 하나의 기술은 주석과 같은 타겟 재료를 용융시킨 후에 이러한 타겟 재료를, 약 0.5-30 $\mu\text{m}$ 의 직경을 갖는 오리피스와 같은 비교적 작은 직경의 오리피스를 통해 고압으로 강제 밀어내어 약 30-100m/s의 방울 속도를 갖는 방울의 스트림을 생성하는 단계를 포함한다. 대부분의 조건하에서, 이러한 오리피스에서 나가는 스트림내의 자연 발생하는 불안정성, 예를 들어, 노이즈가 이러한 스트림을 방울로 분리할 수 있다. 이러한 방울을 LPP 구동 레이저의 광 펄스와 동기화하기 위해, 랜덤 노이즈의 진폭을 초과하는 진폭을 갖는 반복성 외란(disturbance)을 연속 스트림에 적용할 수 있다. 펄싱된 레이저의 반복율과 동일한 주파수(또는 그 고조파)로 외란을 적용시킴으로써, 방울은 레이저 펄스와 동기화될 수 있다. 예를 들어, 이러한 외란은 (압전 재료와 같은) 전기 구동가능한 소자를 스트림에 결합시키고 이러한 전기 구동가능한 소자를 주기성 파형에 의해 구동시킴으로써 스트림에 적용될 수 있다.
- [0010] 여기에 사용된 바와 같이, 용어 "전기 구동가능한 소자" 및 그 파생어는 전압, 전계, 자계 또는 그 조합의 영향을 받을 때 치수적 변화가 일어나는 재료 또는 구조를 의미하고 압전 재료, 전왜 재료 및 자왜 재료를 포함하지만 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0011] 상술된 바와 같이, 방울 생성기는 현재 몇 주 이상과 같은 비교적 긴 기간 동안 연속적으로 방울을 생성하도록 설계되고 있다. 이러한 동작 기간 동안, 일반적으로 방울 생성기를 정지시키고 재시동시키는 것이 실제적이지 않다. 더욱이, 이러한 동작 기간 동안, 비교적 작은 노즐 오리피스는 타겟 재료 내의 불순물로부터의 퇴적물에 의해 일부 막힐 수 있다. 이러한 노즐 오리피스가 일부 막힐 때, 방울은 노즐에 퇴적물이 없을 때와 상이한 방향으로 노즐을 나갈 수 있다. 이러한 방울 스트림 포인팅의 변화는 레이저 빔과 방울 사이의 불완전하거나 최적이지 아닌 상호작용을 유발하여 EUV 출력 및 변환 효율에 역효과를 줄 수 있다. 방울을 적절하게 조사하는 것에 실패하면, 클러스터 및 미세방울과 같은 특정 타입의 문제가 되는 이물질의 양도 증가할 수 있다.
- [0012] 동작 동안, EUV 광원으로부터의 출력 빔이 스테퍼 또는 스캐너와 같은 리소그래피 노출 툴에 의해 사용될 수 있다. 이러한 노출 툴은 먼저 광원으로부터의 빔을 균질화할 수 있고 그 다음, 예를 들어, 반사 마스크를 사용하여 빔의 단면에 패턴을 줄 수 있다. 그다음, 패턴화된 빔이 레지스트 코팅된(resist-coated) 웨이퍼의 일부에

투사될 수 있다. 일단 레지스트-코팅된 웨이퍼의 제1 부분(때로 노출 필드로 불린다)은 조명되고, 웨이퍼, 마스크 또는 양측은 레지스트-코팅된 웨이퍼의 조사가 완료될 때까지, 계속, 제2 노출 필드들을 조사하기 위해 이동될 수 있다. 이러한 프로세스 동안, 스캐너는 보통 각 노출 필드에 대해 광원으로부터 소위 펄스의 버스트를 필요로 한다. 예를 들어, 전형적인 버스트는 약 0.5 초의 시간 동안 지속될 수 있고 약 40kHz의 반복율에서 약 20,000 광 펄스를 포함할 수 있다. 버스트 시간의 길이, 펄스의 수 및 반복율이 노출 필드에 대해 특정된 EUV 출력 펄스 에너지, 및 누적된 에너지, 또는 선량에 기초하여 선택될 수 있다. 일부의 경우에, 펄스 에너지 및/또는 반복율이 버스트 시간 동안 변할 수 있고 및/또는 버스트는 하나 이상의 비출력 시간을 포함할 수 있다.

[0013] 이러한 프로세스에서, 후속 버스트가 삽입 시간(intervening period) 만큼 시간상 분리될 수 있다. 대략 1초가 안되는 시간 동안 지속될 수 있는 일부 삽입 시간 동안, 노출 톨은 그 다음 노출 필드를 조사하기 위해 준비되고 광원으로부터 광을 필요로 하지 않는다. 보다 긴 삽입 시간은 노출 톨이 웨이퍼를 변경할 때 발생할 수 있다. 훨씬 긴 삽입 시간은 노출 톨이 다수의 웨이퍼를 유지하는 소위 "보트" 또는 카세트를 교환하거나, 측량을 행하거나, 하나 이상의 유지관리 기능을 행하거나, 임의의 다른 스케줄되거나 스케줄되지 않은 프로세스를 실행할 때 발생할 수 있다. 일반적으로, 이러한 삽입 시간 동안, EUV 광은 노출 톨에 의해 필요하지 않고, 결과적으로, 이러한 삽입 시간중 하나, 일부 또는 모두는 방울 생성기 노즐로부터 증착물을 제거할 기회를 제공할 수 있다.

[0014] 이러한 것들을 염두에 두고, 발명자는 구동기 유도 노즐 세정 기능을 갖는 방울 생성기 및 상이한 사용 방법을 개발하였다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

### 과제의 해결 수단

[0015] 본 발명은 하나의 실시예에서, 조사 영역으로 지향된 레이저 빔을 생성하는 시스템 및 방울 소스를 포함하는 장치에 관한 것이다. 이러한 방울 소스는 오리피스에서 나가는 유체 및 상기 유체에 외란을 생성하는 전기 구동 가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하고 있다. 상기 전기 구동가능한 소자는 EUV 광선을 발생시키도록 조사용 방울을 생성하기 위한 제1 파형 및 상기 제1 파형과 상이하고 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하는 제2 파형에 의해 구동되고, 상기 제1 파형에 의해 생성되는 방울은 상이한 초기 속도를 가져서 방울이 상기 조사 영역으로 이동할 때 적어도 일부 인접한 방울이 합쳐지도록 한다.

[0016] 또한, 본 발명은 하나의 실시예에서, 레이저 빔을 조사 영역으로 지향시키는 단계 및 오리피스에서 나가는 유체 및 상기 유체에 외란을 생성하는 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하는 방울 소스를 제공하는 단계를 포함하는 방법에 관한 것이다. 이러한 방법은 또한 EUV 광선을 발생시키도록 상기 레이저 빔에 의해 조사용 방울을 생성하기 위해 제1 파형에 의해 상기 전기 구동가능한 소자를 구동하는 단계를 포함하고, 상기 방울은 상이한 초기 속도를 가져서 방울이 상기 조사 영역으로 이동할 때 적어도 일부 인접한 방울이 합쳐지도록 한다. 이러한 방법은 또한 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하기 위해 상기 제1 파형과 상이한 제2 파형에 의해 상기 전기 구동가능한 소자를 구동하는 단계를 포함한다.

[0017] 또 다른 실시예에서, 본 발명은 조사 영역으로 지향된 레이저 빔을 생성하는 시스템 및 오리피스에서 나가는 유체 및 상기 유체에 외란을 생성하는 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하는 방울 소스를 포함하는 장치에 관한 것이다. 상기 전기 구동가능한 소자는 상기 조사 영역에 도달하기 전에 온전히 합쳐지고 막히지 않은 오리피스에 대해 안정한 방울 포인팅을 갖는 방울을 생성하는  $A_{min}$  내지  $A_{max}$ 의 진폭의 범위를 갖는 파형에 의해 구동되고, 파형 진폭 A는 상기 조사 영역에서 EUV 생성 플라즈마를 발생시키기 위한 방울을 생성함과 동시에 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하기 위해  $2/3 A_{max}$  보다 크다.

[0018] 또 다른 실시예에서, 본 발명은 조사 영역으로 레이저 빔을 지향시키는 단계 및 오리피스에서 나가는 유체 및, 상기 유체에 외란을 생성하는 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브시스템을 포함하는 방울 소스를 제공하는 단계로서, 상기 전기 구동가능한 소자는 파형에 의해 구동되는 단계를 포함하는 방법에 관한 것이다. 이러한 방법은 또한 상기 조사 영역에 도달하기 전에 온전히 합쳐지고 막히지 않은 오리피스에 대해 안정한 방울 포인팅을



갖는 방울을 생성하는  $A_{\min}$  내지  $A_{\max}$ 의 진폭의 범위를 결정하는 단계를 포함한다. 이러한 방법은 추가로, 상기 조사 영역에서 EUV 생성 플라즈마를 발생시키기 위한 방울을 생성함과 동시에 상기 오리피스로부터 오염물을 제거하기 위해  $2/3 A_{\max}$  보다 큰 진폭 A를 갖는 파형에 의해 상기 전기 구동가능한 소자를 구동하는 단계를 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

[0019]

도 1은 노출 장치와 결합된 EUV 광원의 단순화된 개략도이다.

도 1a는 LPP EUV 광 라디에이터를 갖고 있는 EUV 광원을 포함하는 장치의 단순화된 개략도이다.

도 2, 도 2a 내지 도 2c, 도 3 및 도 4는 오리피스를 나가는 스트림에 외란을 생성하기 위해 하나 이상의 전기 구동가능한 소자를 유체와 결합하기 위한 다수의 상이한 기술을 설명하는 도면이다.

도 5는 단일 주파수, 변조되지 않은 외란 파형으로부터 산출된 방울의 패턴을 도시하는 도면이다.

도 6은 진폭 변조된 외란 파형으로부터 산출된 방울의 패턴을 도시하는 도면이다.

도 7은 주파수 변조된 외란 파형으로부터 산출된 방울의 패턴을 도시하는 도면이다.

도 8은 단일 주파수, 변조되지 않은 파형 외란 및 다수의 주파수 변조된 파형 외란에 대해 얻어진 주석 방울의 사진이다.

도 9는 사인과 신호의 홀수 조파의 중첩으로서 구형파를 표현한 도면이다.

도 10은 출력 오리피스로부터 ~40mm에서 취해진 30kHz에서의 구형파 변조에 의해 취해진 방울의 이미지를 도시하는 도면이다.

도 11은 출력 오리피스로부터 ~120mm에서 취해진 30kHz에서의 구형파 변조에 의해 취해진 방울의 이미지를 도시하는 도면이다.

도 12a 내지 도 12d는 방형파에 대한 주파수 스펙트럼(도 12b)을 포함하는, 방형파(도 12a) 변조에 대한 실험 결과값을 도시하는 도면이고, 출구 오리피스로부터 20mm에서 취해진 방울의 이미지(도 12c)이고 출력 오리피스로부터 450mm에서 취해진 합쳐진 방울의 이미지(도 12d)이다.

도 13a 내지 도 13d는 고속 펄스에 대한 주파수 스펙트럼(도 13b)을 포함하는, 고속 펄스(13a) 변조에 대한 실험 결과값을 도시하는 도면이고, 출구 오리피스로부터 20mm에서 취해진 방울의 이미지(도 13c)이고 출력 오리피스로부터 450mm에서 취해진 합쳐진 방울의 이미지(도 13d)이다.

도 14a 내지 도 14d는 고속 램프파에 대한 주파수 스펙트럼(도 14b)을 포함하는, 고속 램프파(14a) 변조에 대한 실험 결과값을 도시하는 도면이고, 출구 오리피스로부터 20mm에서 취해진 방울의 이미지(도 14c)이고 출력 오리피스로부터 450mm에서 취해진 합쳐진 방울의 이미지(도 14d)이다.

도 15a 내지 도 15d는 싱크함수파에 대한 주파수 스펙트럼(도 15b)을 포함하는, 싱크함수파(15a) 변조에 대한 실험 결과값을 도시하는 도면이고, 출구 오리피스로부터 20mm에서 취해진 방울의 이미지(도 15c)이고 출구 오리피스로부터 450mm에서 취해진 합쳐진 방울의 이미지(도 15d)이다.

도 16은 도 3에 도시된 방울 생성기와 같은 방울 생성기를 위한 외란 피크 진폭 영역을 도시하는 그래프이다.

도 17a는 유체에서 외란을 생성하기 위해 전기 구동기를 구동하기 위한 실질상 직방형 주기성 형상 유한 상승시간, 약  $20\mu\text{s}$ 의 주기, 50kHz의 주기성 주파수, 및 약 2V의 피크 진폭을 갖고 있는 주기성 파형을 도시하고 있다.

도 17b는 도 17a에 도시된 파형의 주파수 스펙트럼을 도시하는 도면이다.

도 18a는 유체에서 외란을 생성하기 위해 전기 구동기를 구동하기 위한 실질상 직방형 주기성 형상 유한 상승시간, 약  $20\mu\text{s}$ 의 주기, 50kHz의 주기성 주파수, 및 약 5V의 피크 진폭을 갖고 있는 주기성 파형을 도시하고 있다.

도 18b는 도 18a에 도시된 파형의 주파수 스펙트럼을 도시하는 도면이다.

도 19a는 유체에서 외란을 생성하기 위해 전기 구동기를 구동하기 위한 실질상 직방형 주기성 형상 유한 상승시간, 약  $20\mu\text{s}$ 의 주기, 120kHz의 주기성 주파수, 및 약 2V의 피크 진폭을 갖고 있는 주기성 파형을 도시하고 있다.

도 19b는 도 19a에 도시된 파형의 주파수 스펙트럼을 도시하는 도면이다.

도 20a는 유체에서 외란을 생성하기 위해 전기 구동기를 구동하기 위한 실질상 직방형 주기성 형상 유한 상승시간, 약  $20\mu\text{s}$ 의 주기, 120kHz의 주기성 주파수, 및 약 5V의 피크 진폭을 갖고 있는 주기성 파형을 도시하고 있다.

도 20b는 도 20a에 도시된 파형의 주파수 스펙트럼을 도시하는 도면이다.

도 21은 동시에 조사 영역에서 EUV 생성 플라즈마를 발생시키기에 적합한 방울을 생산하고 노즐 오피리스로부터 오염물을 제거하기 위한 전기 구동가능한 소자를 구동하기 위한 파형을 결정하는데 사용될 수 있는 프로세스를 도시하는 순서도이다.

