(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년08월17일
(11) 등록번호 10-2290475
(24) 등록일자 2021년08월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/227 (2006.01) *H01S 3/036* (2006.01)
H01S 3/104 (2006.01) *H01S 3/134* (2006.01)
H01S 3/223 (2006.01) *H01S 3/23* (2006.01)
H05G 2/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01S 3/227 (2013.01)
H01S 3/036 (2019.01)
(21) 출원번호 10-2016-7022130
(22) 출원일자(국제) 2015년01월19일
심사청구일자 2020년01월17일
(85) 번역문제출일자 2016년08월12일
(65) 공개번호 10-2016-0115937
(43) 공개일자 2016년10월06일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2015/050837
(87) 국제공개번호 WO 2015/113843
국제공개일자 2015년08월06일
(30) 우선권주장
61/934,143 2014년01월31일 미국(US)
14/593,278 2015년01월09일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US04837770 A*
US08158960 B2*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
에이에스엠엘 네델란즈 비.브이.
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
(72) 발명자
장 케빈 웨이민
미국 92127 캘리포니아주 샌디에고 쏜민트 코트 17075
리벤베르그 크리스토펠 요하네스
미국 92127 캘리포니아주 샌디에고 쏜민트 코트 17075
샤프간스 알렉산더 앤서니
미국 92127 캘리포니아주 샌디에고 쏜민트 코트 17075
(74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 22 항 심사관 : 홍성의

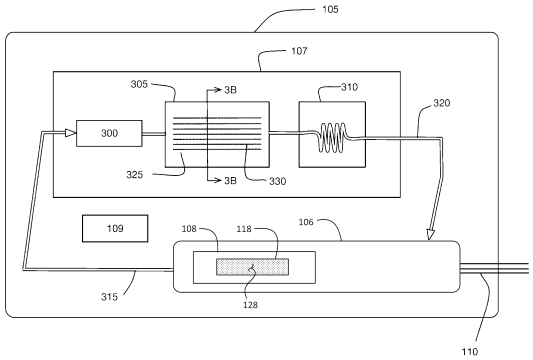
(54) 발명의 명칭 **광 증폭기의 기체 매질의 촉매 변환**

(57) 요 약

극자외광 시스템은 광 증폭기 시스템 및 촉매 변환 시스템을 포함한다. 광 증폭기 시스템의 각각의 광 증폭기는 증폭된 광 빔을 생성하는 기체 혼합물의 형태로 이득 매질을 포함한다. 광 증폭기 시스템은 기체 혼합물이 통과하는 유체 입구 및 유체 출구를 포함한다. 촉매 변환 시스템은 광 증폭기 시스템의 유체 출구 및 광 증폭기 시스

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도3a



템의 유체 입구에 유체 접속된다. 촉매 변환 시스템은 촉매 변환기를 포함하고, 이 촉매 변환기는 하우징; 기체 혼합물이 통과될 수 있는 개구를 포함하는, 하우징 내의 기판; 및 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포된 촉매를 포함하고, 촉매는 금속 입자를 포함한다. 금속 입자는 귀금속 나노입자일 수 있다.

(52) CPC특허분류
H01S 3/104 (2013.01)
H01S 3/134 (2013.01)
H01S 3/2232 (2013.01)
H01S 3/2316 (2013.01)
H05G 2/008 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

극자외광 시스템으로서,

하나 이상의 광 증폭기를 포함하는 광 증폭기 시스템 - 각각의 광 증폭기는 기체 혼합물의 형태로 이득 매질(gain medium)을 포함하고, 상기 이득 매질은 듀티 사이클에 따라 상기 이득 매질을 펌핑하기 위해 에너지 공급부로부터 에너지가 공급될 때 펄스형의 증폭된 광 빔을 생성하고, 상기 광 증폭기 시스템은 상기 기체 혼합물이 통과하는 유체 입구 및 유체 출구를 포함함 -;

상기 광 증폭기 시스템의 유체 출구 및 상기 광 증폭기 시스템의 유체 입구에 유체 접속되고, 촉매 변환기를 포함하는 촉매 변환 시스템; 및

상기 촉매 변환기로부터 분리된 열교환기를 포함하고,

상기 촉매 변환기는,

하우징;

상기 기체 혼합물이 통과할 수 있는 개구를 포함하는, 상기 하우징 내의 기판; 및

상기 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포되고, 금속 나노입자를 포함하는 촉매를 포함하며,

상기 열교환기는 상기 기체 혼합물이 유동하는 배관을 포함하되, 상기 열교환기의 배관의 내면은 상기 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 촉진시키는 촉매로 코팅되어 있는, 극자외광 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 기판의 개구는 허니콤 기하구조를 갖는,

극자외광 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 배관은 외부의 히트 싱크에 의해 냉각되는, 극자외광 시스템.

청구항 4

삭제

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 극자외광 시스템은 타겟 위치에서 타겟 물질을 생성하도록 구성된 타겟 물질 운반 시스템을 더 포함하고, 상기 증폭된 광 빔은 극자외(EUV)광을 방출하는 플라즈마를 발생시키기 위해 상기 증폭된 광 빔과 상기 타겟 물질 사이의 상호작용을 가능하게 하도록 상기 타겟 위치를 향해 안내되는,

극자외광 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 촉매는 금 나노입자를 포함하는,

극자외광 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 세라믹 재료로 제조되는,

극자외광 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 촉매 변환 시스템은 상기 광 증폭기 시스템의 유체 입구 및 유체 출구로부터 형성된 유체 라인과 병렬로 유동가능하게 배치되는,

극자외광 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 촉매 변환 시스템은 상기 광 증폭기 시스템의 유체 입구 및 유체 출구로부터 형성된 유체 라인과 직렬로 유동가능하게 배치되는,

극자외광 시스템.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 금속은 귀금속인,

극자외광 시스템.

청구항 11

극자외광을 생성하기 위한 방법으로서,

상기 방법은,

펄스형의 증폭된 광 빔을 생성하기 위해 광 증폭기 시스템에서 하나 이상의 광 증폭기의 이득 매질에 펌프 에너지를 공급하는 단계 - 기체 혼합물의 형태의 상기 이득 매질은 분자를 포함하고, 상기 분자 중 적어도 일부는 튜브 내에서 상기 증폭된 광 빔의 생성 중에 해리됨 -;

상기 튜브로부터 배출되는 상기 기체 혼합물의 온도를 조절하는 단계;

온도 조절된 상기 기체 혼합물을, 하우징 내에 고정되고, 금속 나노입자의 촉매로 코팅된 기판을 통해 안내하여 상기 기체 혼합물의 해리된 분자를 산화시키는 단계;

산화된 상기 기체 혼합물을 상기 튜브 내로 복귀시키는 단계;

타겟 위치에서 타겟 물질을 생성하는 단계; 및

상기 타겟 물질이 극자외광을 방출하는 플라즈마로 변환되도록 상기 증폭된 광 빔과 상기 타겟 물질 사이의 광학적 상호작용을 가능하게 하는 초점 위치 상에 상기 증폭된 광 빔을 집속시키는 단계를 포함하는,

극자외광을 생성하기 위한 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 극자외광을 생성하기 위한 방법은, 상기 산화된 기체 혼합물을 상기 튜브로 복귀시키기 전에 상기 기체 혼합물로부터 열을 제거하기 위해, 상기 튜브로부터 배출되는 상기 기체 혼합물을 온도 제어식 배관을 통해 안내

하는 단계를 더 포함하는,

극자외광을 생성하기 위한 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 극자외광을 생성하기 위한 방법은 온도 조절되는 배관의 내면 상에 코팅된 촉매로 상기 기체 혼합물의 해리된 분자를 적어도 부분적으로 산화시키는 단계를 더 포함하는,

극자외광을 생성하기 위한 방법.

청구항 14

삭제

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 기체 혼합물의 온도를 조절하는 단계는 상기 튜브로부터 배출되는 상기 기체 혼합물의 온도 이상으로 상기 기체 혼합물의 온도를 유지시키는 단계를 포함하는,

극자외광을 생성하기 위한 방법.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 금속은 귀금속인,

극자외광을 생성하기 위한 방법.

청구항 17

극자외광 시스템의 광 증폭기 시스템을 위한 촉매 변환 시스템으로서,

촉매 변환기; 및

상기 촉매 변환기로부터 분리된 열교환기를 포함하고,

상기 촉매 변환기는:

광 증폭기 시스템 내에서 이득 매질의 해리된 분자를 포함하는 기체 혼합물을 수용하기 위해 상기 광 증폭기 시스템에 유체 접속되는 입구;

상기 광 증폭기 시스템에 유체 접속되는 출구;

상기 입구 및 상기 출구 사이의 하우징;

상기 기체 혼합물이 통과할 수 있는 개구를 포함하는, 상기 하우징 내의 기판; 및

상기 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포되고, 금속 나노입자를 포함하는 촉매를 포함하며,

상기 열교환기는 상기 촉매 변환기로부터의 기체 혼합물이 유동하는 배관을 포함하되, 상기 열교환기의 배관의 내면은 상기 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 가속화시키는 촉매로 코팅되어 있는,

촉매 변환 시스템.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 기판의 개구는 육각형인,

촉매 변환 시스템.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 하우징은 상기 입구 및 상기 출구에 유체 접속되는,

촉매 변환 시스템.

청구항 20

극자외광 시스템의 기체 방전 광 증폭기 시스템을 위한 촉매 변환 시스템으로서,

상기 촉매 변환 시스템은,

상기 광 증폭기 시스템으로부터 배출되는 기체 혼합물의 온도를 상승시키는 열 조절 시스템 - 상기 기체 혼합물은 상기 광 증폭기 시스템으로부터 증폭된 광 빔을 생성하도록 여기되는 이득 매질의 해리된 분자를 포함함 -; 및

상기 열 조절 시스템으로부터 배출되는 상승된 온도의 상기 기체 혼합물을 수용하는 촉매 변환기를 포함하고,

상기 촉매 변환기는,

상기 기체 혼합물이 통과할 수 있는 개구를 포함하는, 하우징 내의 기판; 및

상기 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포되고, 상기 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 가속화시키는 금속 입자를 포함하는 촉매를 포함하는,

촉매 변환 시스템.

청구항 21

제 20 항에 있어서,

상기 기판의 개구는 육각형인,

촉매 변환 시스템.

