



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2007-0114199  
(43) 공개일자 2007년11월29일

(51) Int. Cl.

H01S 3/22 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-7022258

(22) 출원일자 2007년09월28일

심사청구일자 없음

번역문제출일자 2007년09월28일

(86) 국제출원번호 PCT/US2006/006597

국제출원일자 2006년02월22일

(87) 국제공개번호 WO 2006/093826

국제공개일자 2006년09월08일

(30) 우선권주장

11/324,104 2005년12월29일 미국(US)

60/657,606 2005년02월28일 미국(US)

(71) 출원인

사이머 인코포레이티드

미국 캘리포니아 샌디에고 쏘니먼트 코트 17075 레  
갈 디파트먼트-엠/에스 4-2디

(72) 발명자

브라운 다니엘 제이. 더블유.

미국 캘리포니아주 92128 샌디에고 브루스터 코트  
11981

어쇼프 알렉산더 아이.

미국 캘리포니아주 92127 샌디에고 매도우 플라워  
플레이스 11312

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

박종혁, 김정옥, 정삼영, 송봉식

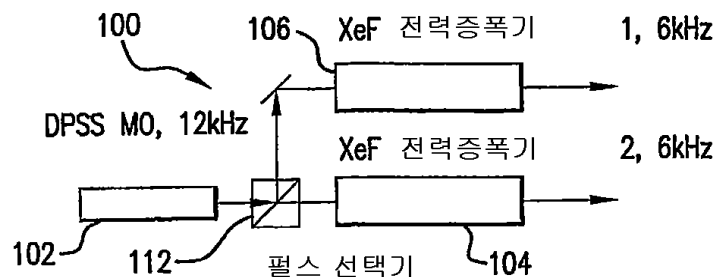
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) L P P E U V 드라이브 레이저

(57) 요약

솔리드 스테이트 시드 레이저 마스터 발진기 레이저; 드라이브 레이저 출력광 빔을 산출하는 가스 방전 엑시머 레이저 이득 생성기;를 구비하는 EUV 드라이브 레이저 시스템을 포함하는 장치 및 방법이 개시된다. 상기 솔리드 스테이트 시드 레이저는 3 하모닉 Nd:YLF 레이저를 포함하고, 이것은 조정가능하다. 상기 가스 방전 엑시머 이득 생성기 레이저는 XeF 엑시머 레이저 전력 증폭기 또는 전력 발진기를 포함한다. 상기 솔리드 스테이트 레이저는, 상기 솔리드 스테이트 레이저에 포함되는 레이저 크리스탈의 온도를 변화시키거나, 또는 예를 들면 리요트 필터나 에탈론과 같은 파장 선택 소자를 활용함으로써 조정되는 조정가능한 레이저를 포함한다.

대표도 - 도4



(72) 발명자

**플로이로브 블라디미르 비.**

미국 캘리포니아주 92025 에스컨디도 비엔토 비알  
레 20856

**포텐코프 이고르 브이.**

미국 캘리포니아주 92129 샌디에고 자날웨이 14390

**파트로 윌리엄 엔.**

미국 캘리포니아주 92064 포웨이 페드리자 드라이  
브 12634

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

EUV 드라이브 레이저 시스템에 있어서,

솔리드 스테이트 시드 레이저 마스터 발진기 레이저;

드라이브 레이저 출력광 빔을 산출하는 가스 방전 엑시머 레이저 이득 생성기 레이저;를 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

3 하모닉 Nd:YLF 레이저를 구비하는 솔리드 스테이트 시드 레이저를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 솔리드 스테이트 시드 레이저는 조정가능한 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 가스 방전 엑시머 이득 생성기 레이저는 XeF 엑시머 레이저 전력 증폭기 또는 전력 발진기를 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

### 청구항 5

제 2 항에 있어서,

상기 가스 방전 이득 생성기 레이저는 XeF 엑시머 레이저 전력 증폭기 또는 전력 발진기를 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

### 청구항 6

제 3 항에 있어서,

상기 가스 방전 엑시머 이득 생성기 레이저는 XeF 엑시머 레이저 전력 증폭기 또는 전력 발진기를 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

### 청구항 7

제 4 항에 있어서,

상기 솔리드 스테이트 레이저를 포함하여 레이저 크리스탈의 온도를 변화시킴으로써 조정되는 조정가능한 레이저를 구비하는 솔리드 스테이트 레이저를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

### 청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 솔리드 스테이트 레이저를 포함하여 레이저 크리스탈의 온도를 변화시킴으로써 조정되는 조정가능한 레이저를 구비하는 솔리드 스테이트 레이저를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

### 청구항 9

제 6 항에 있어서,

상기 솔리드 스테이트 레이저를 포함하여 레이저 크리스탈의 온도를 변화시킴으로써 조정되는 조정가능한 레이저를 구비하는 솔리드 스테이트 레이저를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 10

제 5 항에 있어서,

파장 선택 소자를 활용함으로써 조정되는 조정가능한 레이저를 구비하는 솔리드 스테이트 레이저를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 11

제 6 항에 있어서,

파장 선택 소자를 활용함으로써 조정되는 조정가능한 레이저를 구비하는 솔리드 스테이트 레이저를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 12

제 7 항에 있어서,

파장 선택 소자를 활용함으로써 조정되는 조정가능한 레이저를 구비하는 솔리드 스테이트 레이저를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 파장 선택 소자는 리요트 필터(Lyot filter)를 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 14

제 11 항에 있어서,

상기 파장 선택 소자는 리요트 필터를 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 15

제 12 항에 있어서,

상기 파장 선택 소자는 리요트 필터를 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 16

제 10 항에 있어서,

상기 파장 선택 소자는 에탈론을 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 17

제 11 항에 있어서,

상기 파장 선택 소자는 에탈론을 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

#### 청구항 18

제 12 항에 있어서,

상기 파장 선택 소자는 에탈론을 구비하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 EUV 드라이브 레이저 시스템.

명세서

## 기술분야

<1> 본 발명은 예를 들면, 평판 디스플레이 등에 박막 트랜지스터가 형성되는 결정화된 실리콘을 형성하기 위해 비 결정 실리콘을 레이저 어닐링함으로써 박막 트랜지스터를 형성하는 예를 들면 저온 폴리-실리콘 형성을 이용하는 집적 회로 포토리소그래피 공정 애플리케이션 및 기타 고전력 고안정성을 위한 레이저 산출 플라즈마("LPP") 극자외선("EUV") 또는 소프트 X-레이 광원을 위한 드라이브 레이저 시스템에 관한 것이다.

<2> 본 발명은, 본 출원의 양수인에게 양도되고, 본문에 참조를 위해 그 전체가 통합되어 있는, 2005년 2월 28일 출원된, Attorney Docket No. 2004-0107-01, "LPP EUV Drive Laser"라는 명칭의, 미국가출원번호 제 60/657,606 의 우선권을 주장하는 2005년 12월 29일 출원된, "LPP EUV Drive Laser"라는 명칭의, 미국특허출원번호 제 11/324,104의 우선권을 주장하며, 2004년 11월 1일 출원된, "LPP EUV LIGHT SOURCE"라는 명칭의, 미국특허출원번호 제 10/979,919; 2004년 2월 18일 출원된, "VERY HIGH ENERGY, HIGH STABILITY GAS DISCHARGE LASER SURFACE TREATMENT SYSTEM"이라는 명칭의, 미국특허출원번호 제 10/781,251; 및 2004년 12월 22일 출원된, "EUV LIGHT SOURCE OPTICAL ELEMENTS"라는 명칭의, 미국특허출원번호 제 11/021,261의 공동으로 계류중인 미국 출원의 일부 계속 출원이며, 이는 본문에 참조로서 그 전체가 통합되어 있다.

## 배경기술

<3> 예를 들면, 집적회로 포토리소그래피에 사용하기 위한 효과적이고 효율적인 레이저 산출 플라즈마("LPP") 극자외선 광("EUV", 또는 소프트 X-레이로 알려진) 광원에 대한 요구가 있다. 출원인은 현재 가용한 기술에 대한 일정한 개선안과 변형을 제안한다.

## 발명의 상세한 설명

<4> 당업자에 공지된 바와 같이, 솔리드 스테이트 시드 레이저 마스터 발진기 레이저; 상대적으로 작은 점으로 상대적으로 직진으로 포커싱될 수 있도록 하기 위해 충분히 높은 공간 빔 품질을 가진 드라이브 레이저 출력 광빔을 산출하는 가스 방전 엑시머 레이저 이득 생성기를 구비한 EUV 드라이브 레이저 시스템을 포함하는 장치 및 시스템이 개시된다. 상기 솔리드 스테이트시드 레이저는 3 하모닉 Nd:YLF 레이저이고, 이는 조정가능하다. 상기 가스 방전 엑시머 레이저 생성기 레이저는 XeF 엑시머 레이저 전력 증폭기 또는 전력 발진기를 포함한다. 상기 솔리드 스테이트 레이저는 솔리드 스테이트 레이저를 구비하는 레이저 크리스탈의 온도를 변화시킴으로써 또는 예를 들면 리요트 필터(Lyot filter) 또는 에탈론과 같은, 파장 선택 소자를 활용함으로써 조정되는 조정 가능한 레이저를 구비한다.

## 실시예

<26> 도 1은 W. D. Kimura 등의 Appl. Opt. #21, Vol. 28, 1989로부터의: XeF에 대한 에너지 레벨 다이어그램을 도시한다. XeF 이득 매질의 스펙트럼 특성에 관해, XeF의 그라운드 스테이트가 바운딩되는데, 즉, 그것이 상대적으로 낮은 온도에서 분자를 형성한다. 상기 XeF 조사 수명은 ~16ns이다.

<27> 출원인은 예를 들면 크고 기다란 크리스탈을 가지고 결정화된 실리콘을 형성하기 위해 비정질 실리콘을 레이저 어닐링 함으로써, 예를 들면 박막 필름 트랜지스터를 형성하는, 예를 들면 저온 폴리-실리콘("LTPS") 형성과 같은, 예를 들면, 집적회로 포토리소그래피 공정 애플리케이션 및 기타 고전력 고안정성에 사용하기 위한, 레이저 산출 플라즈마("LPP") 극자외선("EUV") 또는 소프트 X-레이 광원에 유용한 예를 들면 XeF 고전력 레이저 시스템과 같은 엑시머 가스 방전 레이저 시스템과 같은, 레이저 시스템의 효율 및 빔 품질에 관한 개선안을 제안하며, 여기서 상기 박막 필름 트랜지스터는 예를 들면 평판 디스플레이등에 더 잘 형성될 수 있다. 상기 개선안은 또한 예를 들면 증가된 시스템 수명과, 광소자 및 레이저 챔버와 같은 소모품 비용의 감소를 통한 비용감소와 같은 경제적 문제에도 연관된다.