도 22는 구동기 유도 노즐 세정을 유발하는 파형을 갖는 방울 생성기의 전기 구동가능한 소자를 주기적으로 구동하는 동안 EUV 출력을 생산하기 위해 조사를 위한 방울을 생산하는데 사용될 수 있는 프로세스를 도시하는 순서도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 도 1에는 보통 10" 으로 표시된, EUV 포토리소그래피 장치의 하나의 예의 선택된 부분의 단순화된, 개략 단면도가 도시되어 있다. 이러한 장치(10")는 예를 들어, EUV 광의 패턴화된 빔을 갖는 레지스트-코팅된(resist-coated) 웨이퍼와 같은 기관(11)을 노출시키는데 사용될 수 있다. 장치(10")를 위해, EUV 광을 사용하는 노출 장치(12")(예를 들어, 스테퍼, 스캐너, 스텝 및 스캔 시스템, 다이렉트 기록 시스템, 콘택트 및/또는 근접 마스크를 사용하는 디바이스등과 같은 집적 회로 리소그래피 툴)가 예를 들어, 패턴화된 빔을 생산하기 위해, 레티클과 같은 EUV 광의 빔에 의해 패턴닝 광학부(13c)를 조사하는 하나 이상의 광학부(13a, 13b) 및 이러한 패턴화된 빔을 기관(11) 위에 투사하기 위한 하나 이상의 저감 투사 광학부(13d, 13e)를 갖는 것으로 제공될 수 있다. 기관(11)과 패턴닝 수단(13c) 사이에 제어된 상대 이동을 생성하기 위한 기계적 어셈블리(도시되지 않음)가 제공될 수 있다. 또한 도 1에 도시된 바와 같이, 장치(10")는 EUV 광원(20")을 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, EUV 광원(20")은 기관(11)을 조사하기 위해 노출 장치(12") 내로 경로를 따라 광학부(24)에 의해 반사되는 챔버(26") 내의 EUV 광을 방출하는 EUV 광 라디에이터(22)를 포함할 수 있다.

[0021] 여기에 사용된 바와 같이, 용어 "광학부" 및 그 파생어는 입사광을 반사하고 및/또는 전송하고 및/또는 동작하는 하나 이상의 부품을 포함하지만 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 하나 이상의 렌즈, 윈도우, 필터, 웨지, 프리즘, 그리즘, 그레이딩, 전송 섬유, 에탈론, 확산기, 호모제나이저, 검출기 및 다른 기기 부품, 개구, 액시콘 및, 다층 미러, 니어-노멀 입사 미러, 스침각 입사 미러, 스펙큘러 반사기, 확산 반사기 및 그 조합을 포함하는 미러를 포함하지만 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 달리 특정되지 않으면, 여기에 사용되는 용어 "광학부" 및 그 파생어는 EUV 출력 광과장, 조사 레이저 과장, 측정에 적합한 과장 또는 일부 다른 과장과 같은 하나 이상의 특정 과장 범위에서만 동작하는 또는 장점을 갖는 부품에 제한되는 것은 아니다.

[0022] 도 1a는 LPP EUV 광 라디에이터를 갖는 EUV 광원(20)을 포함하는 장치(10)의 특정 예를 설명하고 있다. 도시된 바와 같이, EUV 광원(20)은 일련의 광 펄스를 생성하고 이러한 광 펄스를 광원 챔버(26) 내로 전달하기 위한 시스템(21)을 포함할 수 있다. 장치(10)에 있어서, 광 펄스는 시스템(21)으로부터 하나 이상의 빔 경로를 따라 챔버(26) 내로 이동할 수 있어서, 노출 장치(12) 내의 기관 노출을 위한 EUV 광 출력을 생성하기 위해 조사 영역(48)에서 소스 재료를 조명할 수 있다.

[0023] 도 1a에 도시된 시스템(21)에 사용하기 위한 적합한 레이저는 예를 들어, 50kHz 이상의 고펄스 반복율 및 10kW 이상의 비교적 높은 전력에서 동작하는 DC 또는 RF 여기에 의해,  $9.3\mu\text{m}$  또는  $10.6\mu\text{m}$ 에서 방사선을 생성하는 펄싱된 가스 방전  $\text{CO}_2$  레이저 장치와 같은 펄싱된 레이저 장치를 포함할 수 있다. 하나의 특정 실시예에서, 이러한 레이저는 예를 들어, 100kHz 동작 가능한, 고반복율 및 비교적 낮은 에너지로 Q-스위칭된 오실레이터에 의해 시작되는 시드 펄스를 갖고 증폭의 다단계계를 갖는 오실레이터-증폭기 구성(예를 들어, 마스터 오실레이터/전력 증폭기(MOPA) 또는 전력 오실레이터/전력 증폭기(POPA))을 갖는 축방향-흐름 RF-펌핑된  $\text{CO}_2$  레이저일 수 있다. 그다음, 이러한 오실레이터로부터, 이러한 레이저 펄스는 조사 영역(48)에 도달하기 전에 증폭되고, 형상화되고



및/또는 포커싱될 수 있다. 연속으로 펌핑된 CO<sub>2</sub> 증폭기가 레이저 시스템(21)에 사용될 수 있다. 예를 들어, 하나의 오실레이터 및 3개의 증폭기(O-PA1-PA2-PA3 구성)를 갖는 적합한 CO<sub>2</sub> 레이저 장치가 여기에 전체 내용이 언급되어 통합된, 2008년 10월 21일에 발행되고, 이제 미국 특허 번호 7,439,530이고, 대리인 번호 2005-0044-01이고, LPP EUV LIGHT SOURCE DRIVE LASER SYSTEM 표제의, 2005년 6월 29일에 출원된 미국 특허 출원 번호 11/174,299에 개시되어 있다.

[0024] 대안으로, 이러한 레이저는 방울이 광학 캐비티의 하나의 미러로서 동작하는 소위 "셀프-타겟팅" 레이저 시스템으로서 구성될 수 있다. 일부 "셀프-타겟팅" 설계에서, 오실레이터는 필요하지 않을 수 있다. 셀프-타겟팅 레이저 시스템은 여기에 그 내용이 언급되어 통합된, 2009년 2월 17일 발행된, 이제는 미국 특허 번호 7,491,954이고, 대리인 번호 2006-0025-01이고, DRIVE LASER DELIVERY SYSTEMS FOR EUV LIGHT SOURCE 표제의 2006년 10월 13일에 출원된 미국 특허 출원 번호 11/580,414에 개시되고 청구되어 있다.

[0025] 적용에 따라, 다른 타입의 레이저, 예를 들어, 고전력 및 고펄스 반복율에서 동작하는 엑시머 또는 분자 플루오르 레이저 역시 적합할 수 있다. 다른 예는 예를 들어, 섬유, 로드, 슬랩, 또는 디스크 형상의 활성 매체를 갖는 고체 상태 레이저, 예를 들어, 오실레이터 챔버 및 (병렬 또는 직렬로 증폭 챔버를 갖는) 하나 이상의 증폭 챔버의 하나 이상의 챔버를 갖는 다른 레이저 구조, 마스터 오실레이터/전력 오실레이터(MOPO) 배열부, 마스터 오실레이터/전력 링 증폭기(MOPRA) 배열부를 포함할 수 있거나, 하나 이상의 엑시머를 제공하는 고체 상태 레이저, 분자 플루오르 또는 CO<sub>2</sub> 증폭기 또는 오실레이터 챔버가 적합할 수 있다. 다른 설계가 적합할 수 있다.

[0026] 일부 예에서, 소스 재료는 먼저 프리펄스에 의해 조사될 수 있고 이후에 메인 펄스에 의해 조사될 수 있다. 프리펄스 및 메인펄스 시드는 단일 오실레이터 또는 2개의 별개의 오실레이터에 의해 생성될 수 있다. 일부 설정에서, 하나 이상의 공통 증폭기가 프리펄스 시드 및 메인 펄스 시드 모두를 증폭시키기 위해 사용될 수 있다. 다른 설계를 위해, 별개의 증폭기가 프리펄스 및 메인 펄스 시드를 증폭시키기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 무선 주파수(RF) 방전에 의해 펌핑되는, 예를 들어, 0.05 - 0.2 atm의 부대기압에서 CO<sub>2</sub>를 포함하는 밀봉된 가스를 갖는 CO<sub>2</sub> 레이저일 수 있다. 이러한 설계에 의해, 시드 레이저는 10.5910352 $\mu$ m의 파장을 갖는 10P(20)와 같은 지배적 라인중 하나로 자체 튜닝될 수 있다. 일부 경우에, Q 스위칭이 시드 펄스 파라미터를 제어하기 위해 채용될 수 있다.

[0027] 상술된 CO<sub>2</sub>를 포함하는 이득 매체를 갖는 시드 레이저에 사용되기 위한 적합한 증폭기는 DC 또는 RF 여기에 의해 펌핑되는 CO<sub>2</sub> 가스를 포함하는 이득 매체를 포함할 수 있다. 하나의 특정 실시예에서, 이러한 증폭기는 축방향-흐름, RF-펌핑된(연속 또는 펄스 변조되는) CO<sub>2</sub> 증폭 유닛을 포함할 수 있다. 섬유, 로드(rod), 슬랩 또는 디스크 형상의 활성 매체를 갖는 다른 타입의 증폭 유닛이 사용될 수 있다. 일부 경우에, 고체 활성 매체가 채용될 수 있다.

[0028] 이러한 증폭기는 각각 자체의 챔버, 활성 매체 및 여기 소스, 예를 들어, 펌핑 전극을 갖고 있는 2개(또는 그보다 많은) 증폭 유닛을 가질 수 있다. 예를 들어, 시드 레이저가 상술된 CO<sub>2</sub>를 포함하는, 이득 매체를 포함하는 경우에, 증폭 유닛으로서 사용되기 위한 적합한 레이저는 DC 또는 RF 여기에 의해 펌핑되는 CO<sub>2</sub> 가스를 포함하는 활성 매체를 포함할 수 있다. 하나의 특정 실시예에서, 이러한 증폭기는 약 10-25 미터의 전체 이득 길이를 갖고 있고, 일례로, 예를 들어, 10kW 이상의 비교적 높은 전력에서 동작하는 4개 또는 5개와 같은 복수의 축방향-흐름, RF-펌핑된(연속 또는 펄스된) CO<sub>2</sub> 증폭 유닛을 포함할 수 있다. 섬유, 로드, 슬랩 또는 디스크 형상의 활성 매체를 갖고 있는 다른 타입의 증폭 유닛이 사용될 수 있다. 일부의 경우에, 고체 활성 매체가 채용될 수 있다.

[0029] 도 1a는 레이저 소스 시스템(21)과 조사 사이트(48) 사이에서 빔을 확장, 방향조정, 및/또는 포커싱하는 것과 같은 빔 조정을 위한 하나 이상의 광학부를 갖는 빔 컨디셔닝 유닛(50)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 미러, 프리즘, 렌즈를 포함할 수 있는 방향조정 시스템이 제공되고 배열될 수 있어서 레이저 초점을 챔버(26)에서 상이한 위치로 조절할 수 있다. 예를 들어, 방향조정 시스템은 제1 미러를 2차원으로 독립적으로 이동시킬 수 있는 틸트-틸트 구동기에 장착된 제1 평면 미러 및, 제2 미러를 2차원으로 독립적으로 이동시킬 수 있는 틸트-틸트 구동기에 장착된 제2 평면 미러를 포함할 수 있다. 이러한 설계에 의해, 방향조정 시스템은 빔 전파의 방향(빔 축)과 실질상 직교하는 방향으로 초점을 제어가능하게 이동시킬 수 있다.

[0030] 빔 컨디셔닝 유닛(50)은 빔을 조사 사이트(48)에 포커싱하고 초점의 위치를 빔축에 따라 조정하기 위해 포커싱

어셈블리를 포함할 수 있다. 포커싱 어셈블리를 위해, 초점을 빔축을 따라 이동시키기 위해 빔축을 따른 방향으로의 이동을 위해 구동기에 결합된 포커싱 렌즈 또는 미러와 같은 광학부가 사용될 수 있다.

[0031] 빔 컨디셔닝 시스템에 관해서는 표제 A HIGH REPETITION RATE LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE, 대리인 사건 번호 2003-0125-01이고, 2006년 8월 8일에 발행된 미국 특허 번호 7,087,914의, 2004년 3월 17일 출원된 미국 특허 출원 번호 10/803,526; 2007년 1월 16일 발행된 미국 특허 번호 7,164,144이고, 표제 EUV LIGHT SOURCE, 대리인 사건 번호 2004-0044-01이고, 2004년 7월 27일 출원된 미국 특허 출원 번호 10/900,839, 표제 BEAM TRANSPORT SYSTEM FOR EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT SOURCE, 대리인 사건 번호 2009-0029-01 이고, 2009년 12월 15일 출원된 미국 특허 출원 번호 12/638,092에서 상세하게 설명되어 있고, 각각의 내용은 여기에 언급되어 통합되어 있다.