청구항 22

제 20 항에 있어서,

상기 금속 입자는 귀금속 나노입자인,

촉매 변환 시스템.

청구항 23

극자외광 시스템의 기체 방전 광 증폭기 시스템을 위한 촉매 변환 시스템으로서,

상기 촉매 변환 시스템은,

상기 광 증폭기 시스템으로부터 배출되는 기체 혼합물을 수용하는 촉매 변환기; 및

상기 촉매 변환기로부터 분리된 열교환기를 포함하고,

상기 기체 혼합물은 상기 광 증폭기 시스템으로부터 증폭된 광 빔을 생성하도록 여기되는 이득 매질의 해리된 분자를 포함하며,

상기 촉매 변환기는,

상기 기체 혼합물이 통과할 수 있는 개구를 포함하는, 하우징 내의 기판; 및

상기 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포되고, 상기 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 가속화시키는 금속 입자를 포함하는 촉매를 포함하고,

상기 열교환기는 상기 기체 혼합물이 유동하는 배관을 포함하고, 상기 배관은 외부의 히트 싱크에 의해 냉각되

며,

상기 열교환기의 배관의 내면은 상기 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 가속화시키는 촉매로 코팅되어 있는, 촉매 변환 시스템.

청구항 24

삭제

청구항 25

제 23 항에 있어서,

상기 금속 입자는 귀금속 나노입자인,

촉매 변환 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 관련출원의 상호참조

[0002] 2014년 1월 31에 출원된 미국 가출원 61/934,143 및 2015년 1월 9일에 출원된 미국 실용신안 출원 14/593,278의 이익을 주장하고, 이들 출원은 참조에 의해 그 전체가 본원에 포함된다.

[0003] 기술분야

[0004] 개시된 요지는 극자외(EUV)광 레이저 시스템의 증폭된 광 빔을 생성하는 드라이브 레이저 시스템에서 이득 매질의 기체 혼합물의 촉매 변환을 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 극자외(EUV)광, 예를 들면, 약 50 nm 이하(경우에 따라 연질 X선이라고 지칭됨)의 파장을 갖고, 약 13 nm의 파장의 광을 포함하는 전자기 복사선은 기판, 예를 들면, 실리콘 웨이퍼에 극히 작은 피처(feature)를 생성하기 위한 포토리소그래피 공정에서 사용될 수 있다.

[0006] 극자외광을 생성하는 방법은 물질을 원소(예를 들면, 극자외광 범위의 방출선을 갖는 제논, 리튬, 또는 주석)을 갖는 플라즈마 상태로 변환시키는 단계를 포함한다(그러나, 반드시 이것에 한정되는 것은 아님). 흔히 레이저 생성 플라즈마("LPP")라고 지칭되는 이러한 하나의 방법에서, 요구되는 플라즈마는 타겟 물질, 예를 들면, 액적, 흐름, 또는 클러스터 형태의 물질을 드라이브 레이저로 지칭될 수 있는 증폭된 광 빔으로 조사함으로써 생성될 수 있다. 이 공정의 경우, 전형적으로 플라즈마는 밀봉된 용기, 예를 들면, 진공 체임버에서 생성되고, 다양한 유형의 계측 기구를 사용하여 모니터링된다.

[0007] 약 10600 nm의 파장으로 증폭된 광 빔을 출력하는 CO_2 증폭기 및 레이저는 LPP 공정에서 타겟 물질을 조사하는 드라이브 레이저로서 특정의 장점을 제공한다. 이것은 특히 특정의 타겟 물질의 경우에, 예를 들면, 주석을 함유하는 물질의 경우에 그러하다. 예를 들면, 하나의 장점은 드라이브 레이저 입력 전력과 극자외광 출력 전력 사이의 비교적 높은 변환 효율을 생성하는 능력이다. CO_2 드라이브 증폭기와 레이저의 다른 장점은 주석 파편으로 코팅된 반사 광학계와 같은 비교적 거친 표면으로부터 반사되는 (예를 들면, 198 nm의 심자외선과 비교되는) 비교적 긴 파장의 광의 능력이다. 10600 nm 복사의 이러한 특성에 기인되어 플라즈마의 근처에 예를 들면, 증폭된 광 빔의 집속력(focal power)을 조종, 집중 및/또는 조절하기 위해 반사 거울이 사용될 수 있다.

발명의 내용

[0008] 일부의 일반적 양태에서, 극자외광 시스템은 광 증폭기 시스템 및 촉매 변환 시스템을 포함한다. 이 광 증폭기 시스템은 하나 이상의 광 증폭기를 포함한다. 각각의 광 증폭기는 이득 매질을 펌핑하기 위해 에너지 공급부로부터 에너지가 공급되는 경우에 증폭된 광 빔을 생성하는 기체 혼합물의 형태로 이득 매질을 포함한다. 광 증폭기 시스템은 기체 혼합물이 통과하는 유체 입구 및 유체 출구를 포함한다. 촉매 변환 시스템은 광 증폭기 시스템의 유체 출구 및 광 증폭기 시스템의 유체 입구에 유체 접속된다. 촉매 변환 시스템은 촉매 변환기를 포함하

고, 이 촉매 변환기는 하우징; 기체 혼합물이 통과될 수 있는 개구를 포함하는, 하우징 내의 기판; 및 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포된 촉매를 포함하고, 촉매는 금속 나노입자를 포함한다.

[0009] 구현형태는 다음의 특징 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 예를 들면, 기판의 개구는 허니콤 기하구조를 가질 수 있다. 금속은 귀금속일 수 있다.

[0010] 본 시스템은 촉매 변환기로부터 분리된 열교환기를 포함할 수 있고, 이 열교환기는 기체 혼합물이 유동하는 배관을 포함하고, 이 배관은 외부의 히트 싱크에 의해 냉각된다. 열교환기의 배관은 자신의 내면에 상기 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 촉진시키는 촉매로 코팅되어 있다.

[0011] 본 시스템은 타겟 위치에서 타겟 물질을 생성하도록 구성된 타겟 물질 운반 시스템을 더 포함하고, 증폭된 광 빔은 극자외(EUV)광을 방출하는 플라즈마를 발생시키기 위해 증폭된 광 빔과 타겟 물질 사이의 상호작용을 가능하게 하도록 상기 타겟 위치를 향해 안내된다.

[0012] 촉매는 금 나노입자를 포함할 수 있다. 기판은 세라믹 재료로 제조될 수 있다.

[0013] 촉매 변환 시스템은 광 증폭기 시스템의 유체 입구 및 유체 출구로부터 형성된 유체 라인과 병렬로 유동가능하게 배치된다.

[0014] 촉매 변환 시스템은 광 증폭기 시스템의 유체 입구 및 유체 출구로부터 형성된 유체 라인과 직렬로 유동가능하게 배치된다.

[0015] 다른 일반적 양태에서, 극자외광을 생성하기 위한 방법은 증폭된 광 빔을 생성하기 위해 광 증폭기 시스템 내에서 하나 이상의 광 증폭기의 이득 매질에 펌프 에너지를 공급하는 단계 - 기체 혼합물의 형태의 이득 매질은 분자를 포함하고, 이 분자 중 적어도 일부는 튜브 내에서 증폭된 광 빔의 생성 중에 해리됨 -; 하우징 내에 고정되고, 금속 나노입자의 촉매로 코팅된 기판을 통해 상기 튜브로부터 배출되는 상기 기체 혼합물을 안내하여 상기 기체 혼합물의 해리된 분자를 산화시키는 단계; 산화된 상기 기체 혼합물을 상기 튜브 내로 복귀시키는 단계; 타겟 위치에서 타겟 물질을 생성하는 단계; 및 상기 타겟 물질이 극자외광을 방출하는 플라즈마로 변환되도록 상기 증폭된 광 빔과 상기 타겟 물질 사이의 광학적 상호작용을 가능하게 하는 초점 위치 상에 상기 증폭된 광 빔을 집속시키는 단계를 포함한다.

[0016] 구현형태는 다음의 특징을 포함할 수 있다. 예를 들면, 본 방법은, 산화된 기체 혼합물을 튜브로 복귀시키기 전에 기체 혼합물로부터 열을 제거하기 위해, 온도 제어식 배관을 통해 튜브로부터 배출되는 기체 혼합물을 안내하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 본 방법은 배관의 내면 상에 코팅된 촉매로 기체 혼합물의 해리된 분자를 적어도 부분적으로 산화시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0018] 본 방법은 튜브로부터 배출되는 기체 혼합물의 온도를 조절하는 단계를 포함할 수 있다. 기체 혼합물의 온도는 튜브로부터 배출되는 기체 혼합물의 온도를 초과하여 기체 혼합물의 온도를 유지함으로써 조절될 수 있다.

[0019] 다른 일반적 양태에서, 촉매 변환 시스템은 극자외광 시스템의 광 증폭기 시스템의 일부이다. 촉매 변환 시스템은 이득 매질의 해리된 분자를 포함하는 기체 혼합물을 수용하기 위해 광 증폭기 시스템에 유체 접속된 입구; 광 증폭기 시스템에 유체 접속된 출구; 입구와 출구 사이의 하우징; 기체 혼합물이 통과할 수 있는 개구를 포함하는, 하우징 내의 기판; 및 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포된, 금속 나노입자를 포함하는 촉매를 포함한다.

[0020] 구현형태는 다음의 특징 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 예를 들면, 기판의 개구는 육각형일 수 있다. 하우징은 입구 및 출구에 유체 접속될 수 있다. 금속은 귀금속일 수 있다.

[0021] 다른 일반적 양태에서, 촉매 변환 시스템은 극자외광 시스템의 기체 방전 광 증폭기 시스템의 일부이다. 촉매 변환 시스템은 광 증폭기 시스템으로부터 배출되는 기체 혼합물의 온도를 상승시키는 열 조절 시스템 - 이 기체 혼합물은 광 증폭기 시스템으로부터 증폭된 광 빔을 생성하기 위해 여기되는 이득 매질의 해리된 분자를 포함함 -; 및 열 조절 시스템으로부터 배출되는 상승된 온도의 기체 혼합물을 수용하는 촉매 변환기를 포함한다. 촉매 변환기는 기체 혼합물이 통과될 수 있는 개구를 포함하는, 하우징 내의 기판; 및 이 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포되는 촉매를 포함한다. 촉매는 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 촉진하는 금속 입자를 포함한다.