<28> 당업자가 이해하는 바와 같이, 예를 들면, XeF 전력 증폭기("PA") 또는 전력 발진기("PO")와 같은, 예를 들면 가스 방전 엑시머 증폭기 레이저와 결합되는, 예를 들면 다이오드 펌핑된 3 하모닉 Nd:YLF 마스터 오실레이터(MO)와 같은, 솔리드 스테이트 레이저를 사용하는 것은, 예를 들면 충분히 높은 공간 빔 품질을 가진 출력빔을 가진, 예를 들면 kW-레벨의 MOPA 또는 MOPO 시스템의 설계를 허용하여, 그것이 상대적으로 직진으로 작은 점에 포커싱될 수 있도록 한다. 처리될 하나의 사안은, 예를 들면 전력 증폭기 또는 전력 발진기 구성("MOPA", "MOPO") 중 어느 하나에서 XeF 매질과 같은, 증폭기 매질에서 예를 들면 Nd:YLF 기반 MO 빔과 같은, 솔리드 스테이트 시드 레이저의 효율적인 증폭을 제공하는 것이다. 이것은, 주로 예를 들면 도 6에 도시된 바와 같은,

예를 들면 런닝 Nd:YLF 소스 및 XeF 이득의 동작 파장 사이의 미스매치에 기인한 것이다. 이러한 그래프는 Q-스위칭된 3<sup>rd</sup> 하모닉 Nd:YLF 발진기로부터의 일반적인 출력 스펙트럼(30)과 XeF 레이저 매질로 채워진 가스 방전 챔버로부터 증폭 여기된 방출(ASE) 스펙트럼(120)을 예시한다. Nd:YLF 레이저의 스펙트럼(30) 출력은 예를 들면 ~351,126 pm에서 피크가 되는 XeF 이득 스펙트럼(120)의 가장 근접한 강한 선(34)에 비교되는 ~120 pm까지의 보다 짧은 파장으로 시프트된다. 또한 ~351,268 pm에 위치되는 제 2의 강한 선(36)이 있다.

<29> 예를 들면 전력 증폭기 구성에서 XeF 증폭기 레이저의 효율적인 동작을 위한 보다 최적의 조건을 제공하기 위해, 3 하모닉 Nd:YLF MO의 출력이 예를 들면, XeF 증폭기 레이저의 두 피크(34, 36)에서 증폭하기 위해, 예를 들면 보다 긴 파장으로 시프트되고, 퍼지게 될 수 있다. 따라서, 동시에, 솔리드 스테이트 MO 출력의 스펙트럼 폭/형상은 각각 ~351.126nm과 ~351.268 nm에서 피크가 되는 XeF 이득의 2 개의 강한 선(34, 36)을 오버레이하기 위해 유지관리되도록 제안된다.

<30> 예를 들면, Nd:YLF 크리스탈 이득의 폭이 예를 들면 Nd:YLF의 발광 스펙트럼이 예를 들면 본출원서에 따라 @FWHM,  $\pm 1.4\text{nm}$ 인, 1~420pm 범위 내에서 스펙트럼 시프트를 수용하기에 충분히 폭이 넓기 때문에, 본 출원의 일 실시예의 측면들에 따라 Nd:YLF 출력의 스펙트럼 피치의 이러한 필요한 변조가 수행될 수 있다. 출원인은 예를 들면 Nd:YLF 크리스탈의 온도를 증가 및/또는 에탈론, 리요트 필터, 회절격자 또는 그의 조합과 같은 레이저 공진기에서의 파장 선택 소자(들)을 도입함으로써 이를 달성하는 것을 제안한다

<31> 추가로, 출원인은 예를 들면 351.126nm과 351.268 nm XeF 이득 라인 모두를 보다 최적으로 매칭하는 2중-라인 MO 출력을 산출하기 위해, 예를 들면 2라인 또는 다중-라인 MO 발진기를 이용함으로써, 예를 들면 Nd:YLF 모듈과 XeF PA/PO 모듈 사이의 결합에서의 추가적인 개선안을 제안한다. 이러한 필요조건을 달성하기 위해, 출원인은, 예를 들면, 주파수 증대후에, 예를 들면 XeF 엑시머 레이저 증폭의 강한 선을 오버랩핑하는 원하는 2 개의 피크를 산출하는 Nd:YLF와 같은 솔리드 스테이트 시드 레이저의 출력의 원하는 스플릿을 생성하는 복굴절을 가진, 예를 들면 당업자에 공지된 리요트 필터 플레이트와 같은, 도 7에 도시된 바와 같은, 단일 플레이트 리요트 필터의 적절한 스펙트럼 특성을 가진 리요트 필터를 이용하거나, 또는 예를 들면  $\text{FSR}=3 \cdot \Delta \lambda$  (여기서  $\Delta \lambda$ 는 ~142pm)인, 인트라캐비티 에탈론(intracavity etalon)을 이용하는 것을 제안한다. 예를 들면 도 14에 도시된 것과 같은 단일 플레이트 인트라-캐비티 리요트 필터에 의해 산출된, Nd:YLF 출력의 다중-라인 형상의 시뮬레이션이 도 7에 도시된다. 도 7은 3 하모닉 Nd:YLF 출력의 2 개의 연속 스펙트럼 선(50, 52) 사이의 파장의 거리가 상술한 XeF 강한 이득 선과 매칭하는 조건을 예시한다.

<32> 출원인은 XeF 가스 방전 이득 모듈에서의 상용가능한 3 하모닉 Nd:YLF 레이저에 의해 산출된 레이저 빔의 증폭의 실행가능성을 검사하였다. 예를 들면, 생산-등급 엑시머 레이저 챔버는 Xe:F<sub>2</sub>:Ne 가스 혼합물로 채워지고, 예를 들면 출원인의 양수인의 단일 챔버 레이저 시스템, 예를 들면 ELS 6010 시리즈 레이저로부터의 생산-등급 펄스 전력 모듈을 이용하여 여기된다. 예를 들면 Photonics Industries International(모델 DS10-351)과 같은 상용 Q-스위칭된 다이오드 펌핑된 3 하모닉 Nd:YLF 레이저가 도 4에 개략적으로 도시된 바와 같이 MO(102)로서 사용될 수 있다. 솔리드 스테이트 MO(102)와 이득 모듈의 엑시머 레이저 챔버(104, 106) 사이의 펄스 동기화는 예시의 방식으로 도 4에 도시된 바와 같이, 예를 들면 스탠포드 지연 생성기(DG-535)(112)를 이용하여 제공될 수 있다. 상기 MO(102)로부터의 출력 빔은 예를 들면 도 2에 예시된 PA(70) 또는 도 4에 예시된 PA(104 또는 106)와 같은, 이득 모듈의 방전에 대한 단면을 매칭시키기 위해, 예를 들면 도 2에 예시된 프리즘(72, 74)과 같은, 프리즘 빔 익스팬더로 수직 방향으로 확장될 수 있다. 단일 패스 광학 설비가 출원인에 의한 실험에 사용되었다.

<33> 예를 들면 단일 프레임 2-채널 하이브리드 시스템을 이용하는 LPP EUV 소스용으로 제안된 드라이브 레이저 시스템이 도 4에 예시되는데, 이것은 예를 들면, 출원인의 양수인인, Cymer Inc.의 XLA MOPA 다중-챔버 레이저 시스템의 플랫폼의 일부를 활용하고, 이것은 또한 예를 들면 MOPO 다중챔버 레이저 시스템의 증폭기의 일부가 될 수도 있다. 예를 들면, 2 개의 가스 방전 엑시머 이득 모듈(104, 106)은 고 반복율 솔리드 스테이트(예를 들면 12kHz) 마스터 발진기(102)에 의해 시딩될 수 있다. 이러한 2-채널 접근방식은 예를 들면, 가스흐름이 제한된 엑시머 이득 레이저 모듈(104, 106)이 예를 들면 6kHz와 같은, MO(102)의 절반의 반복률로 동작하도록 허용되면서 동시에 고반복률의 동작을 허용할 수 있다. 상기 시스템의 광학 아키텍처는 마스터 발진기-전력 증폭기(MOPA) 또는 마스터 발진기-전력 발진기(MOPO) 설비를 활용할 수 있다. 상기 MO(102)는 높은 빔 품질, 고반복률 다이오드 펌핑된 레이저가 될 수 있다. 상기 MO는 그런다음, 예를 들면 펄스 선택기(112)를 통해 시퀀스를 변화시키면서 XeF 전력 이득 모듈을 시딩하기 위해 2 배의 반복률로 동작할 수 있다.

<34> 본 발명의 일실시예의 측면에 따른 상기 시스템의 이점 중 하나는 그것이, 예를 들면, 증명된 엑시머 레이저 기



술에 대해 개발된 매우 강하고, 고전력 XeF 이득 모듈을 사용할 수 있다는 것이다. 이러한 시스템의 또다른 이점은 예를 들면, 충분히 높은 공간 빔 품질을 가지고 비용 효율적인 다이오드 펌핑된 MO를 구현하여, 그것이, 당업자에 이해되는 바와 같이, 상대적으로 직진으로 작은 점에 포커싱될 수 있도록 한다는 점이다. 상기 MO 레이저(102)는 주파수가 예를 들면 351nm 파장에서 동작하는 3 배 Nd:YLF(3 하모닉) 레이저일 수 있다. 상용가능한 3 하모닉 Nd:YLF 레이저는 예를 들면 10kHz를 초과하는 고반복률에서 동작할 수 있고, 예를 들면 1에 접근하는  $M^2$  파라미터를 가진 회절이 거의 제한된 빔 품질을 전달할 수 있다.

<35> 351-353nm 범위에서의 자연방출광의 증폭(Amplified Spontaneous Emission) (ASE)의 분광기를 이용한 측정에도 5에 도시된다. ASE 펄스의 에너지는 예를 들면, 도 5의 스펙트럼이 이득 포화 조건에 상당하는 것을 지시하면서, 거의 30mJ이 되는 것으로 측정되었다. 예를 들면 도 5에서 도시되고, 도 6-9에서 부분적으로 확대된 크기로 볼수 있는 바와 같이, 예를 들면 도 1에 예시된 바와 같이, XeF 분자의 B-X XeF 매니폴드내에서 351.1 nm ( $v=1-4$ ), 351.2 nm( $v=0-2$ ), 및 353.2 nm( $v=0-3$ )의 변이와 연관된, 3개의 강한 ASE 라인이 있다. 이러한 관찰은 XeF에 대한 분광기를 이용한 데이터와 잘 들어맞는다.

<36> 예를 들면 도 8에 도시된 바와 같이, MOPA 출력 스펙트럼(92)과 함께, PA 모듈(94)을 통해 얻어진 솔리드 스테이트 MO의 스펙트럼; 및 MO 빔이 차단될 때 얻어지는 ASE 스펙트럼(34)의 이들 3 개의 동일한 스펙트럼이 있다. "프리 런닝" 3 하모닉 Nd:YLF MO의 스펙트럼 대역폭은 약 40pm 폭(FWHM)이고 중심의 파장은 PA ASE 스펙트럼(34)에 대해 보다 짧은 파장 영역으로 시프트된다. 예시된 바와 같이, PA의 ASE 스펙트럼(34)은 MO 스펙트럼(92)의 꼬리부분과 거의 오버랩된다. 또한 예를 들면 PA에서의 MO 빔의 단일-패스 증폭에 기인하여, ASE 스펙트럼과 MOPA 출력 스펙트럼 사이에는 커다란 차이가 있다. 그러나 XeF 매질에서의 고이득 값에 기인하여, 출원인은 MO와 PA 스펙트럼(92, 34)의 오버래핑 부분에 포함된 MO 에너지의 매우 작은 부분조차 XeF 이득 생성기에 의해 매우 강하게 증폭될 수 있다는 것을, 즉 스펙트럼(94)을 형성한다는 것을 나타내었다. 그 결과, PA로부터의 에너지 추출은 스펙트럼(34)의 보다 짧은 파장 측의 약선(weak line)(38)상에서 대부분 발생하는 것으로 보일 수 있다.