[0032] 또한 도 1a에 도시된 바와 같이, EUV 광원(20)은 또한 예를 들어, 주석 방울과 같은 소스 재료를 챔버(26)의 내부의 조사 영역(48)로 전달하는 소스 재료 전달 시스템(90)을 포함할 수 있는데, 이러한 조사 영역(48)에서 방울은 시스템(21)으로부터의 광 펄스와 상호작용하여, 궁극적으로 플라즈마를 생성하고 EUV를 방출하여 노출 장치(12)내의 레지스트 코팅된 웨이퍼와 같은 기판을 노출시킨다. 다양한 방울 디스펜서 구성 및 이들의 관련 장점에 대해서는 표제 LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE, 대리인 사건 번호 2008-0055-01이고, U.S. 2010/0294953-A1로서 2010년 11월 25일 공개되고 2010년 3월 10일 출원되고 US 2010-0294953-A1으로서 2010년 11월 25일 공개된 미국 특허 출원 번호 12/721,317; 표제 SYSTEMS AND METHODS FOR TARGET MATERIAL DELIVERY IN A LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE, 대리인 사건 번호 2006-0067-02이고, 2011년 1월 18일에 발행된 미국 특허 번호 7,872,245의 2008년 6월 19일 출원된 미국 특허 출원 번호 12/214,736; 표제 LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE HAVING A DROPLET STREAM PRODUCED USING A MODULATED DISTURBANCE WAVE, 대리인 사건 번호 2007-0030-01이고, 2011년 3월 1일 발행된 미국 특허 번호 7,897,947의, 2007년 7월 23일 출원된 미국 특허 출원 번호 11/827,803; 표제 LASER PRODUCED PLASMA EUV LIGHT SOURCE WITH PRE-PULSE, 대리인 사건 번호 2005-0085-01이고, U.S. 2006/0255298A-1로서 2006년 11월 16일에 공개되고 2006년 2월 21일에 출원된 미국 특허 출원 번호 11/358,988; 표제 METHOD AND APPARATUS FOR EUV PLASMA SOURCE TARGET DELIVERY, 대리인 사건 번호 2004-0008-01이고, 2005년 2월 25일에 출원된 미국 특허 출원 번호 11/067,124; 2008년 7월 29일에 발행된 미국 특허 번호 7,405,416; 2008년 5월 13일 발행된 미국 특허 번호 7,372,056이고, 표제 LPP EU PLASMA SOURCE MATERIAL TARGET DELIVERY SYSTEM, 대리인 사건 번호 2005-0003-01이고, 2005년 6월 29일 출원된 미국 특허 출원 번호 11/174,443에 보다 상세하게 설명되어 있고, 각각의 내용은 여기에 언급되어 통합되어 있다.

[0033] 기관 노출을 위한 EUV 광 출력을 생성하기 위한 소스 재료는 주석, 리튬, 크세논 또는 그 조합을 포함할 수 있지만 이에 제한되는 것은 아니다. EUV 방출 원소, 예를 들어, 주석, 리튬, 크세논등은 액체 방울 및/또는 액체 방울내에 포함된 고체 입자의 형태를 가질 수 있다. 예를 들어, 원소 주석은 순수한 주석으로서; 주석 화합물로서, 예를 들어,  $\text{SnBr}_4$ ,  $\text{SnBr}_2$ ,  $\text{SnH}_4$ 로서; 주석 합금으로서, 예를 들어, 주석-갈륨 합금, 주석-인듐 합금, 주석-인듐-갈륨 합금, 또는 그 조합으로서 사용될 수 있다. 사용된 재료에 따라, 타겟 재료는 실온 또는 근실온(예를 들어, 주석 합금,  $\text{SnBr}_4$ ), 고온(예를 들어, 순수한 주석) 또는 실온 아래의 온도(예를 들어,  $\text{SnH}_4$ )를 포함하는 다양한 온도에서 조사 영역(28)으로 제공될 수 있고, 일부 경우에, 예를 들어,  $\text{SnBr}_4$ 의 경우에 비교적 휘발성이 클 수 있다. LPP EUV 광원내의 이러한 재료의 사용에 관해서는 2008년 12월 16일에 발행된 미국 특허 7,465,946인, 대리인 사건번호 2006-0003-01, ALTERNATIVE FUELS FOR EUV LIGHT SOURCE 표제의 2006년 4월 17일에 출원된 미국 특허 출원 번호 11/406,216에 제공되어 있고, 그 내용은 여기에 언급되어 통합되어 있다.

[0034] 계속 도 1a에서, 장치(10)는 또한 시스템(21) 내의 장치를 제어하여 챔버(26)내에 전달하기 위한 광 펄스를 생성하고 및/또는 빔 컨디셔닝 유닛(50) 내의 광학부의 이동을 제어하기 위한 구동 레이저 제어 시스템(65)을 포함할 수 있는 EUV 제어기(60)를 또한 포함할 수 있다. 이러한 장치(10)는 또한 예를 들어, 조사 영역(48)에 상대적인, 하나 이상의 방울의 위치를 나타내는 출력을 제공하는 하나 이상의 방울 이미저(70)를 포함할 수 있는 방울 위치 검출 시스템을 포함할 수 있다. 이미저(70)는 이러한 출력을 방울 위치 및 궤적을 계산할 수 있는 방울 위치 검출 피드백 시스템(62)에 제공할 수 있고, 이러한 방울 위치 및 궤적으로부터 방울 에러가 각 방울당, 또는 평균적으로 계산될 수 있다. 그다음, 이러한 방울은 레이저 트리거 타이밍을 제어하기 위해 및/또는 빔 컨디셔닝 유닛(50) 내의 광학부의 이동을 제어하여, 챔버(26) 내의 조사 영역(48)에 전달되고 있는 광 펄스의 위치 및/또는 초점력을 변경하도록 예를 들어, 위치, 검출 및/또는 타이밍 보정 신호를 시스템(21)에 제공할 수 있는 제어기(60)에 입력으로 제공될 수 있다. 또한, EUV 광원(20)을 위해, 소스 재료 전달 시스템(90)은 요

구되는 조사 영역(48)에 도달하는 방울의 에러를 보정하기 위해 예를 들어, 배출 포인트, 초기 방울 스트림 방향, 방울 배출 타이밍 및/또는 방울 변조를 수정하기 위해, 제어기(60)로부터 (일부 실시예에서 상술된 방울 에러, 또는 이로부터 유도되는 일부 양을 포함할 수 있는) 신호에 응답하여 동작가능한 제어 시스템을 가질 수 있다.

[0035] 계속 도 1a에서, 장치(10)는 또한 예를 들어, 몰리브덴 및 실리콘의 대안층을 갖는 그레이디드 다층 코팅, 그리고 일부 경우에, 하나 이상의 고온 확산 배리어층, 스무딩층, 캡핑층 및/또는 에칭 정지층을 갖는 장구(長球)의 형태(즉, 그 주축을 중심으로 회전되는 타원형)로 반사면을 갖는 거의 법선 입사 콜렉터 미러와 같은 광학부(24")를 포함할 수 있다. 도 1a는 시스템(21)에 의해 생성된 광 펄스가 조사 영역(48)을 통과하고 도달할 수 있도록 하는 개구를 갖도록 형성될 수 있음을 보여준다. 도시된 바와 같이, 광학부(24")는 예를 들어, 조사 영역(48) 내에 또는 근방에 제1 초점을 갖고 있고 소위 중간 영역(40)에서 제2 초점을 갖고 있는 장구의 미러일 수 있고, EUV 광은 EUV 광원(20)으로부터 출력되고 EUV 광을 사용하는 노출 장치, 예를 들어, 집적 회로 리소그래피 툴로 입력될 수 있다. 다른 광학부는 EUV 광을 사용하는 장치로 연속 전달하기 위한 중간 위치로 광을 수광 및 지향시키기 위해 장구 미러 대신에 사용될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 예를 들어, 광학부는 그 주축을 따라 회전되는 포물선형일 수 있거나 중간 위치로 링 형상 단면을 갖는 빔을 전달하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 여기에 언급되어 그 내용이 통합된, 대리인 사건 번호 2006-0027-01의 EUV OPTICS 표제의, 2010년 11월 30일 발행된, 미국 특허 번호 7,843,632이고, 2006년 8월 16일에 출원된 미국 특허 출원 번호 11/505,177을 참조할 수 있다.

[0036] 수소, 헬륨, 아르곤 또는 이들의 조합과 같은 버퍼 가스가 챔버(26) 내에 도입되고, 충전되고, 및/또는 챔버(26)로부터 제거될 수 있다. 이러한 버퍼 가스는 플라즈마 방전 동안 챔버(26) 내에 존재할 수 있고 광학 열화를 감소시키고 및/또는 플라즈마 효율을 증가시키기 위해 플라즈마 생성된 이온을 느리게 하도록 동작할 수 있다. 대안으로, 자체 및/또는 전계(도시되지 않음)가 단독으로 사용되거나 버퍼 가스와 함께 사용될 수 있어서 고속 이온 손상을 감소시킬 수 있다.

[0037] 도 2는 단순화된 방울 소스(92)의 컴포넌트를 개략적 포맷으로 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 방울 소스(92)는 유체, 예를 들어, 용융된 주석을 압축된 상태로 유지하는 저장기(94)를 포함할 수 있다. 또한 도시된 바와 같이, 저장기(94)에는 압축된 유체(96)가 오리피스(98)를 통과하여 흐를 수 있도록 하여 복수의 방울(102a, 102b)로 연속 나누어지는 연속 스트림(100)을 달성하는 오리피스(98)가 형성될 수 있다.

[0038] 계속해서 도 2에서, 도시된 방울 소스(92)는 유체(96)와, 동작가능하도록 결합된 전기 구동가능한 소자(104) 및 이러한 전기 구동 소자(104)를 갖는, 유체에 외란을 생성하는 서브시스템을 더 포함하고 있다. 도 2a 내지 도 2c, 도 3 및 도 4는 하나 이상의 전기 구동가능한 소자가 방울을 생성하기 위해 유체와 동작가능하도록 결합될 수 있는 다양한 방식을 도시하고 있다. 먼저, 도 2a에, 약 0.5 내지 0.8 mm의 내경을 갖고, 약 10 내지 50 mm의 길이를 가지고 있으며, 이후에 방울(116a, 116b)로 나누어지는 튜브(110)의 오리피스(114)를 나가는 연속 스트림(112)을 생성하는 예를 들어, 모세관과 같은 튜브(110)를 통해 압축된 상태로 저장기(108)로부터 유체가 강제 흐르는 설계가 도시되어 있다. 도시된 바와 같이, 전기 구동가능한 소자(118)는 튜브에 결합될 수 있다. 예를 들어, 전기 구동가능한 소자는 튜브(110)를 편향시키고 스트림(112)을 교란시키도록 튜브(110)에 결합될 수 있다. 도 2b는 저장기(120), 튜브(122) 및, 각 주파수에서 튜브(122)를 편향시키도록 튜브(122)에 각각 결합된 한 쌍의 전기 구동가능한 소자(124, 126)를 갖는 유사한 배치를 도시하고 있다. 도 2c는 방울(136a, 136b)로 나누어지는 스트림(134)을 생성하기 위해 유체를 오리피스(132)를 통해 강제 통과시키도록 이동가능한 플레이트(128)가 저장기(130) 내부에 위치되어 있는 다른 변형을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 플레이트(128)에 힘이 가해질 수 있고 하나 이상의 전기 구동가능한 소자(138)가 스트림(134)을 교란시키기 위해 플레이트에 결합될 수 있다. 모세관이 도 2c에 도시된 실시예에 사용될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 도 3은 방울(148a, 148b)로 나누어지는, 튜브(142)의 오리피스(146)를 나가는 연속 스트림(144)을 생성하는 튜브(142)를 통과하여 압축된 상태에서 유체가 저장기(140)로부터 강제 흐르는 다른 변형을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 예를 들어, 링 형상 또는 원통형 튜브 형상을 갖는, 전기 구동가능한 소자(150)가 튜브(142)의 둘레를 둘러싸도록 위치될 수 있다. 구동시에, 전기 구동가능한 소자(150)는 스트림(144)을 교란시키기 위해 튜브(142)를 선택적으로 짜고 및/또는 풀 수 있다. 2개 이상의 전기 구동가능한 소자가 각 주파수에서 튜브(142)를 선택적으로 짜기 위해 채용될 수 있음을 이해해야 한다.

[0039] 도 4는 방울(148a', 148b')로 나누어지는, 튜브(142')의 오리피스(146')를 나가는 연속 스트림(144')을 생성하는 튜브(142')를 통과하여 압축된 상태로 유체가 저장기(140')로부터 강제 흐르는 다른 변형을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 예를 들어, 링 형상을 갖고 있는 전기 구동가능한 소자(150a)는 튜브(142')의 둘레를 둘러싸

도록 위치될 수 있다. 구동시에, 전기 구동가능한 소자(150a)는 스트림(144')을 교란시키고 방울을 생성하기 위해 튜브(142')를 선택적으로 짜고 및/또는 풀기할 수 있다. 도 4는 또한, 예를 들어, 링 형상을 갖고 있는 제2 전기 구동가능한 소자(150b)가 튜브(142')의 둘레를 둘러싸도록 위치될 수 있음을 도시하고 있다. 구동시에, 전기 구동가능한 소자(150b)는 스트림(144')을 교란시키고 오리피스(152)로부터 오염물을 제거하기 위해 튜브(142')를 선택적으로 짜고 및/또는 풀 수 있다. 도시된 실시예에 있어서, 전기 구동가능한 소자(150a, 150b)는 동일한 신호 생성기에 의해 구동될 수 있거나 상이한 신호 생성기가 사용될 수 있다. 아래에 더 설명되는 바와 같이, (오염물을 제거하기 위한) 전기 구동가능한 소자(150b)와 상이한 파형 진폭, 주기성 주파수 및/또는 파형 형상을 갖는 파형이 (EUV 출력을 위한 방울을 생산하는) 전기 구동가능한 소자(150a)를 구동하는데 사용될 수 있다.

[0040] 도 5는 (약  $0.3 \ v/(\pi d)$  보다 큰 교란 주파수를 위한) 단일 주파수, 정현파 교란 파형(202)으로부터 나오는 방울(200)의 패턴을 도시하고 있다. 교란 파형의 각 주기가 방울을 생산하는 것을 볼 수 있다. 도 5는 또한 방울이 함께 합쳐지지 않고 각 방울이 동일한 초기 속도를 갖고 달성되는 것을 도시하고 있다.

[0041] 도 6은 진폭 변조된 교란 파형(302)으로부터 처음에 나오는 방울(300)의 패턴을 도시하고 있다. 진폭 변조된 파형 외란(302)이 비교적 큰 주파수, 예를 들어, 파장  $\lambda_c$ 에 상응하는 캐리어 주파수 및 보다 작은 주파수, 예를 들어, 파장  $\lambda_m$ 에 상응하는 변조 주파수의 2개의 특성 주파수를 포함하고 있다는 것을 알 수 있다. 도 6에 도시된 특정 외란 파형 예에 있어서, 변조 주파수는 캐리어 주파수 부조파이고, 특히, 변조 주파수는 캐리어 주파수의 1/3이다. 이러한 파형에 의해, 도 6은 캐리어 주파수  $\lambda_c$ 에 상응하는 교란 파형의 각 주기가 방울을 생산한다는 것을 보여주고 있다. 도 6은 또한, 방울이 함께 합쳐져 보다 큰 방울(304)의 스트림을 산출하고, 변조 파장,  $\lambda_m$ 에 상응하는 외란 파형의 각 주기에 대해 하나의 보다 큰 방울이 있는 것을 보여주고 있다. 화살표 (306a, 306b)는 변조된 파형 외란(302)에 의해 방울에 주어지고 방울 합체의 원인이 되는 초기 상대 속도 성분을 보여주고 있다.