[0022] 구현형태는 다음의 특징 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 예를 들면, 기판의 개구는 육각형일 수 있다. 금속 입

자는 귀금속 나노입자일 수 있다.

[0023] 다른 일반적 양태에서, 촉매 변환 시스템은 극자외광 시스템의 기체 방전 광 증폭기 시스템의 일부이다. 이 촉매 변환 시스템은 광 증폭기 시스템으로부터 배출되는 기체 혼합물을 수용하는 촉매 변환기 - 이 기체 혼합물은 광 증폭기 시스템으로부터 증폭된 광 빔을 생성하기 위해 여기되는 이득 매질의 해리된 분자를 포함함 -, 및 촉매 변환기로부터 분리된 열교환기를 포함한다. 이 촉매 변환기는 기체 혼합물이 통과할 수 있는 개구를 포함하는, 하우징 내의 기판; 및 이 기판의 개구의 내면에 코팅으로서 도포된 촉매를 포함하고, 이 촉매는 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 촉진하는 금속 입자를 포함한다. 열교환기는 기체 혼합물이 유동하는 배관을 포함하고, 이 배관은 외부의 히트 싱크에 의해 냉각된다.

[0024] 구현형태는 다음의 특징 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 예를 들면, 열교환기의 배관은 자신의 내면에 상기 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 촉진시키는 촉매로 코팅되어 있다. 금속 입자는 귀금속 나노입자일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 광원의 일부로서 이 광원의 광 증폭기 시스템에 결합된 촉매 변환 시스템을 포함하는 극자외(EUV)광 시스템의 블록도이고;

도 2a는 촉매 변환 시스템을 사용하지 않은 상태에서 광 증폭기의 듀티 사이클에 대한 광 증폭기 시스템의 광 증폭기로부터의 전력 출력의 그래프이고;

도 2b는 도 1의 촉매 변환 시스템을 사용한 광 증폭기의 듀티 사이클에 대한 광 증폭기 시스템의 광 증폭기로부터의 전력 출력의 그래프로서, 비교를 위해 도 2a의 그래프의 상측에 도시되었다;

도 3a는 광 증폭기 시스템과 촉매 변환 시스템을 포함하는 광원의 블록도이고;

도 3b는 촉매 변환기의 일부의 확대도를 포함하는 도 1 및 도 3a의 촉매 변환 시스템 내의 기체 혼합물의 유동 방향을 따라 취한 촉매 변환기의 단면도이고;

도 4는 도 1 및 도 3a의 극자외광 시스템에서 사용될 수 있는 예시적 광 증폭기 시스템의 블록도이고;

도 5는 도 1 및 도 3a의 극자외광 시스템을 포함하는 예시적 포토리소그래피 시스템의 블록도이고;

도 6은 도 1 및 도 3a의 극자외광 시스템을 포함하는 예시적 시스템의 블록도이고;

도 7a 및 도 7b는 예시적 광 증폭기 및 예시적 촉매 변환 시스템의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 도 1을 참조하면, 극자외(EUV)광 시스템(100)은 증폭된 광 빔(110)을 생성하는 광원(또는 드라이브 레이저 시스템)(105), 타겟 물질(120)을 생성하도록 구성된 타겟 물질 운반 시스템(115), 및 드라이브 레이저 시스템(105)으로부터 방출되는 증폭된 광 빔(110)을 수용하여, 타겟 물질(120)을 수용하는 타겟 위치(130)을 향해 이 증폭된 광 빔(110)을 안내하도록 구성된 빔 전달 시스템(125)을 포함한다. 이 빔 전달 시스템(125)은 빔 이송 시스템(135), 및 초점 위치(145)에 증폭된 광 빔(110)을 집속시키는 최종 집속 어셈블리(140)를 포함한다. 증폭된 광 빔(110)과 타겟 물질(120) 사이의 상호작용에 의해 플라즈마(121)가 생성되고, 이 플라즈마(121)는 극자외광(150)을 방출한다. 집광기(155)는 리소그래피 공구와 같은 광학 장치(165)를 향해 수집된 극자외광(160)을 안내한다.

[0027] 드라이브 레이저 시스템(105)은 전치-증폭기와 같은 기타 광학 부품과 함께 광 증폭기 시스템(106)을 포함한다. 이 광 증폭기 시스템(106)은 높은 이득에서 원하는 파장을 광학적으로 증폭시킬 수 있는 분자의 기체 혼합물인 이득 매질(128)을 갖는 하나 이상의 광 증폭기(108), 전원과 같은 여기원, 및 내부 광학계를 포함한다. 광 증폭기(108) 내의 이득 매질(128)은 튜브와 같은 폐쇄된 체적(118) 내에 수용된다. 광 증폭기(108)의 이득 매질(128)의 전기적 펌핑 중에 이득 매질(128)의 적어도 일부의 분자는 광 증폭에 관련되지 않는 하나 이상의 분자 또는 원소로 해리되고, 이것으로 인해, 광 증폭기(108)는 보다 낮은 전력을 생성하고, 이것은 증폭된 광 빔(110)이 더 낮은 전력을 가진다는 것을 의미한다. 결국, 이 경우의 증폭된 광 빔(110)과 타겟 물질(120) 사이의 상호작용은 더 적은 플라즈마(121)를 생성하고, 이로 인해 방출되는 극자외광(150)의 양이 감소되고, 이로 인해 광학 장치(165)에 의해 사용될 수 있는 수집된 극자외광(160)이 감소된다. 이러한 효과는 전원이 온(ON)되어 있

는 시간 중에 전원이 오프(OFF)된 시간이 개재되어 있는 펄스형 시스템에서 훨씬 더 두드러진다.

[0028] 도 2a를 참조하면, (전원의 듀티 사이클을 증가시킴으로써) 광 증폭기(108)의 듀티 사이클이 증가됨에 따라, 이득 매질(128) 내의 분자의 해리가 증가하여 광 증폭기(108)로부터의 전력 출력(200)이 감소된다. 듀티 사이클은 사이클의 총 시간[T(on+off)]에 대한 사이클 중에 입력 전력이 전극에 인가되는 시간[T(on)]의 비이다. T(on)/T(on+off). 예를 들면, 광 증폭기(108)는 이득 매질(128)로서 헬륨(He), 질소(N^2), 수소(H_2), 또는 물(H_2O)와 같은 기타 분자 또는 원소와 혼합된 이산화탄소(CO_2)를 포함하는 기체 혼합물을 포함한다. 광 증폭기(108)가 기체 방전을 이용하여 전기적으로 펌핑되는 경우, 에너지는 CO_2 분자로 이동되고, 듀티 사이클이 증가됨에 따라 점점 더 많은 CO_2 분자가 일산화탄소(CO) 및 산소(O_2)로 해리된다.

[0029] 만일 이 해리된 분자가 광 증폭을 위해 사용되는 기체 혼합물의 원래의 분자로 변환되지 않으면, 드라이브 레이저 시스템(105)의 출력 전력은, 특히 듀티 사이클이 증가됨에 따라, 허용할 수 없게 낮은 상태에 유지될 것이다. 해리된 분자를 원래의 분자로 변환시키는 공정은 촉매 변환을 통해 실행된다. 극자외광 시스템(100) 또는 드라이브 레이저 시스템(105)은 촉매 변환 시스템(107)을 포함하고, 이 촉매 변환 시스템(107)은 광 증폭기(108)로부터 해리된 분자를 포함하는 기체 혼합물을 수용하고, 광 증폭에 기여하는 원래의 분자로의 분자의 촉매 변환(예를 들면, 산화)에 관련되는 단계 또는 단계들을 수행하고, 이 기체 혼합물을 광 증폭기(108)로 재도입시킨다. 이 촉매 변환 시스템(107)은 제 1 단부에서 이득 매질(128)의 기체 혼합물(과잉의 해리된 분자를 포함함)이 광 증폭기(108)로부터 촉매 변환 시스템(107)으로 유동할 수 있도록, 그리고 제 2 단부에서 촉매 변환 시스템(107)로부터 광 증폭기(108)로 기체 혼합물(이 기체 혼합물은 산화됨) 유동할 수 있도록, 이득 매질(128)을 수용하고 있는 폐쇄된 체적(118)에 유체 접속된다. 도 2b를 참조하면, 이러한 방식으로, 기체 혼합물은 광 증폭에 기여하는 원래의 분자로 효과적으로 유지되고, 드라이브 레이저 시스템(105)으로부터의 전력 출력(205)은 듀티 사이클이 증가되더라도 적절한 수준에 유지될 수 있다. 더욱이, 광 증폭기(108)의 여기원에 가해지는 에너지의 양을 증가시킬 필요 없이, 그리고 유체 라인(예를 들면, 광 증폭기(108)의 이득 매질을 수용하는 튜브) 내에 산화된 분자를 갖는 추가의 기체 혼합물을 추가할 필요 없이, 이 전력 출력은 유지될 수 있다. 도 2b의 점선은 비교를 위해 중첩시킨 도 2a로부터의 전력 출력(200)을 도시한다.

[0030] 드라이브 레이저 시스템(105)은 또한 제어기(109)를 포함할 수 있고, 이 제어기(109)는 광 증폭기(108)와 촉매 변환 시스템(107) 내의 부품을 모니터링하는 것, 이 모니터링된 정보에 기초하여 분석 또는 계산을 수행하는 것, 및 이 분석 또는 계산의 결과에 기초하여 드라이브 레이저 시스템(105) 내의 컴포넌트에 명령을 제공하는 것과 같은 다양한 임무를 수행한다.

[0031] 도 3a를 참조하면, 예시적 촉매 변환 시스템(107)은 광 증폭기(108)의 작동 중에 생성되는 기체 혼합물로부터 과잉의 열을 제거하는 외부 냉각기 또는 열교환기 시스템의 일부로서 또는 이것과 결합하여 설계될 수 있다. 이러한 실시예에서, 이 시스템(107)은 기체 예열기(300), 촉매 변환기(305), 및 열교환기(310)를 선택적으로 포함한다. 광 증폭기(108)로부터의 기체 혼합물은 광 증폭기(108)의 폐쇄된 체적(118)으로부터 밀봉 파이프 또는 튜브(315)를 통해 시스템(107)으로 유동하고, 시스템(107)로부터의 기체 혼합물은 밀봉 파이프 또는 튜브(320)을 통해 광 증폭기(108)의 폐쇄된 체적(118)으로 유동하여 증폭된 광 빔(110)의 작동 및 생성 중에 재사용된다. 파이프(315, 320)는 이 파이프(315, 320)를 통해 유동하는 기체 혼합물과 반응하지 않는, 예를 들면, 스테인리스강, 알루미늄, 또는 금속 합금과 같은 재료로 제조될 수 있다.

