



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년08월09일
(11) 등록번호 10-1887104
(24) 등록일자 2018년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/027 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
G21K 5/00 (2006.01) H05G 2/00 (2006.01)
B82Y 10/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
H01L 21/0274 (2013.01)
G03F 7/2014 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7015321(분할)
(22) 출원일자(국제) 2011년03월01일
심사청구일자 2017년06월30일
(85) 번역문제출일자 2017년06월05일
(65) 공개번호 10-2017-0066704
(43) 공개일자 2017년06월14일
(62) 원출원 특허 10-2012-7026406
원출원일자(국제) 2011년03월01일
심사청구일자 2016년02월19일
(86) 국제출원번호 PCT/US2011/000374
(87) 국제공개번호 WO 2011/112235
국제공개일자 2011년09월15일
(30) 우선권주장
12/721,317 2010년03월10일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20090014668 A1*
US20080179548 A1
US20090127479 A1
JP2006216801 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
에이에스엘 네델란드 비.브이.
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
(72) 발명자
바스첸코 게오르기 오.
미국 캘리포니아 92128 샌디에고 유닛 36 아베니
다 빌라하 15937
어쇼프 알렉산더 아이.
미국 캘리포니아 92025 에스컨디도 돈 롤란도
3026
샌드스트롬 리차드 엘.
미국 캘리포니아 92024 엔시니타스 브리튼 테라체
410
(74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

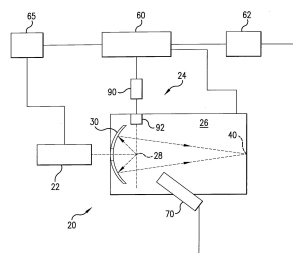
심사관 : 계원호

(54) 발명의 명칭 레이저 산출 플라즈마 EUV 광원

(57) 요약

타겟 재료 액적의 소스와 조사 위치에서 상기 액적을 조사하는 빔을 산출하는 레이저를 구비하는 플라즈마 생성 시스템을 포함하고, 상기 플라즈마는 EUV 방사선을 산출하고, 여기서, 상기 액적 소스는 상기 액적이 상기 조사 위치로 이동할 때 적어도 일부 인접한 액적들 사이의 간격이 감소하도록 하는 상이한 최초 속도를 가진 액적들을 (뒷면에 계속)

대표도



생성하는 유체에서의 교란을 산출하는 오리피스 및 서브-시스템을 빠져나오는 유체를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치가 개시된다.

(52) CPC특허분류

G03F 7/70033 (2013.01)

G21K 5/00 (2013.01)

H05G 2/003 (2013.01)

H05G 2/005 (2013.01)

H05G 2/006 (2013.01)

H05G 2/008 (2013.01)

B82Y 10/00 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

EUV 방사선 산출 장치로서,

타겟 재료 액적(droplet)의 소스와, 플라즈마를 형성하기 위해 조사 위치(irradiation region)에서 상기 액적을 조사(irradiate)하는 빔을 산출하는 레이저를 구비하는 플라즈마 생성 시스템을 포함하고,

상기 플라즈마는 EUV 방사선을 산출하고,

상기 액적 소스는 오리피스를 빠져나오는 유체 및 상기 유체에서의 교란을 산출하는 전기-작동가능 엘리먼트를 구비하는 서브-시스템을 포함하고, 상기 교란은 상이한 최초 속도를 가진 액적들을 생성하여, 상기 액적이 상기 조사 위치로 이동할 때 적어도 일부 인접한 액적 사이의 간격이 감소하게 되고,

상기 서브-시스템은 일련의 펄싱된 교란을 산출하고, 각각의 펄싱된 교란은, 상기 전기-작동가능 엘리먼트를 사전결정된 파형에 의해 구동함으로써 기본 주파수 및 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 더 높은 차수의 고조파에서 기계적 진동을 생성하도록 파형 기간의 길이에 비해 짧은 증가 시간(rise-time)과 감소 시간(fall-time) 중 적어도 하나를 가지는, EUV 방사선 산출 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

적어도 일부 인접한 액적은 상기 조사 위치에 도달하기 전에 병합하는, EUV 방사선 산출 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 교란은 주파수 변조 교란 파형을 포함하는, EUV 방사선 산출 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 교란은 진폭 변조 교란 파형을 포함하는, EUV 방사선 산출 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 사전결정된 파형은 구형파, 직사각파, 및 피크가 있는 비정현파로 구성된 파형의 그룹에서 선택되는, EUV 방사선 산출 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

피크가 있는 비정현파는 펄스 파형, 램프 파형과 사인함수 파형으로 구성된 파형의 그룹에서 선택되는, EUV 방사선 산출 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 사전결정된 파형은 구형파, 직사각파, 및 피크가 있는 비정현파로 구성된 파형의 그룹에서 선택되고, 상기 적어도 하나의 더 높은 차수의 고조파는 상기 기본 주파수의 더 높은 차수의 홀수 고조파인, EUV 방사선 산출 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 사전결정된 파형은 구형파, 직사각파, 및 피크가 있는 비정현파로 구성된 파형의 그룹에서 선택되고, 상기 적어도 하나의 더 높은 차수의 고조파는 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 더 높은 차수의 짝수 고조파 및 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 더 높은 차수의 홀수 고조파를 포함하는, EUV 방사선 산출 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 기본 주파수와 그의 파생물 및 등가물은, 상기 오리피스를 빠져나오는 유체를 교란하는 주파수 또는 상기 유체에 교란을 산출하는 전기-작동가능 엘리먼트를 구비한 상기 서브-시스템에 가해진 주파수로서, 액적 스트림에 있는 액적이 균일하게 이격된 액적 패턴으로 완전히 병합되도록 허용되면, 기본 주파수 기간당 하나의 완전히 병합된 액적이 존재할 수 있도록 액적 스트림을 산출하는, EUV 방사선 산출 장치.

발명의 설명**기술 분야**

[0001] 본 개시물은 타겟 재료로부터 생성되고, 수집되고, EUV 광원 챔버의 외부에서 활용하기 위해 예를 들면 리소그래피 스캐너/스텝퍼에 의해 중간 영역으로 지향되는 플라스마로부터 EUV 광을 제공하는 극 자외선 ("EUV") 광원에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 예를 들면 약 50nm 이하의 파장을 가지고, 약 13.5nm의 파장의 광을 포함하는 전자기 복사선과 같은 극 자외광 (또한, 때때로 소프트 x-선이라고도 함)이 예를 들면, 실리콘 웨이퍼와 같은 기판에 극도로 작은 피처를 산출하도록 포토리소그래피 프로세스에 사용될 수 있다.

[0003] EUV 광을 산출하는 방법은, 재료를 EUV 범위에서 하나 이상의 방출선을 가지는 예를 들면, 크세논, 리튬 또는 주석과 같은 적어도 하나의 원소를 구비한 플라스마 상태로 변환하는 단계를 포함하지만, 이에 반드시 한정되는 것은 아니다. 이러한 하나의 방법에서, 때때로 레이저 산출 플라스마("LPP")라고하는, 요구되는 플라스마가 레이저 빔으로 요구되는 라인-방출 원소를 가진 타겟 재료를 조광함으로써 산출될 수 있다.

[0004] 하나의 특정 LPP 기술은 메인 펄스가 후속하는 하나 이상의 사전 펄스(들)로 타겟 재료 액적을 조광하는 것을 포함한다. 이러한 관점에서, CO₂ 레이저는 LPP 프로세스에서 구동 레이저가 "메인" 펄스를 산출할 때 특정한 이점을 제공할 수 있다. 이는 용융 주석 액적과 같은 특정 타겟 자료에 대해 특히 사실일 수 있다. 예를 들면, 하나의 이점은 상대적으로 높은 변환 효율, 예를 들면 구동 레이저 입력 파워에 대한 출력 EUV 대역내 (in-band) 파워의 비율을 산출하는 기능을 포함할 수 있다.

[0005] 더 많은 이론적 관점에서, LPP 광원은 수십 eV의 전자 온도를 가진 고 이온화 플라스마를 생성하는 크세논(XE), 주석(Sn) 또는 리튬(Li)과 같은 소스 원소에 레이저 에너지를 가함으로써 EUV 방사선을 생성한다. 이러한 이온의 하방천이(de-excitation) 및 재결합 동안 생성된 에너지 방사선이 모든 방향으로 플라스마로부터 방출된다. 일반적인 배치에서, 근-수직(near-normal) 입사 미러(대개, "컬렉터 미러"라고 함)가 광을 예를 들면 초점과 같은 중간 위치로 집속, 지향(그리고 일부 배치에서, 포커싱)하기 위해 플라스마로부터 일정 거리에 배치된다. 집속된 광은 그런다음 중간 위치로부터 일 세트의 스캐너 광학기기로, 그리고 최종적으로 웨이퍼로 중계될 수 있다. 더 많은 양의 텀에서, 현재 중간 위치에서 약 100W를 산출하는 것을 목표로하여 개발중인 하나의 배치는 초당 40,000-100,000 주석 액적을 순차적으로 조광하도록 액적 생성기와 동기화되는 펄싱되고, 포커싱된 10-12kW CO₂ 구동 레이저의 사용을 고려한다. 이러한 목적을 위해, 상대적으로 높은 반복률(예를 들면, 40-100kHz 이상)에서 액적의 안정적인 흐름을 산출하고 상대적으로 긴 시간동안 타이밍과 위치의 측면에서 높은 정확성과 양질의 재현성을 가지고(즉, 매우 작은 "지터"를 가지고) 조광 위치로 액적을 전달할 필요가 있다.

[0006] 전형적인 LPP 설정에 대해, 타겟 재료 액적이 생성되어 그런다음 그것들이 예를 들면 포커싱된 레이저 빔에 의해 조광되는 조광 위치로 진공 챔버내를 이동해간다. EUV 방사선을 생성하는 것에 추가하여, 이들 플라스마 프로세스는 또한 일반적으로 다양한 플라스마 챔버 광학 엘리먼트들을 잠재적으로 손상시키거나 플라스마 챔버 광

학 엘리먼트들의 동작 효율을 감소시킬 수 있는 플라즈마 챔버 내의 바람직하지 않은 부산물(예를 들면, 찌꺼기)을 생성한다. 이들 찌꺼기는 고 에너지 이온과 예를 들면 소스 재료의 원자 및/또는 클럼프/마이크로액적과 같은 플라즈마 조성물(formation)로부터의 산란된 찌꺼기를 포함할 수 있다. 이러한 이유로, 찌꺼기의 형성을 감소 또는 제거하기 위해 소스 재료의 소위 "질량 제한" 액적을 이용하는 것이 대개 바람직하다. "질량 제한" 액적의 사용은 또한 소스 재료 소비의 감소를 유발할 수 있다. 질량 제한 액적을 달성하기 위한 기술은 소스 재료를 희석시키는 것 및/또는 상대적으로 작은 액적을 이용하는 것을 포함할 수 있다. 예를 들면, 10-50 μm 만큼 작은 액적을 사용하는 것이 현재 고려된다.

[0007] 진공 챔버의 광학 엘리먼트들에 대한 그의 효과에 부가하여, 플라즈마 부산물은 또한 조광 위치에 접근하는 액적(들)(즉, 액적 스트림에서 후속하는 액적들)에 부정적인 영향을 줄 수 있다. 일부 경우에, 액적과 플라즈마 부산물 사이의 상호 작용은 이들 액적에 대한 더 낮은 EUV 출력을 가져올 수 있다. 이런 점에서, 2005년 2월 15일 발급되고, "고 펄스율 레이저-플라즈마 극 자외선 광원을 위한 액적 타겟 전달 방법"이라는 제하의, 미국 특허번호 제 6,855,943(이하, '943 특허)이 예를 들면 매 3번째 액적과 같은 액적 스트림에서의 액적 중 일부만에, 펄싱된 EUV 광 출력을 산출하기 위해 조광되는 기술을 개시한다. '943 특허에 개시된 바와 같이, 비참여(nonparticipating) 액적(소위 버퍼 액적)은 이롭게는 조광 위치에서 생성된 플라즈마의 영향으로부터 다음 참여 액적을 보호한다. 그러나, 버퍼 액적의 사용은 소스 재료 소비 및/또는 진공 챔버 오염을 증가시키거나 및/또는 버퍼 액적을 사용하지 않고 필요한 것보다 매우 더 높은 주파수(예를 들면, 두 개 이상의 팩터만큼)로 액적 생성을 요구할 수 있다. 한편, 액적 사이의 간격이 증가 될 수 있다면, 버퍼 액적의 사용이 감소 또는 제거 될 수 있다. 따라서, 액적의 크기, 간격 및 타이밍 일관성(즉, 지터)이 LPP EUV 광원에 대한 액적 생성기를 설계할 때 고려해야 할 팩터들이다.

[0008] 액적 생성을 위한 하나의 기술은 예를 들면, 주석과 같은 타겟 재료를 용해하여 상대적으로 작은 직경의 예를 들면, 0.5-30 μm 의 오리피스를 통해 고압력 하에서 그에 힘을 가하는 단계를 포함한다. 대부분의 조건에서, 예를 들면 노이즈와 같은, 오리피스를 빠져나가는 스트림에서 자연스럽게 발생하는 불안정성이 스트림으로 하여금 액적으로 분리되도록 할 수 있다. LPP 구동 레이저의 광학 펄스와 액적을 동기화하기 위해, 랜덤 노이즈를 초과하는 진폭을 가진 반복적인 교란이 연속한 스트림에 적용될 수 있다. 펄싱된 레이저의 반복률과 동일한 주파수에서의 교란(또는 자신의 높은 고조파)을 적용하여, 액적은 레이저 펄스와 동기화될 수 있다. 과거에, 교란은 일반적으로 정현파 파형 또는 그의 등가물과 같은 단일 주파수 파형을 가진 전기-작동가능 엘리먼트(압전 재료와 같은)를 구동시킴으로써 스트림에 적용되었다.

[0009] 본원에 사용된 바와 같이, "전기-작동가능 엘리먼트"라는 용어와 그의 파생물은, 전압, 전기장, 자기장, 또는 그의 조합을 받을 때 디텐션 변화를 수행하고 압전 재료, 전기 변형 방지 재료, 및 자기 변형 방지 재료를 포함하는(그에 한정되지 않음) 재료 또는 구조물을 의미한다.