<37> 예를 들면 4로 도시된 것과 같은, 1-패스 PA(104, 106)을 가진 MOPA 셋업상에서 도 8의 스펙트럼 측정은, 예를 들면, 차단된 MO(34, 46)를 가진 PA 출력에서 측정된 ASE 출력으로부터의 PA(XeF 이득 모듈)(104, 106) 입력에서 측정된 스펙트럼(92)을 산출하고, Q-스위칭된 하모닉 Nd:YLF MO에 의해 시딩된, 단일 패스 PA 출력(94)을 산출하는 Q-스위칭된 3 하모닉 Nd:YLF MO(102)를 이용하여 이루어질 수 있다. 상기 MO 펄스 에너지는 ~1mJ이고, 펄스 듀레이션은 ~50nm(FWHM)으로 측정된다.

<38> 특히, 엑시머 레이저의 ASE 스펙트럼에서 거의 찾을 수 없는, 도 8에서 볼 수 있는, 약한 351.08nm 선(38)은, 도 4에 도시된 바와 같이, 단일 패스 PA(예를 들면 104)에서 거의 100배로 증폭되도록 할 수 있다. 강한 351 nm XeF 방출 선으로부터 보다 많은 에너지를 추출하고, 보다 나은 PA 효율을 제공하기 위해, 예를 들면, MO 출력은 예를 들면 XeF 이득선(34, 36)과 보다 나은 스펙트럼 오버랩을 필요로한다. 출원인은, 예를 들면 XeF 이득의 적어도 2 개의 방출선(34, 46)이 충분한 에너지 추출을 위해 시딩될 필요가 있음을 밝혀내었다. Nd:YLF 크리스털의 1053 nm 발광선은 약 1.5nm 폭이며, 그것이 예를 들면 도 6-9에서 도시된 바와 같이, 단일 3 하모닉 Nd:YLF 소스를 가지고, 351.12nm과 351.24nm에서 중심화되는 두 개의 XeF 선 모듈을 시딩하는 것을 실현가능하게 만든다. 예를 들면 도 2에서는 60으로 예시되고, 도 4에서는 102로 예시되는, 3 하모닉 Nd:YLF 레이저의 조정가능성에 대한 실험 결과는 도 9에 도시된다. 이들 결과는 351.12 nm 선과 매칭하기 위해 조정된 파장을 가진 3 하모닉 Nd:YLF 레이저 출력의 안정적인 동작을 나타낸다.

<39> 도 9는 예를 들면 351.12nm에서의 XeF 이득 라인에 매칭하기 위해 예를 들면 3 중 하모닉 Nd:YLF MO(60 또는 102)의 파장의 조정가능성의 시연을 도시한다. 1053nm Nd:YLF 발광선의 대역폭은 또한, 예를 들면 도 6에서의 XeF의 351.25nm 선을 시딩하기에 충분하게 되도록 도시된다.

<40> 이득 모듈에서의 패스의 수는 예를 들면, 시스템의 물리적 한계 때문에, 트리플-패스 PA 설계 이상으로 확연히 증가될 수 없다. 따라서, 출원인은 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 약 2mJ의 MO 펄스 에너지가 실제 MOPA 설계에 필요하다고 판정하였다. 따라서, 본 발명의 일실시예의 측면에 따른, 마스터 발진기 전력 발진기(MOP O)의 접근 방식을 사용하는 것은 필요한 MO 펄스 에너지의 추가적인 감소를 위한 또다른 방법을 제공한다. MOPO 구성의 가능한 셋업은 도 14에 예시적으로 도시된다. 상기 MO(150) 및 PO(160) XeF 이득 모듈은 상술한 MOPA 구성과 유사한 가스 방전 챔버 기술에 기초를 둔 것이다. 공간 필터(170)는 예를 들면 초점가능성과 공간 빔의 품질과 같은, 빔의 품질(들) 등의 MO 출력의 빔 품질을 개선하기 위해 사용될 수 있다.

<41> 상기 공간 필터(170)는 2 개의 구면 렌즈로 구성된 반사경(174)의 초점 플레이트에 배치된 작은 어퍼처에 의해

형성된다. 공간 필터(170) 다음에는, 광학 감쇠기(160)가 상기 PO(160) 캐비티로 주입된 MO(150) 에너지의 양을 조정하는 데에 사용될 수 있다. MO(150) 출력 빔이 PO(160) 캐비티로 주입되기 전에, 그것은 어퍼처(190)을 통해 지향되고, 그에 의해 예를 들면 PO(160) 방전 단면과 매칭하도록 형성된다. PO 공진기(160)로 MO(150) 출력 빔(180)을 결합시키는 것은, 예를 들면 빔 스플리터(192)와 같은 국부적인 반사기를 통해 수행될 수 있다. MO(150)와 PO(160) 사이의 광학적 분리는 예를 들면 MO(150)와 PO(160) 사이의 긴 광학적 지연을 도입함으로써 달성될 수 있다. 상기 MO(150) 에너지는 PO 출력 커플러 앞에서 측정될 수 있다. 상기 MOPO 에너지는 빔 스플리터(192) 다음에 측정되고, 빔 스플리터(192) 투과도에 대해 보정될 수 있다. 추출된 최대 PO 에너지는 MOPA에 비교할만한 ~82mJ이 되는 것으로 판정된다. 상기 최대 추출 효율은 ~3.4%가 되는 것으로 판정되고, 이것은 MOPA 결과에 비해 더 높다. MOPO 시스템의 중요한 이점은 그것이 MOPA 구성과 비교하여 훨씬 더 낮은 MO 출력 에너지를 필요로 한다는 것일 수 있다.

<42> MOPO의 출력뿐 아니라, 단일- 및 트리플-패스 PA 구성에 대한 MOPA의 출력에서 임시 펄스 형태의 상대적인 측정이 수행된다. MOPO 스펙트럼(200), 단일 패스PA 스펙트럼(202) 및 트리플 패스 스펙트럼 PA(204)를 예시하는 MOPA 및 MOPO 구성에 대한 펄스 파형이 도 16에 도시된다. 상기 3 개 구성에 대한 임시 펄스 형태는 MOPO, MOPA 단일 패스 및 MOPA 트리플 패스이다. 펄스 폭 값은 예를 들면 @FWHM에서 측정된  $\tau$  MOPO~17.3ns,  $\tau$  MOPA 단일패스, 및  $\tau$  MOPA 트리플 패스~12.7ns인  $\tau$ 이다. 최대 출력 에너지에 상당하는, 상기 측정치는 MO와 PA(PO) 모듈 사이의 트리거 지연시 수행된다. MOPA와 MOPO 펄스 형태 사이의 비교는 최단 펄스 듀레이션이 트리플 패스 PA 구성으로 생성된다는 것을 나타낸다. 대략 1ns의 차이가 단일-패스 및 트리플-패스 PA에 대한 펄스 폭(FWHM)에서 관찰된다. 최장 펄스 폭은 MOPO 셋업에 의해 생성된다. 이러한 결과는 출원인의 회사인 Cymer가 라인 협대화 MOPA 및 MOPO ArF 시스템에 대해 관찰한 펄스 폭 데이터에 들어맞는다. 필요하다면, 펄스폭의 감소는 가스 방전 듀레이션을 감소시킴으로써 달성될 수 있다.

<43> 출원인은 XeF 이득 모듈의 기술 발전에 뚜렷한 진전을 달성하였다. 방전 챔버에 대한 주요한 문제점은 높은 평균 전력 필요조건을 만족시키는 것이다. 출원인의 양수인의 XLA 다중-챔버에서 사용된 코어 챔버 기술, 예를 들면 MOPA 시스템은 4kHz, 100%DC에서 신뢰성있게 동작하고, (6kHz까지 신장됨) 이러한 시스템에서, 전자는 도 11에 도시된 바와 같이, 모듈당 ~400W의 평균 전력을 산출한다. 1200W 시스템 전력 필요조건을 달성하기 위해, 펄스 반복률은 6kHz까지 증가되고, 펄스 에너지는 ~200mJ까지 증가된다. 가스 흐름 기술에서의 개선안은 최대 레이징 가스 순환 흐름의 속도에 필요한 모터 전력에서의 약 40% 감소를 야기하고, 필수적으로 XLA 4kHz 챔버와 동일한 크기인 챔버에서 6kHz를 달성하는 키 중의 하나이다. 도 10은 에너지 추출에서의 개선안을 도시한다. 에너지 추출에서의 34%의 증가가 시연된다.

<44> 예를 들면 단일-패스 PA를 가진 고반복률 XeF MOPA 시스템 상에서 수행되는 2억 펄스 작업의 예가 도 12에서 도시된다. 신뢰성 테스트에 대해 출원인의 고용주에 의해 사용된 이러한 MOPA 시스템은 ELS-7010 DUV 제품의 챔버와 유사한 생산-등급 4kHz 챔버를 사용한다. 그것은 800W의 출력 전력까지 산출하는 100% DC에서 동작할 수 있다. 가스 수명의 테스트 동안, 상기 시스템이 4 kHz, 100% DC에서 150mJ 출력 펄스를 생성하는 것이 시연된다. 간단한 펄스-카운트 기반 가스 주입 알고리즘이 필요한 범위내의 동작 전압을 유지하도록 구현될 수 있다.

<45> 600-800W 전력 범위에서의 다중 200M 샷의 작업은 MOPA 시스템의 가장 중요한 모듈을 나타내도록 시연된다. 출력 광학 컴포넌트에 대한 펄스 에너지 밀도와 평균 전력 밀도는 초과된  $0.5 \text{ J/cm}^2$  및  $1.7\text{kW/cm}^2$  레벨까지 경험된다. 반사 광학 소자 또는 전달 광학 소자 중 어느 하나에 대해서는 오류가 관찰되지 않는다.

<46> 마찬가지로, 상술한 접근 방식이 MOPO 시스템에 대해서도 작동한다. 이러한 경우에 MO 레이저에 대한 최소 에너지 필요조건이 더 뚜렷하게 감소된다.

<47> 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 예를 들면 MOPA와 같은, 효율적인 UV 또는 LTPS 발전기-증폭기 시스템은, 솔리드-스테이트 마스터 발전기(MO) 및 XeF 가스 방전 전력 증폭기(PA)로 구성될 수 있다. 이러한 시스템의 추가적인 이점은 솔리드-스테이트 레이저 시드 빔의 빔 품질 파라미터와, 예를 들면 PA 구성에서의 고에너지 및 단펄스 듀레이션의 엑시머 증폭기 출력의 조합이다. 출원인은, 예를 들면, MO가 충분히 높은 공간 빔 품질을 가진 빔을 제공하도록 다이오드-펌핑된 솔리드 스테이트 레이저(DPSS)를 구비하여, 그것이, 당업자에 이해되는 바와 같이, 상대적으로 직진으로 작은 점에 포커싱되고 높은 포인팅 안정성을 가질 수 있도록 하는 것을 제안한다. 이러한 레이저는 XeF PA 증폭기 모듈에 대해 3 하모닉 Nd:YLF MO 레이저를 구비한다.

<48> XeF 매질의 이득 스펙트럼은 도 1에 도시된 바와 같이, 351.1, 351.2, 및 353.6 nm에서 각각 3개의 방출 브랜치를 가지고, 그 각각은 예를 들면 모듈의 진동 레벨에 기인한 구조를 가지는 3 브랜치 구조를 갖는다.