[0032] 기체 예열기(300)는 기체 혼합물이 촉매 변환기에 유입되기 전 및 유입되는 중에 이 기체 혼합물의 온도를 상승시키도록 조절하여 촉매 변환기(305) 내에서의 변환 효율을 개선하기 위해 사용될 수 있다. 특히, 해리된 기체 혼합물이 촉매 변환기 내에 유입되기 전에 이 해리된 기체 혼합물을 가열함으로써, 이 해리된 기체 혼합물의 온도는 촉매 변환기 내의 촉매(330)가 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 유발하거나 촉진시키는데 가장 효율적인 온도에 유지될 수 있다. 따라서, 예를 들면, 제어기(109)는 파이프(315) 내의 기체 혼합물의 온도를 모니터링하여, 이 온도가 촉매(330)를 가장 효율화하는 최적 값의 온도인지의 여부를 결정하고, 만일 이 온도가 최적 값보다 작으면, 제어기(109)는 기체 혼합물의 온도를 특정 값으로 상승시키도록 예열기(300)에 신호를 전송할 수 있다.

[0033] 일반적으로, 기체 혼합물의 온도가 높으면 높을 수록 촉매 효율도 더 높아진다. 예를 들면, 기체 혼합물 내의 촉매 반응 속도는 이 기체 혼합물에 가해지는 온도를 10 ℃ 상승시킬 때마다 2배로 된다. 촉매 원소가 CO_2 레이저 또는 증폭기의 내부에 설치되는 경우, 레이저의 구성에 따라 기체 혼합물의 온도는 60 ℃까지 상승될 수 있다. 다른 용도에서, 일부의 레이저 기체 혼합물(예를 들면, 약 10% 미만)은 외부 촉매 변환기를 통해 폐-루프

순환 시스템에서 유출될 수 있고, 이 경우 기체 혼합물의 온도는 임의의 원하는 수준(예를 들면, 100 ℃)까지 상승될 수 있다 일부의 촉매 변환기(예를 들면, 자동차 산업이나 초기의 CO_2 레이저 시스템의 촉매 변환기)는 이 수준보다 훨씬 높은 온도, 예를 들면, 약 240 ℃에서 작동된다. 고효율의 촉매용 물질을 사용하면 높은 촉매 변환 효율을 달성하기 위한 높은 기체 온도의 필요성이 감소된다. 본 시스템(100) 및 본 명세서에 기판된 방법에서, 기체 혼합물을 위한 온도 설정점은 촉매 변환 시스템(107) 내의 열교환기(310)의 효율과 CO 및 O_2의 CO_2로의 촉매 변환 속도를 증가시킬 필요성 사이의 균형에 의해 결정된다. 이것은 광 증폭기(108)로부터의 전력 출력을 체계적으로 조사함으로써 실시될 수 있고, 이 전력 출력은 열교환기(310)로부터 배출되는 기체 혼합물, 및 촉매 변환기의 입구의 CO 및/또는 O_2의 농도 대 기체 혼합물의 온도의 함수이다.

[0034] 도 3b를 참조하면, 촉매 변환기(305)는 기체 혼합물과 접촉되는 표면적을 갖는 지지 구조(325), 및 이 지지 구조(325)의 표면에 도포된 촉매(330)를 포함한다. 촉매(330)는 자신은 영향을 받지 않고 화학 반응(이 경우, 촉매 변환 또는 산화 반응)을 유발시키거나 촉진시키는 물질이다. 따라서, 촉매(330)는 반응에 참여하지만, 이것이 촉매작용하는 반응의 반응물도 생성물도 아니다. 촉매(330)는 백금, 로듐, 팔라듐, 및 금 중에서 임의의 하나 이상의 금속과 같은 금속 물질일 수 있다. 예를 들면, 촉매(330)는 금과 혼합된 백금을 포함할 수 있다.

[0035] 지지 구조(325)는, 예를 들면, Al_2O_3, SiO_2, 또는 TiO_2와 같은 세라믹 구조일 수 있다. 촉매(330)는 필요로 하는 촉매의 양을 감소시키면서 기체 혼합물에 촉매의 대부분의 표면적을 노출시키는 구조(325)를 형성하기 위해 지지 구조(325) 상에 코팅될 수 있다. 이 지지 구조(325)는 기체 혼합물이 통과하는 일련의 중공 셀(cell)인 기하학적 형상을 가진 허니콤 기하구조일 수 있다. 이 셀은 컬럼이고, 육각형일 수 있다.

[0036] 하나의 구현형태에서, 촉매(330)는 허니콤 지지 구조(325)에 도포된 금속(예를 들면, 금, 은, 팔라듐, 또는 백금과 같은 귀금속)의 입자(예를 들면, 나노입자)로 제조된다. 촉매로서 금이 사용되는 경우, 금은 나노입자의 형태로 사용될 수 있다. 사용되는 금속은 전성 및 고광택을 가질 수 있다. 이 금속 입자는, 예를 들면, 전해 도금과 같은 임의의 적절한 기법을 사용하여 구조(325)에 도포될 수 있다. 촉매(330)용으로 사용될 수 있는 금속은 촉매 반응을 촉진시키기 위해 비교적 높은 일함수를 가질 수 있다. 일함수는 촉매(330)용으로 사용된 실제의 원소에 더하여 촉매(330)의 표면에서의 원자의 구성에 의존한다. 비교적 높은 일함수는, 금속이 기본적인 화학 반응(산화)을 가속시키지만, 금속이 산화에 의해 소모되지 않고, 따라서 가속이나 촉매를 위해 사용된 산화의 말기에 화학적으로 변화지 않은 상태로 금속이 회수될 수 있도록, 충분히 높은 일함수를 의미한다. 귀금속은 촉매(330)로서 사용되기 위한 적절한 금속일 수 있다. 전술한 바와 같이, 금속 입자는 나노입자일 수 있고, 이것은 입자가 100 나노미터(nm) 이하의 크기를 가진다는 것을 의미한다.

[0037] 열교환기(310)는 기체 혼합물로부터 열을 제거하는 임의의 적절한 기기일 수 있다. 일부의 구현형태에서, 열교환기(310)는 기체 혼합물이 유동할 수 있는 중공 배관이고, 이 중공 튜브의 외면은 물과 같은 유체에 의해 냉각된다. 일부의 구현형태에서, 또한 열교환기(310)는 열교환기(310)의 배관을 통해 유동하는 기체 혼합물의 일부의 촉매 변환을 제공하기 위해 금과 같은 촉매로 그 내부가 코팅될 수 있다. 따라서, 중공 배관의 내면 상의 촉매 코팅은 기체 혼합물 내의 해리된 분자의 산화를 촉진시키거나 유발시킨다. 전형적으로, 열교환기(310) 내에서 발생되는 촉매 변환은, 기체 혼합물과 접촉되는 촉매의 표면적 및 해리된 분자가 촉매와 접촉되는 시간이 기체 혼합물의 해리된 분자를 완전히 변환시키기 위해 필요한 것보다 적을 수 있으므로, 부적절하다. 그럼에도 불구하고, 열교환기(310)는 기체 혼합물의 해리된 분자를 산화시킬 수 있다.

[0038] 따라서, 요약하면, 촉매 변환 시스템(107)은 촉매 변환기 내의 촉매 효율이 그 최고점의 근처 또는 그 최고점에 있도록 기체 혼합물을 안정한 온도까지 가열하기 위해 (그리고, 이러한 안정한 온도에 기체 혼합물을 유지하기 위해) 기체 예열기(300)을 포함하고; 촉매 변환기(305)는 기체 예열기(300)로부터 하류에 기판(325)과 같은 허니콤 기판 상에 활성 촉매(330)를 포함한다. 기체 예열기(300) 및 촉매 변환기(305)의 양자 모두는 금-도금된 열교환기(310)의 상류에 설치될 수 있으므로 이것은 시스템(107) 내의 촉매 변환의 제 2 단계로서 작용할 수 있다. 코팅 방법 및 (촉매 변환기(305)의 촉매 표면적과 비교한 경우에) 비교적 작은 촉매 표면적으로 인해, 금-도금된 열교환기(310)는 본 시스템(107)에서 (촉매 변환기(305) 및 선택적으로 기체 예열기(300)를 포함하는) 제 1 단계와 같은 효과를 갖지 않는다. 금-도금된 열교환기(310)의 촉매 표면 영역은 배관의 내면이고, 이 표면적은 촉매 변환기의 촉매 표면적보다 작다. 촉매 변환기의 촉매 표면 영역은 이것이 구조 내에 많은 공극을 가진 허니콤 기하구조이므로 더 넓고, 이것으로 인해 반응물(예를 들면, CO 및 O_2)은 금-코팅된 열교환기(310)의 매끈한 표면보다 쉽게 촉매(330)와 접촉될 수 있다. 예시적 비교로서, 금-도금된 열교환기(310)의 총 촉매 표면적은 약 10 m^2이고, 반면에 기판(325)(허니콤 기하구조임)은 동일한 설치면적 또는 기계의 체적에 대해 약 100

m^2를 초과하는 표면적을 제공할 수 있다.