[0010] 일반적으로, 정현파 파형과 같은 단일 주파수, 비변조 파형 교란의 애플리케이션에 대해, 교란 주파수가 감소할 때(즉, 압력 및 오리피스 직경과 같은 다른 팩터들이 일정할 때) 액적 사이의 간격이 증가한다. 그러나, 그 내용은 참조에 의해 본문에 통합된 "Drop Formation From A Vibrating Orifice Generator Driven By Modulated Electrical Signals"(G. Brenn 및 U. Lacknermeier, Phys. Fluids 9,3658(1997)에 개시된 바와 같이, 약 $0.3 v / (\pi d)$ 미만의 교란 주파수에 대해(여기서, v 는 스트림 속도이고 d 는 연속한 액체 스트림의 직경), 하나 이상의 액적이 각각의 교란 기간동안 생성될 수 있다. 따라서, 약 50m/s의 스트림 속도에서 10 μm 액체체트에 대해, 기간당 하나 이상의 액적이 산출되는 것 미만의 연산된 최소 주파수는 약 480kHz이다(주의: 40-100kHz의 액적 반복률 및 약 30-100m/s의 속도가 LPP EUV 프로세스에 바람직할 수 있다는 것이 현재 고려된다). 전체 결과는 단일 주파수, 비변조 파형 교란의 애플리케이션에 대해, 액적 사이의 간격은 기본적으로 제한되고 약 $3.33 \pi d$ 을 초과할 수 없다는 것이다. 지시된 바와 같이, 접근하는 액적(들)에 대해 플라즈마로부터의 찌꺼기의 효과를 감소/제거하기 위해 액적 스트림에서의 인접 액적들 간에 충분한 거리를 제공하는 것이 바람직할 수 있다. 또한, 간격에 대한 제한은 스트림의 직경에 비례하기 때문에, 결과인 액적 크기로서, 이러한 제한은 상대적으로 작고, 질량 제한, 액적이 바람직한(상기 논의를 참조) LPP EUV 광원과 같은 애플리케이션에서 특히 엄격할 수 있다.

발명의 내용

[0011] 상기를 고려하여, 출원인은 변조 교란 파형을 이용하여 산출된 액적 스트림을 가진 레이저 산출 플라즈마, EUV 광원 및 그의 대응하는 사용 방법을 개시한다.

[0012] 제 1측면에서, 장치는 타겟 재료 액적의 소스와 조사(irradiation) 위치에서 액적을 조사하는(irradiate) 빔을 산출하는 레이저를 포함하는 플라즈마 생성 시스템을 포함하고, 상기 플라즈마는 EUV 방사선을 산출하고, 여기

서, 상기 액적 소스는 액적이 상기 조사 위치로 이동할 때 적어도 일부 인접한 액적들 사이의 간격이 감소하도록 하는 상이한 최초 속도를 가진 액적들을 생성하는 유체에서의 교란을 산출하는 서브-시스템 및 오리피스를 빠져나오는 유체를 구비한다.

- [0013] 특정 구현에서는 적어도 일부 인접한 액적들은 상기 조사 위치에 도달하기 전에 병합할 수 있다.
- [0014] 하나의 실시예에서, 서브-시스템은 액적 패턴을 산출할 수 있고, 여기서 액적 더블릿(doublets)은 플라즈마를 산출하기 위해 조사되는 액적 더블릿에서 각각의 액적으로 상기 조사 위치에 도달한다.
- [0015] 특정한 하나의 실시예에서, 액적 더블릿에서의 적어도 하나의 액적은 직경 d 를 가질 수 있고, 상기 조사 위치에 접근하고, 및 각각의 더블릿 내에서의 중심에서 중심까지의 액적 간격 $D(d \leq D \leq 4d)$ 를 가질 수 있다.
- [0016] 특정한 실시예에서, 교란은 주파수 변조 교란 파형을 포함할 수 있다.
- [0017] 또 다른 특정한 실시예에서, 교란은 진폭 변조 교란 파형을 포함할 수 있다.
- [0018] 장치의 하나의 배치에서, 서브 시스템은 일련의 펄싱된 교란을 산출할 수 있고, 각각의 펄싱된 교란은 기본 주파수와 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 고조파를 생성하기 위해 충분히 짧은 증가 시간(rise-time) 및 충분히 짧은 감소 시간(fall-time) 중 적어도 하나를 가진다.
- [0019] 다른 측면에서, 장치가 타겟 재료 액적의 소스와 조사 위치에서 상기 액적을 조사하는 빔을 산출하는 레이저를 포함하는 플라즈마 생성 시스템을 포함하고, 상기 플라즈마는 EUV 방사선을 산출하고, 여기서, 상기 액적 소스는 유체에서의 교란을 산출하는 전기-작동가능 엘리먼트를 구비한 서브-시스템 및 오리피스를 빠져나오는 유체를 구비하고, 상기 전기-작동가능 엘리먼트는 전기-작동가능 엘리먼트의 동작가능한 반응 범위 내에서의 기본 주파수와 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 고조파를 생성하기 위해 충분히 짧은 증가 시간과 충분히 짧은 감소 시간 중 적어도 하나를 구비하는 파형에 의해 구동된다.
- [0020] 본 측면의 하나의 실시예에서, 상기 파형은 구형파(square wave), 직사각파(rectangular wave), 및 피크가 있는-비정현파(peaked-non-sinusoidal wave)로 구성된 파형의 그룹에서 선택될 수 있다.
- [0021] 본 측면의 특정한 실시예에서, 피크가 있는-비정현파는 빠른 펄스 파형, 빠른 램프 파형 및 사인함수 파형으로 구성된 파형의 그룹에서 선택될 수 있다.
- [0022] 본 측면의 특정한 실시예에서, 적어도 하나의 고조파는 기본 주파수의 홀수 고조파가 될 수 있다.
- [0023] 본 측면의 하나의 실시예에서, 상기 적어도 하나의 고조파는 기본 주파수의 적어도 하나의 짝수 고조파와 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 홀수 고조파를 포함할 수 있다.
- [0024] 본 측면의 특정한 실시예에서, 상기 파형은 액적이 조사 위치로 이동할 때 적어도 일부 인접한 액적들 사이의 간격이 감소하도록 하는 상이한 최초 속도를 가진 액적을 생성할 수 있다.
- [0025] 본 측면의 특정한 실시예에서, 적어도 일부 인접한 액적은 조사 위치에 도달하기 전에 병합한다.
- [0026] 본 측면의 특정한 실시예에서, 각 펄스는 온-오프 스위치 상태를 변경함으로써 생성될 수 있다.
- [0027] 다른 측면에서, 방법은 오리피스를 향해 유체를 흐르게 하는 단계; 제 1 액적 및 제 2 액적을 생성하기 위해 상기 유체를 교란시키는 단계로서, 상기 제 1 액적은 상기 액적이 조사 위치로 이동할 때 상기 제 1 액적과 제 2 액적 사이의 간격이 감소하도록하는 상기 제 2 액적과 상이한 최초 속도를 가지는, 교란 단계; 및 플라즈마를 형성하기 위해 상기 조사 위치에서 액적 재료를 조사시키는 단계/액션을 포함할 수 있다.
- [0028] 본 측면의 하나 구현에서, 제 1 및 제 2 액적은 조사 위치에 도달하기 전에 병합한다.
- [0029] 본 측면의 특정 구현에서, 교란은 주파수 변조 교란 파형과 진폭 변조 교란 파형으로 구성된 변조 파형의 그룹으로부터 선택된 파형을 포함할 수 있다.
- [0030] 본 측면의 특정 구현에서, 유체를 교란시키는 단계는 일련의 펄싱된 교란을 산출하는 단계를 포함할 수 있고, 각각의 펄싱된 교란이 기본 주파수와 상기 기본 주파수의 적어도 하나의 서브-고조파를 생성하기 위해 충분히 짧은 증가 시간과 충분히 짧은 감소 시간 중 적어도 하나를 구비한다.
- [0031] 특정 구현에서, 펄싱된 교란은 구형파, 직사각파, 및 피크가 있는-비정현파로 구성된 교란의 파형의 그룹에서 선택될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0032]

- 도 1은 레이저 산출 플라즈마 EUV 광원의 간략화된, 개략도를 도시한다;
- 도 2는 개략적인 간략화된 액적 소스를 도시한다;
- 도 2a-2d는 오리피스를 빠져나오는 스트림에서의 교란을 생성하기 위해 유체와 전기-작동가능 엘리먼트를 커플링하는 다수의 상이한 기술을 도시한다;
- 도 3(중래 기술)은 단일 주파수, 비변조 교란 파형으로 인한 액적의 패턴을 도시한다;
- 도 4는 진폭 변조 교란 파형으로 인한 액적의 패턴을 도시한다;
- 도 5는 주파수 변조 교란 파형으로 인한 액적의 패턴을 도시한다;
- 도 6은 단일 주파수, 비변조 파형 교란과 다수 주파수 변조 파형 교란을 위해 획득된 주석 액적의 사진을 도시한다;
- 도 7은 액적 쌍이 조사 위치에 도달하여 하나의 액적이 플라즈마 찌꺼기로부터 후속하는 액적 쌍을 보호하도록 하는 변조 파형 교란을 이용하여 도달가능한 액적 패턴을 도시한다;
- 도 8은 액적 쌍이 EUV 방출 플라즈마를 생성하기 위해 제 2 액적을 조사시키는 방전을 시작하도록 광을 자기유도(self-directing) 레이저 시스템으로 반사하는 제 1 액적을 가지고 조사 위치에 도달하는 변조 파형 교란을 이용하여 도달가능한 액적 패턴을 도시한다;
- 도 8a는 액적의 더블릿이 조사 위치에 도달하고 플라즈마를 산출하기 위해 상기 액적 더블릿에서의 각각의 액적이 조사되는 액적 패턴을 도시한다;
- 도 9는 사인파 신호의 홀수 고조파의 중첩으로서 구형파의 표현을 도시한다;
- 도 10은 출력 오리피스로부터 ~ 40mm에서 찍은 30 kHz에서의 구형파 변조로 획득된 액적의 이미지를 도시한다;
- 도 11은 출력 오리피스로부터 ~ 120mm에서 찍은 30 kHz에서에서 구형파 변조로 획득된 액적의 이미지를 도시한다;
- 도 12a-d는 직사각파를 위한 주파수 스펙트럼(도 12b)을 포함하는 직사각파(12a) 변조에 대한 실험 결과; 출력 오리피스로부터 20mm에서 찍은 액적의 이미지(도 12c), 및 출력 오리피스로부터 450mm에서 찍은 병합된 액적의 이미지(도 12d)를 도시한다;
- 도 13a-d는 빠른 펄스를 위한 주파수 스펙트럼(도 13b)을 포함하는 빠른 펄스(13a) 변조에 대한 실험 결과; 출력 오리피스로부터 20mm에서 찍은 액적의 이미지(도 13c), 및 출력 오리피스로부터 450mm에서 찍은 병합된 액적의 이미지(도 13d)를 도시한다;
- 도 14a-d는 빠른 램프 파를 위한 주파수 스펙트럼(도 14b)을 포함하는 빠른 램프 파(14a) 변조에 대한 실험 결과; 출력 오리피스로부터 20mm에서 찍은 액적의 이미지(도 14c), 및 출력 오리피스로부터 450mm에서 찍은 병합된 액적의 이미지(도 14d)를 도시한다;
- 도 15a-d는 사인함수파를 위한 주파수 스펙트럼(도 15b)을 포함하는 사인함수파(15a) 변조에 대한 실험 결과; 출력 오리피스로부터 20mm에서 찍은 액적의 이미지(도 15c), 및 출력 오리피스로부터 450mm에서 찍은 병합된 액적의 이미지(도 15d)를 도시한다;

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033]

도 1을 먼저 참조하면, 하나의 실시예의 하나의 측면에 따라 예를 들면 레이저-산출-플라즈마, EUV 광원(20)과 같은 EUV 광원의 개략도가 도시된다. 도 1에 도시된 바와 같이, 그리고 하기에 보다 상세히 기술된 바와 같이, LPP 광원(20)은 광 펄스 트레인을 생성하고 광 펄스를 챔버(26)로 전달하기 위한 시스템(22)을 포함할 수 있다. 하기에 상술한 바와 같이, 각각의 광 펄스는 조사 영역(28)에서 각각의 타겟 액적을 조사하기 위해 시스템(22)으로부터의 빔 경로를 따라 챔버(26)로 이동할 수 있다.

[0034]

도 1에 도시된 시스템(22)으로서 사용하기에 적합한 레이저는 예를 들면 50kHz 이상의 고 펄스 또는 더 높은 펄스, 또는 10kHz와 같은 상대적으로 고 파워에서 동작하는 예를 들면 DC 또는 RF 여기를 하는 9.3 μ m 또는 10.6 μ m

에서 방사선을 산출하는 예를 들면 펄싱된 가스 방전 CO₂ 레이저 장치와 같은 펄싱된 레이저 장치를 포함할 수 있다. 하나의 특정 구현에서, 레이저는 예를 들면 100kHz 동작이 가능한 저 에너지 고 반복률을 가진 Q-스위칭 마스터 오실레이터(MO)에 의해 시작되는 시드 펄스를 가지고, 다중 스테이지의 증폭을 가진 MOPA 구성을 가진 축류(axial-flow) RF-펌핑 CO₂ 레이저가 될 수 있다. MO로부터, 레이저 펄스가 LPP 챔버로 들어가기 전에 증폭, 형성, 및/또는 포커싱 될 수 있다. 연속하여 펌핑된 CO₂ 증폭기가 시스템(22)에 대해 사용될 수 있다. 예를 들면, 오실레이터 및 3개의 증폭기(O-PA1-PA2-PA3 구성)를 갖는 적절한 CO₂ 레이저 장치가 그 전체 내용이 본문에 참조에 의해 미리 통합되는 2005년 6월 29일 출원된 공동 출원중인 미국 특허 출원 제 11/174,299, "LPP EUV 광원 구동 레이저 시스템", Attorney Docket 번호 2005-0044-01에 개시된다. 대안으로, 레이저는 액적이 광학 캐비티의 하나의 미러로서 기능하는 소위 "자기 타겟팅" 레이저 시스템으로서 구성될 수 있다. 일부 "자기 타겟팅" 배치에서, 마스터 오실레이터가 필요하지 않을 수 있다. 자기 타겟팅 레이저 시스템은 그 전체 내용이 본문에 참조에 의해 미리 통합되는 2006년 10월 13일 출원된 공동 출원중인 미국 특허 출원 제 11/580,414, "EUV 광원용 구동 레이저 전달 시스템", Attorney Docket 번호 2006-0025-01에 개시되고 청구된다.