- <49> 예를 들면, 도 2에서 60으로 예시되거나, 또는 도 4에서 102로 예시된 솔리드 스테이트 마스터 발진기(MO), 및 예를 들면 도 2 또는 도 4에 도시된 바와 같은, XeF 가스 방전 전력 증폭기(PA)와 같은 가스 방전 증폭기 레이저, 또는 도 14에 도시된 전력 발진기(PO)로 구성된 효율적인 UV MOPA 시스템이 도시된다. 이러한 시스템의 이 점은 예를 들면, 그것은 솔리드-스테이트 레이저 빔의 빔 품질 파라미터와 고에너지 및 단펄스 듀레이션의 엑시머 PA 출력을 조합한다는 것이다. MO 접근 방식에 대한 바람직한 선택사항은 충분히 높은 공간 빔 품질을 가진 빔을 제공하는 다이오드-펌핑된 레이저(DPSS)로, 그것은 당업자에 이해되는 바와 같이, 높은 포인팅 안정성 뿐만 아니라, 상대적으로 직진으로 작은 점에 포커싱될 수 있다.
- <50> XeF PA에 대한 적절한 선택은 XeF 엑시머 이득 매질의 스펙트럼 특성을 근사하게 매칭하는 3 하모닉 Nd:YLF MO 레이저이고, 이는 W. Partlo 및 D. Brown의 2004년 특허명세서를 참조하라.
- <51> XeF 매질의 이득 스펙트럼은 3개 브랜치 구조를 가지고, 도 1에 도시된다.
- <52> Nd:YLF 레이저의 동작 파장은 오프셋되지만, 예를 들면 상술한 바와 같이, 선택 캐비티를 이용하여, 예를 들면 XeF 전력 증폭기/발진기의 2 개의 강한 351 nm 선들을 매칭시키기 위해 조정될 수 있다. 그러나, 동일한 MO에 시딩될 수 없는 약 353nm에서의 또다른 강한 XeF 이득 선이 있다. 엑시머 레이저 매질에서의 이득값이 매우 높기 때문에, 예를 들면, 351 nm에서의 MO(60) 빔으로 PA(70)를 효율적으로 시딩하는 것은 약 353 nm에서 뚜렷한 이득 브랜치가 억제되는 경우에만, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 달성될 수 있다. 그렇지 않다면, 시스템의 빔 품질과 효율은 손상될 수 있다.
- <53> 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 출원인은 예를 들면, 3 하모닉 Nd:YLF MO 및 전력 증폭기 레이저와 같은 솔리드 스테이트 시드 레이저, 예를 들면 353 nm에서 증폭 여기된 방출(ASE)을 억제하고, 양질의 빔 품질과 약 351nm에서 증폭의 효율적으로 동작하는 형태를 제공하기 위해, 예를 들면 파장 선택기를 가진 증폭기 부분으로서 듀얼 또는 다중-패스 XeF PA 또는 전력 발진기 레이저로 구성된, 예를 들면 MOPA 시스템의 구성을 제공하는 것을 제안한다.
- <54> 도 2를 참조하면, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 실험 셋업이 도시되고, 여기서 예를 들면 라인 선택 유닛으로 알려진 파장 선택기(80)를 가진, 예를 들면 DPSS 3 하모닉 Nd:YLF MO(60) 및 2-패스 가스 방전 XeF PA(70)로 MOPA가 셋업된다. 예를 들면 표준 가스 방전 챔버를 이용하여, 예를 들면 Xe-F<sub>2</sub>-Ne 레이징 가스 혼합물로 채워진, 예를 들면 PA(70)으로서 출원인의 양수인의 EXL-6000 시스템의 제품에서 미리 사용된 챔버를 형성한다. 상기 3 하모닉 Nd:YLF MO(60)는 캐비티에서 선택 소자를 가지지 않으며, 도 6에서는 30으로 도시되고, 도 3에서는 92로 표시되는 PA 이득에 대해 오프셋인 넓은 스펙트럼(60)(@FWHM에서 ~30-40nm임)을 산출한다. PA(70)에서의 파장 필터링은 예를 들면 PA(70)을 통과하는 제 1 빔의 패스 다음에 수행될 수 있다. 2 개의 프리즘(72, 74)과 하나의 리트로-미러(retro-mirror)(76)가 PA(70)의 우측면 상에 파장 선택기(80)를 형성하는데 사용될 수 있다. MO(60) 출력 빔이 차단될 때, PA(70) 출력에서의 ASE 스펙트럼(92)은 모든 3개의 강한 이득 브랜치, 즉, 약 351 nm( $v_{0-2}$  및  $v_{1-3}$  변이)에서는 2 개, 약 353.2 nm( $v_{0-3}$  변이)에서는 1개를 나타낸다. 증폭 형태에서, 상기 MO(62) 스펙트럼(60)은 고증폭에 기인하여, 약 351nm PA(70)에서의 이득 선과 정확하게 일치할 필요는 없다.
- <55> 도 8에서 볼 수 있는 바와 같이, MO(62) 스펙트럼(92)과 PA(70) 출력 스펙트럼(34) 사이의 국부적인 오버랩은 충분히 효율적인 PA(70) 시딩을 가질 수 있다. 스펙트럼(92)에서의 MO 에너지의 작은 부분만이 PA(70)의 351 nm 브랜치 모두를 포화시키기에는 충분하다. 또한, 약 351.075 nm에서의 XeF ASE 스펙트럼의 왼쪽 윙 부분에서의 보다 약한 선(38)이 매우 강하게 증폭될 수 있다는 것은 중요한 유의사항이 아니다. 잘-시준된 MO(60) 빔에 의해 시딩된다면, PA(70) 출력(94) 또한 잘 시준되도록 유지된다. 353 nm 브랜치(들)는 상기 접근 방식을 증명하도록 억제될 수 있다. 충분한 출력 전력, 높은 빔 품질, 및 소모품의 경제적인 비용을 가진 드라이브 레이저의 개발이 고용량 제조 ("HVM") 애플리케이션을 위한 레이저 산출 플라즈마(LPP) EUV 소스 또는 LTPS 애플리케이션의 성공적인 구현에 중요하다.
- <56> 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 출원인은 이러한 중요한 필요성에 대한 다수의 해결안을 연구해왔다. 높은 빔 품질을 가진 2kW 출력 전력 이상을 산출하기 위해 12kHz까지의 반복률과 2 개의 가스-방전 전력 증폭기를 이용하는 고전력 레이저 시스템이 제시된다. 광학 성능 데이터, 드라이브 레이저의 설계 피쳐, 및 출력 전력 스케일링 문제가 처리되고, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 해결안이 제시되었다. 출원인은 이러한 시스템이 하기의 예시된 동작 파라미터를 만족시키는 것이 달성될 수 있다고 믿는다: (1) 약 351nm에서의 드라이브 레이저 파장; (2) 레이저 모듈당 약 2.4kHz의 전력; (3) 약 200mJ의 펄스 에너지; (4) 6-12kHz의 펄스 반복률;

(5) ~10ns의 펄스 듀레이션; 및 (6) (a) 빔 200uRad 미만의 약 90% 순환된 전체 에너지에서의 다이버전스 및 (b) 약 ~20mRad에서의 포인팅 안정성, 등의 빔 품질; (7) 윈도우=100 펄스에 대한 3s의 적분 에너지 안정성 (~0.3%); (8) 약 ~4%의 레이저 효율.

<57> 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 적절한 레이저 아키텍처는 예를 들면 2개의 6kHz, 100% 듀티 사이클(DC) 이득 모듈을 가진 2 채널 접근 방식에 기초한, 고 반복률 동작을 포함한다. MOPA 및 MOPO 광학 설계 모두가 채용될 수 있다. 높은 빔 품질 및 12kHz 반복률이 예를 들면 솔리드 스테이트 다이오드 펌핑된 마스터 오실레이터에 의해 제공될 수 있다.

<58> 도 4를 참조하면, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 예를 들면 각각 PA 채널당 100mJ을, 즉 800W를 전달하는 빔 선택기(110)에 의해, 각각 예를 들면, 틱-톡 형태로 제공되고, 각각 단일 또는 다중 패스 증폭기 배치로 되어 있는, 예를 들면 XeF 증폭기 레이저(104)와 같은 제 1 증폭기 레이저와 XeF 증폭기 레이저(106)와 같은 제 2 증폭기 레이저 각각에 펄싱된 6kHz 시드를 공급하기 위해, 예를 들면 100% DC로 12kHz에서 동작될 수 있는, 예를 들면 Nd:YLF 레이저(102)와 같은 다이오드 펌핑된 솔리드 스테이트 레이저를 구비할 수 있다.

<59> 도 8 및 9를 참조하면, 본 발명의 일실시예의 측면에 따라, 도 8에 대해서는, 3 하모닉 Nd:YLF 레이저가 XeF 이득 스펙트럼과 매칭하기 위해 조정될 필요가 있다는 것을 예시하는 분광기로 측정된 측정치를 예시하고, 도 9에 대해서는 3 하모닉 Nd:YLF 레이저의 출력 파장이 예를 들면 XeF 이득 스펙트럼과 그 결과인 PA 출력 스펙트럼의 351.125 nm 선과 매칭하기 위해 시프트되는 것을 도시하는, 3 하모닉 Nd:YLF MO에 관한 스펙트럼이 예시된다. 도 8에 도시된 바와 같이, 프리 런닝 3 하모닉 Nd:YLF의 출력 스펙트럼(92)은 매우 조금만 XeF 이득 스펙트럼의 부분(34)과 오버랩되고, 또한 XeF PA 출력 스펙트럼에서의 ~100x의 에너지 증폭은 스펙트럼(92)을 가진 프리 런닝 3 하모닉 Nd:YLF를 이용하여 달성될 수 있다. 또한 Nd:YLF MO에 의해 시딩되는 XeF PA는 XeF MO에 의해 시딩된 XeF PA 효율에 비견될 수 있는 것으로 도시된다.

<60> 도 10을 참조하면, 챔버 및 펄스 전력 설계의 최적화를 포함하는, XeF 이득, 생성기 효율 및 출력 에너지를 증가시키기 위한 출원인의 노력의 일부로써 에너지 스케일링의 예가 도시된다. 최대 달성된 최대 에너지 출력은 약 180mJ이고, 현존하는 챔버 기술로 200mJ 까지 달성가능하다. 도 11은 100% DC로 4kHz에서 시연되는 PA 채널당 @ 400W에서의 긴 기간동안의 동작을 그래픽으로 도시한다.

<61> 도 12는  $9.7 \times 10^9$  (1억) 펄스에서의 XeF MOPA 테스트를 그래픽으로 도시한다. 351nm, 4kHz, 100% DC, 600-800 W 전력범위에서의 수명의 테스트 상태는  $\sim 200 \times 10^6$  샷의 가스 수명을 나타내고, 이것은 현재 DUV 생산 시스템과 잘 매칭된다. 어떠한 광학기계의 손상도 지금까지는 관찰되지 않았다.

<62> 도 14를 참조하면, MOPA 추출 효율을 그래픽으로 예시하고, 여기서, 단일 패스 PA 추출에 대한 효율은 3.5%에 근접하고, 3-패스 XeF PA 추출의 효율은 3%를 초과한다. 3 패스 PA의 추출 효율은 단일 패스보다 낮지만, 단일 패스에 대해서는, 각각의 3 개의 패스에서 발생하는 증폭에 기인하여 3 패스 PA로의 약 1mJ과 동일한 전체 출력에 대해 PA로 약 30mJ이 입력되는 것이 필요하다.

<63> 도 14를 참조하면, MOPO 캐비티, MO 에너지 필요조건 및 펄스 듀레이션 평가의 최적화에 관한 것을 포함하여 수행되는 일련의 실험 결과가 예시된다.

<64> 도 15는 PO 구성의 평가를 예시하고, 그에 의해 효율적인 PO 시드가 시연되고, 85mJ의 MOPA 출력이 달성된다. MO 시드 에너지 필요조건이 ~30uJ로 도시되고, 당업자에 의해 이해되는 바와 같이, 다양한 PO 구성이 활용될 수 있다.