[0039] 촉매 변환기(305)는 버지니아주 햄프톤(Hampton, VA)에 소재하는 STC Catalysts, Inc.사에 의해 제조되는 것과 같은 시스템일 수 있다. STC는 기체 예열기(300) 없이 사용될 수 있는 상온 촉매를 제조한다. STC의 촉매가 잠정적으로 적절한 점은 이것이 다른 촉매보다 저온에서 작용할 수 있고, 이로 인해 이 촉매는 바람직하게는 내부 열교환기의 전방에서 이득 매질(128)로서 CO_2를 사용할 수 있는 광 증폭기(108)를 수용하는 용기의 내부에서 사용될 수 있다는 점이다. 그러나, 촉매 물질(STC에 의해 제조된 촉매 물질을 포함함)은 고온에서 더 양호하게 작용하고, 외부 기체 순환 레이저 시스템(외부 촉매)에서 많이 사용된다. 극자외광 시스템(100)의 특정의 용도의 경우, 소량의 CO 및 O_2를 CO_2로 변환시키기 위해 저온에서 작용되는 STC 촉매가 충분할 수 있다. 그러나, 극자외광 광원의 용도의 경우, CO_2 레이저로부터의 전력 출력 요건이 매우 높으므로 STC 촉매를 사용하더라도 더 고온에서 작동되는 촉매 변환기가 유리하다

[0040] 촉매 변환기(305)는, 예를 들면, Corning Incorporated(소재지: Corning, NY), (현재의 BASF Corporation인 Engelhard(소재지: Iselin, NJ), 및 Allied Signal과 같은 회사로부터 사전제조된 것을 입수할 수 있다.

[0041] 극자외광 시스템(100)의 기타 컴포넌트에 대한 추가의 세부내용은 이하에서 제공된다.

[0042] 광 증폭기(108)는 레이저 거울, 또는 레이저 공동을 형성하는 기타 피드백 기기를 가지거나, 가지지 않을 수 있다. 따라서, 드라이브 레이저 시스템(105)은 레이저 공동이 존재하지 않는 경우에도 광 증폭기(108)의 이득 매질의 밀도 반전에 기인되어 증폭된 광 빔(110)을 생성한다. 더욱이, 드라이브 레이저 시스템(105)은 드라이브 레이저 시스템(105)에 충분한 피드백을 제공하기 위한 레이저 공동이 존재하는 경우에 코히어런트(coherent) 레이저 빔인 증폭된 광 빔(110)을 생성할 수 있다. 용어 "증폭된 광 빔"은 다음 중 하나 이상을 포함한다: 단순히 증폭되지만 반드시 코히어런트 레이저 발진은 아닌 드라이브 레이저 시스템(105)으로부터의 광, 및 증폭되고, 또한 코히어런트 레이저 발진인 드라이브 레이저 시스템(105)으로부터의 광.

[0043] 드라이브 레이저 시스템(105) 내의 광 증폭기(108)는 이득 매질(128)로서 CO_2를 포함하는 충전 기체를 포함할 수 있고, 약 9100 내지 약 11000 nm, 특히, 약 10600 nm의 파장의 광을 증폭시킬 수 있다. 드라이브 레이저 시스템(105)에서 사용하기 위한 적절한 증폭기 및 레이저는 펄스형 레이저 기기, 예를 들면, 비교적 높은 전력(예를 들면, 10kW 이상) 및 높은 펄스 반복률(예를 들면, 50kHz 이상)에서 작동하는 DC 또는 RF 여기를 갖는, 예를 들면, 약 9300 nm 또는 약 10600 nm의 복사를 생성하는 펄스형 기체-방전 CO_2 레이저 기기를 포함할 수 있다. 드라이브 레이저 시스템(105)의 광 증폭기(108)는 더 높은 전력에서 드라이브 레이저 시스템(105)을 작동시키는 경우에 사용될 수 있는 액체-냉각 시스템과 같은 냉각 시스템을 또한 포함할 수 있다. 액체-냉각 시스템은 광 증폭기(108)보다 저온에 유지될 수 있는 물을 사용할 수 있다.

[0044] 일부의 구현형태에서, 도 4에 도시된 바와 같이, 예시적 광 증폭기 시스템(106)은 전치-증폭기(400)로서 작용하는 제 1 증폭기 및 복수(405)의 광 증폭기(408)를 포함한다. 전치-증폭기(400)는 TRUMPF Inc(소재지: Farmington, CT)에 의해 제조되는 TruCoax CO_2 레이저와 같은 확산-냉각식 CO_2 레이저일 수 있다. 복수(405)의 광 증폭기(108)는 TRUMPF Inc(소재지: Farmington, CT)에 의해 제조되는 TruCoax CO_2 레이저와 같은 웨어-프리(wear-free) 기체 순환 및 용량성 무선주파 여기를 갖는 신속 축류 고출력 CO_2 레이저일 수 있다.

[0045] 최종 집속 어셈블리(140)는 증폭된 광 빔(110)의 직경이 초점 영역(145)에서 최소화되도록 증폭된 광 빔(110)을 집속시킨다. 다시 말하면, 최종 집속 어셈블리(140)는 증폭된 광 빔(110) 내의 복사가 전파 방향(112)으로 초점 영역(145)을 향해 전파됨에 따라 수렴하도록 유도한다. 타겟 물질(120)이 없는 경우, 증폭된 광 빔(110) 내의 복사는 이 빔(110)이 방향(112)로 초점 영역(145)으로부터 멀어지게 전파됨에 따라 분산된다.

[0046] 최종 집속 어셈블리(140)는 증폭된 광 빔(110)의 파면을 수정하여 그 빔 발산을 변화시키고, 이것이 초점 위치(145)에 집속되도록 하는 빔 전달 시스템(125)의 일부이다. 따라서, 만일 최종 집속 어셈블리(140) 내로 입사되는 증폭된 광 빔(110)의 파면이 0의 곡률을 가진다면(따라서 평행이 된다면), 최종 집속 어셈블리(140)의 출력은 양의 곡률을 갖는 증폭된 광 빔이 되고, 이것은 파면의 중심이 증폭된 광 빔의 전파 방향의 반대 방향을 향한다는 것, 즉 이 파면이 파면 연부(wavefront edge)에 비교했을 때 지연된다는 것을 의미한다. 그러므로, 최종 집속 어셈블리(140)는 증폭된 광 빔(110)이 초점 위치(145)에 집속되도록 최종 집속 어셈블리(140)로부터 배출되는 증폭된 광 빔(110)의 파면의 곡률을 이 어셈블리(140) 내로 입사되는 증폭된 광 빔(110)에 비해 양으로 변경시킨다. 최종 집속 어셈블리(140)는 각각 곡면을 가진 하나 이상의 투과형 광학 소자 또는 각각 곡면을 가진

하나 이상의 반사형 광학 소자를 포함할 수 있다.

[0047] 집광기(155)는 플라즈마(121)로부터 방출된 극자외광(150)의 적어도 일부를 포획하고, 이 포획된 광(160)을 특수 용도에서 포획된 극자외광(160)을 사용하는 광학 장치(165)로 안내한다. 집광기(155)는 타겟 위치(130) 또는 초점 위치(145)에 또는 타겟 위치(130) 또는 초점 위치(145)의 근처에 제 1 초점을, 그리고 극자외광(160)이 극자외광 시스템(100)으로부터 배출되어 광학 장치(165)로 입력될 수 있는 중간 위치(161)에 제 2 초점(중간 초점이라고도 지칭됨)을 갖는다.

[0048] 증폭된 광 빔(110)은 펄스형 광 빔이고, 타겟 물질(120)을 극자외광(150)을 방출하는 플라즈마(121)로 변환시키기 위해 증폭된 광 빔(110)과 타겟 물질(120) 사이의 상호작용을 가능하게 하도록 초점 위치(145)에 집속되는 적어도 제 1 세트의 펄스를 포함한다. 초점 위치(145)는 타겟 물질(120)을 극자외광(150)을 방출하는 플라즈마로 변환시키는 방식으로 증폭된 광 빔(110)을 타겟 물질(120)과 상호작용시킬 수 있도록 타겟 물질(120)에 충분히 접근될 필요가 있다. 따라서, 초점 위치(145)는 타겟 위치(130)와 중첩될 수 있으나, 실제로 타겟 물질(120)과는 중첩되지 않을 수 있다. 다른 구현형태에서, 초점 위치(145)는 타겟 물질(120)과 중첩된다.

[0049] 증폭된 광 빔(110)은 어떤 식으로든 타겟 물질(120)을 컨디셔닝하지만 타겟 물질(120)을 극자외광(150)을 방출하는 플라즈마로 변환시키도록 상호작용하지 않는 제 2 세트의 펄스를 선택적으로 포함할 수 있다. 이 제 2 세트의 펄스는 동일한 빔 경로를 따라 공간적 및 시간적으로 제 1 세트의 펄스의 사이에 배치될 수 있다. 예를 들면, 제 2 세트의 펄스는 타겟 물질(120)과 상호작용하고, 그 후 타겟 위치(130)에 도달하여 타겟 물질(120)의 기하학적 분포를 수정하고, 그 후 타겟 위치(130)에 도달하도록 구성될 수 있다. 제 2 세트의 펄스는 "프리-펄스(pre-pulse)" 또는 프리-펄스 빔으로 지칭될 수 있다.

[0050] 더욱이, 도 1에서는 단지 하나의 증폭된 광 빔(110)이 타겟 위치(130)로 안내되는 것으로 도시되어 있으나, 다른 구현형태에서, 드라이브 레이저 시스템(105)은 공간적으로 구별되는 빔 경로를 따라 또는 상호 시간적으로 변위되는 중첩되는 빔 경로를 따라 2 개 이상의 증폭된 광 빔(110)을 생성할 수 있다. 예를 들면, 프리-펄스 빔은 제 1 타겟 위치를 향해 안내될 수 있고, 메인 빔은 최종 집속 어셈블리(140)의 출구에서 제 2 타겟 위치(타겟 위치(130))를 향해 안내될 수 있다.

[0051] 도 5를 참조하면, 일부의 구현형태에서, 극자외광 시스템(100)은 포토리소그래피 시스템(500)에서 리소그래피 노광 장치(565)과 같은 광학 장치에 극자외(EUV)광(160)을 공급하기 위해 사용될 수 있다. 포토리소그래피 시스템(500)은, 도 6을 참조하여 더 상세히 설명되는 바와 같이, 극자외광 시스템(100) 내의 컴포넌트에 접속되는 하나 이상의 제어 또는 작동 시스템(581)에 접속되는 하나 이상의 주 제어기(580)를 포함한다.