[0035] 애플리케이션에 따라, 예를 들면, 고 파워와 고 펄스 반복률에서 동작하는 엑시머 또는 분자 플루오르화 레이저와 같은, 다른 유형의 레이저가 또한 적합할 수 있다. 예를 들면, 파이버 또는 디스크형 액티브 미디어를 가진 솔리드 스테이트 레이저, 예를 들면, 오실레이터 챔버 및 하나 이상의 증폭 챔버(병렬 또는 직렬로된 증폭 챔버)와 같은 하나 이상의 챔버를 가진 엑시머 레이저, 마스터 오실레이터/파워 오실레이터(MOPO) 배치, 파워 오실레이터/파워 증폭기(POPA) 배치, 또는 하나 이상의 엑시머 또는 분자 플루오르화 증폭기 또는 오실레이터 챔버를 시딩하는 솔리드 스테이트 레이저가 적합할 수 있다. 다른 설계가 가능하다.

[0036] 도 1에 더 도시된 바와 같이, EUV 광원(20)은 또한 궁극적으로 플라즈마를 산출하고 EUV 방출을 생성하기 위해 예를 들면 제로, 하나 이상의 사전 펄스 및 그 이후의 하나 이상의 메인 펄스와 같은 하나 이상의 광 펄스와 액적이 상호작용하는 조사 영역(28)으로 타겟 재료의 액적을 챔버(26)의 내부로 전달하는, 타겟 재료 전달 시스템(24)을 포함할 수 있다. 타겟 재료는 주석, 리튬, 크세논 또는 그의 조합을 포함하는 재료를 포함하지만 그에 반드시 한정되는 것은 아니다. EUV의 방출 원소, 예를 들면, 주석, 리튬, 크세논 등은, 액체 액적 및/또는 액체 액적내에 포함된 고체 입자의 형태가 될 수 있다. 예를 들면, 주석 원소는 순수한 주석, 예를 들면 SnBr₄, SnBr₂, SnH₄와 같은 주석 화합물, 예를 들면 주석-갈륨 합금, 주석-인듐 합금, 주석-인듐-갈륨 합금과 같은 주석 합금, 또는 그의 조합으로서 사용될 수 있다. 사용된 재료에 따라, 타겟 재료는 실온 또는 실온에 근접한 온도(예를 들면, 주석 합금, SnBr₄), 증가된 온도(예를 들면, 순수한 주석), 또는 실온 미만의 온도(예를 들면, SnH₄)를 포함하는 다양한 온도에서 조사 영역(28)으로 제공될 수 있고, SnBr₄와 같은 일부 경우에는 상대적으로 휘발성이 될 수 있다. LPP EUV 소스에서 이러한 물질의 사용에 관한 상세한 내용은 본문에 그 전체 내용이 참조에 의해 미리 통합된 공동 출원중인 2006년 4월 17일 출원된 미국 특허 출원 제 11/406,216호, "EUV 광원용 대체 연료", Attorney Docket 번호 2006-0003-01에서 제공된다.

[0037] 도 1을 계속 참조하면, EUV 광원(20)은 또한 예를 들면, 몰리브덴과 실리콘의 층을 교대로 하면서 그레이드된 다층 코팅을 가진 절두형 타원체의 형태로된 예를 들면 콜렉터 미러와 같은 광학기기(30)를 포함할 수 있다. 도 1은 광학기기(30)가 시스템(22)에 의해 생성된 광 펄스가 통과하여 조사 영역(28)에 도달하도록 허용하는 어퍼처를 가지고 형성될 수 있다는 것을 도시한다. 도시된 바와 같이, 광학 기기(30)는 조사 영역(28) 내 또는 그에 인접한 제 1 초점, 및 소위 중간 영역(40)에서의 제 2 초점을 가지는 타원형 미러가 될 수 있고, 여기서 EUV 광은 EUV 광원(20)으로부터 출력되어 예를 들면 집적회로 리소그래피 툴(도시되지 않음)과 같은 EUV 광을 활용하는 장치로 입력될 수 있다. 다른 광학기기는 EUV 광을 활용하는 장치로의 후속하는 전달을 위해 광을 수집하여 중간 위치로 지향시키는 타원형 미러의 위치에서 사용될 수 있고, 예를 들면, 광학기기는 포물선형이거나 또는 링 형상 단면을 가진 빔을 중간 위치로 전달하도록 구성될 수 있다. 예를 들면, 그 내용이 참조에 의해 본문에 통합된 공동출원중인 2006년 8월 16일 출원된 미국 특허출원번호 제 11/505,177, EUV 광학기기, Attorney Docket 번호 2006-0027-01을 참조하라.

[0038] 도 1을 계속 참조하면, EUV 광원(20)은 또한 시스템(22)에서 하나 이상의 램프 및/또는 레이저 장치를 트리거하여 챔버(26)로 전달하기 위한 광 펄스를 생성하는 점화 제어 시스템(65)을 구비할 수 있는 EUV 컨트롤러(60)를 포함할 수 있다. EUV 광원(20)은 또한 예를 들면 조사 영역(28)에 비해 하나 이상의 액적의 위치를 나타내는 출력을 제공하는 하나 이상의 액적 이미저(70)를 포함할 수 있는 액적 위치 보호 시스템을 포함할 수 있다. 이

미저(들)(70)는 이러한 출력을 액적 위치 검출 피드백 시스템(62)으로 제공할 수 있고, 이는 예를 들면 액적 위치 및 궤적을 연산할 수 있고, 이로부터 액적 오차는 예를 들면 액적-바이-액적 기준 또는 평균으로 연산될 수 있다. 액적 오차는 그런다음 입력으로서 컨트롤러(60)로 제공되고, 예를 들면 챔버(26)에서 조사 영역(28)으로 전달되는 광 펄스의 위치 및/또는 포컬 파워를 변경시키기 위해 소스 타이밍 회로를 제어하고 및/또는 빔 위치 및 형성 시스템을 제어하도록 위치, 방향 및/또는 타이밍 보정 신호를 시스템(22)으로 제공할 수 있다.

[0039] EUV 광원(20)은 소스(20)에 의해 생성된 EUV 광의 다양한 속성을 측정하기 위해 하나 이상의 EUV 측정 기기를 포함할 수 있다. 이들 속성은 예를 들면 강도(예를 들면, 총 강도 또는 특정 스펙트럼 대역내에서의 강도), 스펙트럼 대역폭, 편광, 빔 위치, 포인팅 등을 포함할 수 있다. EUV 광원(20)에 대해, 기기(들)는 예를 들면 포토리소그래피 스캐너와 같은 다운스트림 툴이 온라인인 동안, 예를 들면 픽오프 미러를 이용하여 EUV 출력의 일부를 샘플링하거나 또는 "집속되지 않은" EUV 광을 샘플링함으로써 동작하도록 구성될 수 있고, 및/또는 예를 들면 포토리소그래피 스캐너와 같은 다운스트림 툴이 오프라인인 동안 예를 들면 EUV 광원(20)의 전체 EUV 출력을 측정함으로써 동작할 수 있다.

[0040] 도 1에 더 도시된 바와 같이, EUV 광원(20)은 예를 들면 액적 소스(92)로부터의 타겟 재료의 해제 포인트를 변경하고 및/또는 액적 형성 타이밍을 변경하고, 원하는 조사 영역(28)에 도달한 액적에서의 오류에 대해 보정하고 및/또는 액적의 생성과 필링된 레이저 시스템(22)을 동기화하기 위해, 컨트롤러(60)로부터의 신호(일부 구현에서, 상술한 액적 오차 또는 그로부터 도출된 일부 양을 포함하는)에 반응하여 동작가능한 액적 제어 시스템(90)을 포함할 수 있다.

[0041] 도 2는 개략적인 포맷의 간략화된 액적 소스(92)의 컴포넌트를 도시한다. 도시된 바와 같이, 액적 소스(92)는 압력하에서 용융 주석과 같은 유체를 유지하는 저장소(94)를 포함할 수 있다. 또한 도시된 바와 같이, 저장소(94)는 가압 유체(96)가 후속하여 복수의 액적(102a, b)으로 분리되는 연속한 스트림(100)을 구축하는 오리피스(98)를 통해 흐르도록 하는 오리피스(98)로 형성될 수 있다.

[0042] 도 2를 계속해서 참조하면, 더 도시된 액적 소스(92)는 유체와 동작가능하게 커플링된 전기-작동가능 엘리먼트(104)와 전기-작동가능 엘리먼트(104)를 구동시키는 신호 발생기(106)를 구비한 유체에 교란을 생성시키는 서브-시스템을 더 포함한다. 도 2a-2d는 하나 이상의 전기-작동가능 엘리먼트가 유체와 동작가능하게 커플링되어 액적을 생성할 수 있는 다양한 방식을 도시한다. 도 2a로 시작하면, 압력하에서 저장소(108)로부터 예를 들면 캐필러리 튜브와 같은, 약 0.5mm-0.8mm 사이의 내부 직경, 약 10-50mmdm1 길이를 가진 튜브(110)를 통해 유체가 흐르도록 힘이 가해져서, 후속하여 액적(116a, b)으로 분리되는 튜브(110)의 오리피스(114)를 빠져나오는 연속한 스트림(112)을 생성하는 배치가 도시된다. 도시된 바와 같이, 전기-작동가능 엘리먼트(118)는 튜브와 결합될 수 있다. 예를 들면, 전기-작동가능 엘리먼트는 튜브(110)를 막고 스트림(112)을 교란시키기 위해 튜브(110)에 결합될 수 있다. 도 2b는 각각의 주파수에서 튜브(122)를 막기 위해 각각 튜브(122)에 결합된, 저장소(120), 튜브(122) 및 한 쌍의 전기-작동가능 엘리먼트(124, 126)를 구비한 유사한 배치를 도시한다. 도 2c는 액적(136a, b)로 분리되는 스트림(134)을 생성하도록 유체로 하여금 오리피스(132)를 통과하여 흐르도록 강제하는 이동가능한 저장소(130)에 플레이트(128)가 배치되는 또다른 변형을 도시한다. 도시된 바와 같이, 힘이 플레이트(128)로 인가될 수 있고, 하나 이상의 전기-작동가능 엘리먼트(138)가 스트림(134)을 교란시키기 위해 플레이트로 결합될 수 있다. 캐필러리 튜브가 도 2c에 도시된 실시예로 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 도 2d는 후속하여 액적(148a, b)으로 분리되는 튜브(142)의 오리피스(146)를 빠져나오는 연속한 스트림(144)을 생성하는, 압력하에서 저장소(140)로부터 튜브(142)를 통과하여 유체가 흐르도록 강제되는 또다른 변형을 도시한다. 도시된 바와 같이, 예를 들면 링-형 형상을 가진 전기-작동가능 엘리먼트(150)가 튜브(142) 주변에 배치될 수 있다. 구동시, 전기-작동가능 엘리먼트(142)는 스트림(144)을 교란시키기 위해 선택적으로 튜브(142)를 짜내고(squeeze) 및/또는 짜내지않을 수 있다(unsqueeze). 2개 이상의 전기-작동가능 엘리먼트가 각각의 주파수에서 선택적으로 튜브(142)를 짜내기 위해 채용될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0043] 다양한 액적 분출기(dispenser) 구성 및 그의 연관된 이점에 관한 보다 상세한 사항은 각각 본문에 그 내용이 참조에 의해 통합된, 공동 출원중인 2006년 2월 21일 출원된, 미국특허출원 번호 제 11/358,988, 사전필스를 가진 레이저 산출 플라즈마 EUV 광원, Attorney Docket 번호 2005-0085-01; 공동 출원중인 2005년 2월 25일 출원된, 미국특허출원 번호 제 11/067,124, EUV 플라즈마 소스 타겟 전달용 방법 및 장치, Attorney Docket 번호 2004-0008-01; 공동 출원중인 2005년 6월 29일 출원된, 미국특허출원 번호 제 11/174,443, LPP EUV 플라즈마 소스 재료 타겟 전달 시스템, Attorney Docket 번호 2005-0003-01;에서 볼 수 있다.

[0044] 도 3(종래 기술)은 단일 주파수 사인파 교란 파형(202)(약 $0.3\text{ V}/(\pi d)$ 이상의 교란 주파수에 대해)으로부터 발

생하는 액적(200) 패턴을 도시한다. 각각의 기간의 교란 파형은 액적을 산출한다는 것을 볼 수 있다. 도 3은 또한 액적이 함께 병합하는 것이 아니라, 각각의 액적이 동일한 최초 속도로 구축된다는 것을 도시한다.

[0045] 도 4는 진폭 변조 교란 파형(302)으로부터 최초로 발생한 액적(300)의 패턴을 도시하지만, 이는 그러나 약 $0.3v/(\pi d)$ 이상의 교란 주파수에 한정되지 않는다는 점에서 상술한 교란 파형(202)과 상이하다. 진폭 변조 파형 교란(302)이 파장 λ_c 에 대응하는 반송 주파수(carrier frequency)와 같은 상대적으로 큰 주파수와, λ_m 에 대응하는 변조 주파수와 같은 더 작은 주파수인, 2개의 특성 주파수를 포함한다. 도 4에 도시된 특정 교란 파형 예시에 대해, 변조 주파수는 반송 주파수 저조파이고, 특히, 변조 주파수는 반송 주파수의 1/3이다. 이러한 파형으로, 도 4는 λ_c 에 대응하는 각각의 기간의 교란 파형이 액적을 산출하는 것을 도시한다. 도 4는 또한 변조 주파수 λ_m 에 대응하는 각각의 기간의 교란 파형에 대해 하나의 더 큰 액적을 가지고, 액적이 함께 병합하여 더 큰 액적(304)의 스트림을 야기하는 것을 도시한다. 화살표(306a, b)는 변조 파형 교란(302)에 의해 액적에 부여되고 액적의 병합의 원인이 되는 된 최초 상대 속도 컴포넌트를 도시한다.