[0042] 도 7은 주파수 변조된 외란 파형(402)으로부터 처음에 나온 방울(400)의 패턴을 도시하고 있다. 주파수 변조된 파형 외란(402)은 비교적 큰 주파수, 예를 들어,  $\lambda_c$ 에 상응하는 캐리어 주파수 및 보다 작은 주파수, 예를 들어, 파장  $\lambda_m$ 에 상응하는 변조 주파수의 2개의 특성 주파수를 포함하고 있다는 것을 알 수 있다. 도 7에 도시된 특정 외란 파형 예에 있어서, 변조 주파수는 캐리어 주파수 부조파이고, 특히, 변조 주파수는 캐리어 주파수의 1/3이다. 이러한 파형에 의해, 도 7은 캐리어 파장,  $\lambda_c$ 에 상응하는 외란 파형의 각 주기가 방울을 생성한다는 것을 보여주고 있다. 도 7은 또한 방울이 함께 합쳐져, 변조 파장,  $\lambda_m$ 에 상응하는 외란 파형의 각 주기에 대해 하나의 보다 큰 방울을 갖는 보다 큰 방울(404)의 스트림을 생성하는 것을 보여주고 있다. 진폭 변조된 외란(즉, 도 6)과 같이, 초기 상대 속도 성분이 주파수 변조된 파형 외란(402)에 의해 방울에 주어지고, 방울 합체의 원인이 된다.

[0043] 도 6이 2개의 특성 주파수를 갖는 진폭 변조된 외란을 보여주고, 도 7은 2개의 주파수를 갖는 주파수 변조된 외란을 보여주어, 2개의 특성 주파수를 갖는 실시예를 도시하고 설명하지만, 2개 보다 많은 특성 주파수가 채용될 수 있고 이러한 변조가 각도 변조(즉, 주파수 또는 위상 변조), 진폭 변조 또는 그 조합일 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0044] 도 8은 약  $70\mu\text{m}$ 의 오리피스 직경,  $\sim 30\text{m/s}$ 의 스트림 속도를 갖는 도 3과 유사한 장치를 사용하여 취득된 주석 방울의 사진으로서,  $100\text{kHz}$ 의 주파수를 갖는 단일 주파수, 비변조된 파형 외란(첫 사진);  $100\text{kHz}$ 의 캐리어 주파수 및 비교적 큰 변조 깊이의  $10\text{kHz}$ 의 변조 주파수를 갖는 주파수 변조된 파형 외란(2번째 사진);  $100\text{kHz}$ 의 캐리어 주파수 및 비교적 약한 변조 깊이의  $10\text{kHz}$ 의 변조 주파수를 갖는 주파수 변조된 파형 외란(3번째 사진);  $100\text{kHz}$ 의 캐리어 주파수 및  $15\text{kHz}$ 의 변조 주파수를 갖는 주파수 변조된 파형 외란(4번째 사진);  $100\text{kHz}$ 의 캐리어 주파수 및  $20\text{kHz}$ 의 변조 주파수를 갖는 주파수 변조된 파형 외란(5번째 사진)에 대한 주석 방울의 사진을 보여주고 있다.

[0045] 이러한 사진들은 약  $265\mu\text{m}$ 의 직경을 갖는 주석 방울이  $3.14\text{ mm}$  만큼 이격되어 생성될 수 있다는 것을 나타내고 있는데, 이러한 간격은 이러한 방울 크기 및 반복율에서 단일 주파수, 비변조된 파형 외란을 사용하여 실현될 수 없다.

[0046] 측정에 의해, 변조 주기의 약 0.14%의 타이밍 지터가 단일 주파수, 비변조된 파형 외란을 사용하는 유사한 조건 하에서 발견되는 타이밍 지터보다 실질상 보다 작다는 것이 나타났다. 이러한 효과는 개별적인 방울 불안정이



다수의 합쳐진 방울에 평균화되기 때문에 얻어진다.

[0047] 이제 도 9 내지 도 12에서, 상술된 변조된, 예를 들어, 다수의 주파수, 외란 파형에 더하여, 다른 파형이 단일 주파수 정현파 비변조된 파형 외란을 사용하여 안정한 방울 생성을 제한하는 주파수 최소값 아래의 합쳐진 방울의 안정한 스트림을 생성하도록 제어될 수 있는 합체 방울 스트림을 생산하는데 사용될 수 있다는 것을 발명자는 알았다.

[0048] 구체적으로, 이러한 파형은 제어되고, 예측가능하고, 반복가능하고 및/또는 논-랜덤인 스트림 내 상이한 초기 속도를 갖는 방울의 스트림을 발생시키는 유체 내의 외란을 생성할 수 있다.

[0049] 예를 들어, 전기 구동가능한 소자를 사용하여 외란을 생성하는 방울 발생기를 위해, 각 펄스가 전기 구동가능한 소자의 동작가능한 응답 범위 내의 기본 주파수, 및 이러한 기본 주파수의 적어도 하나의 고조파를 생성하기 위해 파형 주기의 길이에 비교하여 충분히 짧은 상승시간 및/또는 하강시간을 갖는 일련의 펄스 파형이 사용될 수 있다.

[0050] 여기에 사용된 바와 같이, 용어 기본 주파수 및 그 파생어 및 등가 용어는 출구 오리피스로 흐르는 유체를 교란시키는 주파수 및/또는 스트림 내 방울이 등간격의 방울의 패턴으로 온전히 합쳐질 수 있는 경우에 기본 주파수의 주기마다 하나의 온전히 합쳐진 방울이 존재하도록 방울의 스트림을 생성하기 위해, 유체에 외란을 생성하는 전기 구동가능한 소자를 갖는, 노즐과 같이, 방울을 발생시키는 서브시스템에 인가되는 주파수를 의미한다.

[0051] 적합한 펄스 파형의 예는 구형파(도 9), 방형파, 그리고, 고속 펄스(도 13a), 고속 램프파(도 14a)와 싱크함수파(도 15a)와 같이, 충분히 짧은 상승시간 및/또는 하강 시간을 갖는 피크-비정현파를 포함하지만 이에 제한되는 것은 아니다.

[0052] 도 9는 정현파 신호의 홀수 조파의 중첩으로서 구형파(800)를 나타내고 있다. 단순히 하기 위해 주파수  $f$ 의 오직 처음 2개의 고조파만이 도시되었음에 주목해야 한다. 점진적으로 보다 작은 진폭을 갖는 무한 수의 홀수 조파에 의해 정확한 구형파 형상이 취득된다는 것을 이해해야 한다. 보다 상세하게, 구형파(800)는 구형파의 기본파,  $f$ (파형 802) 및 그 고차 홀수 조파,  $3f$ (파형 804),  $5f$ (파형 806)...를 갖는 정현파의 조합으로서 수학적으로 나타낼 수 있다.

[0053] 
$$v(t) = \frac{4}{\pi} \left( \sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \frac{1}{7} \sin(7\omega t) + \dots \right)$$

[0054] 여기에서,  $t$ 는 시간이고,  $v(t)$ 는 파형의 순시 진폭(즉, 전압)이고,  $\omega$ 는 각주파수이다. 따라서, 구형파 신호를 전기 구동가능한 소자, 예를 들어, 압전소자에 인가하면, 기본 주파수의 고조파,  $3f$ ,  $5f$ 등은 물론 기본 주파수  $f = \omega/2\pi$ 에서 기계적 진동을 산출할 수 있다. 이것은 전기 구동가능한 소자를 채용하는 방울 생성기의 제한되고, 일반적인 경우에, 매우 불균일한 주파수 응답으로 인해 가능하다. 구형파 신호의 기본 주파수가  $0.3v/(\pi d)$ 의 제한값을 상당히 초과한다면, 이러한 주파수에서의 단일 방울의 형성은 효과적으로 차단되고 방울은 고조파에서 생성된다. 상술된 진폭 및 주파수 변조의 경우에서처럼, 구형파 신호에 의해 생성된 방울은 스트림 내의 인접한 방울에 상대적으로, 상이한 속도를 갖고 있어, 결국 주파수  $f$ 를 갖는 보다 큰 방울로 합쳐지게 된다. 일부 구현예에서, EUV 광원은 복수의 방울이 주기별로 생성되도록 구성되어 있고, 각 방울은 적어도 2개의 방울이 조사 사이트에 도달하기 전에 합쳐지도록, 또는 이러한 방울이 조밀하게 이격된, 방울 더블릿을 포함하는 패턴과 같은 요구되는 패턴을 생성하도록, 후속 방울과 상이한 초기 속도를 갖고 있다.

[0055] 도 10 및 도 11은 30kHz에서 구형파 변조에 의해 얻어진 방울의 이미지를 보여준다. 단순한 정현파 변조에 의해, 이러한 실험에서 사용된 방울 생성기에 대해 주기 별 단일한 방울이 얻어질 수 있는 최저 변조 주파수는 110kHz 이었다. 도 10에 도시된 이미지는 출구 오리피스로부터 ~40 mm에서 얻어졌고 도 11에 도시된 이미지는 방울이 이미 합쳐진 출구 오리피스로부터 ~120 mm에서 이후에 얻어졌다. 이러한 예는 특정 방울 생성기 구성의 저주파수 한계보다 낮은 주파수에서 방울을 얻기 위해 구형파 변조를 사용하는 장점을 보여준다.

[0056] 고속 펄스(도 13a), 고속 램프파(도 14a) 및 싱크함수파(도 15a)를 포함하는 (하지만 이제 제한되지 않는다) 짧은 상승시간 및/또는 하강시간을 갖는 다수의 고조파를 갖는 다양한 반복 변조 신호도 유사하게 설명할 수 있다. 예를 들어, 톱니파형은 기본 주파수의 홀수 조파뿐만 아니라 짝수 조파를 포함하고 있어서, 저주파수 변조 한계를 극복하고 방울 생성기의 안정도를 향상시키는데 효과적으로 사용될 수 있다. 일부 경우에, 특정 방울 생성기 구성은 다른 주파수 보다 일부 주파수에 보다 큰 응답성을 가질 수 있다. 이러한 경우에, 광대한 수

의 주파수를 생성하는 파형은 특정 방울 생성기의 응답 주파수에 매치하는 주파수를 포함할 가능성이 보다 높다.

[0057] 도 12a는 방울 생성기를 구동시키기 위한 방형파(902)를 도시하고 있고 도 12b는 이러한 방형파의 주기에 대한 다양한 진폭의 기본 주파수(902a) 및 고조파(902b-h)를 갖는 상응하는 주파수 스펙트럼을 도시하고 있다. 도 12c는 이러한 방형파에 의해 구동된 방울 생성기의 출구 오리피스로부터 20mm에서 취해진 방울의 이미지를 도시하고 있고 합쳐지기 시작하는 방울을 도시하고 있다. 도 12d는 방울이 온전히 합쳐진 후의 출구 오리피스로부터 450mm에서 취해진 방울의 이미지를 도시하고 있다.

[0058] 도 13a는 방울 생성기를 구동하기 위한 일련의 고속 펄스(1000)를 도시하고 도 13b는 단일 고속 펄스에 대한 다양한 진폭의 기본 주파수(1002a) 및 고조파(1002b-i)를 갖는 상응하는 주파수 스펙트럼을 도시하고 있다. 도 13c는 일련의 고속 펄스에 의해 구동된 방울 생성기의 출구 오리피스로부터 20mm에서 취해진 방울의 이미지를 도시하고 있고, 합쳐지기 시작하는 방울을 도시하고 있다. 도 13d는 방울이 온전히 합쳐진 후의 출구 오리피스로부터 450 mm에서 취해진 방울의 이미지를 도시하고 있다.

[0059] 도 14a는 방울 생성기를 구동시키기 위한 고속 램프파(1100)를 도시하고 있고 도 14b는 단일한 고속 펄스와 주기에 대한 다양한 진폭의 기본 주파수(1102a) 및 고조파(1102b-p)를 갖는 상응하는 주파수 스펙트럼을 도시하고 있다. 도 14c는 고속 램프파에 의해 구동된 방울 생성기의 출구 오리피스로부터 20mm에서 취해진 방울의 이미지를 도시하고 있고, 합쳐지기 시작하는 방울을 도시하고 있다. 도 14d는 방울이 온전히 합쳐진 후의 출구 오리피스로부터 450mm에서 취해진 방울의 이미지를 도시하고 있다.

[0060] 도 15a는 방울 생성기를 구동시키기 위한 싱크함수파(1200)를 도시하고 있고 도 15b는 단일한 싱크함수파 주기에 대한 다양한 진폭의 기본 주파수(1202a) 및 고조파(1202b-l)를 갖는 상응하는 주파수 스펙트럼을 도시하고 있다. 도 15c는 싱크함수파에 의해 구동된 방울 생성기의 출구 오리피스로부터 20mm에서 취해진 방울의 이미지를 도시하고 있고, 합쳐지기 시작하는 방울을 도시하고 있다. 도 15d는 방울이 온전히 합쳐진 후의 출구 오리피스로부터 450mm에서 취해진 방울의 이미지를 도시하고 있다.

[0061] 도 16은 도 3에 도시된 방울 생성기와 같은, 방울 생성기에 대한 외란 피크 진폭 영역을 설명하는 그래프를 도시하고 있다(아래의 피크 진폭의 정의를 참조). 약  $A_{min}$  아래의 피크 진폭을 갖는 외란에 대해(영역 I), 발명자는 방울 합체가 조사 사이트에 도달하기 이전에 온전히 합쳐진 방울을 생성하기에 충분하지 않다는 것에 주목했다. 또한, 이러한 영역의 하단부에서, 이러한 외란은 랜덤 방울 형성을 유발하는 노이즈를 극복하기에 충분하지 않을 수 있다. 영역 II에서(외란이 약  $A_{min}$ 보다 크고 약  $A_{max}$ 보다 작은 피크 진폭을 갖고 있다), 발명자는 방울 합체가 조사 사이트에 도달하기 이전에 온전히 합쳐진 방울을 생성하기에 충분하다는 것과 방울 포인팅이 출구 오리피스가 막히지 않은 상태로 남아 있는 한 안정하다는 것에 주목했다. 발명자는 영역 II가 출력 EUV 빔을 생성하도록 조사하기 위한 방울을 생성하도록 수용가능한 것으로 생각한다. 영역 III에서(외란이 약  $A_{max}$ 보다 큰 피크 진폭을 갖고 있다), 발명자는 출구 오리피스가 막히지 않은 상태로 남아 있더라도 불안정하다는 것에 주목했다. 발명자는 영역 III이 불안정한 포인팅으로 인해 출력 EUV 빔을 생성하도록 조사하기 위한 방울을 생성하기에 수용가능하지 않다고 생각한다.