<65> 도 16은 17.3ns로 도시된 MOPO(200)에 대한 펄스폭(FWHM), 임시 펄스폭, 13.9ns로 표시된 단일 패스 PA(202) 및 12.7ns로 도시된 트리플 패스 PA(204)의 예를 제공한다.

<66> 도 17, 18A 및 18B는 XeF MOPA 빔의 다이버전스의 측정과 그 결과를 도시하고, 도 17은 예를 들면 최소 스팟에서 CCD 카메라로 멀리있는 필드의 프로파일이 얻어질 수 있는 실험 셋업을 도시하고, 도 18A 및 18B는 상기 빔의 프로파일을 도시한다. MOPA 빔 다이버전스는 도 18A 및 18B, 및 하기의 표 2에 의해 도시된 바와 같이 MO(102) 빔 다이버전스에 의해 판정되는 MOPA 빔 다이버전스가 도시된다.

표 2

	HD, $\mu\text{Rad}$ FWHM	HD, $\mu\text{Rad}$ 75% 에너지 적분	VD, $\mu\text{Rad}$ FWHM	VD, $\mu\text{Rad}$ 75% 에너지 적분
MO	30	130	80	150
PA	70	90	70	120

<67>

<68>

출원인은 예를 들면, 3 하모닉 Nd:YLF 마스터 발진기(102)에 의해 구동되는 2 개의 XeF 전력 증폭기(102, 104)에 기초한 LPP EUV 시스템에 대한 351nm 드라이브 레이저 개념을 성공적으로 개발하였다. 효율적인 증폭을 달성하기 위해, 상기 MO 펄스는 XeF 이득으로 적절히 오버래핑되기 위해 Nd:YLF 방출 스펙트럼의 중심으로부터 ~0.5nm까지 조정될 수 있다. 2 개의 기본적인 아키텍처 접근방식, MOPA 및 MOPO 시스템이 고전력 XeF 레이저 기술을 이용하여 평가되었다. XeF MOPA 및 XeF MOPO는 모두 적절한 광학 성능을 시연한다. MOPO는 출력 전력 필요조건(~30uJ)을 만족시키기 위한 최소의 MO 시드 에너지를 시연하고, 반면에 MOPA는 예를 들면 MO에서 빔 퀄리티 최적화를 위한 보다 짧은 펄스 듀레이션과 보다 큰 유연성을 시연한다. MOPA 시스템의  $10^{10}$  펄스 동작은 600~800 W 전력 범위에서 시연된다. 기존에 발견된 뚜렷한 광학기기의 손상은 관찰되지 않았다. 드라이브 레이저의 차후의 개발은 빔 퀄리티의 최적화, 8kHz까지의 동작 반복률의 확장, 출력 에너지와 전력 및 시스템 효율의 증가를 포함할 수 있다.

<69>

EUV 조사로의 레이저 광의 효율적인 변환은 레이저 산출 플라즈마(LPP) EUV 소스의 가장 중요한 문제점 중의 하나이다. 너무 낮은 변환 효율은 드라이브 레이저가 전달해야하는 전력의 양을 증가시키고, 이것은 명백한 레이저 비용의 증가 이외에도, 모든 컴포넌트에 열부하를 증가시키고, 잔해물의 생성을 증가시킬 수 있다. 고용량 제조(HVM) 틀을 위한 필요조건을 만족시키고, 동시에 허용가능한 한계내에서 레이저 전력 필요조건을 유지시키기 위해, 2.5%의 CE 초과가 필요하게 된다. 출원인은 LPP EUV 생성의 변환 효율을 최적화시키는 데에 연관된 본 발명의 일실시예의 특정한 측면을 제안한다. 상기 최적화 파라미터는 레이저 파장, 타겟 물질, 및 레이저 펄스 형상, 에너지 및 강도를 포함한다. 필요한 최소 CE를 야기하는 파라미터 세트 사이의 최종 선택은 특정한 파라미터 세트에 가용한 레이저 소스와 잔해물을 경감시키는 해결안에 의해 영향을 받거나 또는 그에 의해 전적으로 결정될 수 있다.

<70>

도 19A 및 19B는 레이저 조사 강도를 변화시키기 위한 플라즈마 소스 물질로부터의 리튬 및 주석의 스펙트럼을 도시한다.

<71>

도 20은 하기의 표 4에 의해 추가로 표시된 바와 같은 측정된 변환 에너지와 함께 2 차원으로 레이저 강도를 가진 플라즈마 소스의 크기의 변화를 그래프 형태로 예시한다.

표 4

레이저 파장	355nm		1064nm	
드라이브 레이저 에너지	$E_0$	$2E_0$	$E_1$	$2E_1$
최상의 CE	2.3%	2.5%	2.5%	2.6%
최상의 CE에서 XY소스크기	~125um	~130um	~200um	~225um
최상의 CE에서 Z소스크기	~125um	~120um	~190um	~120um

<72>

<73>

도 21A 및 21B는 하기의 표 5에 요약된 바와 같이, 변환 에너지의 각분포를 그래픽으로 예시한다.

표 5

레이저 파장	Li 호일		Sn 타겟 45°:25°	
	50°:25°	75°:25°	플레이트	드롭플릿
355 nm	0.75	0.68	~1	~1
1064 nm	0.58	0.42	TBD	TBD

<74>

<75>

출원인은 최적의 변환 효율 파라미터를 찾기 위해 레이저 파장, 펄스 폭, 에너지, 및 타겟 물질의 다양한 조합을 시험해왔다. 리튬은 Mo/Si 멀티-레이어 미러에 사용하기에 적합한 협대역-라인 방출을 산출한다는 것이 도시된다. 상기 리튬 방출 대역폭은 다음번 생성 마이크로소그래피 툴이 필요로하는 2%의 필요한 대역폭 보다 더 작다. 반면, 주석은 넓은 스펙트럼을 가지고 있으며, 이것은 스펙트럼 순도 필터를 필요로한다. 리튬 방출의 소스 크기는 작은 것으로 나타내고, 이는 방출된 빛의 효율적인 수집을 위한 이튼듀(etendue)의 필요조건을 쉽게 만족시킬 수 있다. 소스 크기는 드라이브 레이저의 파장에 강하게 의존하며, 드라이브 레이저의 에너지에는 약한 의존성을 가진다.

<76>

각분포의 측정치는 리튬보다 주석에 대해 보다 나은 균일도를 나타낸다. 상이한 타겟 지오메트리의 비교는 평면 타겟과 비교하여 Sn 드롭플릿에 대해 증가된 CE를 나타낸다. 프리펄스(pre-pulse)는 CE에서 현저한 증가를 야기할 수 있다. 변환 효율은 드라이브 레이저 파라미터와 타겟 물질의 적절한 선택을 위한 다수 중 하나의 고려사항일 뿐이다. 결국, 고용량 제조물의 초기 비용과 동작 비용은 레이저/타겟 조합이 최상인지를 지시한다. 시스템 트레이드오프는 수집 광학기기의 수명을 연장시키기 위해 보다 낮은 CE 옵션을 선택하는 것을 필요로 한다.

<77>

LPP 소스 지오메트리는 타겟 물질로부터의 매질 에너지(1-10keV) 이온의 고강도 플럭스로 수직입사 컬렉터를 노출시킨다. 스퍼터링과 주입에 기인한 직접적인 손상은 멀티-레이어 반사기의 반사도를 심각하게 열화시킨다. ETS(Sandia Nat'l Lab)에 대한 컬렉터의 수명은 1-6keV Xe 이온으로부터의 이온 손상에 의해 제한된다. 이중-레이어는 15M 펄스당 1의 속도로 예칭된다. 따라서, EUV 소스의 개념은 빠른 이온으로부터의 손상에 기인한 컬렉터의 부식을 방지하기 위한 효과적인 수단을 포함해야만 한다.

<78>

이온 에너지의 요약이 하기의 표 7에 도시된다.

표 7

	YAG 레이저 파라미터	최대 이온에너지, eV	피크 이온에너지, eV
리튬	355nm, 6.4ns, 160mJ	1,100	600
	355nm, 8ns, 540mJ	1,100	500
	355nm, 1ns, 100mJ	2,700	900
	1064nm, 6.5ns, 180mJ	1,150	550
	1064nm, 8.5ns, 315mJ	1,200	550
	1064nm, 1ns, 200mJ	3,000	650
주석	주석, 1064nm, 9ns, 305mJ	6,500	2,450
	주석, 355nm, 9ns, 425mJ	5,600	1,550

<79>

<80>

이온 플럭스 강도와 에너지는 하기의 표 8에 예시된 바와 같이 레이저 파라미터와 타겟 물질에 따라 변한다.

표 8

레이저: 355 nm	리튬 (50 $\mu\text{m}$ 호일)			주석 (50 $\mu\text{m}$ 호일 )		
	25°	45°	75°	25°	45°	75°
정규화된 이온 플럭스 (a.u.)	1	0.25	0.17	1	0.41	0.12
최대 역학적 에너지 (eV)	1150	650	450	5500	7800	20000

&lt;81&gt;

&lt;82&gt;

응축가능한 물질로부터의 컬렉터 보호에 관해, 예를 들면 가능한 HVM 기술 패스는 리튬 타겟 및 예를 들면, 가열된 멀티-레이어 미러를 활용할 수 있다. 응축된 리튬은 컬렉터 미러로부터 농축되고, 예를 들면 약 400C에서 유지관리된다. 고 반사도 및 고온에서의 파장의 안정성을 가진 멀티-레이어 미러 구조는, 예를 들면 상술한 공동계류중인 특허출원에서 도시된 바와 같은 적절히 낮은 EUV 흡수를 하는 매우 효과적인 리튬 확산 배리어와 함께, 출원인의 고용주에 의해 개발되었다. 적당한 에너지 이온과, 응축가능한 중성 물질 모두로 구성된 LPP 잔해물은 EUV 광원에서 허용가능한 컬렉터 수명에 대해 심각한 기술적 문제를 나타낸다. 이온 잔해물은 특성화되고, 적당한 이온 정지 전력을 가진 상이한 기술들이 시연되었다. 동시에, 상기 기술들은 100B 샷 컬렉터 수명과 일치하는 레벨까지 이온 부식을 감소시킬 것으로 기대된다. 응축가능한 타겟 물질, 리튬은 컬렉터 표면에서 농축될 수 있다. 기술적 문제는 (1) 반사시 및 장기간의 어닐링 상태에서 중심 파장에서의 안정된 고온 MLM 미러의 개발; (2) 적절하고 효과적인 리튬 확산 배리어의 개발;을 포함한다.

&lt;83&gt;

상술한 본 발명의 실시예의 측면들은 단지 바람직한 실시예일 뿐, 어떠한 방식으로건 또 특정한 바람직한 실시예에 대해서만 한정되도록 의도된 것이 아니라는 것을 당업자는 이해할 것이다. 다수의 변형과 변경이 기재된 본 발명의 실시예들의 측면들에 이루어질 수 있다는 것을 당업자는 이해할 것이다. 첨부된 청구범위는 본 발명의 실시예의 상기 기재된 측면들을 커버할 뿐 만 아니라 당업자에게 명확한 그의 동등물 및 기타 변형도 커버하는 범위에 있고, 또한 그를 의미하도록 의도된다. 상술한 본 발명의 실시예의 기재되고 청구된 측면들에 대한 변형 및 변경에 추가하여, 하기의 것들이 수행될 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

&lt;5&gt;

도 1은 W. D. Kimura 등의, Appl. Opt. #21, Vol.28(1989)으로부터: XeF에 대한 에너지 레벨 다이어그램을 도시한다.