[0046] 도 5는 상술한 교란 파형(302)과 유사한, $0.3v/(\pi d)$ 이상의 교란 주파수에 한정되지 않는 주파수 변조 교란 파형(402)으로부터 최초에 야기된 액적(400) 패턴을 도시한다. 주파수 변조 파형 교란(402)은 파장 λ_c 에 대응하는 반송 주파수와 같은 상대적으로 큰 주파수와, 파장 λ_m 에 대응하는 변조 주파수와 같은 더 작은 주파수인, 2개의 특성 주파수를 포함한다는 것을 볼 수 있다. 도 5에 도시된 특정 교란 파형 예시에 대해, 변조 주파수는 반송 주파수 고조파이고, 특히, 변조 주파수는 반송 주파수의 1/3이다. 이러한 파형으로, 도 5는 반송파 파장 λ_c 에 대응하는 각각의 기간의 교란 파형이 액적을 산출하는 것을 도시한다. 도 5는 또한 변조 파장 λ_m 에 대응하는 각각의 기간의 교란 파형에 대해 하나의 더 큰 액적을 가지고, 액적이 함께 병합하여 더 큰 액적(404)의 스트림을 야기하는 것을 도시한다. 진폭 변조 교란(즉, 도 4)과 유사하게, 최초 상대 속도 컴포넌트가 주파수 변조 파형 교란(402)에 의해 액적에 부여되고, 액적의 병합의 원인이 된다.

[0047] 도 4 및 도 5가 2개의 특성 주파수를 갖는 실시예를 도시하고 기술하며, 도 4는 2개의 특성 주파수를 가지는 진폭 변조 교란을 도시하고, 도 5는 2개의 주파수를 갖는 주파수 변조 교란을 도시하지만, 2 개 이상의 특성 주파수가 채용될 수 있고 변조는 각도 변조(즉, 주파수 또는 위상 변조), 진폭 변조, 또는 그의 조합이 될 수 있다는 것을 이해해야한다.

[0048] 도 6은 100kHz의 주파수를 가지는 단일 주파수, 비변조 파형 교란(상부 사진); 100kHz의 반송 주파수 및 상대적으로 강한 변조 깊이의 10kHz의 변조 주파수를 가지는 주파수 변조 파형 교란(상부 사진으로부터 2번째); 100kHz의 반송 주파수 및 상대적으로 약한 변조 깊이의 10kHz의 변조 주파수를 가지는 주파수 변조 파형 교란(상부 사진으로부터 3번째); 100kHz의 반송 주파수 및 15kHz의 변조 주파수를 가지는 주파수 변조 파형 교란(상부 사진으로부터 4번째); 및 100kHz의 반송 주파수 및 20kHz의 변조 주파수를 가지는 주파수 변조 파형 교란(바닥 사진);에 대해, 약 $70\mu m$ 의 오리피스 직경, $\sim 30m/s$ 의 스트림 속도를 가진 도 2d와 유사한 장치를 이용하여 획득된 주석 액적의 사진을 도시한다.

[0049] 이들 사진은 약 3.14mm 만큼 공간을 두고 이격되고 단일 주파수, 비변조 파형 교란을 이용하여 본 액적 크기 및 반복률에서는 구현될 수 없는 간격을 가지는 약 $265\mu m$ 의 직경을 갖는 주석 액적이 산출될 수 있다는 것을 표시한다.

[0050] 측정치는 단일 주파수, 비변조 파형 교란을 이용하여 유사한 조건 하에서 관찰된 지터보다 실질적으로 더 적은 변조 기간의 약 0.14 %의 지터 타이밍을 표시한다. 개별 액적의 불안정성은 다수의 병합 액적에 대해 평균을 구하기 때문에 이러한 효과가 달성된다.

[0051] 도 7은 변조, 예를 들면, 다중 주파수, 교란 파형(또한 도 6의 상단에서 4번째 사진 참조)을 사용하여 산출된 액적 패턴(600)을 도시한다. 또한 도시된 바와 같이, 액적 쌍은 오리피스(604)에서 선택된 거리에서 형성된다. 도시된 바와 같이, 액적 쌍이 조사 영역에 도달하는 이러한 액적 패턴이, 액적(608b)이 플라스마 켜꺼기로부터의 후속하는 액적 쌍(610)을 보호하면서 액적(608a)이 레이저(22')에 의한 조사시 EUV 방출 플라스마를 구축할 수 있도록 한다.

[0052] 도 8은 EUV 방출 플라스마를 산출하기 위해 제 2 액적(702b)을 조사하는 레이저 발진 출력 레이저 빔을 초기화하는 자기 유도 레이저 시스템(704)으로 광을 반사하는 제 1 액적(702a)을 가지고 액적 쌍이 조사 영역에 도달하는 변조된, 예를 들면, 다중 주파수, 교란 파형을 이용하여 도달가능한 액적 패턴(700)을 도시한다.

- [0053] 자기 유도 레이저 시스템(704)은 공동 출원중인 2006년 10월 13일 출원된 미국특허출원번호 제 11/580,414, EUV 광원용 구동 레이저 전달 시스템, Attorney Docket 번호 2006-0025-01에 보다 완전히 기술되어 있다. 특히, 그 전체 내용이 참조에 의해 미리 통합되어있는, US 11/580,414의 도 5를 참조하라. 하기가 11/580,414 특허출원의 도 5에 대응하는 레이저 시스템(704)을 기술하지만, 이러한 설명은 11/580,414 특허출원에 개시된 다른 자기 유도 레이저(즉, 도 6-16)에 동일하게 적용가능하다는 것이 이해될 것이다.
- [0054] 도 8을 계속 참조하면, 자기 유도 레이저 시스템(704)은 광학 증폭기(706a, b, c)를 포함할 수 있다는 것을 볼 수 있다. 예를 들면, 광학 증폭기(706)는 10.6 μ m의 파장에서 광을 증폭하고 상대적으로 고 2-패스 이득(즉, 약 1,000,000의 2개의 패스 이득)을 가지는 CW 펄핑된, 다중 챔버, CO₂ 레이저 증폭기가 될 수 있다. 더 도시된 바와 같이, 증폭기(706)는 직렬로 배치되고, 각각의 챔버가 자신의 액티브 미디어 및 예를 들면 전극과 같은 여기 소스를 가진 증폭기 챔버(706a-c)의 체인을 포함할 수 있다.
- [0055] 사용시, 타겟 재료의 제 1 액적(702a)은 증폭기(706)를 통해 연장하는 빔 경로(710)를 관통하거나 그에 인접한 궤적에 배치된다. 증폭기(706)로부터 자연스럽게 방출된 포톤은 액적에 의해 산란될 수 있고, 일부 산란된 포톤은 그것들이 증폭기(706)를 통과해 이동하는 경로(710)에 배치될 수 있다. 도시된 바와 같이, 광학기기(708)는 증폭기(706)로부터의 경로(710) 상에서 포톤을 수용하고 빔을 다시 제 2 액적(702b)과의 후속하는 상호작용을 위해 증폭기(706)를 통해 지향시켜 EUV 광 방출 플라즈마를 산출하도록 배치될 수 있다. 이러한 배치에 대해, 광학기기(708)는 예를 들면, 평면 거울, 곡선 거울, 위상 공액 거울 또는 코너 반사기가 될 수 있다. 예를 들면, 렌즈와 같은 광학 엘리먼트(714)는 액적으로부터 증폭기(706)로 들어가는 광을 시준하고 증폭기(706)로부터 액적으로 이동하는 광을 포커싱하기 위해 배치될 수 있다. 선택적인 광학 지연(716)은 제 1 및 제 2 액적이 조사 위치에 도달한 시간 사이에 필요한 시간 지연을 구축하기 위해 제공될 수 있다. 상이한 액적을 사용하는 이점 중 하나는 액적의 크기가 자신의 특정 기능(즉, 반사 대 플라즈마 산출)에 대해 독립적으로 최적화될 수 있다는 것이다.
- [0056] 도 8a는 변조, 예를 들면 다중 주파수, 교란 파형(상술한) 또는 필싱된 파형(하기에 기술되는)을 이용하여 달성 가능한 액적 패턴(700')을 도시하고, 여기서 액적 더블릿은 플라즈마를 산출하기 위해 조사되는 액적 더블릿에서의 각각의 액적을 가지고 조사 위치로 도달한다. 특히, 더블릿에서의 액적 모두는 플라즈마와 EUV 광을 산출하고, 양 액적 모두는 증폭기(706a'-c')에서의 단일 이득 반전을 가지고 산출된 레이저 빔에 의해 조사될 수 있다. 이러한 배치를 위해, 증가된 EUV 출력 파워가 단일 액적으로 산출된 EUV 출력에 비해 각각의 이득 반전에 대해 획득될 수 있다. 일부 경우에, 액적 더블릿에서의 적어도 하나의 액적은 직경 d를 가지고, 조사 위치에 도달하고, 및 각각의 더블릿 내에서 중심에서 중심까지의 액적 간격 D($d \leq D \leq 4d$)를 가지도록 액적으로 이용하는 것이 이점이 있을 수 있다. 액적은 실질적으로 직경이 동일하거나, 또는 하나의 액적이 다른 액적 보다 더 클 수 있다.
- [0057] 도 8a를 계속 참조하면, 자기 유도 레이저 시스템(704')이 광학 증폭기(706a' b', c')를 포함할 수 있다는 것을 볼 수 있다. 예를 들면, 광학 증폭기(706')는 10.6 μ m의 파장에서 광을 증폭하고 상대적으로 고 2-패스 이득(예를 들면, 약 1,000,000의 2개의 패스 이득)을 가지는 CW 펄핑된, 다중 챔버, CO₂ 레이저 증폭기가 될 수 있다. 더 도시된 바와 같이, 증폭기(706')는 직렬로 배치되고, 각각의 챔버가 자신의 액티브 미디어 및 예를 들면 전극과 같은 여기 소스를 가진 증폭기 챔버(706a'-c')의 체인을 포함할 수 있다.
- [0058] 사용시, 타겟 재료의 제 1 액적(702b')은 증폭기(706')를 통해 연장하는 빔 경로(710')를 관통하거나 그에 인접한 궤적에 배치된다. 증폭기(706')로부터 자연스럽게 방출된 포톤은 액적에 의해 산란될 수 있고, 일부 산란된 포톤은 그것들이 증폭기(706')를 통과해 이동하는 경로(710')에 배치될 수 있다. 도시된 바와 같이, 광학기기(708')는 증폭기(706')로부터 경로(710') 상에서 포톤을 수용하고 빔을 다시 증폭기(706')를 통해 지향시키도록 배치될 수 있다. 레이저 빔은 그런다음 빔 경로(710')를 따라 구축되어 액적(702b')을 조사하고 EUV 광 방출 플라즈마를 산출하여 액적(702a')이 빔 경로(701')에 도달할 때까지 플라즈마와 광학기기(708') 사이에 구축된 광학 캐비티에서 계속해서 순환할 수 있다. 액적(702a')은 그런다음 EUV 광 방출 플라즈마를 산출하기 위해 조사된다. 이러한 배치에 대해, 광학기기(708')는 예를 들면, 평면 거울, 곡선 거울, 위상 공액 거울 또는 코너 반사기가 될 수 있다. 예를 들면, 렌즈와 같은 광학 엘리먼트(714')는 액적으로부터 증폭기(706')로 들어가는 광을 시준하고 증폭기(706')로부터 액적으로 이동하는 광을 포커싱하기 위해 배치될 수 있다. 일부 구현에서, 더블릿에서의 액적은 조사 전에 또는 조사하는 동안 병합하여 기다란 액적을 형성할 수 있다.
- [0059] 도 9-12를 지금 참조하면, 출원인은 상술한 변조, 예를 들면 다중 주파수 교란 파형에 추가하여, 주파수 최소값(상술한 바와 같이, 약, 0.3v/(π d)) 미만의 병합된 액적의 안정적인 스트림을 산출하도록 제어될 수 있고, 그

렇지 않으면 단일한 주파수 사인과 비변조 파형 교란을 이용하는 안정적인 액적 산출을 제한하는 병합하는 액적 스트림을 산출하도록 다른 파형이 사용될 수 있다.

[0060] 특히, 이러한 파형은 제어되고 예측가능하고, 반복가능하고, 및/또는 랜덤이 아닌 스트림 내에서 상이한 최초 속도를 가진 액적 스트림을 생성하는 유체에서의 교란을 산출할 수 있다.

[0061] 예를 들면, 전기-작동가능 엘리먼트를 이용하여 교란을 산출하는 액적 생성기에 대해, 전기-작동가능 엘리먼트의 동작가능한 반응 범위 내에서의 기본 주파수와 기본 주파수의 적어도 하나의 고조파를 생성하기 위해 파형기간의 길이에 비해 충분히 짧은 증가 시간 및/또는 감소 시간을 가지는 각각의 펄스를 가진, 일련의 펄스 파형이 사용될 수 있다.

[0062] 본문에 사용된 바와 같이, 기본 주파수라는 용어와 그의 파생물은, 아울렛 오리피스로 흐르는 유체를 교란시키는 주파수 및/또는 유체에서 교란을 산출하는 전기-작동가능 엘리먼트를 가지는, 노즐과 같은, 액적을 생성하는 서브시스템으로 적용되는 주파수;를 의미하고, 스트림에서의 액적이 동일하게 공간을 두고 이격된 액적의 패턴으로 완전히 병합되도록 허용되면, 기본 주파수 기간당 하나의 완전히 병합된 액적이 있을 수 있도록 액적 스트림을 산출한다.