[0062] 도 16은 또한 약  $2/3 A_{max}$ 보다 큰 피크 진폭을 갖는 외란에 대해, 발명자가, 의미있는 양의 구동기 유도 노즐 세정이 발생하여, 노즐 오리피스에 또는 근방에 쌓인 퇴적물을 제거할 수 있다는 것에 주목하였다는 것을 나타내고 있다. 구체적으로, 아래에 더 설명되는 바와 같이, 발명자는 일부 막혀진 방울 생성기 내의 오염물을 제거하고 수용가능한 포인팅 안정도를 회복하기 위해 약  $2/3 A_{max}$  위의 피크 진폭을 가진 외란을 적용하였다.

[0063] 도 17a는 유체에 외란을 생성하기 위해 전기구동기를 구동시키기 위한 실질상 직방형의 주기적 형상을 갖는 주기성 파형(1700)을 도시하고 있다. 이러한 주기성 파형(1700)은 유한 상승시간, 약  $20\mu s$ 의 주기, 50kHz의 주기성 주파수 및 약 2V의 피크 진폭을 갖고 있다. 예를 들어, 이러한 주기성 파형(1700)은 신호 생성기로부터의 신호가 도 3에 도시된 전기 구동가능한 소자(150)와 같은 전기 구동가능한 소자에 입력되는 단자를 가로질러 접속된 오실로스코프를 사용하여 측정될 수 있는 파형을 나타낸다.

[0064] 여기에 도시된 바와 같이, 용어 "피크 진폭" 및 그 파생어는 최대 순시 진폭값에서 최소 순시 진폭값을 뺀 값을 의미한다. 따라서, 볼트로 측정된 진폭을 갖는 도 17a에 도시된 파형에 대해, 피크 진폭은  $1.0V - (-1.0V) = 2.0V$ 이다. 마찬가지로, 주기성 외란에 대해, 피크 진폭은 최대 순시 외란 진폭에서 최소 순시 외란 진폭을 뺀 값으로서 계산된다.



- [0065] 도 17b는 파형(1700)의 푸리에 변환(주파수 스펙트럼)을 도시하고 있다. 발명자는 도 3에 도시된 배치를 갖는 방울 생성기에 도 17a의 파형을 적용하였고, 피크 진폭(2V)이 EUV 출력을 생성하기 위한 방울을 생성하기에 적합한 피크 진폭의 하단부에 있다는 점에서 약 2V의 피크 진폭을 갖는 파형이 도 16의 그래프 상의  $A_{min}$ 에 상응한다는 것을 발견하였다. 발명자는 또한 피크 진폭(6V)이 EUV 출력을 생성하기 위한 방울을 생성하기에 적합한 피크 진폭의 상단부에 있다는 점에서 약 6V의 피크 진폭을 갖는 파형이 도 16의 그래프 상의  $A_{max}$ 에 상응한다는 것을 발견하였다.
- [0066] 도 18a는 유체에 외란을 생성하기 위해 전기 구동기를 구동하기 위한 실질상 직방형인 주기성 형상을 갖는 주기성 파형(1800)을 도시하고 있다. 도 17a에 도시된 주기성 파형(1700)과 동일한 유한한 상승 시간, 약  $20\mu s$ 의 주기, 50kHz의 주기성 주파수 및 약 5V의 피크 진폭을 갖고 있다. 예를 들어, 파형(1800)은 단자를 가로질러 접속된 오실로스코프를 사용하여 측정될 수 있는 파형을 나타내는데, 여기에서 신호 생성기로부터의 신호는 도 3에 도시된 전기 구동가능한 소자(150)와 같은 전기 구동가능한 소자에 입력된다. 도 18b는 파형(1800)의 푸리에 변환(주파수 스펙트럼)을 도시하고 있다. 발명자는 도 3에 도시된 배치를 갖는 방울 생성기에 도 18a의 파형을 적용하였고, 약 5V의 피크 진폭을 가진 파형이 EUV 출력을 생성하기 위한 방울을 생성하기에 적합한 피크 진폭의 범위내에 있고, 노즐 오리피스에서 또는 근방에서 퇴적된 퇴적물을 제거하는데 사용될 수도 있고 일부 막힌 방울 생성기에서 수용가능한 포인팅 안정도를 회복하는데 사용될 수도 있다는 것을 발견하였다.
- [0067] 도 18b에 도시된 주파수 스펙트럼을 도 17b에 도시된 주파수 스펙트럼과 비교하면, 전기 구동가능한 소자(도 18b)를 구동하기 위해 사용되는 파형의 피크 진폭을 증가시키는 경우에, 기본 주파수, 이러한 경우에 50kHz 및 고조파의 진폭을 상당히 증가시킨다는 것을 알 수 있다.
- [0068] 도 19a는 유체에 외란을 생성하기 위해 전기 구동기를 구동하기 위한 실질상 직방형의 주기성 형상을 갖는 주기성 파형(1900)을 도시하고 있다. 이러한 주기성 파형(1900)은 도 17a에 도시된 주기성 파형(1700)과 동일한 유한 상승 시간, 약  $8.33\mu s$ 의 주기, 120kHz의 주기성 주파수 및 약 2V의 피크 진폭을 갖고 있다. 예를 들어, 파형(1900)은 단자를 가로질러 접속된 오실로스코프를 사용하여 측정될 수 있는 파형을 나타내고 있는데, 여기에서 신호 생성기로부터의 신호는 도 3에 도시된 전기 구동가능한 소자(150)와 같은 전기 구동가능한 소자에 입력된다. 도 19b는 파형(1900)의 푸리에 변환(주파수 스펙트럼)을 도시하고 있다. 발명자는 도 19a의 파형을 도 3에 도시된 배치를 갖는 방울 생성기에 적용하였고, 약 2V의 피크 진폭 및 120kHz의 주기성 주파수를 갖는 파형이 노즐 오리피스에서 또는 근방에서 퇴적된 퇴적물을 제거하는데 사용될 수도 있고, 일부 막힌 방울 생성기에서 수용가능한 포인팅 안정도를 회복하도록 사용될 수도 있는 것을 발견하였다.
- [0069] 도 19b에 도시된 주파수 스펙트럼과 도 17b에 도시된 주파수 스펙트럼을 비교하면, 전기 구동가능한 소자(도 19b)를 구동시키는데 사용되는 파형의 주기성 주파수를 증가시키는 경우에, 도 17a 파형에 대한 기본 주파수(50kHz) 위의 주파수의 진폭을 상당히 증가시킨다는 것을 알 수 있다.
- [0070] 도 20a는 유체에 외란을 생성하기 위해 전기 구동기를 구동하기 위한 실질상 직방형의 주기성 형상을 갖는 주기성 파형(2000)을 도시하고 있다. 도시된 바와 같이, 주기성 파형(2000)은 도 17a에 도시된 주기성 파형(1700)과 동일한 유한 상승 시간, 약  $8.33\mu s$ 의 주기, 120kHz의 주기성 주파수 및 약 5V의 피크 진폭을 갖고 있다. 예를 들어, 파형(2000)은 단자를 가로질러 접속된 오실로스코프를 사용하여 측정될 수 있는 파형을 나타내는데, 여기에서, 신호 생성기로부터의 신호는 도 3에 도시된 전기 구동가능한 소자(150)와 같은 전기 구동가능한 소자에 입력된다. 도 20b는 파형(2000)의 푸리에 변환(주파수 스펙트럼)을 도시하고 있다. 발명자는 도 3에 도시된 배치를 가진 방울 생성기에 도 20a의 파형을 적용하였고, 약 5V의 피크 진폭 및 120kHz의 주기성 주파수를 가진 파형이 노즐 오리피스에서 또는 근방에서 퇴적된 퇴적물을 제거하는데 사용될 수도 있고, 일부 막힌 방울 생성기에서 수용가능한 포인팅 안정도를 회복하는데 사용될 수도 있다는 것을 발견하였다.
- [0071] 도 20b에 도시된 주파수 스펙트럼을 도 17b에 도시된 주파수 스펙트럼에 비교하면, 전기 구동가능한 소자(도 20a)를 구동하는데 사용된 파형의 주기성 주파수를 증가시키면 도 17a 파형에 대한 기본 주파수(50kHz) 위의 주파수의 진폭을 상당히 증가시킨다는 것을 알 수 있다.
- [0072] 도 21은 동시에 조사 영역에서 EUV 생성 플라즈마를 발생시키기에 적합한 방울을 생산하고 노즐 오리피스로부터 오염물을 제거하기 위한 전기 구동가능한 소자를 구동시키기 위한 파형을 결정하는데 사용될 수 있는 프로세스(2100)를 도시하는 순서도이다. 도 21에 도시된 바와 같이, 프로세스(2100)는 레이저 빔을 조사 영역으로 지향시키는 단계(박스 2102) 및 오리피스를 나오는 유체 및 이러한 유체에 외란을 생성하고 파형에 의해 구동되는 전기 구동가능한 소자를 갖는 서브 시스템을 포함하는 방울 소스를 제공하는 단계(박스 2104)를 포함할 수

있다. 예를 들어, 방울 소스는 도 2, 도 2a, 도 2b, 도 2c 또는 도 3에 도시된 구성중 하나를 포함할 수 있다. 상술된 파형은 신호 생성기에 의해 생성될 수 있고 전기 케이블을 통해 전기 구동가능한 소자에 전송될 수 있고, 예를 들어, 이러한 전기 케이블이 전기 구동가능한 소자에 연결시키는 단자를 가로지르는 오실로스코프를 사용하여 측정될 수 있다.

[0073] 다음으로, 박스 2106에 도시된 바와 같이, 조사 영역에 도달하기 전에 온전히 합쳐지고 막히지 않은 오리피스에 대해 안정한 방울 포인팅을 갖는 방울을 생산하는  $A_{min}$  내지  $A_{max}$ 의 피크 진폭의 범위가 결정될 수 있다. 예를 들어, 상술된 설정에 의해, 신호 생성기의 출력은 최종 방울 스트림을 관찰하면서 (파형 형상 또는 주기성 주파수를 변화시키지 않고) 피크 진폭을 증가시킨 (오실로스코프에서 측정된) 구동 파형을 생성하도록 점진적으로 조정될 수 있다. 구체적으로, 방울 합체 및 포인팅 안정도가 관찰될 수 있다. 비교적 낮은 피크 진폭에서 시작했을 때, 노이즈로 인한 랜덤 방울 형성이 관찰될 수 있다. 증가하는 피크 진폭에 의해, 비교적 약한 방울 합체가 관찰될 수 있는데, 이것은 조사 영역(도 16의 영역 I)에 도달하기 전에 방울이 온전히 합쳐지기에는 불충분하다. 피크 진폭을 훨씬 더 증가시키면, 조사 영역에 도달하기 전에 방울이 온전히 합쳐지기에 충분한 방울 합체를 관찰할 수 있다. 온전한 합체가 일어나는 최소 피크 진폭,  $A_{min}$ 은 노즐 오리피스와 조사 영역 사이의 거리에 따라 다를 수 있다.  $A_{min}$ 로부터  $A_{max}$ 의 범위내에서 피크 진폭을 증가시키면, 오리피스가 막히지 않은 상태로 남아 있는 한, 조사 영역에 도달하기 전에 온전히 합쳐지고 안정한 방울 포인팅을 갖는 방울을 계속 생산할 수 있다(도 16의 영역 II). 대략  $A_{max}$  보다 큰 피크 진폭에서(도 16의 영역 III), 발명자는 오리피스가 막히지 않은 상태로 남아 있음에도 불구하고 방울 포인팅이 불안정하다는 것에 주목하였다. 구체적으로, 일부 검사에서, 발명자는 오직 방울 생성의 수 시간후에, 방울 포인팅이 불안정해지는 것에 주목하였다.

[0074] 일단, 조사 영역에 도달하기 전에 온전히 합쳐지고 막히지 않은 오리피스에 대해 안정한 방울 포인팅을 갖는 방울을 생산하는  $A_{min}$ 로부터  $A_{max}$ 의 피크 진폭의 범위가 결정되면, 박스 2108은 다음 단계가, 조사 영역에서 EUV 생성 플라즈마를 발생시키기 위한 방울을 생산하기 위해 대략  $2/3 A_{max}$  보다 크고  $A_{max}$  보다 작은 피크 진폭,  $A$ 를 갖는 파형에 의해 전기 구동가능한 소자를 구동시키는 단계일 수 있다는 것을 보여주고 있다. 이러한 범위 내에서, 발명자는 노즐 오리피스에서 또는 근방에 퇴적된 오염물을 제거할 수 있는 구동기 유도 노즐 세정이 일어난다고 생각한다. 이러한 구동기 유도 노즐 세정은 예를 들어, 보다 높은 주파수(즉, 도 18b에 도시된 바와 같이, 기본 주파수 보다 높은 주파수)의 증가된 진폭으로 인해 발생할 수 있다.

[0075] 도 22는 의미있는 양의 구동기 유도 노즐 세정(세정 모드)을 유발하는 파형에 의해 방울 생성기의 전기 구동가능한 소자를 주기적으로 구동시키면서 EUV 출력(초기 출력 모드)을 생산하도록 조사용 방울을 생산하는데 사용될 수 있는 프로세스(2200)를 도시하는 순서도이다. 도시된 바와 같이, 프로세스(2200)는 EUV 생성을 위한 방울을 생산하는 파형에 의해 방울 생성기의 전기 구동가능한 소자를 구동시킴으로써 시작된다(박스 2202). 이것은 예를 들어, 유한 상승 시간 및 40-100kHz 사이의 주기성 주파수 및 2-6V 사이의 피크 진폭을 갖는 실질상 직방형의 주기성 형상을 갖는 주기성 파형일 수 있다. 대안으로, 방형파, 또는, 고속 펄스 파형, 고속 램프 파형 또는 싱크함수파와 같은 피크-비정현파, 또는 주파수 변조된 파형 또는 진폭 변조된 파형과 같은 변조된 파형과 같은, 상술된 다른 파형중 하나가 EUV 출력을 생산하도록 조사용 방울을 생산하기에 적합할 수 있다.