&lt;6&gt;

도 2는 본 발명의 일실시예의 측면에 따른 EUV 드라이브 레이저 시스템과 본 발명의 일실시예의 측면에 따른 출력 스펙트럼의 측정치를 개략적으로 도시한다.

&lt;7&gt;

도 3은 도 2의 것과 같은 EUV 드라이브 레이저로부터의 출력 스펙트럼을 도시한다.

&lt;8&gt;

도 4는 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 EUV 드라이브 레이저 시스템을 개략적으로 도시한다.

&lt;9&gt;

도 5는 도 4의 것과 같은 EUV 드라이브 레이저로부터의 출력 스펙트럼을 도시한다.

&lt;10&gt;

도 6은 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 XeF 엑시머 가스 방전 레이저 시스템에 대해 2개의 스펙트럼 피크로부터 떨어져서 배치된 솔리드 스테이트 Nd:YLF 레이저의 자연 동작의 프리 런닝 스펙트럼을 가지고 EUV 드라이브 레이저 시스템에 대해 솔리드 스테이트 시드 레이저로부터의 스펙트럼을 원하는 대로 시프트하는 것을 도시한다.

&lt;11&gt;

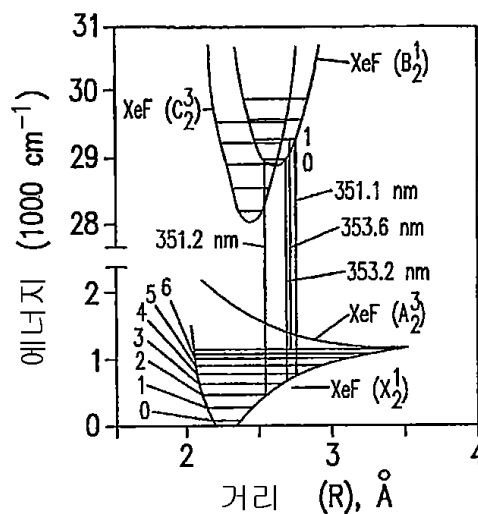
도 7은 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 예를 들면 리요트 필터를 가지고 M0 스펙트럼 성능을 최적화하고, 그에 의해 예를 들면 2 개의 연속한 Nd:YLF 라인과 같은 2 개의 Nd:YLF 라인, XeF 스펙트럼의 각각의 강한 선의 피크들과 오버랩되는 것을 도시하는 도이다.



- <12> 도 8은 예를 들면 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 3 하모닉 Nd:YLF MO와 같은 솔리드 스테이트 EUV 드라이브 레이저 시스템의 시드 레이저에 관한 스펙트럼을 도시하고, 3 하모닉 Nd:YLF 레이저가 XeF 이득 스펙트럼과 매칭하도록 조정될 필요가 있다는 것을 예시하는 분광기를 이용한 측정치를 더 도시한다.
- <13> 도 9는 XeF 이득 스펙트럼의 351.125nm 라인과 결과물인 PA 출력 스펙트럼과 매칭하도록 시프트되는 3 하모닉 Nd:YLF 레이저의 출력 파장을 더 도시한다.
- <14> 도 10은 본 발명의 일실시예의 측면에 따라 예를 들면, XeF 이득, 생성기 효율, 및 출력 에너지를 증가시키기 위한 에너지 스케일링을 도시한다.
- <15> 도 11은 100% DC를 가진 4kHz에서 시연된 PA 채널당 @400W의 긴 시간동안의 동작을 그래픽으로 도시한다.
- <16> 도 12는 예를 들면 단일 패스 PA를 가진 고반복율 XeF MOPA 시스템 상에서 수행되는 2억 펄스 작업의 예를 도시한다.
- <17> 도 13은 PO 증폭기 레이저 부분에서의 단일 패스와 트리플 패스 효율을 도시한다.
- <18> 도 14는 그의 성능을 증가시키기 위한 본 발명의 일실시예의 측면에 따른 MOPO 레이저 시스템의 설치와 설계안을 도시한다.
- <19> 도 15는 본발명의 일실시예의 측면에 따라, PO 구성의 평가와 그에 의한 효율적인 PO 시드가 시연되는 것을 도시한다.
- <20> 도 16은 MOPO, 단일 패스 PA 및 트리플 패스 PA에 대해 예를 들면 FWHM에서의 일시적인 펄스폭을 도시한다.
- <21> 도 17, 도 18A 및 18B는 XeF MOPA 빔의 다이버전스를 예시하고, 도 17은 실험용 셋업을 도시하고, 여기서 예를 들면 XeF MOPA 빔 다이버전스에 대해 멀리있는 필드 프로파일이 결정되는 것을 도시한다.
- <22> 도 18A 및 18B는 예를 들면 도 17의 셋업에 따라 측정된 빔의 프로파일을 도시한다.
- <23> 도 19A 및 19B는 레이저 조사 강도를 변화시키기 위한 플라스마 소스 물질로부터의 리튬 및 주석의 스펙트럼을 도시한다.
- <24> 도 20은, 예시의 방식으로, 측정된 변환 에너지와 함께 2 차원으로 레이저 강도를 가진 플라스마 소스 크기의 변화를 그래픽 형태로 도시한다.
- <25> 도 21A 및 21B는, 예시의 방식으로, 변환에너지의 각분포를 그래픽으로 도시한다.