[0063] 적합한 펄스 파형의 예는 빠른 펄스(도 13a), 빠른 램프 파(도 14a), 및 사인함수파(도 15a)와 같은 충분히 짧은 증가-시간 및/또는 감소-시간을 가지는 구형파(도 9), 직사각파, 및 피크가있는-비정현파를 포함하지만 반드시 그에 한정되는 것은 아니다.

[0064] 도 9는 사인과 신호의 홀수 고조파의 중첩으로서 구형파(800)의 표현을 도시한다. 주의: 주파수 f 의 제 1의 2개의 고조파만 단순화를 위해 도시된다. 정확한 구형파 형상은 점차적으로 더 작아지는 진폭을 가진 무한한 수의 홀수 고조파로 얻어질 수 있다는 것이 이해될 것이다. 보다 상세히, 구형파(800)는 구형파의 기본 주파수, f 를 가진 사인파와 그의 더 높은 차수의 홀수 고조파인 $3f$ (파형(804)), $5f$ (파형(806));등의 조합으로서 수학적으로 표시될 수 있다:

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

[0065] 여기서, t 는 시간이고, $v(t)$ 는 파의 순간 진폭(즉, 전압), 및 ω 는 각 주파수이다. 따라서, 구형파 신호를 예를 들면 압전 기기와 같은 전기-작동가능 엘리먼트에 적용하는 것은, 기본 주파수 $f = \omega / 2\pi$ 뿐 아니라, 이러한 주파수의 더 높은 고조파, $3f$, $5f$ 등에서의 기계적 진동을 가져올 수 있다. 이는 일반적인 경우에, 전기-작동가능 엘리먼트를 채용하는 액적 생성기의 한정된, 그리고 매우 균질하지 않은 주파수 응답에 기인하여 가능하다. 구형파 신호의 기본 주파수는 $0.3v / (\pi d)$ 의 제한값을 초과하면, 상기 주파수에서의 단일한 액적의 형성이 효과적으로 금지되고 액적이 더 높은 고조파에서 생성된다. 상술한 진폭 및 주파수 변조의 경우에서처럼, 스트림에서의 인접한 액적들에 비해, 구형파 신호로 산출된 액적은 결과적으로 주파수 f 를 가지는 더 큰 액적들로 병합하도록 하는 상이한 속도를 가진다. 일부 구현에서, EUV 광원은 복수의 액적들이 기간마다 산출되고, 각각의 액적은 후속하는 액적보다 상이한 초기 속도를 가져서: 1) 조사 위치에 도달하기 전에 적어도 2개의 액적이 병합하거나; 또는 2) 액적들이 근접하여 공간을 두고 배치된, 액적 더블릿(하기를 참조)을 포함하는 패턴과 같은 원하는 패턴을 산출하도록 구성된다.

[0067] 도 10 및 11은 30kHz에서의 구형파 변조로 얻어지는 액적의 이미지를 도시한다. 단순한 사인과 변조로, 기간마다 단일한 액적이 본 실험에서 사용된 액적 생성기에 대해 얻어질 수 있는 가장 낮은 변조 주파수는 110kHz였다. 도 10에 도시된 이미지는 출력 오리피스로부터 ~40mm에서 취해지고, 도 11에 도시된 이미지는 액적이 이미 병합된 출력 오리피스로부터 ~120mm에서 추후에 취해진다. 이러한 예시는 특정 액적 생성기 구성의 자연스러운, 저-주파수 제한보다 더 낮은 주파수에서 액적을 획득하도록 구형파 변조를 이용하는 이점을 나타낸다.

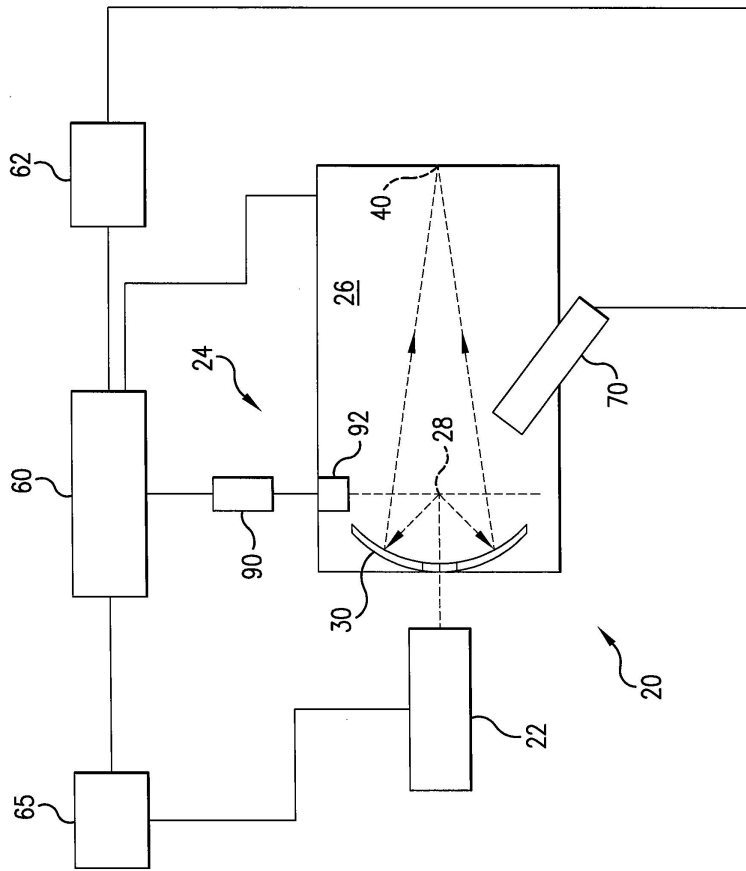
[0068] 유사한 논의가 빠른 펄스(도 13a), 빠른 램프 파(도 14a), 및 사인함수 파(도 15a)를 포함하는(그러나 그에 한정되지 않음) 짧은 증가 시간 및/또는 감소 시간을 가지는 다중 고조파를 가진 다양한 반복 신호에 적용될 수 있다. 예를 들면, 톱니파 파형은 기본 주파수의 홀수 고조파 뿐 아니라 짝수 고조파도 포함하여, 또한 저주파 변조 제한을 극복하고 액적 생성기의 안정성을 개선하기 위해 효과적으로 사용될 수 있다. 일부 경우, 특정 액적 생성기 구성은 다른 것 보다 일부 주파수에 보다 더 반응할 수 있다. 이러한 경우, 더 큰 수의 주파수를 생

성하는 파형이 특정 액적 생성기의 반응 주파수와 매칭하는 주파수를 더 잘 포함한다.

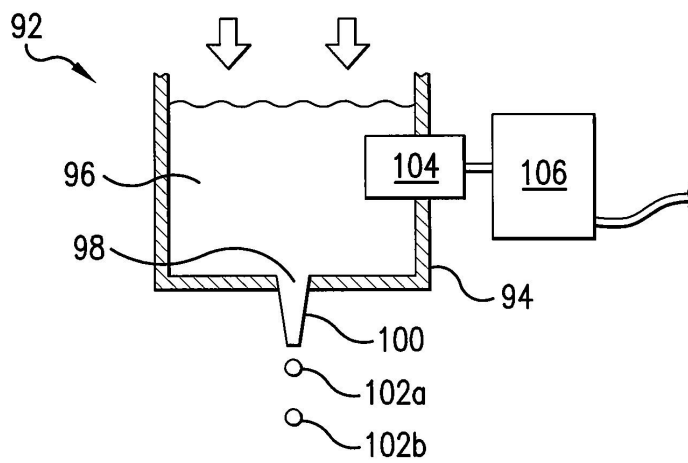
- [0069] 도 12a는 액적 생성기를 구동시키는 직사각파(900)를 도시하고, 도 12b는 직사각파의 일정 기간동안 다양한 크기의 기본 주파수(902a) 및 고조파(902b-h)를 가진 대응하는 주파수 스펙트럼을 도시한다. 도 12c는 직사각파에 의해 구동되는 액적 생성기의 출력 오리피스로부터 20mm에서 취해진 액적의 이미지와, 병합하기 시작하는 액적들을 도시한다. 도 12d는 액적들이 완전히 병합한 후에 출력 오리피스로부터 450mm에서 취해진 액적의 이미지를 도시한다.
- [0070] 도 13a는 액적 생성기를 구동시키는 일련의 고속 펄스(1000)를 도시하고, 도 13b는 직사각파의 일정 기간동안 다양한 크기의 기본 주파수(1002a) 및 고조파(1002b-i)를 가지는 대응하는 주파수 스펙트럼을 도시한다. 도 13c는 일련의 빠른 펄스에 의해 구동되는 액적 생성기의 출력 오리피스로부터 20mm에서 취해진 액적의 이미지를 도시하고, 병합하기 시작하는 액적들을 도시한다. 도 13d는 액적들이 완전히 병합한 후에 출력 오리피스로부터 450mm에서 취해진 액적의 이미지를 도시한다.
- [0071] 도 14a는 액적 생성기를 구동시키는 빠른 램프파(1100)를 도시하고, 도 14b는 직사각파의 일정 기간동안 다양한 크기의 기본 주파수(1102a) 및 고조파(1102b-p)를 가진 대응하는 주파수 스펙트럼을 도시한다. 도 14c는 빠른 램프파에 의해 구동되는 액적 생성기의 출력 오리피스로부터 20mm에서 취해진 액적의 이미지와, 병합하기 시작하는 액적들을 도시한다. 도 14d는 액적들이 완전히 병합한 후에 출력 오리피스로부터 450mm에서 취해진 액적의 이미지를 도시한다.
- [0072] 도 15a는 액적 생성기를 구동시키는 사인함수 파(1200)를 도시하고, 도 15b는 직사각파의 일정 기간동안 다양한 크기의 기본 주파수(1202a) 및 고조파(1202b-l)를 가진 대응하는 주파수 스펙트럼을 도시한다. 도 15c는 사인함수 파에 의해 구동되는 액적 생성기의 출력 오리피스로부터 20mm에서 취해진 액적의 이미지와, 병합하기 시작하는 액적들을 도시한다. 도 15d는 액적들이 완전히 병합한 후에 출력 오리피스로부터 450mm에서 취해진 액적의 이미지를 도시한다.
- [0073] 35 U.S.C. § 112를 만족시키는 데에 필요한 본 특허 출원에서 상세히 기술되고 예시된 특정한 실시예(들)이 상술한 실시예(들)에 대한 상술한 목적, 그에 의해 해결될 문제, 또는 기타 다른 이유, 또는 그를 위한 대상 중 하나 이상을 완전히 달성할 수 있지만, 당업자는, 상술한 실시예(들)이 본 출원에 의해 폭넓게 사용되는 제재의 단순히 예시적이고, 일례로 든, 대표적인 실시예임을 이해해야한다. 단수형으로 하기의 청구범위들의 구성요소를 참조하는 것은 명확하게 기술되지 않는다면, 이러한 청구범위의 구성요소는 "하나 이상"이 아니라 "하나 및 하나만"을 의미하도록 번역되어서도 안되고, 그것을 의도하는 것도 아니다. 당업자에 공지된 또는 차후 알려지게 될 상술한 실시예(들)의 임의의 구성 요소에 상응하는 모든 구조적 및 기능적 등가물은 참조에 의해 본문에 통합되고, 본 청구범위에 의해 커버되도록 의도된다. 본 출원서의 명세서 및/또는 청구범위에서 사용된 용어와 명세서 및/또는 청구범위에서 표현된 주어진 의미는 이러한 용어에 대해 사전 또는 기타 공통으로 사용되는 의미에 관계없이 그 의미를 가진다. 본 청구범위에 의해 커버되는 것에 대해, 본 출원서에서 개시된 각 문제 및 모든 문제를 처리 또는 해결하기 위한 실시예로서 상기 명세서에서 논의된 장치 및 방법을 의도하지 않으며, 그에 필수적인 것도 아니다. 본 개시물에서의 구성요소, 컴포넌트, 및 방법의 단계 중 어떤 것도 상기 구성요소, 컴포넌트, 또는 방법의 단계가 상기 청구범위에서 명확하게 인용되는지 여부에 관계없이 공개되는 것을 의도하는 것은 아니다. 첨부된 청구범위에서의 청구범위의 구성요소는, 상기 구성요소가 "~을 의미한다"는 구를 사용하는 것으로, 방법 청구항의 경우에는 상기 구성요소가 "동작" 대신에 "단계"로서 기술되는 것으로 명확하게 기술되지 않는다면, 35 U.S.C. § 112, 6항 규정에 따라 해석되지 않는다.