[0076] 방울의 스트림에 의해, 박스 2204는 방울 포인팅이 측정될 수 있음을 나타내고 있다. 예를 들어, 이러한 스트림에서의 하나 이상의 방울의 위치는 요구되는 축에 비교하여 결정될 수 있다. 상술된 바와 같이, 방울 위치는 카메라와 같은 방울 이미저를 사용하여 결정될 수 있거나, 반도체 레이저와 같은 광원은 방울 위치를 나타내는 신호를 출력하는 광검출기 어레이, 애벌런치 포토다이오드 또는 광전자증배관과 같은 검출기에 방울 스트림을 통해 빔을 지향시킬 수 있다. 방울 위치는 하나 이상의 축에서 결정될 수 있다 예를 들어, 요구되는 포인팅 경로를 X축으로 정의하면, 방울 위치는 Y축에서 X축으로부터의 거리로서 측정될 수 있고, 방울 위치는 Z축에서 X축으로부터의 거리로서 측정될 수 있다. 일부의 경우에, 다수의 방울의 위치는 평균화될 수 있고, 표준 편차가 계산될 수 있고 및/또는 일부 다른 계산이 위치를 나타내는 값을 결정하기 위해 행해질 수 있다. 그다음, 이러한 값은 방울 포인팅이 수용가능한지를 결정하기 위해 EUV 광원을 위해 달성되는 위치 규격과 비교될 수 있다. Y축을 따른 이러한 규격은 Z축을 따른 규격과 상이할 수 있다. 거리는 방울 생성기 출력과 조사 영역 사이의 방울 경로를 따른 위치에서 측정될 수 있다. 표준 편차가 Y축과 Z축 모두에 대해 계산된 후에 규격과 비교될 수 있다. 예를 들어, (조사 영역에서 또는 근방에서의 측정을 위한) 약 4-10 $\mu$ m의 표준 편차 규격은 일부 광원을 위해 사용될 수 있다. 이러한 규격은 다수의 레벨을 가질 수 있다. 방울 포인팅은 방울이 레이저 빔에 의해 조사되는 EUV 출력 버스트 동안, 삽입 시간(intervening period)동안, 또는 양측 모두에서 측정될 수 있다.

- [0077] 도 22는 포인팅이 규격내에 있는 경우에(박스 2206) 방울이 초기 출력 모드를 사용하여 EUV 출력을 생산하기 위해 조사용 방울이 계속 생산될 수 있음을 나타낸다. 한편, 포인팅이 규격을 벗어나는 경우에(박스 2206) 방울 생성기는 세정 모드에서 동작될 수 있다(박스 2208). 세정 모드 동작 동안, 라인 2210은 방울 포인팅이 계속 측정될 수 있음(박스 2204)을 보여준다. 방울 포인팅이 규격 내로 복구되면 (라인 2212) 방울 생성기는 초기 출력 모드에서 동작될 수 있다(박스 2202).
- [0078] 세정 모드에서 방울 생성기의 전기 구동가능한 소자를 구동시키는데 사용되는 파형은 EUV 생산을 위한 방울을 생산하는 초기 출력 모드(박스 2202)에 사용되는 파형과 상이할 수 있다. 예를 들어, 세정 모드에서 사용되는 파형은 초기 출력 모드에서 사용되는 파형과 상이한 주기성 형상, 주기성 주파수 및/또는 피크 진폭을 가질 수 있다.
- [0079] 예를 들어, 세정 모드 파형은 유한 상승시간 및 약 100kHz 보다 큰 주기성 주파수를 갖는 실질상 직방형의 주기성 형상을 갖는 주기성 파형일 수 있다. 하나의 실시예에서, 초기 출력 모드 파형 및 세정 모드 파형은 모두 유한 상승시간을 갖는 실질상 직방형의 주기성 형상을 갖는 주기성 파형일 수 있고, 초기 출력 모드 파형은 약 100kHz 보다 작은 주기성 주파수를 가질 수 있고 세정 모드 파형은 약 100kHz 보다 큰 주기성 주파수를 가질 수 있다. 이러한 2개의 파형의 피크 진폭은 동일하거나 상이할 수 있다. 일부의 경우에, 초기 출력 모드 파형의 주기성 주파수는 최대 구동 레이저 펄스 반복율 또는 일부 다른 시스템 파라미터와 같은 다른 시스템 파라미터에 의해 제한될 수 있다.
- [0080] 도 20b에 도시된 주파수 스펙트럼을 도 17b에 도시된 주파수 스펙트럼에 비교하면, 전기 구동가능한 소자(도 20a)를 구동시키는데 사용되는 파형의 주기성 주파수를 증가시키는 경우에 도 17a 파형을 위한 기본 주파수(50kHz) 보다 큰 주파수의 진폭을 상당히 증가시킨다는 것을 알 수 있다. 상술된 바와 같이, 구동기 유도 노즐 세정이 예를 들어, 보다 높은 주파수의 증가된 진폭으로 인해 발생할 수 있다.
- [0081] 다른 구현에서, 초기 출력 모드 파형 및 세정 모드 파형 모두 유한 상승 시간을 갖는 실질상 직방형의 주기성 형상을 갖는 주기성 파형일 수 있고, 초기 출력 모드 파형은 (도 16에 대해 상술된 바와 같이)  $A_{min}$ 로부터  $A_{max}$ 의 범위내에 있는 피크 진폭을 가질 수 있고, 세정 모드 파형은 초기 출력 모드 파형 피크 진폭 보다 큰 피크 진폭을 가질 수 있다. 이러한 2개의 파형의 주기성 주파수는 동일하거나 상이할 수 있다. 세정 모드 동안 생성된 방울은 예를 들어, 세정 모드에 사용된 피크 진폭이 약  $2/3 A_{max}$  과  $A_{max}$  사이에 있는 경우에, EUV 출력을 생성하기 위한 조사용으로 적합할 수 있다. 따라서, 일부의 경우에, 초기 출력 모드로부터 세정 모드로의 변경은 EUV 광 출력을 감소시키지 않고 일어날 수 있다. 다른 경우에, 세정 모드 동안 생성된 방울은 예를 들어, 세정 모드에 사용된 피크 진폭이  $A_{max}$  보다 큰 경우에, EUV 출력을 생성하기 위한 조사용으로 부적합할 수 있다.
- [0082] 도 18b에 도시된 주파수 스펙트럼을 도 17b에 도시된 주파수 스펙트럼에 비교하면, 전기 구동가능한 소자(도 18a)를 구동시키는데 사용된 파형의 피크 진폭을 증가시키는 경우에 도 17a 파형의 기본 주파수(50kHz) 보다 큰 주파수의 진폭을 상당히 증가시킨다는 것을 알 수 있다. 상술된 바와 같이, 구동기 유도 노즐 세정은 예를 들어, 이러한 보다 높은 주파수의 증가된 진폭으로 인해 일어날 수 있다.
- [0083] 대안으로, 정현파, 방형파, 또는, 고속 펄스 파형, 고속 램프 파형 또는 싱크함수파와 같은 피크-비정현파, 또는, 주파수 변조된 파형 또는 진폭 변조된 파형과 같은 변조된 파형과 같은, 상술된 다른 파형중 하나가 세정 모드 파형으로서 적합할 수 있다.
- [0084] 포인팅 측정결과 포인팅이 규격을 벗어난 것으로 나타나면, 방울 생성기는 노즐 필드 사이의 기간, 노즐 틈이 웨이퍼를 변경하는 기간, 노즐 틈이 다수의 웨이퍼를 유지하는 소위 "보트" 또는 카세트를 교환하는 시간, 또는 노즐 틈 또는 광원이 측정을 행하거나, 하나 이상의 유지관리 기능을 행하거나, 임의의 다른 스케줄되거나 스케줄되지 않은 프로세스를 행하는 시간과 같은 적합한 삽입 시간이 나타날 때까지 초기 출력 모드에서 방울을 계속 생산할 수 있다.
- [0085] 적합한 삽입 시간 동안, 방울 생성기는 세정 모드에 놓일 수 있다. 상술된 바와 같이, 세정 모드 파형은 또한 EUV 생성을 위한 방울을 생산하는데 적합할 수 있다. 이러한 경우에 있어서, 방울 생성기는 출력 EUV 펄스의 후속 버스트를 위한 방울을 생산하기 위해 세정 모드 파형을 계속 사용할 수 있다. 또한 상술된 바와 같이, 세정 모드 파형은 EUV 생성을 위한 방울을 생산하기에 적합한 방울을 생산하지 않을 수 있다. 이러한 경우에, 방울 생성기 모드는 출력 EUV 펄스의 후속 버스트를 위한 방울을 생산하기 전에 세정 모드로부터 초기 출력 모드

로 변경될 수 있다. 대안으로, 방울 생성기는 출력 EUV 펄스의 후속 버스트를 위한 방울을 생산하기 전에 세정 모드로부터 초기 출력 모드와 상이한 다른 출력 모드로 변경될 수 있다. 예를 들어, 초기 출력 모드는 초기 출력 모드를 위한 2V의 피크 진폭을 갖는 파형, 세정 모드를 위한 10V의 피크 진폭을 갖는 파형 및 방울 생성기가 세정 모드에 놓인 삽입 시간에 이어지는 버스트를 위한 5V의 피크 진폭을 갖는 파형을 사용할 수 있다.

[0086] 상술된 바와 같이, 2개 이상의 규격 레벨이 채용될 수 있다. 예를 들어, 방울 포인팅이 제1 규격 레벨을 초과한다면, 세정 모드로의 전이가 표시될 수 있지만, 특정 타입의 삽입 시간으로 지연될 수 있다. 포인팅이 제2 규격 레벨을 초과한다면, 세정 모드가 곧 트리거될 수 있거나 일부의 경우에 즉시 트리거될 수 있다. 대안으로, 방울 포인트 어레의 양은 채용되는 세정 모드의 타입을 결정할 수 있다. 예를 들어, 측정된 방울 포인팅이 제1 규격을 벗어났다면, 예를 들어, EUV 생성을 위한 방울을 생산하기에 적합한 세정 모드 파형을 가지고 후속 적합한 삽입 시간에서 방울 생성기를 세정 모드에 놓도록 제어 알고리즘이 사용될 수 있다. 다른 한편으로, 측정된 방울 포인팅이 제2 규격을 벗어나 있다면, 예를 들어, EUV 생성을 위한 방울을 생산하기에 적합하지 않은 세정 모드 파형을 가지고 후속 적합한 삽입 시간에서 세정 모드에 방울 생성기를 놓도록 제어 알고리즘이 사용될 수 있다. 예를 들어, 초기 출력 모드는 초기 출력 모드를 위한 2V의 피크 진폭을 가진 파형, 측정된 방울 포인팅이 제1 규격을 벗어난 후에 세정 모드를 위한 5V의 피크 진폭을 갖는 파형, 및 측정된 방울 포인팅이 제2 규격을 벗어난 후에 10V의 피크 진폭을 가진 파형을 사용할 수 있다.

[0087] 일부 배열에서, 방울 생성기는 시스템 규격을 벗어난 방울 포인팅 측정 없이 또는 방울 포인팅을 측정하지 않고 삽입 시간 동안 세정 모드에 놓일 수 있다. 예를 들어, 방울 생성기는 주기적인 스케줄에 따라, 예를 들어, 하나의 적합한 삽입 시간 마다, 2개의 적합한 삽입 시간 마다, 등등, 예를 들어, 제어 알고리즘에 의해 세정 모드에 놓일 수 있다. 대안으로, 다른 파라미터가 측정될 수 있고, 방울 생성기가 후속 적합한 삽입 시간에 세정 모드에 놓일지를 결정하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 출력 EUV, EUV 변환 효율 또는 각도 EUV 강도 분포와 같은 방울-레이저 정렬을 나타내는 파라미터가 사용될 수 있다.

[0088] 다른 구현예에서, 세정 파형의 주기성 주파수가 세정 모드 기간 동안 변경될 수 있다. 예를 들어, 이러한 주기성 주파수는 주기성 주파수의 범위에서 그 주파수가 변화(sweep)될 수 있다. 주기성 주파수의 범위에서 스위프함으로써 함으로써, 방울 생성기의 하나 이상의 고유 공진 주파수에 상응하는 주파수가 적용될 수 있다. 하나 이상의 적용된 주파수를 하나 이상의 방울 생성기 공진 주파수에 매치하는 것이 세정 효율을 증가시키는데 효과적일 수 있다. 대안으로, 또는 주기성 주파수의 범위에서 스위프하는 것에 더하여, 파형 형상이 세정 모드 기간 동안 수정될 수 있다. 예를 들어, 각 파동 주기의 상승시간 또는 하강시간이 세정 시간 동안, 적용된 주파수 스펙트럼으로 변화도록 수정될 수 있다.

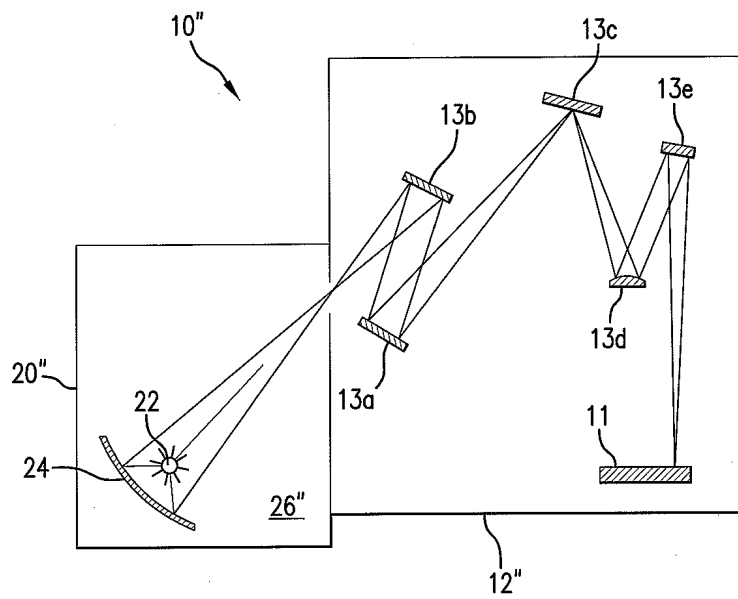
[0089] 도 2b 및 도 4는 다수의 전기 구동가능한 소자를 갖는 방울 생성기를 도시하고 있다. 사용시, 전기 구동가능한 소자중 적어도 하나는 EUV 생성에 적합한 방울을 생산하기 위해 파형에 의해 구동될 수 있다. 세정 모드 기간 동안, 적어도 하나의 다른 전기 구동가능한 소자가 오염물을 제거하기에 적합한 파형에 의해 구동될 수 있다. EUV 생성 방울을 위한 전기 구동가능한 소자는 EUV 생성 동안 사용된 것과 동일한 파형, 또는 상이한 파형에 의해 세정 기간 동안 계속 구동될 수 있거나 비구동될 수 있다(예를 들어, 전원차단될 수 있다). 세정 모드 동안 사용된 전기 구동가능한 소자의 배치, 수, 크기, 형상 및 타입은 EUV 생성에 적합한 방울을 생산하는데 사용된 전기 구동가능한 소자의 배치, 수, 크기, 형상 및 타입과 상이할 수 있다. 하나의 배열에서, 세정 모드 동안 사용된 전기 구동가능한 소자는 길이방향 공진 모드를 유발하도록 모세관의 길이를 따라 정렬된 진동을 생성하도록 구성되어 있다.