[0052] 극자외광(160)은 리소그래피 노광 장치(565)로 안내되고, 이 리소그래피 노광 장치는 웨이퍼(566) 상에 패턴을 생성하기 위해 이 광(160)을 사용한다. 극자외광(160)는 조명기(567)를 통해 안내될 수 있고, 극자외광(150)의 파면 곡률과 같은 양상(aspect)을 수정하는 반사형 광학 소자와 같은 광학 소자를 포함할 수 있다. 예를 들면, 조명기(567)는 가능한 다량의 극자외광(160)을 반사할 수 있는 특수 코팅(예를 들면, 다층 코팅)으로 코팅된 하나 이상의 반사체를 포함할 수 있다. 이러한 반사체는 극자외광(160)의 일부를 흡수하는 경향이 있으므로, 가능한 적게 사용하는 것이 유리하다.

[0053] 조명기(567)로부터 방출되는 극자외광(160)은 반사 마스크(570)로 안내된다. 반사 마스크(570)로부터 방출되는 극자외광(160)은 투사 광학계 세트(568)를 통해 안내되고, 이 투사 광학계(568)는 극자외광(160)을 반사하기 위한 특수 코팅으로 코팅된 하나 이상의 반사체를 포함하고, 또한 극자외광(160)을 웨이퍼(566)로 집속시키도록 구성된다. 투사 광학 세트(568)는 웨이퍼(566) 상에 입사되는 극자외광(160)의 각도의 범위를 조절하고, 반사 마스크(570)로부터 웨이퍼(566) 상의 포토레지스트로의 이미지 전송이 발생될 수 있도록 한다. 예를 들면, 투사 광학 세트(568)는 이미지의 크기를 감소시키고 이 이미지를 웨이퍼(566) 상으로 집속시키기 위한 4 내지 6 개의 곡면 거울을 포함할 수 있다. 이들 각각의 거울은 웨이퍼(566) 상에 전달되는 이미지를 형성하기 위기 극자외광(160)을 약간 굴절시킨다.

[0054] 더욱이, 이 리소그래피 노광 장치(567)는 몇 가지 특징 중에서 특히 리소그래피 제어기(572), 공기 조화 기기, 및 다양한 전기 컴포넌트를 위한 전력 공급부를 포함할 수 있다. 일부의 구현형태에서, 웨이퍼(566)는 웨이퍼 스테이지(573) 상에 지지되고, 액침 리소그래피를 위해 웨이퍼(566)를 피복하도록 액침 매질(574)이 공급될 수 있다. 다른 구현형태에서, 웨이퍼(566)는 액침 매질(574)에 의해 피복되지 않는다.

[0055] 웨이퍼(566)는 임의의 수의 공정 단계를 사용하여 처리될 수 있고, 이 공정 단계는 웨이퍼의 재료 내에 또는 웨이퍼 상에 침착된 물질 내에 개구(예를 들면, 그루브, 채널, 또는 구멍)의 패턴을 형성하기 위해 다양한 마스크

를 이용한 에칭, 침착, 및 리소그래피 공정과 같은 하나 이상의 공정 단계의 조합일 수 있다. 이러한 개구는 웨이퍼 상에 마이크로일렉트로닉 피처의 층을 구축하기 위해 절연 재료, 전도성 재료, 또는 반도체 재료로 충전될 수 있다. 다음에 이 웨이퍼는 개별 칩을 형성하기 위해 싱귤레이션되고, 개별 칩은 컴퓨터 및 기타 소비자용 또는 산업용 전자 기기와 같은 매우 다양한 전자 제품에 결합될 수 있다.

[0056] 도 6을 참조하면, 일부의 구현형태에서, 극자외광 시스템(100)은 진공 체임버(600), 하나 이상의 제어기(580), 하나 이상의 작동 시스템(581), 및 가이드 레이저(582)와 같은 기타 컴포넌트를 포함하는 시스템의 일부이다.

[0057] 진공 체임버(600)는 하나의 단일 구조일 수 있거나 특수 컴포넌트를 수용하는 별개의 서브-체임버로 구성될 수 있다. 진공 체임버(600)는 적어도 부분적으로 강성의 엔클로저이고, 이것으로부터 진공 펌프에 의해 공기 및 기타 기체가 제거되어 체임버(600) 내에 저압 환경이 얻어진다. 체임버(600)의 벽은 진공 용도를 위해 적절한(더 저압에서 견딜 수 있는) 임의의 적절한 금속 또는 합금으로 제조될 수 있다.

[0058] 또한, 최종 집속 어셈블리(140)는 진공 체임버(600)의 완전히 외부에 위치될 수 있고, 어셈블리(140)의 컴포넌트의 일부가 저압 환경의 내부에 위치되고, 나머지는 저압 환경의 외부에 위치되도록 진공 체임버(600)의 내부에 부분적으로 위치될 수 있고, 또는 진공 체임버(600)의 완전히 내부에 위치될 수 있다. 또는, 최종 집속 어셈블리(140)는 진공 체임버(600)의 서브-체임버(601)의 내부에 부분적으로 위치될 수 있다. 예를 들면, 도 6에 도시된 바와 같이, 최종 집속 어셈블리(140)는 진공 체임버(600)의 서브-체임버(601)의 내부에 부분적으로 위치된다.

[0059] 타겟 물질 운반 시스템(115)은 타겟 물질(120)을 타겟 위치(130)에 공급한다. 타겟 위치의 타겟 물질(120)은 액체 액적, 액체 흐름, 고체 입자 또는 클러스터, 액체 액적 내에 수용되는 고체 입자, 액체 흐름 내에 수용되는 고체 입자의 형태일 수 있다. 타겟 물질(120)은, 예를 들면, 물, 주석, 리튬, 제논, 또는 플라즈마 상태로 변환된 경우에 극자외광 범위의 방출선을 갖는 임의의 물질을 포함할 수 있다. 예를 들면, 원소 주석은 순수한 주석(Sn), 주석 화합물(예를 들면, $SnBr_4$, $SnBr_2$, SnH_4), 주석 합금(예를 들면, 주석-갈륨 합금, 주석-인듐 합금, 주석-인듐-갈륨 합금, 또는 이들 합금의 임의의 조합)으로서 사용될 수 있다. 타겟 물질(120)은 위의 원소들 중 하나(예를 들면, 주석)으로 코팅된 와이어를 포함할 수 있다. 타겟 물질(120)이 고체 상태인 경우, 이것은 링, 구, 또는 정육면체와 같은 임의의 적절한 형상을 가질 수 있다. 타겟 물질(120)은 타겟 물질 운반 시스템(115)에 의해 체임버(800)의 내부의 타겟 위치(130)로 운반될 수 있다. 타겟 위치(130)는 타겟 물질(120)이 증폭된 광 빔(110)과 선택적으로 상호작용하여 플라즈마를 생성하는 조사(irradiation) 부위로 지칭되기도 한다.

[0060] 집광기(155)는 증폭된 광 빔(110)이 통과하여 초점 위치(145)에 도달할 수 있도록 하는 개구(640)를 가진 집광 거울(655)일 수 있다. 이 집광 거울(655)은, 예를 들면, 타원형 거울일 수 있고, 이것은 타겟 위치(130) 또는 초점 위치(145)에 또는 타겟 위치(130) 또는 초점 위치(145)의 근처에 제 1 초점을, 그리고 극자외광(160)이 극자외광 시스템으로부터 배출되어 광학 장치(165)로 입력될 수 있는 중간 위치(161)에 제 2 초점(중간 초점이라고도 지칭됨)을 갖는다.

[0061] 하나 이상의 제어기(580)는, 예를 들면, 액적 위치 검출 피드백 시스템, 레이저 제어 시스템, 및 빔 제어 시스템, 및 하나 이상의 타겟 또는 액적 촬상장치와 같은 하나 이상의 작동 시스템 또는 진단 시스템에 접속된다. 타겟 촬상장치는, 예를 들면, 타겟 위치(130)에 대한 액적의 위치를 나타내는 출력을 제공하고, 액적 위치 오차가 액적별로 또는 평균으로 계산될 수 있는 기초가 되는 액적 위치 및 궤적을 계산하는 액적 위치 검출 피드백 시스템에 이 출력을 제공한다. 따라서 액적 위치 검출 피드백 시스템은 제어기(580)에의 입력으로서 액적 위치 오차를 제공한다. 그러므로 제어기(580)는, 예를 들면, 레이저 타이밍 회로를 제어하기 위해 사용될 수 있는, 예를 들면, 레이저 제어 시스템 및/또는 체임버(600) 내에서 빔의 초점의 위치 및/또는 집속력을 변화시키기 위해 빔 이송 시스템의 증폭된 광 빔 위치 및 형상을 제어하기 위한 빔 제어 시스템에 레이저 위치, 방향, 및 타이밍 보정 신호를 제공할 수 있다.

[0062] 타겟 물질 운반 시스템(115)은, 예를 들면, 원하는 타겟 위치(130)에 도달하는 액적의 오차를 수정하기 위해 내부 운반 메커니즘에 의해 투하될 때 액적의 투하점을 변화시키기 위해 제어기(580)로부터의 신호에 응답하여 작동될 수 있는 타겟 물질 운반 제어 시스템을 포함한다.

[0063] 또한, 극자외광 시스템(100)은 펄스 에너지, 파장의 함수로서의 에너지 분포, 특정 파장 대역 내의 에너지, 특정 파장 대역 외의 에너지, 및 극자외광 강도의 각도 분포 및/또는 평균 전력을 포함하지만 이것에 한정되지 않는 하나 이상의 극자외광 파라미터를 측정하는 광학 검출기를 포함할 수 있다. 광원 검출기는 제어기(580)에 의해 사용되기 위한 피드백 신호를 발생한다. 피드백 신호는, 예를 들면, 효과적이고 효율적인 극자외광 생성을

위해 올바른 장소 및 시간에 액적을 적절히 인터셉트(intercept)하기 위해 레이저 펄스의 타이밍과 초점과 같은 파라미터에서의 오차를 나타낸다.

[0064] 일부의 구현형태에서, 드라이브 레이저 시스템(105)은, 예를 들면, 100 kHz의 작동이 가능한 낮은 에너지 및 높은 반복률을 갖는 Q-스위칭식 주 발진기(MO)에 의해 개시되는 시드 펄스(seed pulse)를 갖는, 그리고 다단 증폭되는 주 발진기/전력 증폭기(MOPA) 구성을 갖는다. MO로부터, 레이저 펄스는 빔 경로를 따라 이동하는 증폭된 광 빔(110)을 생성하기 위해, 예를 들면, RF 펌핑식, 신속 축류, CO_2 증폭기를 사용하여 증폭될 수 있다.