도면

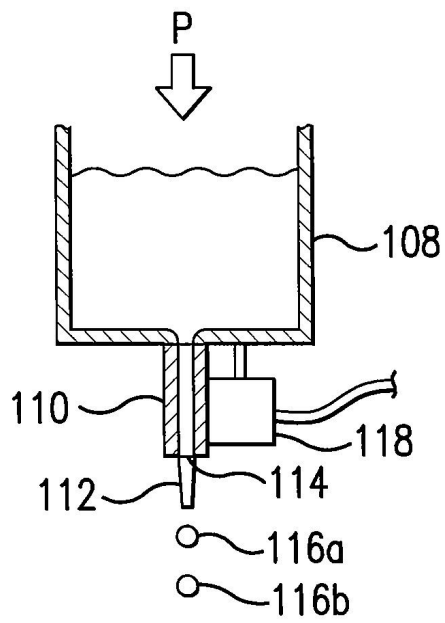
도면1



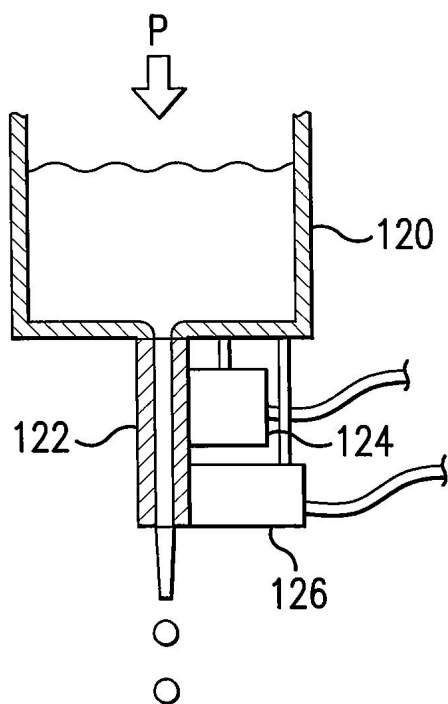
도면2



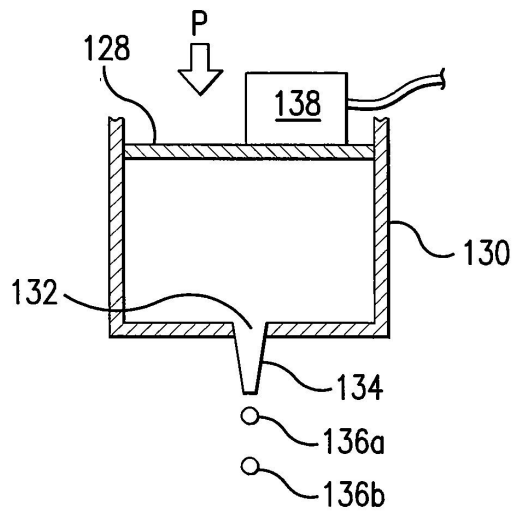
도면2a



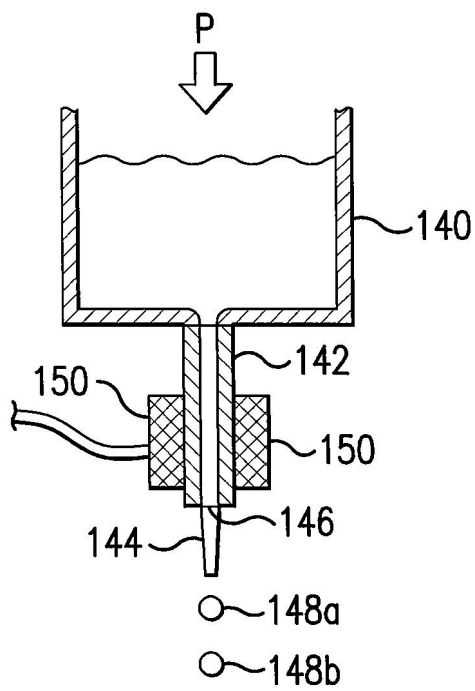
도면2b



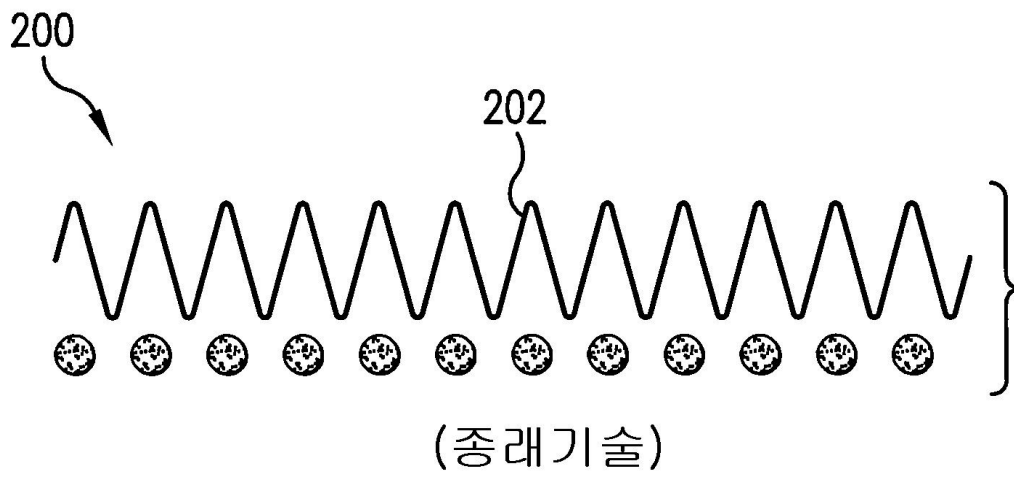
도면2c



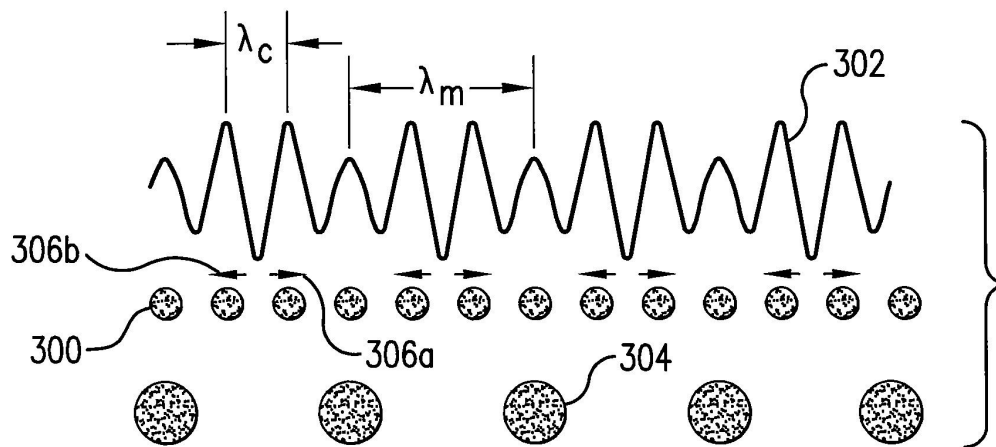
도면2d



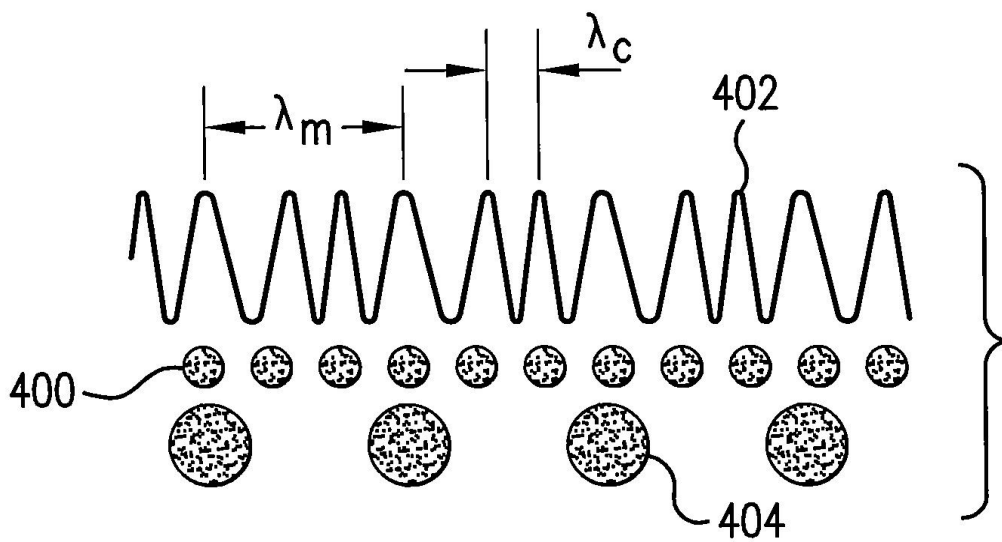
도면3



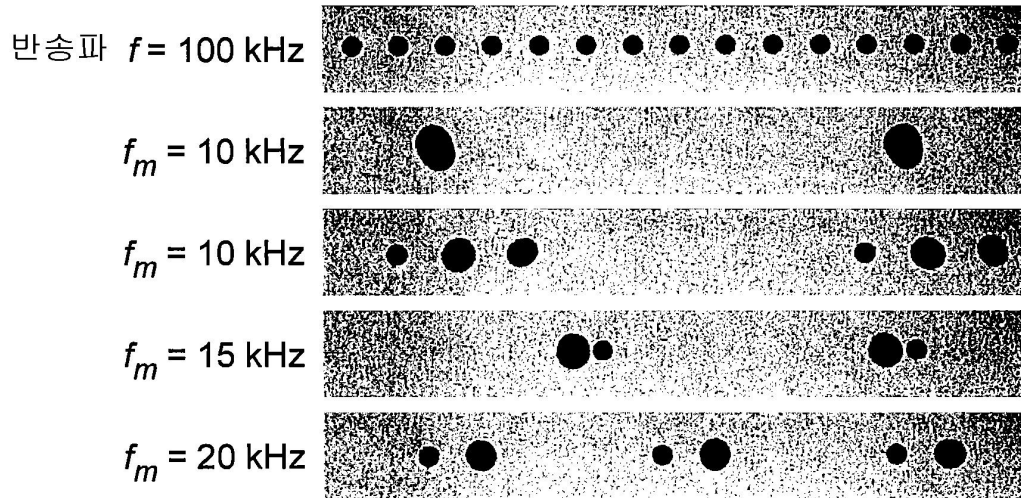
도면4



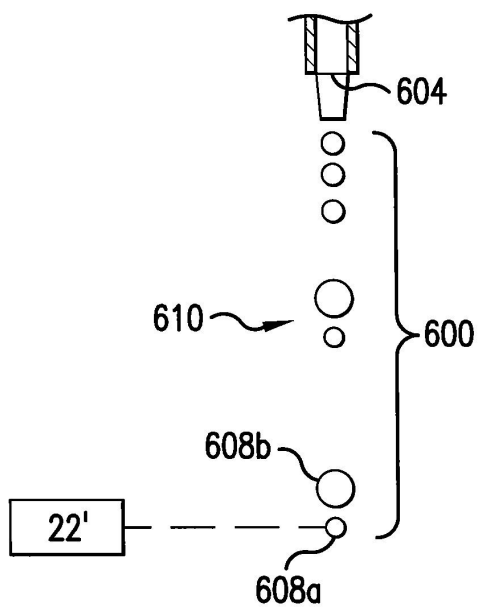
도면5



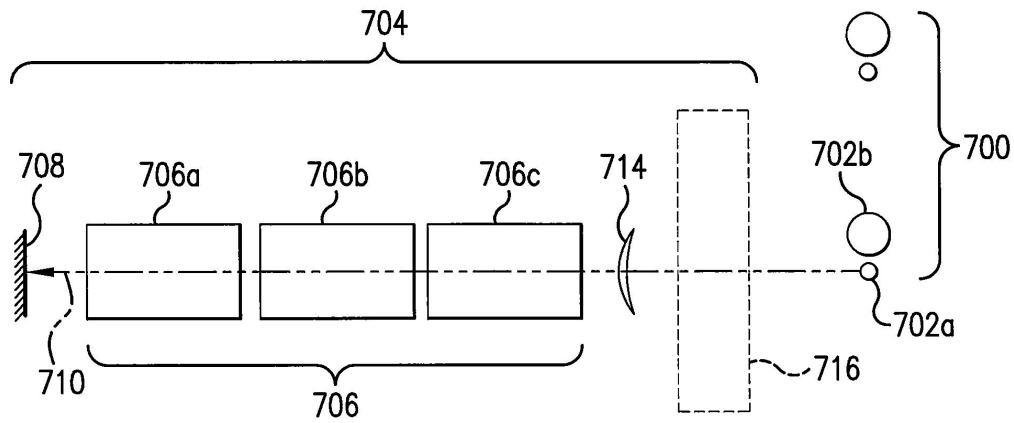
도면6