[0090] 상술된 실시예는 단지 예일 뿐이고 본 발명에 의해 제시된 범위에 한정되지 않는다는 것을 당업자는 이해할 것이다. 수정, 삭제 및 수정이 여기에 개시된 발명의 범위내에서 가능하다는 것을 당업자는 이해할 것이다. 첨부된 청구범위는 본 발명을 한정하고, 여기에 개시된 실시예뿐만 아니라, 당업자에게 명백한 등가물 및 다른 수정 및 변화를 포함하고 있다. 구체적으로 언급되지 않으면, 첨부된 청구범위의 구성요소들은 "하나 이상"의 구성요소를 가리킨다.

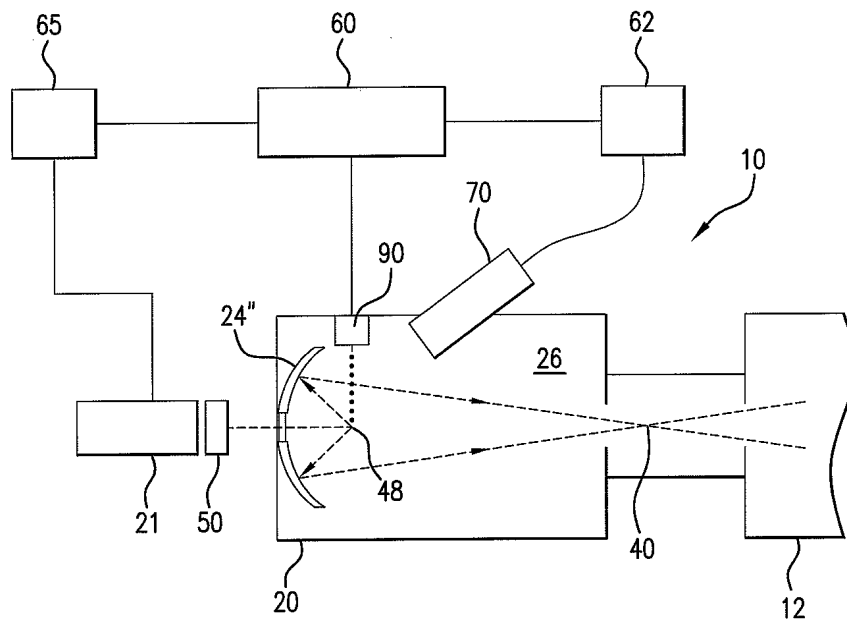


도면

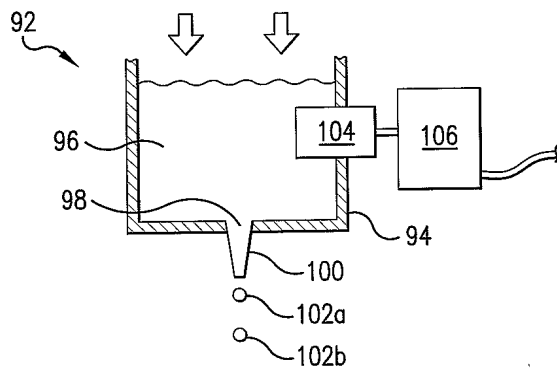
도면1



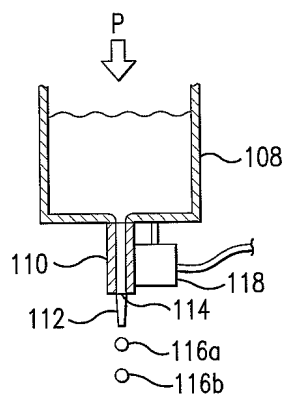
도면1a



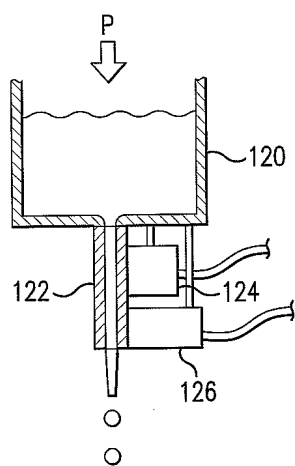
도면2



도면2a

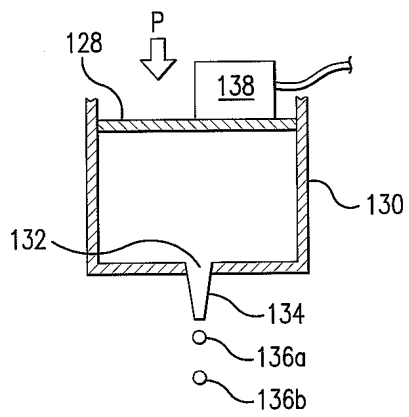


도면2b

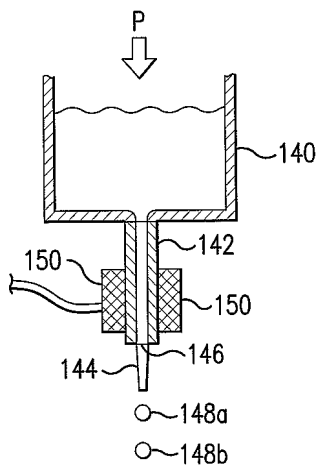




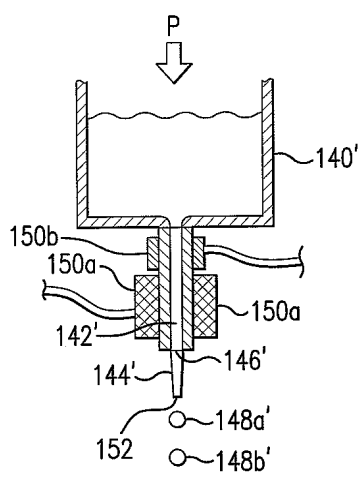
도면2c



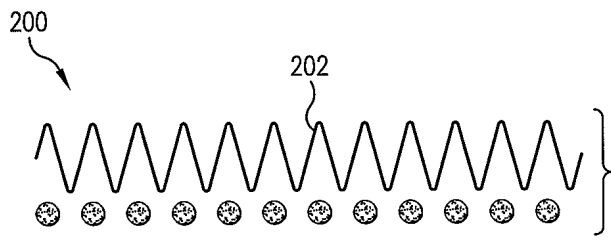
도면3



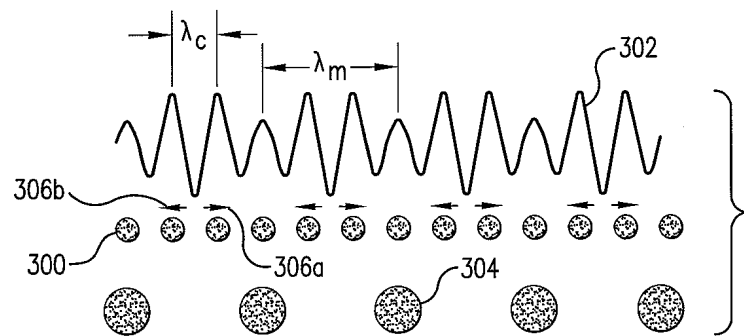
도면4



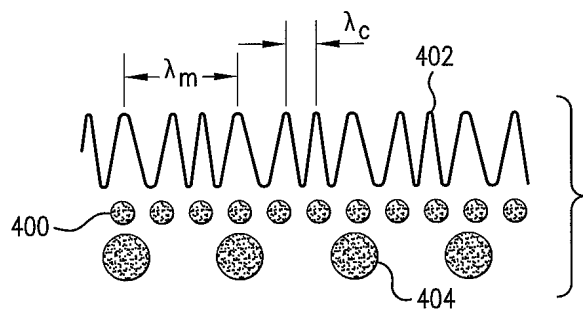
도면5



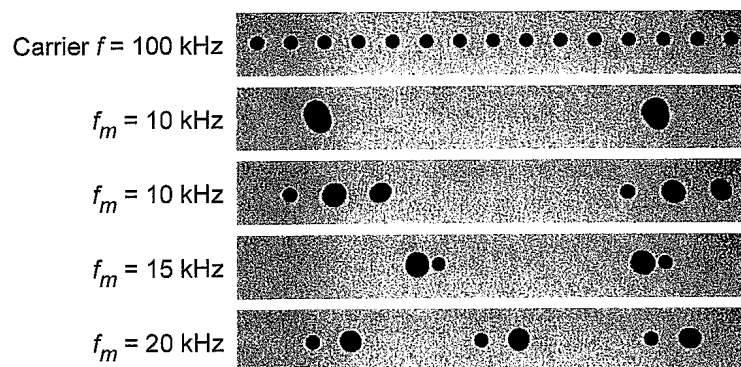
도면6



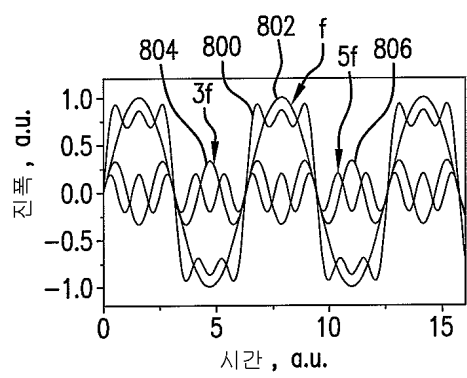
도면7



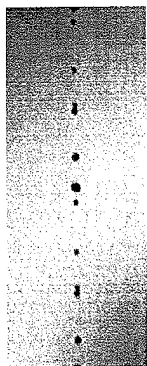
도면8



도면9



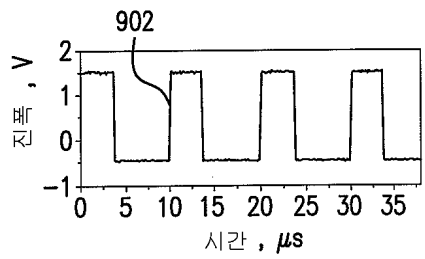
도면10



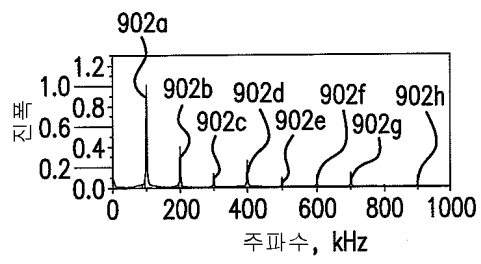
도면11



도면12a



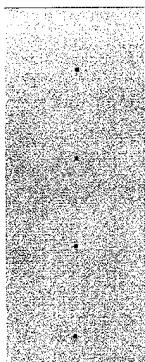