[0065] 3 개의 광 증폭기가 사용될 수 있으나, 본 구현형태에서 1 개의 증폭기 및 4 개 이상의 증폭기가 사용될 수도 있다. 일부의 구현형태에서, 각각의 CO_2 증폭기는 내부 거울에 의해 배가되는 10 미터의 증폭기 길이를 갖는 RF 펌핑식 축류 CO_2 레이저 큐브(cube)일 수 있다.

[0066] 대안적으로, 드라이브 레이저 시스템(105)은 타겟 물질(120)이 광학 공동의 하나의 거울의 역할을 하는 소위 "자가-타겟화" 레이저 시스템으로서 구성될 수 있다. 일부의 "자가-타겟화" 구성에서, 주 발진기는 요구되지 않을 수 있다. 드라이브 레이저 시스템(105)은 빔 경로를 따라 직렬로 배치되는 일련의 증폭기 체임버를 포함하고, 각각의 체임버는 자기 자신의 이득 매질 및 여기원(예를 들면, 펌핑 전극)을 갖는다. 각각의 증폭기 체임버는, 예를 들면, 10600 nm의 파장(λ)의 광을 증폭하기 위해, 예를 들면, 1,000-10,000의 조합된 1 패스(pass) 이득을 갖는 RF 펌핑식, 신속 축류, CO_2 증폭기 체임버일 수 있다. 각각의 증폭기 체임버는 독자적으로 구성된 경우에 이득 매질을 통해 증폭된 광 빔을 2 회 이상 통과시키기 위해 요구되는 광학 컴포넌트를 포함하지 않도록 레이저 공동(공진기) 거울을 구비하지 않도록 설계될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 전술한 바와 같이, 레이저 공동이 다음과 같이 형성될 수 있다.

[0067] 본 구현형태에서, 레이저 공동은 드라이브 레이저 시스템(105)에 후방 부분 반사 광학계를 추가하고 타겟 위치(130)에 타겟 물질(120)을 설치함으로써 형성될 수 있다. 이 광학계는, 예를 들면, 평면 거울, 곡면 거울, 위상-공액 거울, 또는 약 10600 nm의 파장(CO_2 증폭기 체임버가 사용되는 경우에 증폭된 광 빔(110)의 파장)에 대해 약 95%의 반사도를 갖는 모서리 반사체일 수 있다. 타겟 물질(120) 및 후방 부분 반사 광학계는 레이저 공동을 형성하기 위해 증폭된 광 빔(110)의 일부를 드라이브 레이저 시스템(105)으로 후방으로 반사시키도록 작용한다. 따라서, 타겟 위치(130)에 타겟 물질(120)의 존재는 드라이브 레이저 시스템(105)으로 하여금 코히어런트 레이저 발진을 생성시키는 충분한 피드백을 제공하고, 이 경우에 증폭된 광 빔(110)은 레이저 빔으로 간주될 수 있다. 타겟 물질(120)이 타겟 위치(130)에 존재하지 않는 경우, 드라이브 레이저 시스템(105)은 증폭된 광 빔(110)을 생성시키기 위해 여전히 펌핑될 수 있으나, 일부의 다른 컴포넌트가 충분한 피드백을 제공하지 않으면 코히어런트 레이저 발진을 생성하지 않는다. 이러한 구성은 타겟 물질(120)이 광학 공동의 하나의 거울(소위 플라즈마 거울 또는 기계적 q-스위치)로서의 역할을 하는 소위 "자가-타겟화" 레이저 시스템일 수 있다.

[0068] 용도에 따라, 다른 유형의 증폭기 또는 레이저, 예를 들면, 고 전력 및 고 펄스 반복률에서 작동되는 엑시머 또는 분자 플루오린 레이저도 적합할 수 있다. 예를 들면, 미국 특허 번호 6,625,191; 6,549,551; 및 6,567,450에 설명되어 있는 MOPA 구성의 엑시머 레이저 시스템; 하나 이상의 체임버, 예를 들면, 발진기 체임버 및 하나 이상의 증폭 체임버(병렬 또는 직렬의 증폭 체임버를 구비함)를 갖는 엑시머 레이저; 주 발진기/전력 발진기(MOPO) 구성, 전력 발진기/전력 증폭기(POPA) 구성; 또는 하나 이상의 엑시머 또는 분자 플루오린 증폭기 또는 발진기 체임버를 시딩(seeding)하는 고체 상태 레이저가 포함된다. 다른 설계도 가능한다.

[0069] 최종 집속 어셈블리(140)에 의해 적절히 집속되는 증폭된 광 빔(110)은 조사 부위에서 타겟 물질(120)의 조성에 의존하는 특정의 특성을 갖는 플라즈마를 생성하기 위해 사용된다. 이 특성은 플라즈마에 의해 생성되는 극자외광(160)의 파장, 및 이 플라즈마로부터 방출되는 파편의 종류 및 양을 포함할 수 있다. 증폭된 광 빔(110)은 타겟 물질(120)을 증발시키고, 전자가 탈락(플라즈마 상태)되어 이온이 남는 임계 온도까지 기화된 타겟 물질을 가열하고, 기화된 타겟 물질은 극자외광 범위의 파장을 갖는 광자의 방출을 개시할 때까지 더 가열된다.

[0070] 도 7a를 참조하면, 하나의 구현형태에서, 광 증폭기(108)는 축류 시스템(700)으로서 설계되고, 여기서 기체 혼합물은 기체 방전관(705)의 일단부(701)에서 펌핑되어 유입되고, 튜브(705)의 타단부(702)로부터 기체 펌프 및 공급 라인(710)을 통해 유출된다. 다른 구현형태에서, 광 증폭기(108)는 기체 횡류 시스템으로서 설계될 수 있고, 여기서 분자 기체 레이저는 (도 7a 및 도 7b와 같이) 튜브를 따라 하강하는 대신 기체 방전관(예를 들면, 튜브(705, 755))를 가로질러 유동한다. 이러한 방식으로, 분자 기체의 연속 레이저 작동을 위한 더 높은 전력 정격이 얻어질 수 있다.

[0071] 축류 또는 횡류 구현형태에서, 기체 분자의 해리에 기인되어 고갈된 기체 분자를 대체하기 위해 신선한 기체가 제공된다. 광 증폭기(108)가 이산화탄소 분자 기체 레이저인 하나의 실시예에서, 기체 혼합물은 CO_2를 포함하고, 효율을 상승시키기 위해 이 기체 혼합물에 He 및 N_2가 첨가된다. 축류 시스템(700)이 논의되었으나, 본 설계는 또한 기체 횡류 시스템에도 적용될 수 있다. 축류(또는 횡류) 시스템(700)은 재순환 펌프(또는 블로어) 및 기체 공급 시스템(715)을 포함하고, 이 기체 공급 시스템은 튜브(705)로부터 라인(710)을 통해 기체 혼합물을 밀어내기 위한 재순환 펌프(또는 블로어) 및 해리에 기인되어 고갈된 기체 분자를 대체하는 기체 공급부를 포함한다. 촉매 변환 시스템(107)은 이러한 축류(또는 횡류) 시스템(700)의 기체 라인(710) 내에 (또는 이와 직렬로) 설치될 수 있다. 촉매 변환 시스템(107)을 위한 이러한 설치(즉, 기체 라인(710) 내 및 이에 따라 기체 라인(710)과 직렬의 설치)는 광 증폭기 시스템(106)이 더 높은 산소 농도에 내성을 가질 수 있는 상황에 적절할 수 있다.

[0072] 도 7b를 참조하면, 축류(또는 횡류) 시스템(750)의 다른 구현형태에서, 촉매 변환 시스템(107)은 기체 혼합물을 수용하는 기체 방전관(755)을 포함하는 축류(또는 횡류) 시스템(750)의 기체 라인(760)의 외부(즉, 기체 라인과 병렬로)에 설치된다. 촉매 변환 시스템(107)을 위한 이러한 설치(즉 기체 라인(760)의 외부에 병렬 설치)는 광 증폭기 시스템(106)이 기체 혼합물 내의 고농도의 산소에 견딜 수 없는 상황, 예를 들면, 산소가 총 기체 혼합물의 0.2% 미만이어야 하는 경우에 적절할 수 있다.

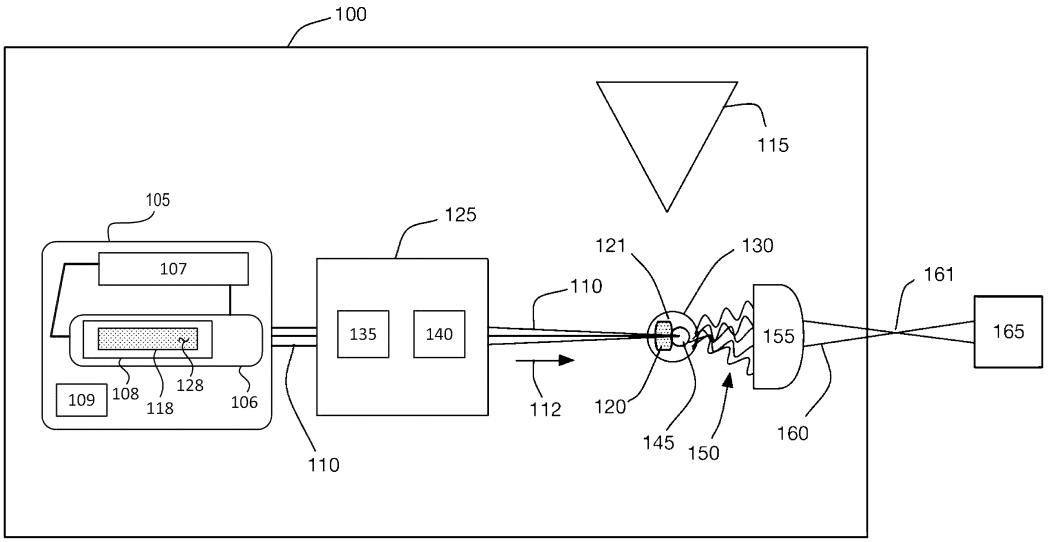
[0073] 전형적으로, 기체 혼합물의 일부(예를 들면, 약 1-20%, 또는 약 5%)가 튜브(755)의 방출 영역의 하류(O_2 농도가 높음)에서 취출될 수 있고, 기체 라인(760)을 통해 안내될 수 있고, (산화에 의해 O_2를 제거하기 위해) 촉매 변환 시스템(107)의 촉매 원소(300, 305, 310)를 통해 이송되고, 이 기체 혼합물은 (튜브(755)의 방출 영역의 상류의) 기체 라인(760) 내로 재도입된다. 본 구현형태에서, 촉매 변환 시스템(107)은 또한 제어 밸브(770) 및 재순환 펌프 또는 블로어(775)를 포함할 수 있다.