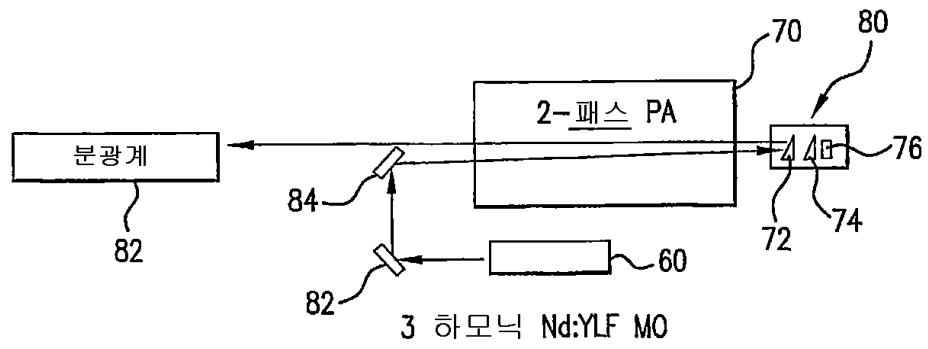
## 도면

### 도면1

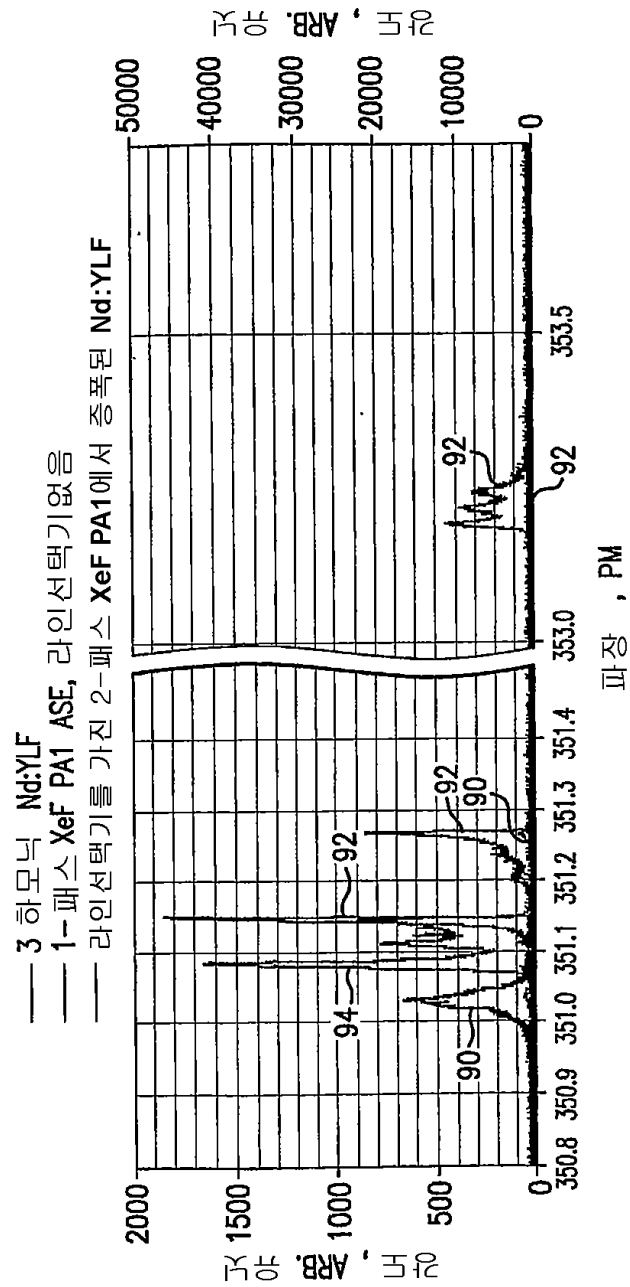




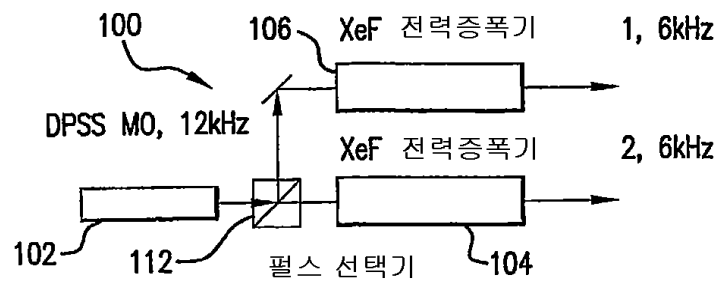
도면2



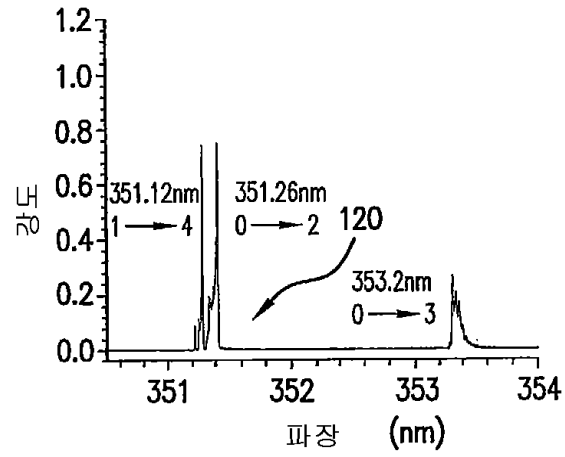
도면3



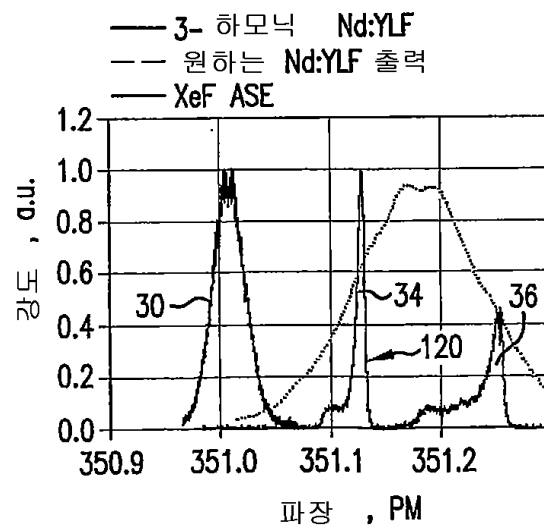
도면4



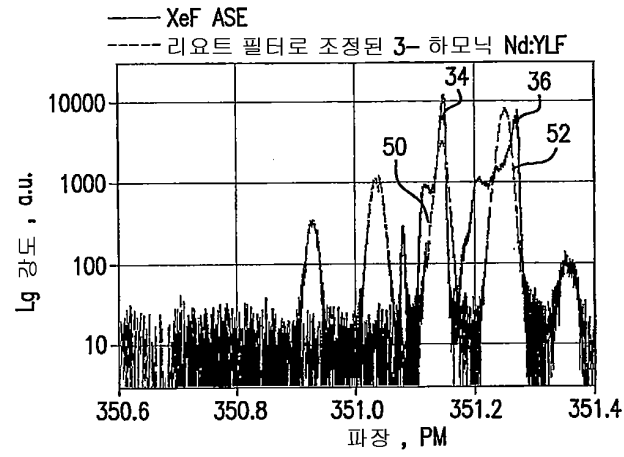
도면5



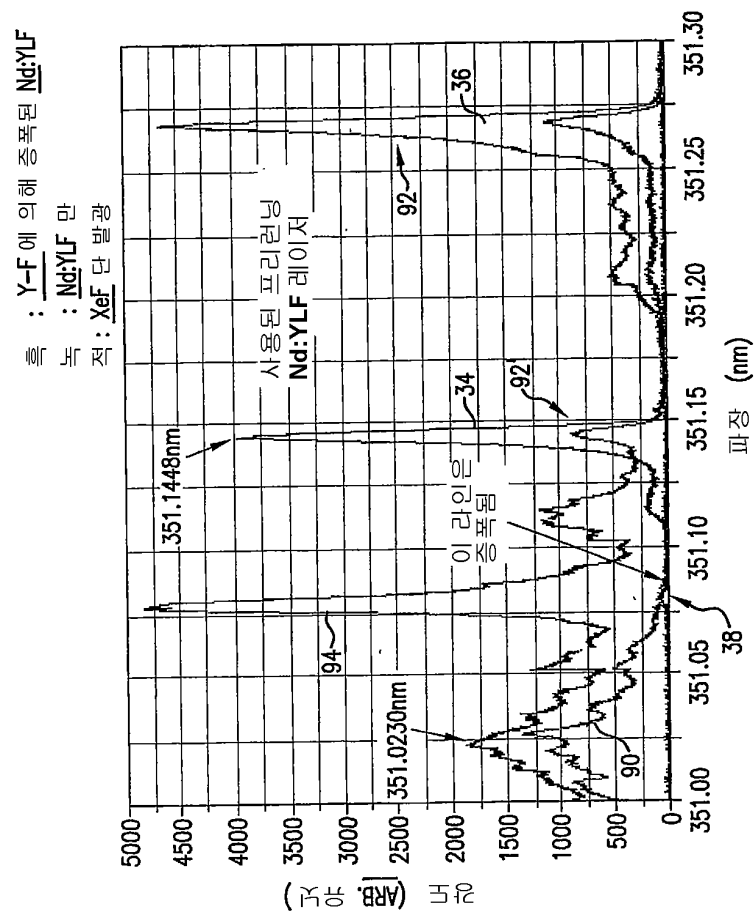
도면6



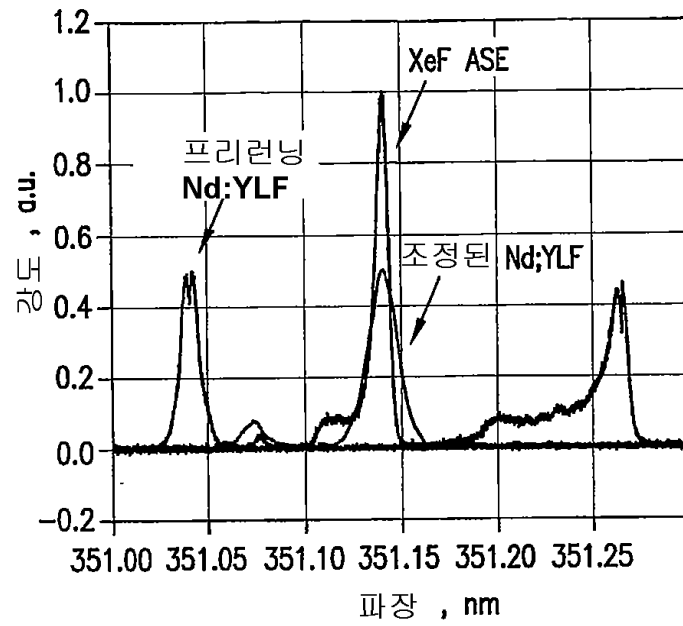
도면7



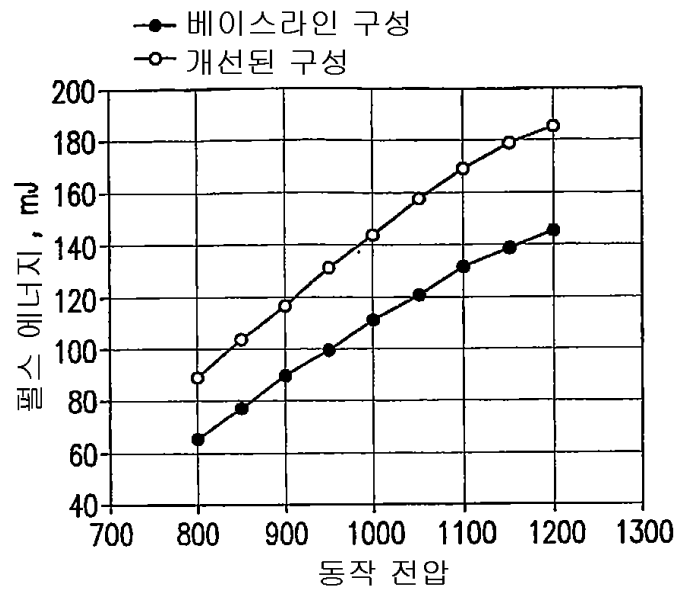
도면8



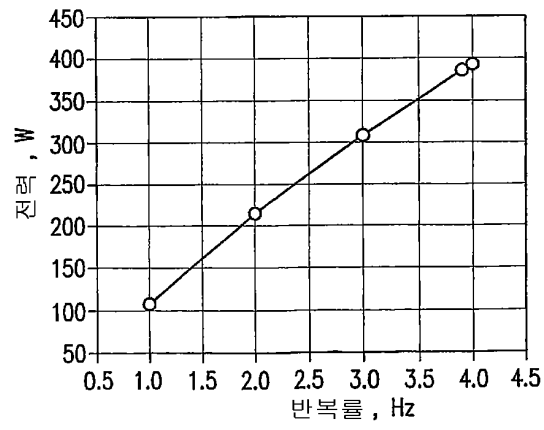
도면9



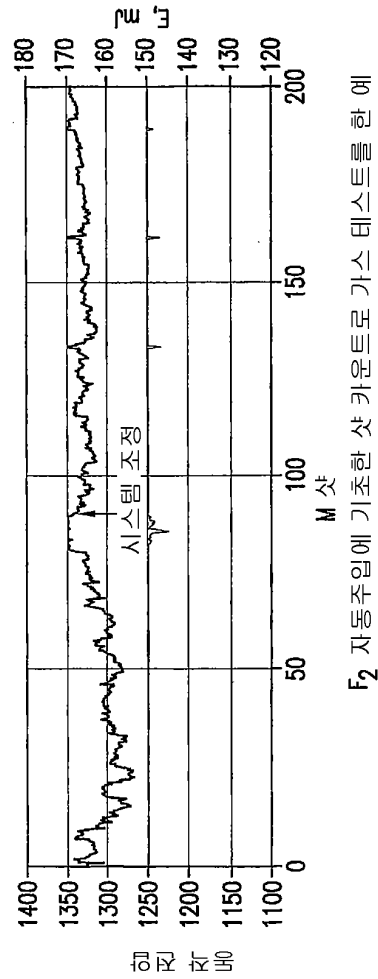
도면10



도면11

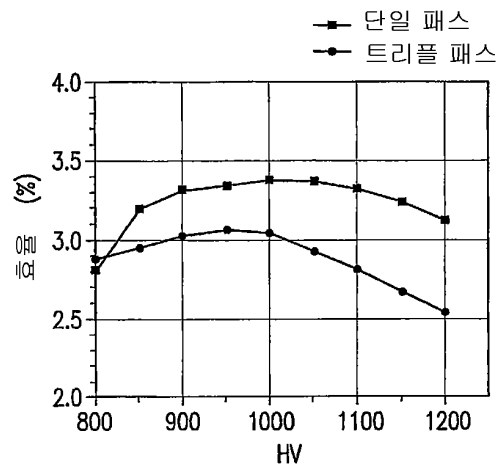