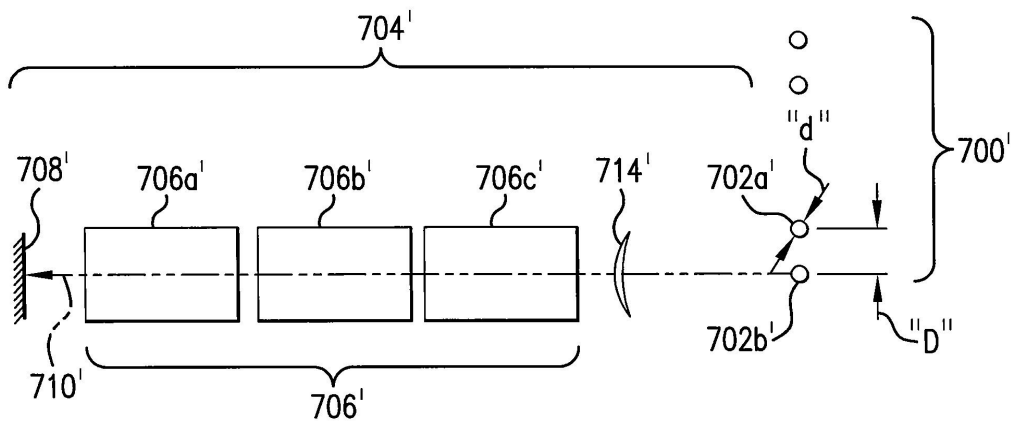
도면7



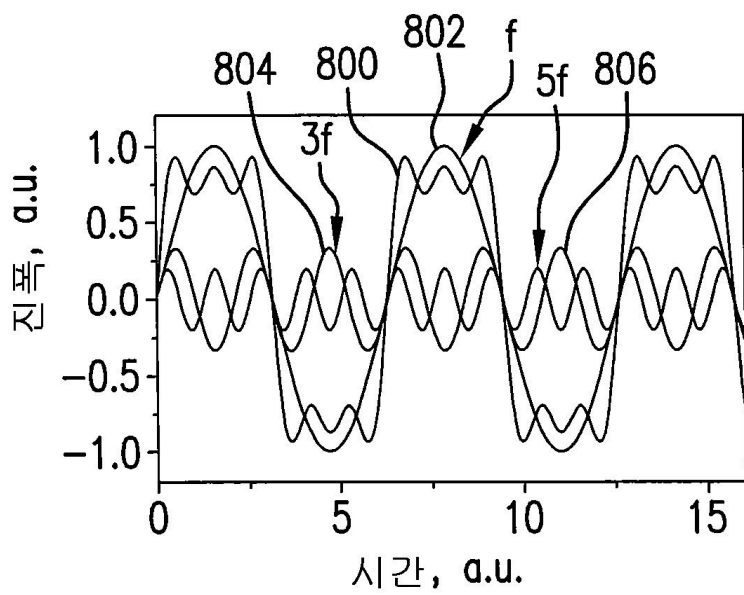
도면8



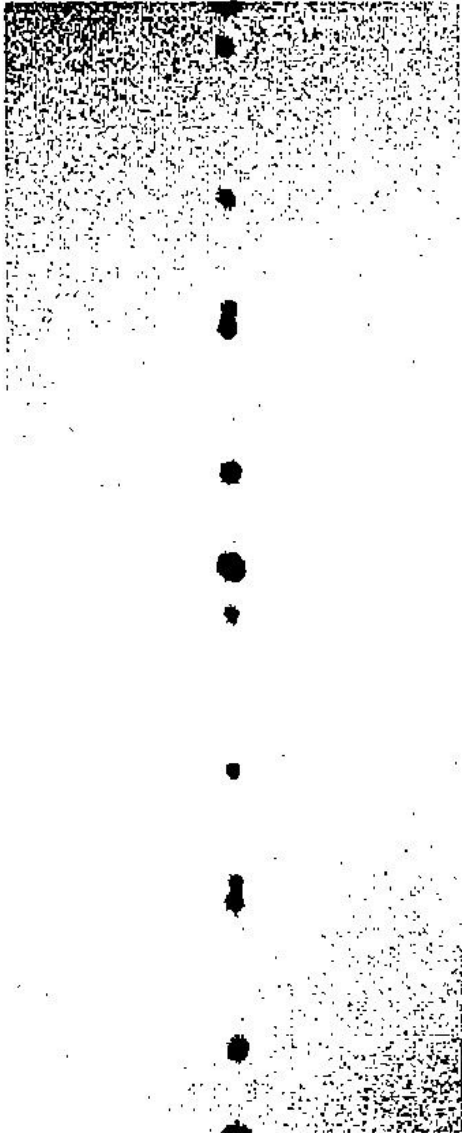
도면8a



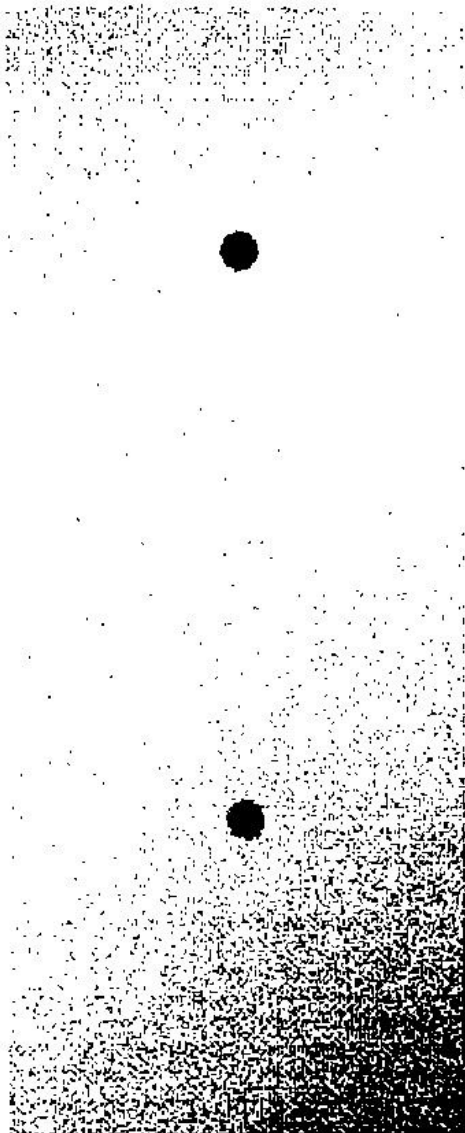
도면9



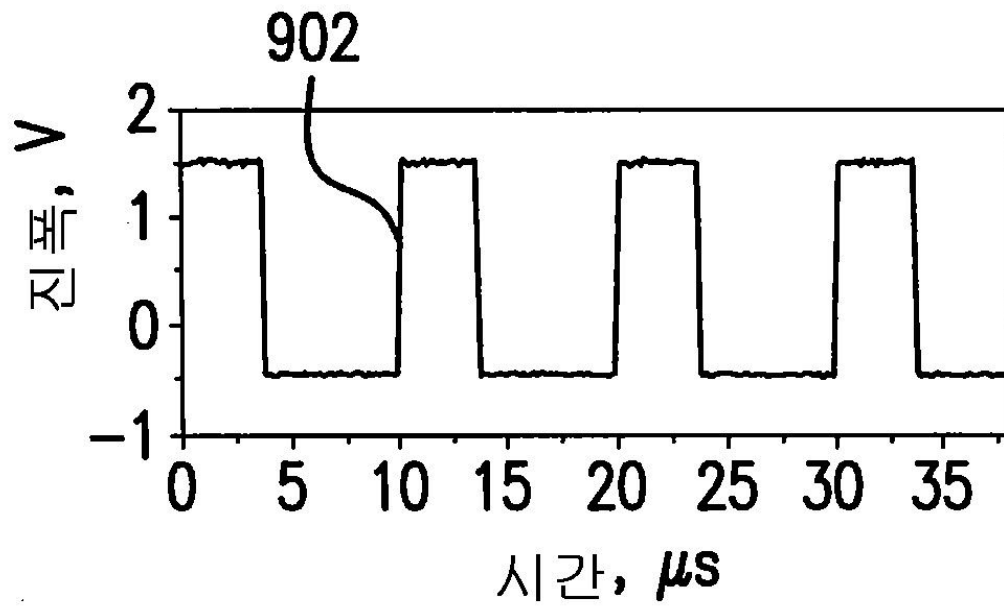
도면10



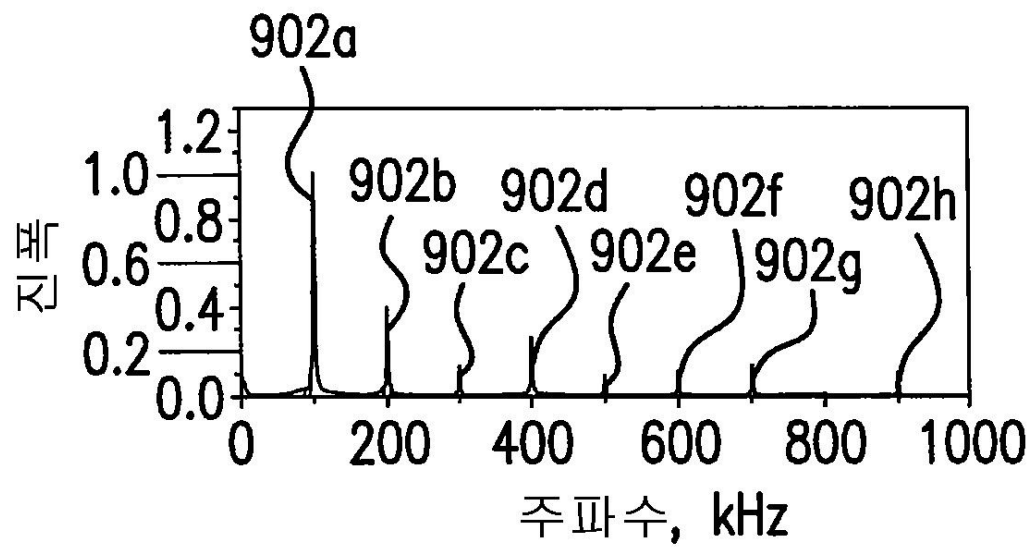
도면11



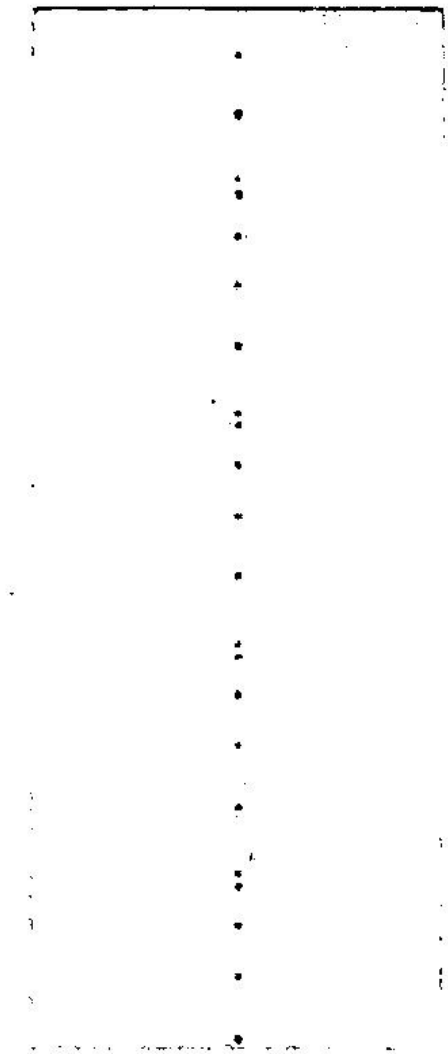
도면12a



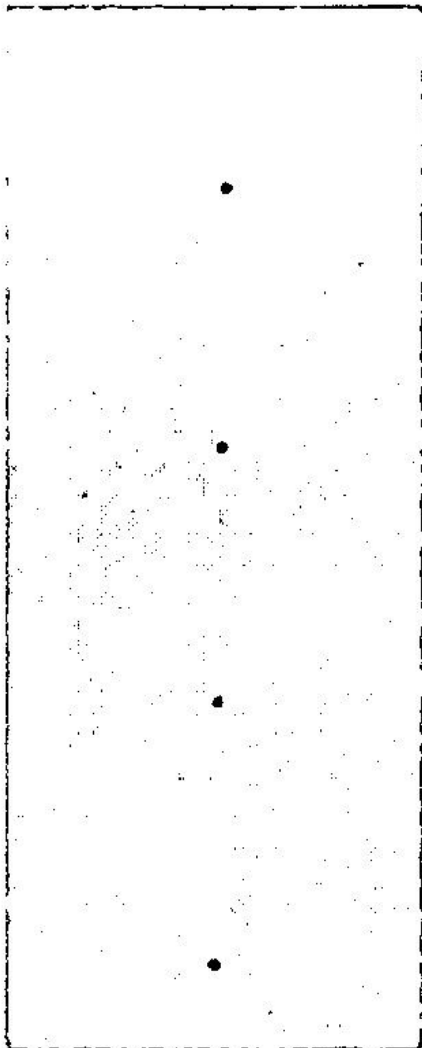
도면12b



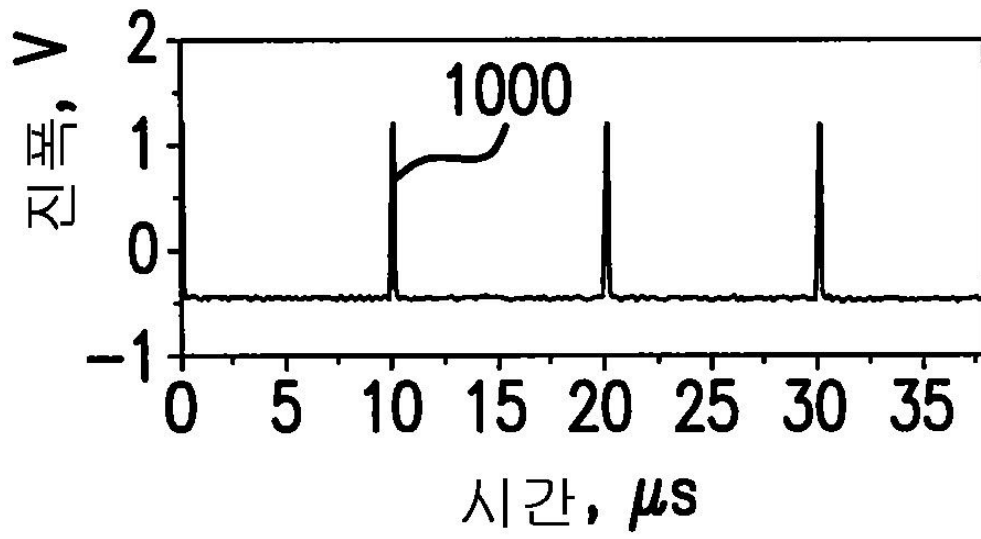
도면12c



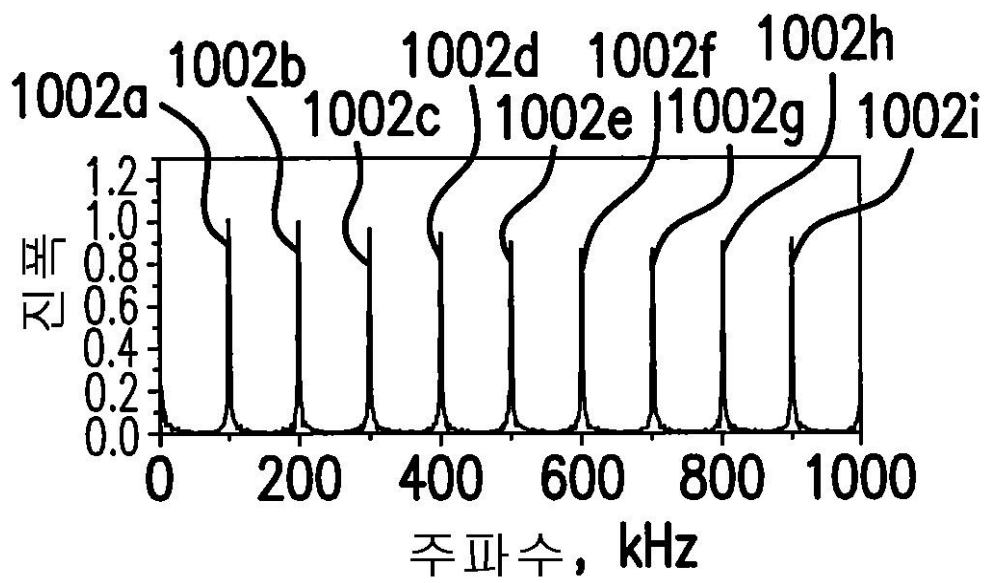