도면12b



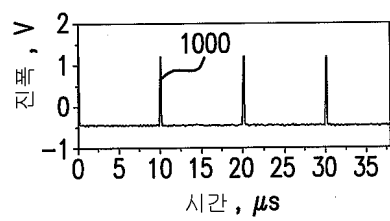
도면12c



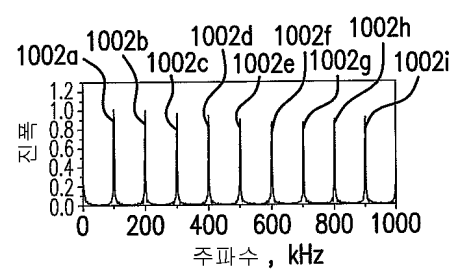
도면12d



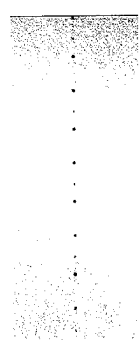
도면13a



도면13b



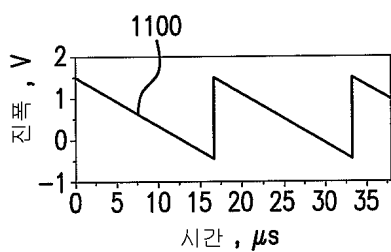
도면13c



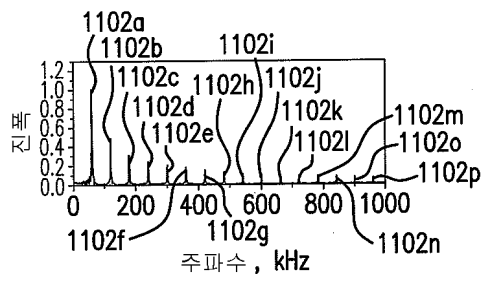
도면13d



도면14a



도면14b



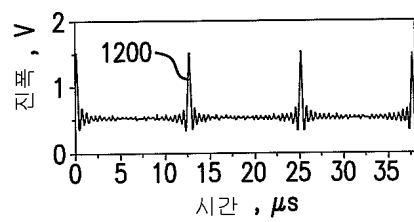
도면14c



도면14d

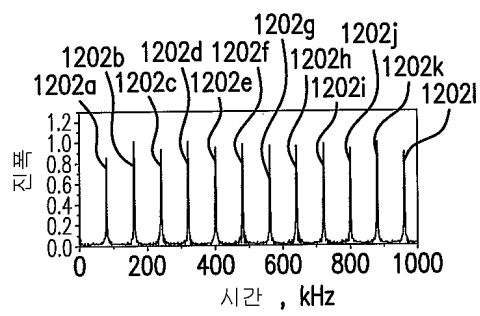


도면15a

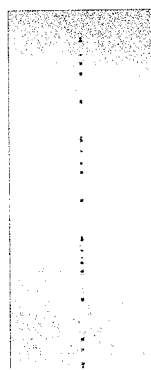




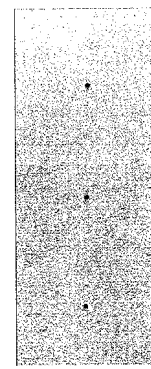
도면15b



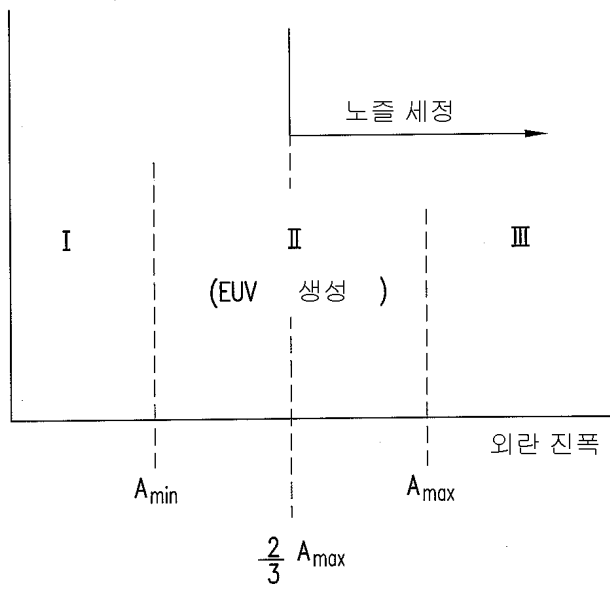
도면15c



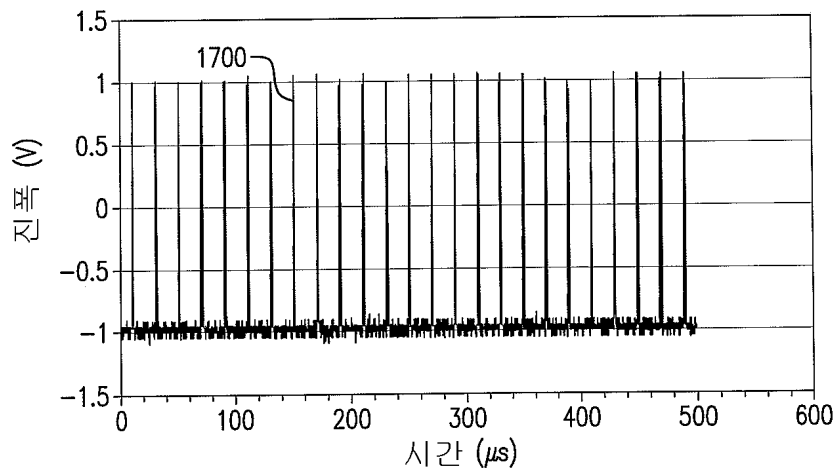
도면15d



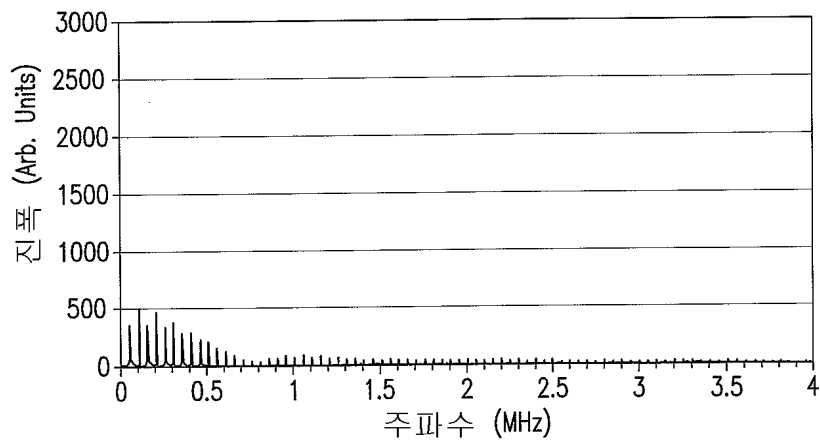
도면16



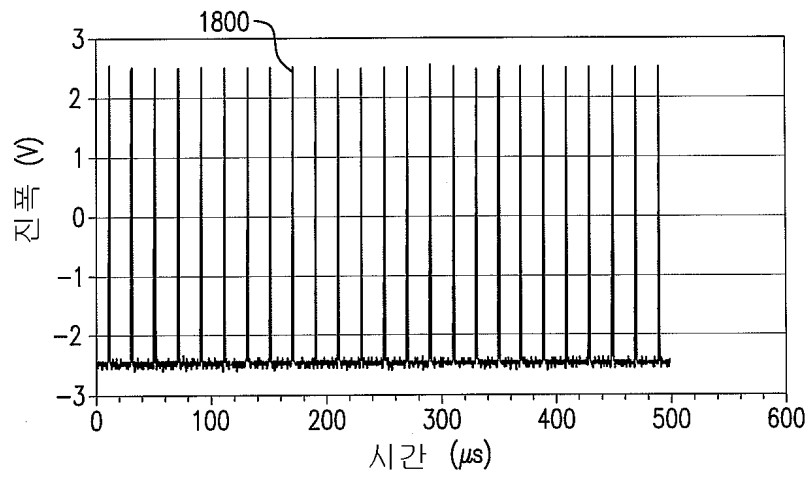
도면17a



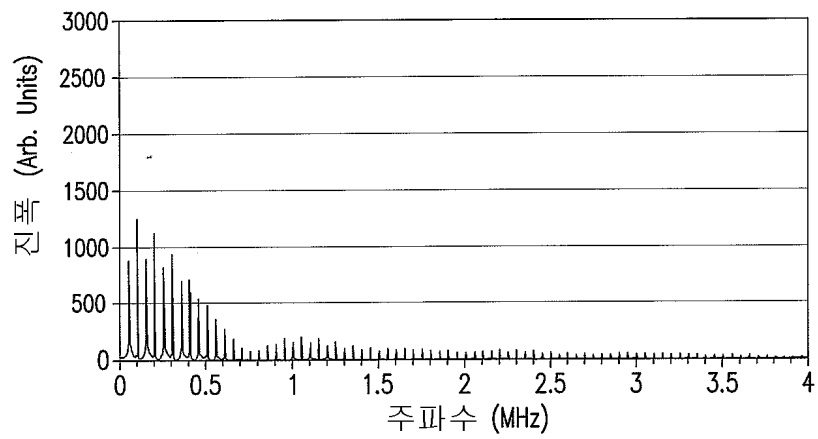
도면17b



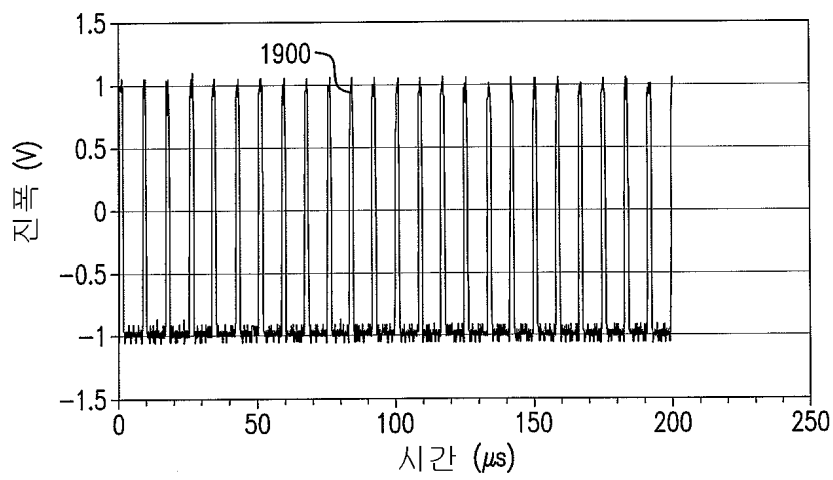
도면18a



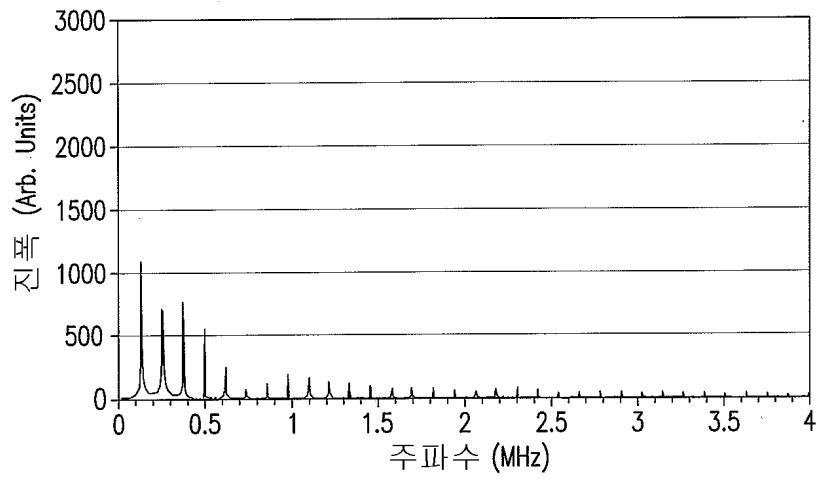
도면18b



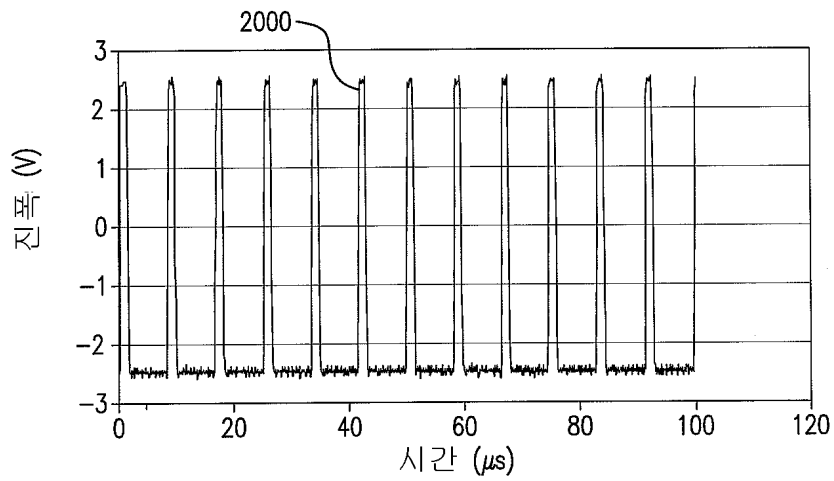
도면19a



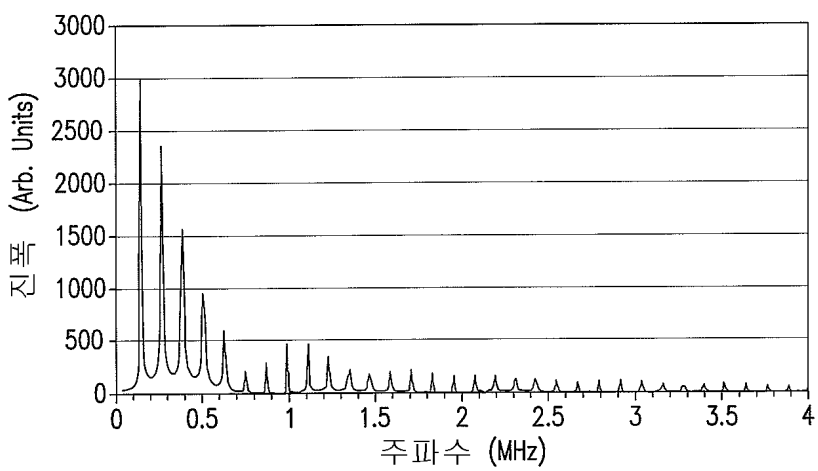
도면19b



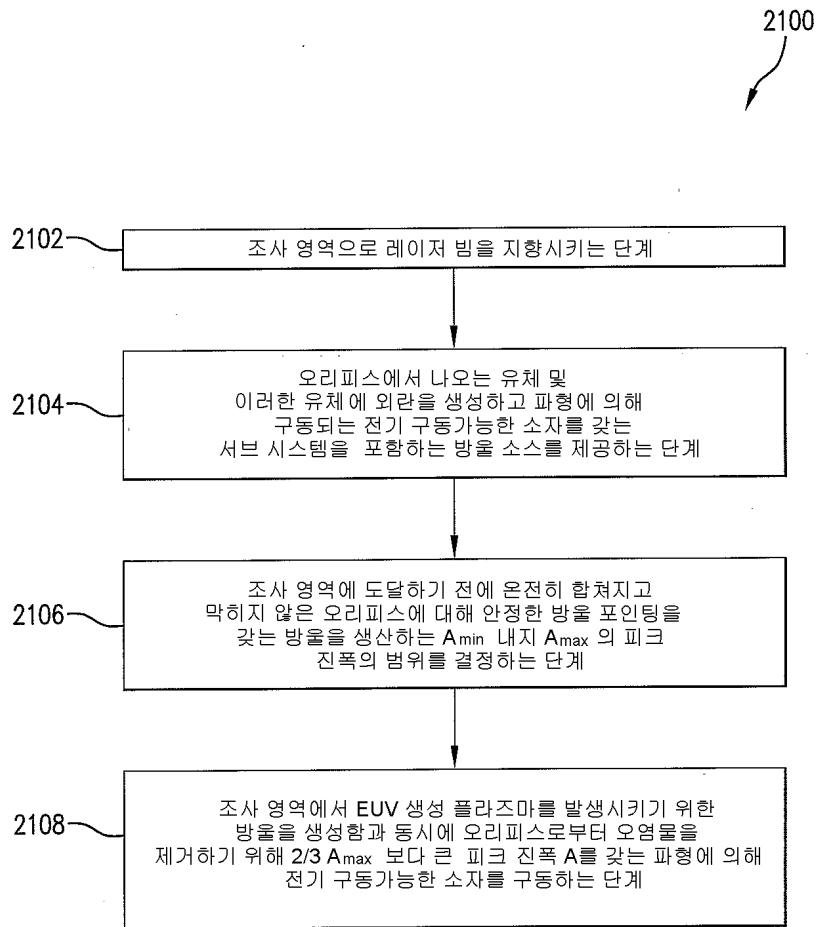
도면20a



도면20b



도면21



도면22

2200