도면12

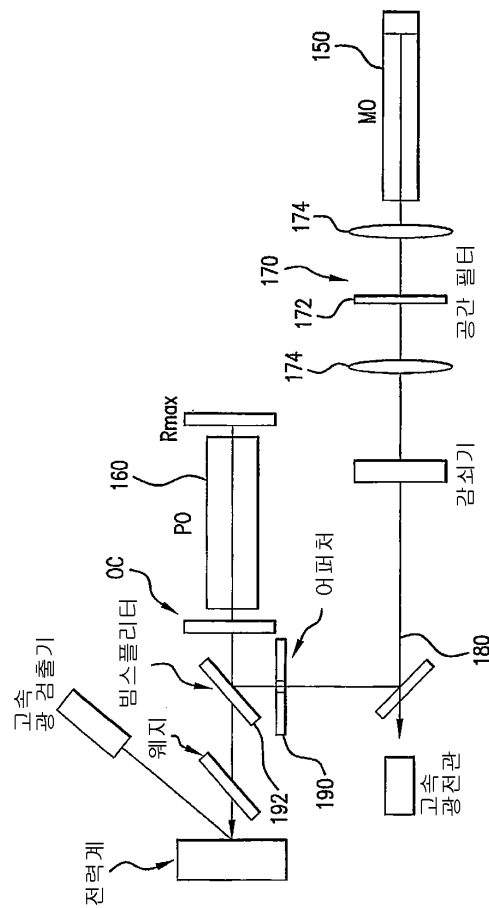




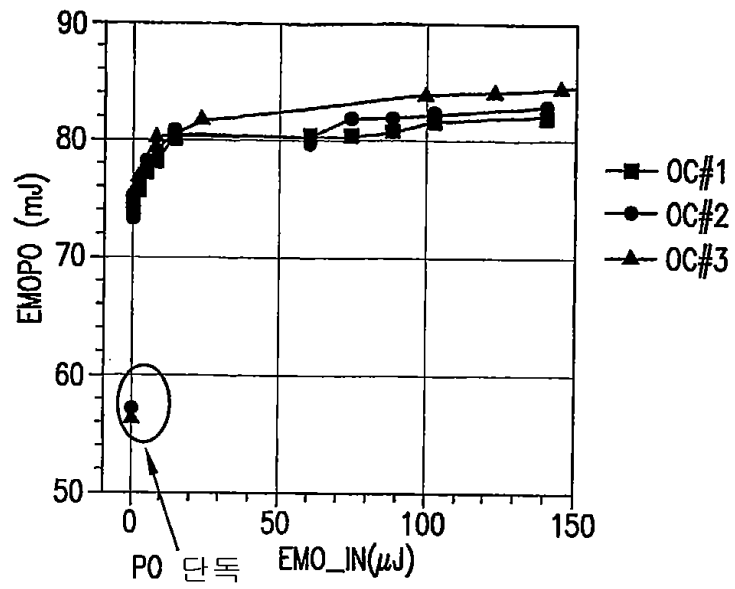
도면13



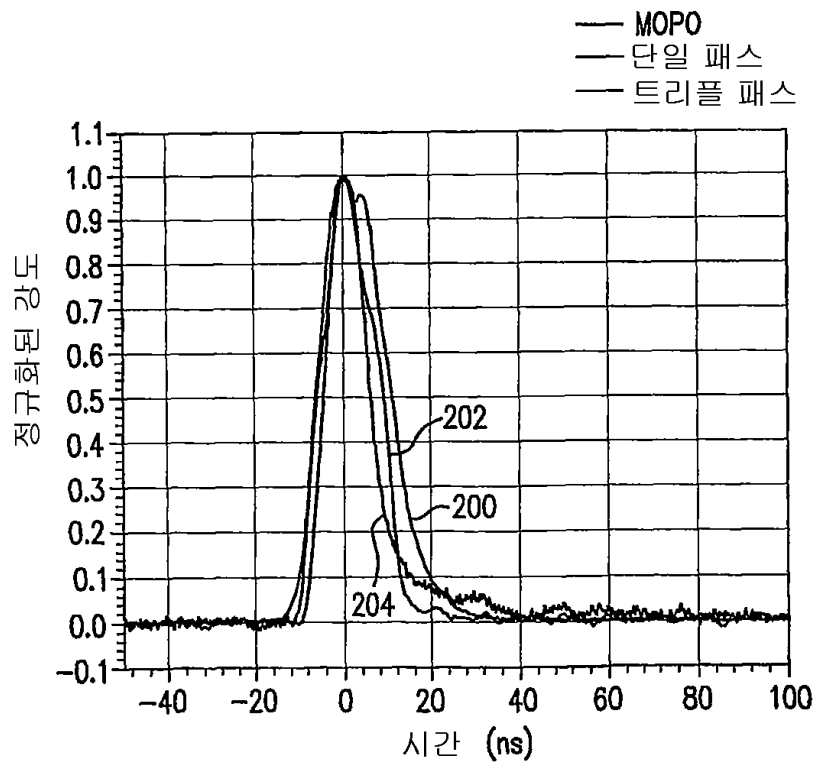
도면14



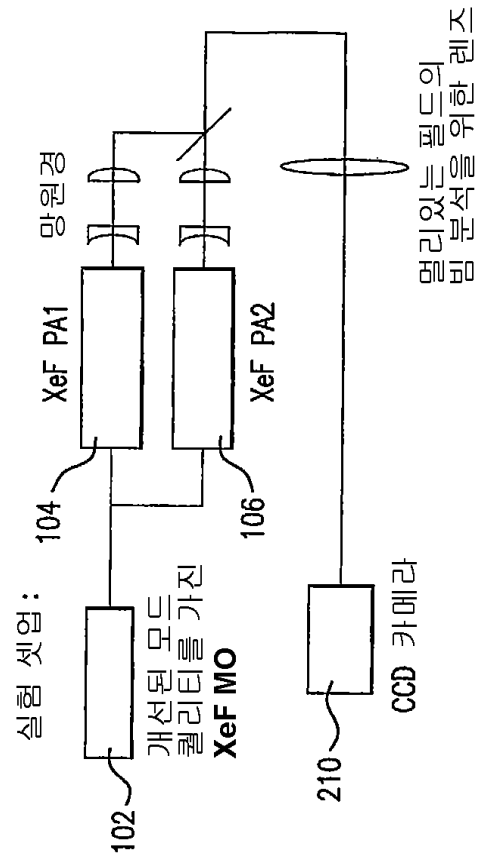
도면15



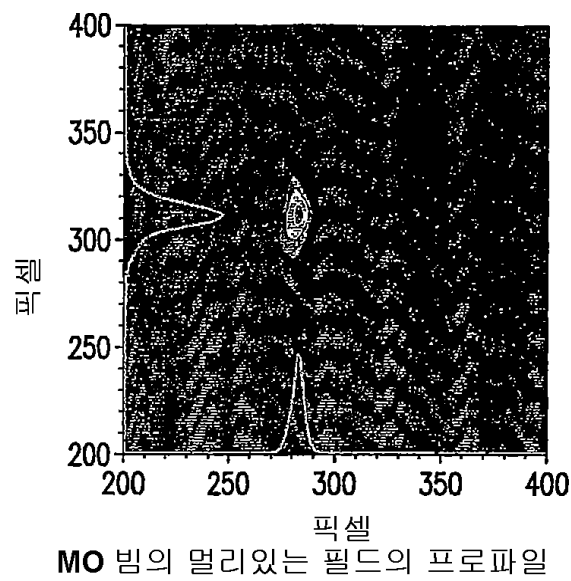
도면16



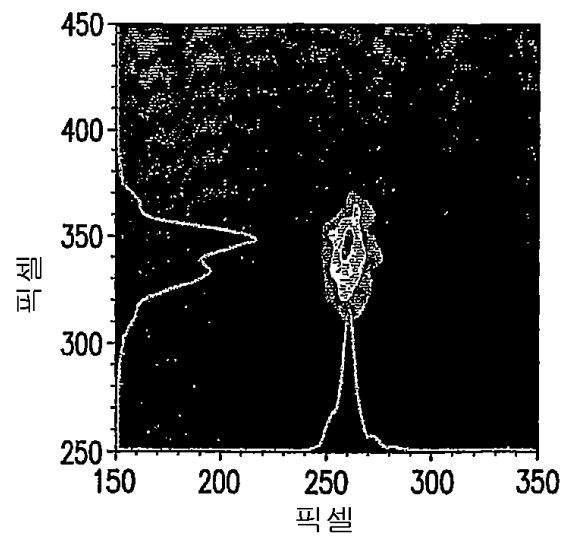
도면17



도면18a

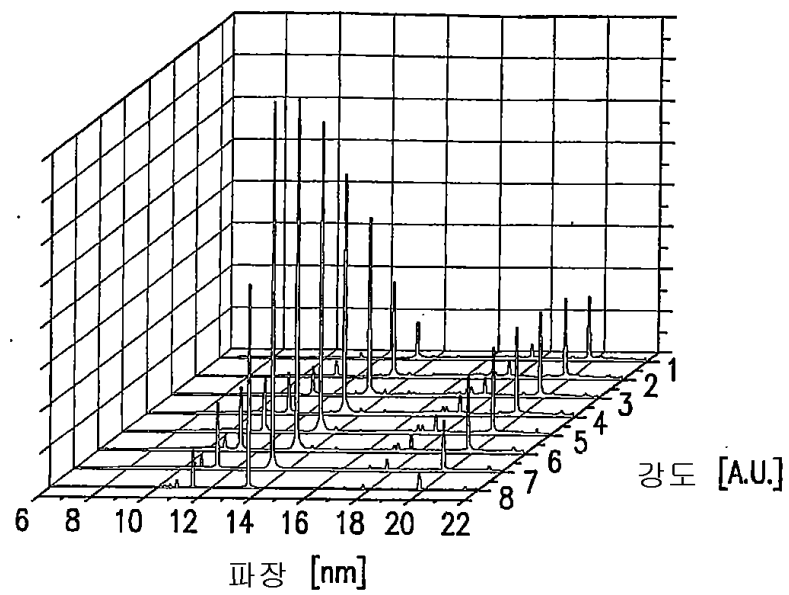


도면18b

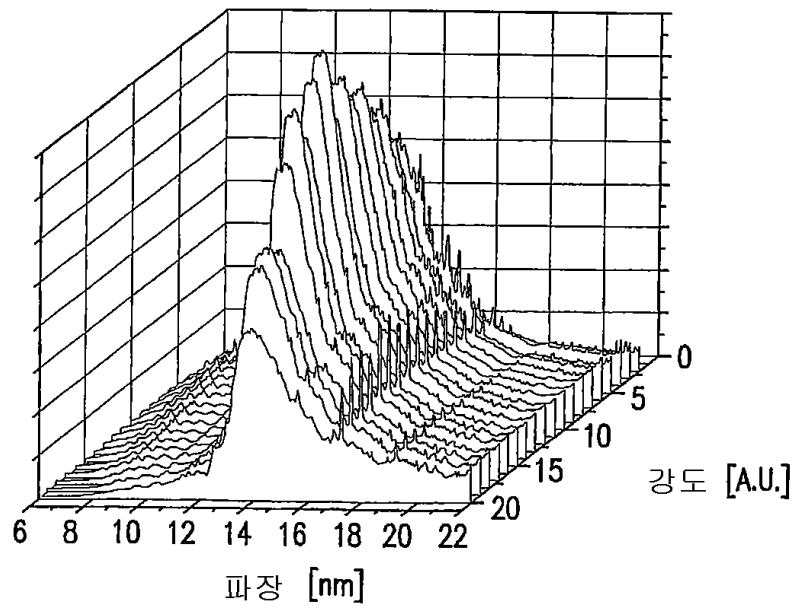


MOPA빔의 멀리있는 필드의 프로파일

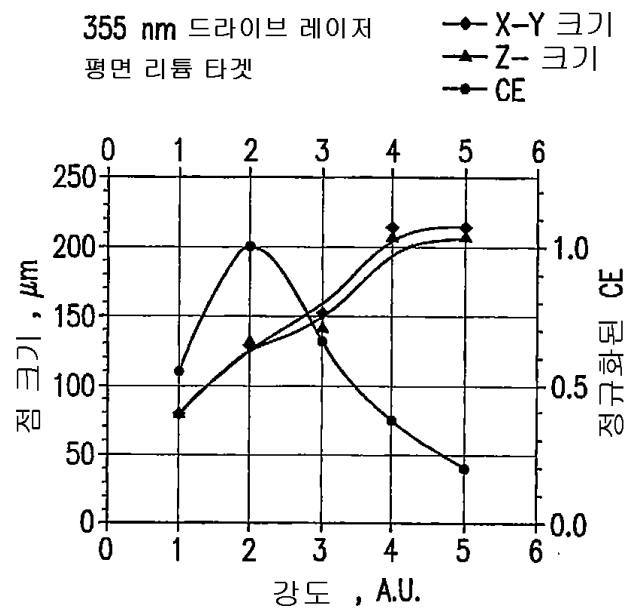
도면19a



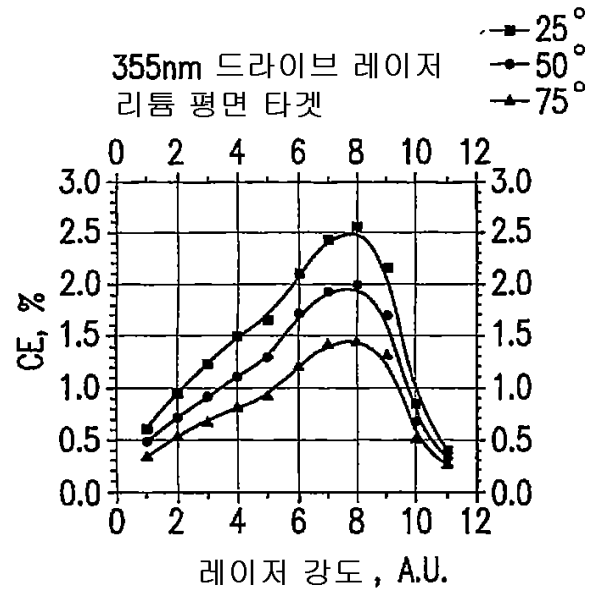
도면19b



도면20



도면21a



도면21b