도면12d



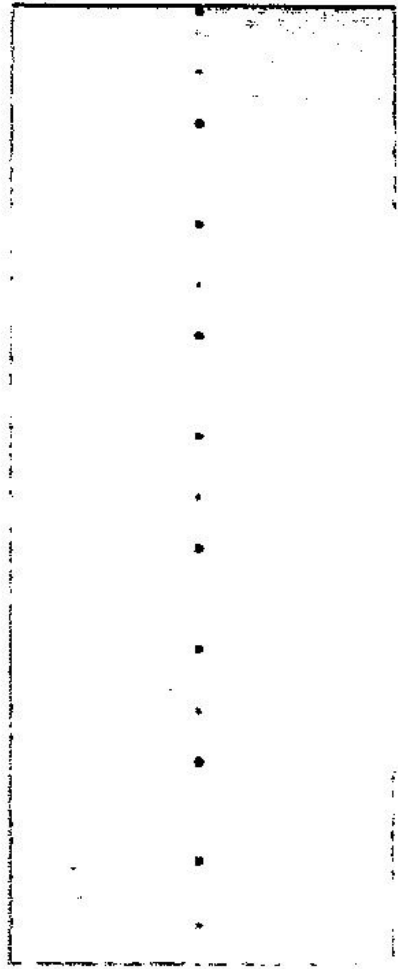
도면13a



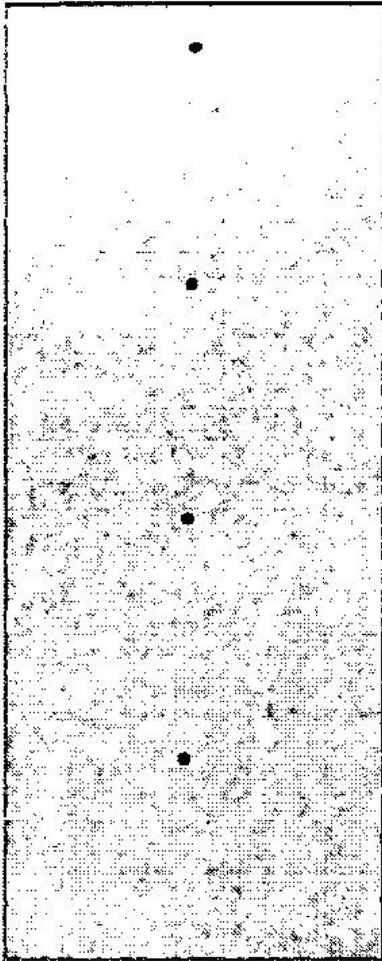
도면13b



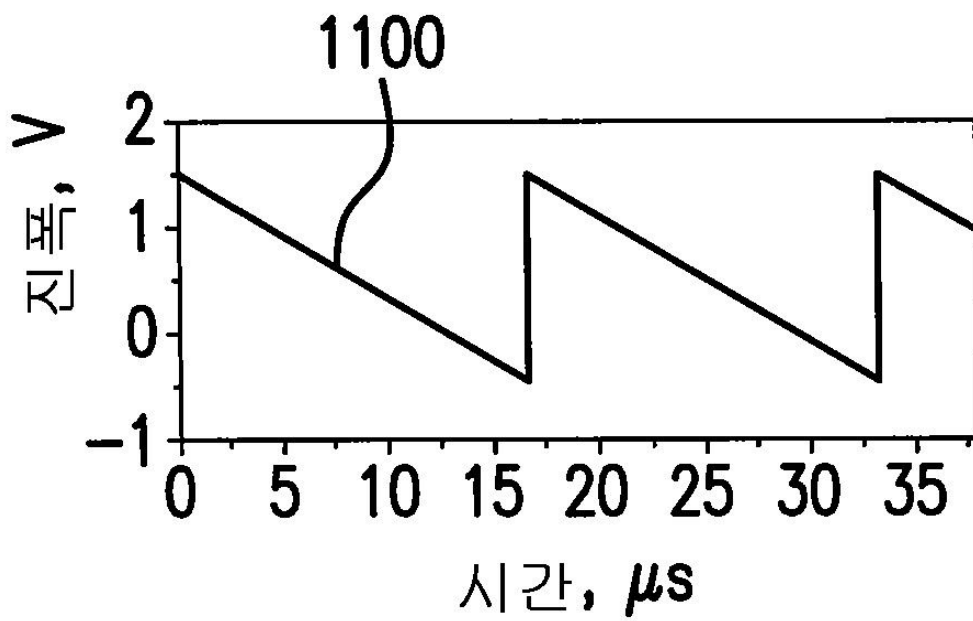
도면13c



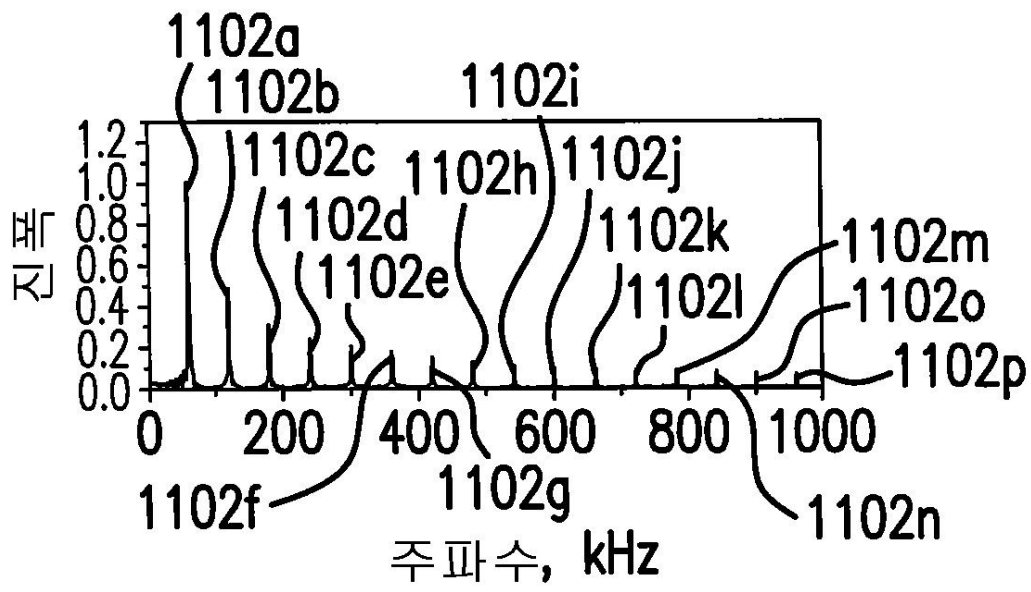
도면13d



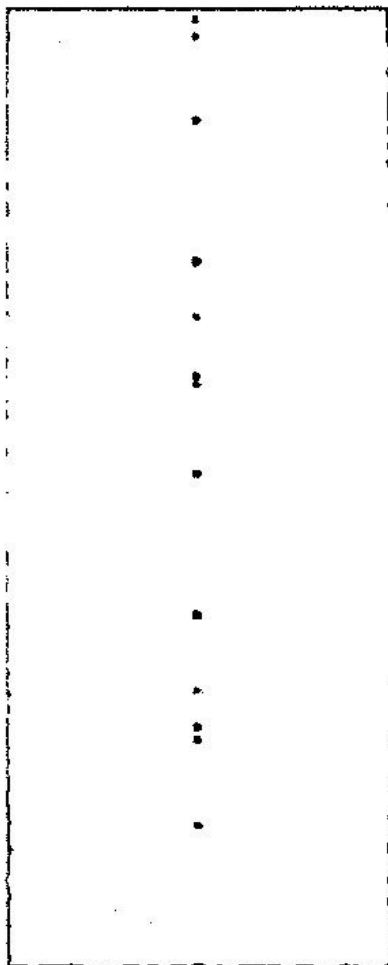
도면14a



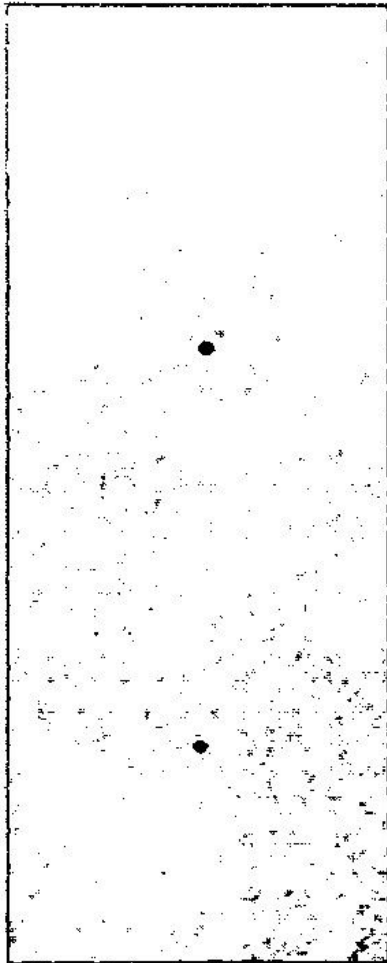
도면14b



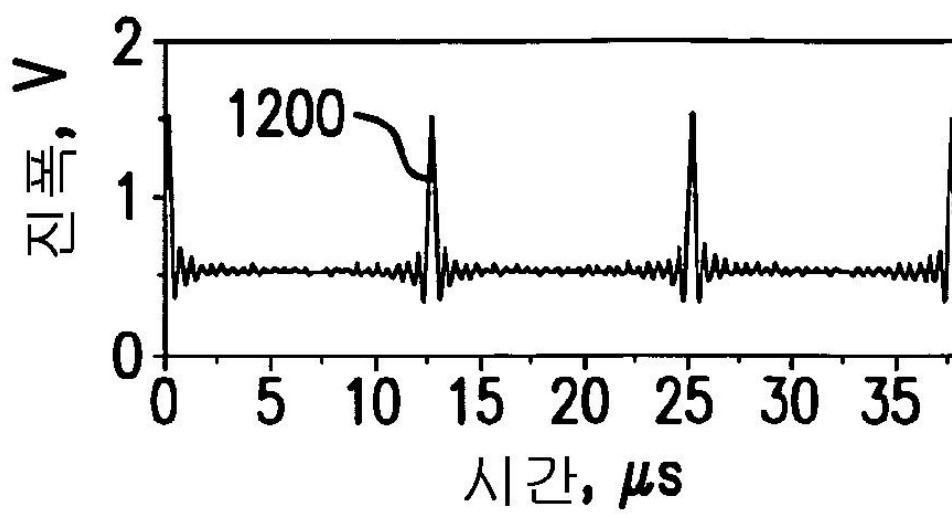
도면14c



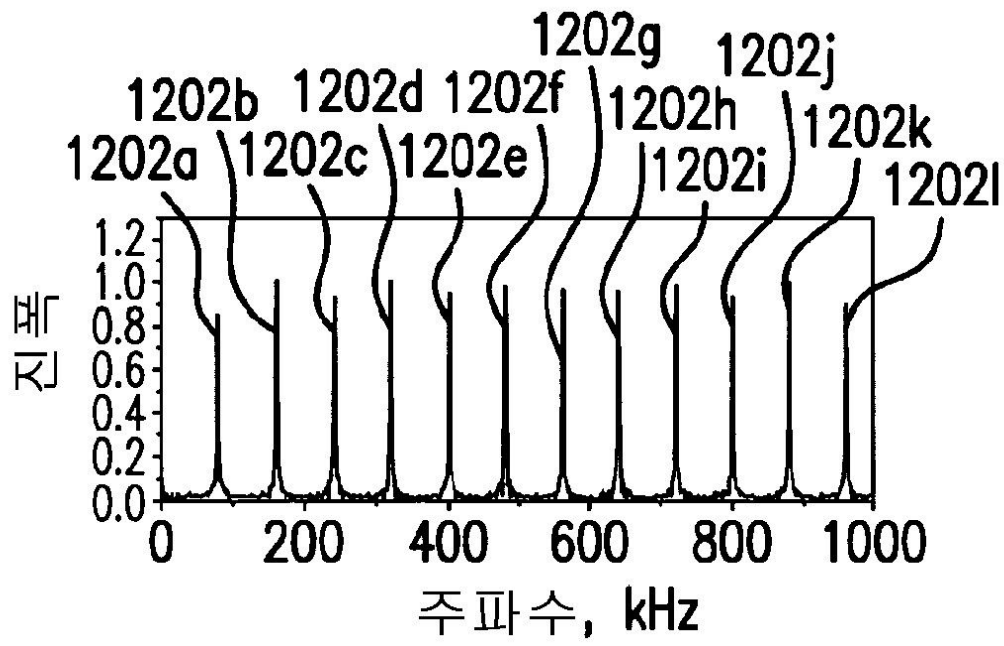
도면14d



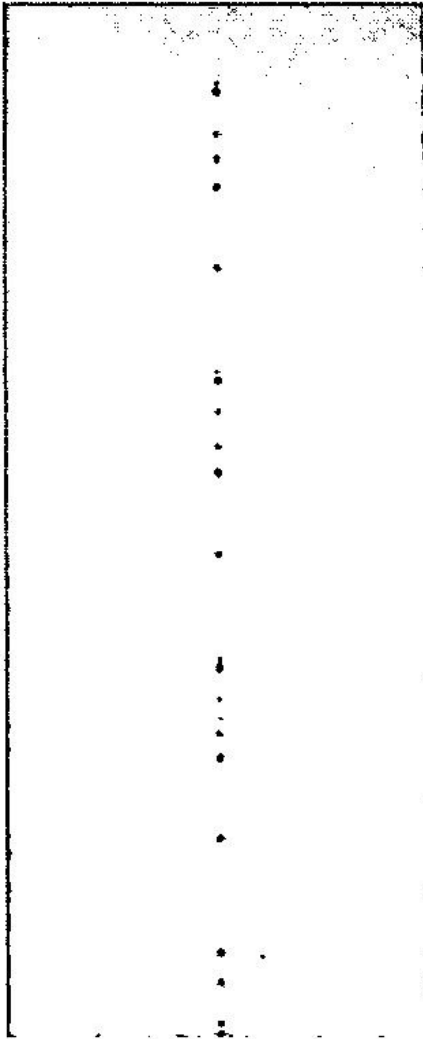
도면15a



도면15b



도면15c



도면15d