[0074] 도 7b의 외부 촉매 구성에서, 기체 혼합물의 온도는 기체 열교환기(예를 들면, 열교환기(310)) 또는 향류 기체 열교환기에 의해 조절될 수 있다. 이러한 외부 구성은 온도가 기체 라인(760)의 외부에서 조절될 수 있으므로 기체 혼합물의 온도에 대한 추가의 제어를 제공할 수 있다. 대안의 촉매 자체를 가열하는 것이다. 도 1에 도시된 바와 같은 극자외광 광원의 용도의 경우, 기체 혼합물을 가열하면 기체 혼합물의 흐름 내 및 촉매 표면 상에 더 균일한 온도 분포를 유발할 수 있으므로 기체 혼합물을 가열하는 것이 바람직할 수 있다.

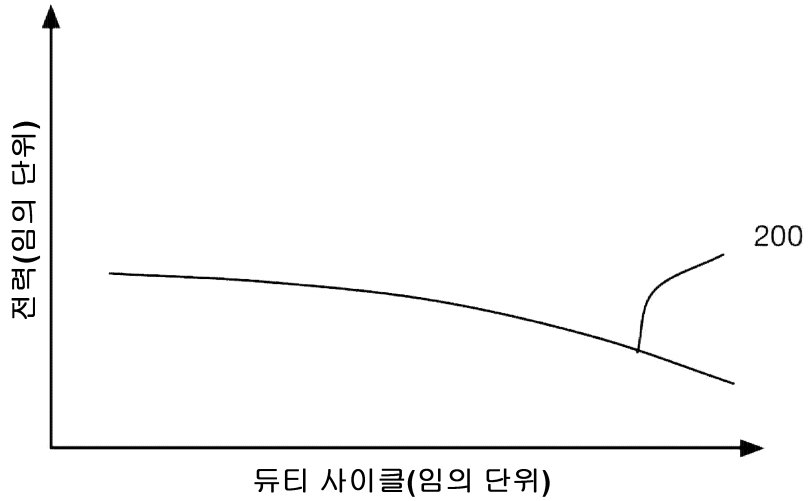
[0075] 다른 구현형태는 다음의 청구항의 범위 내에 포함된다.

도면

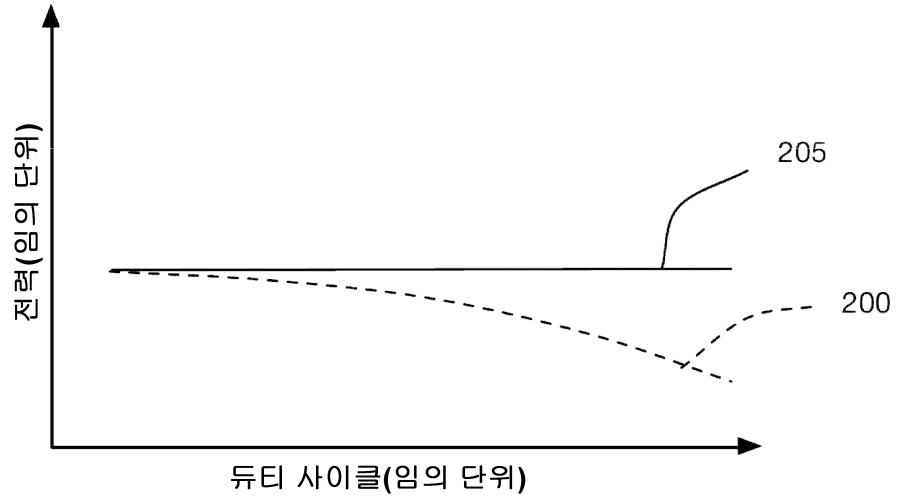
도면1



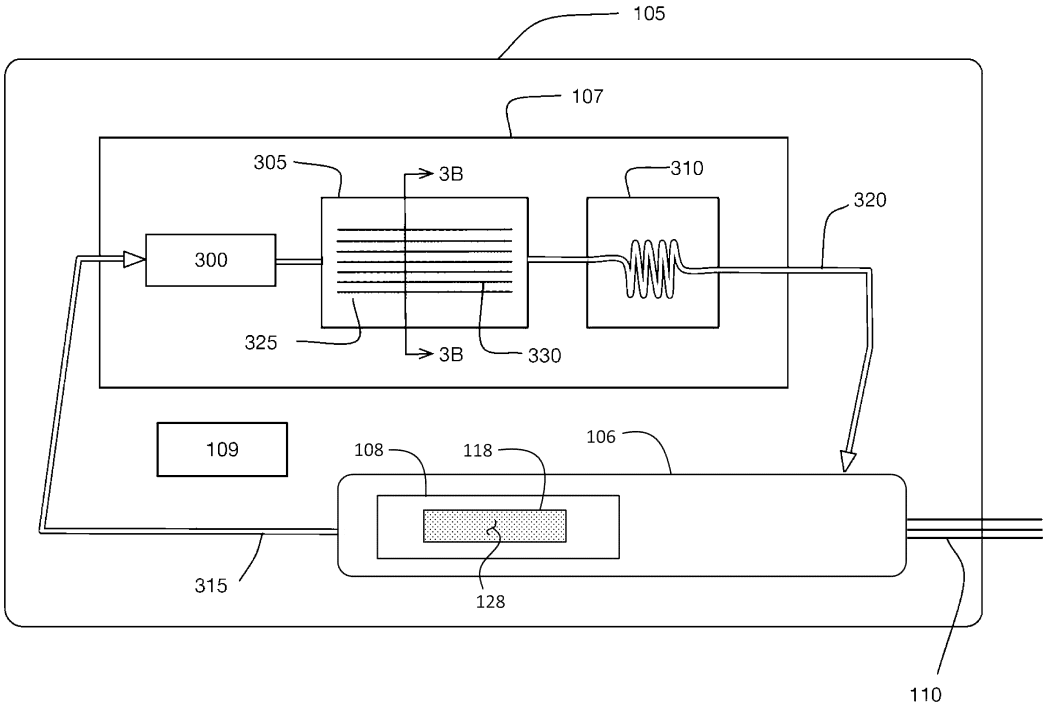
도면2a



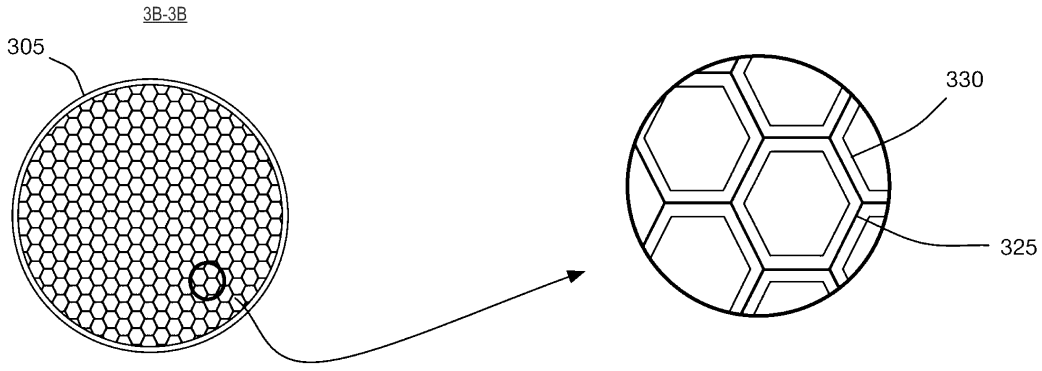
도면2b



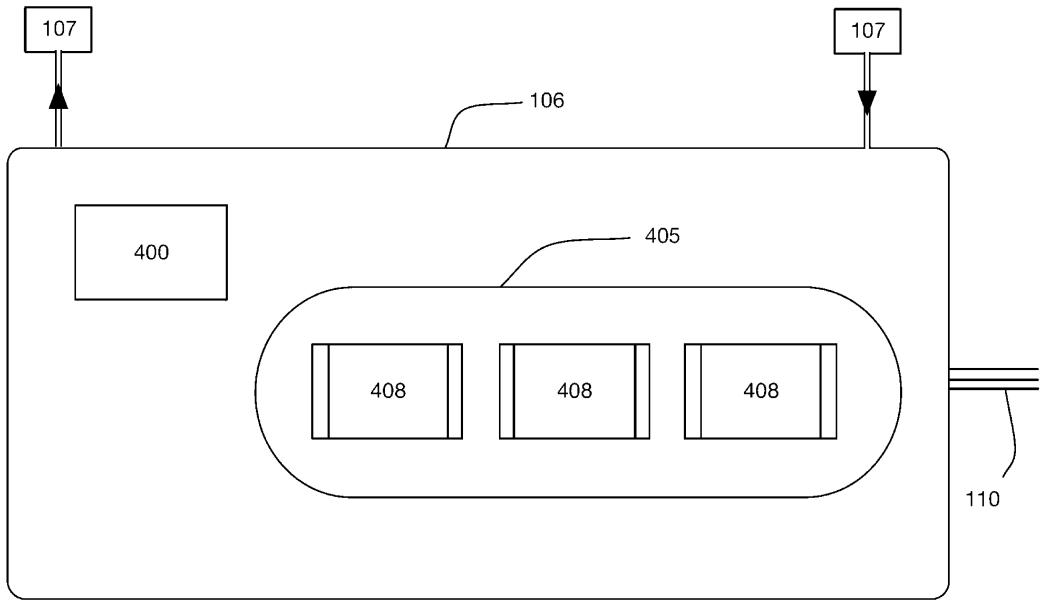
도면3a


105
107
305
3B
310
320
300
325
3B
330
109
108
118
106
315
128
110

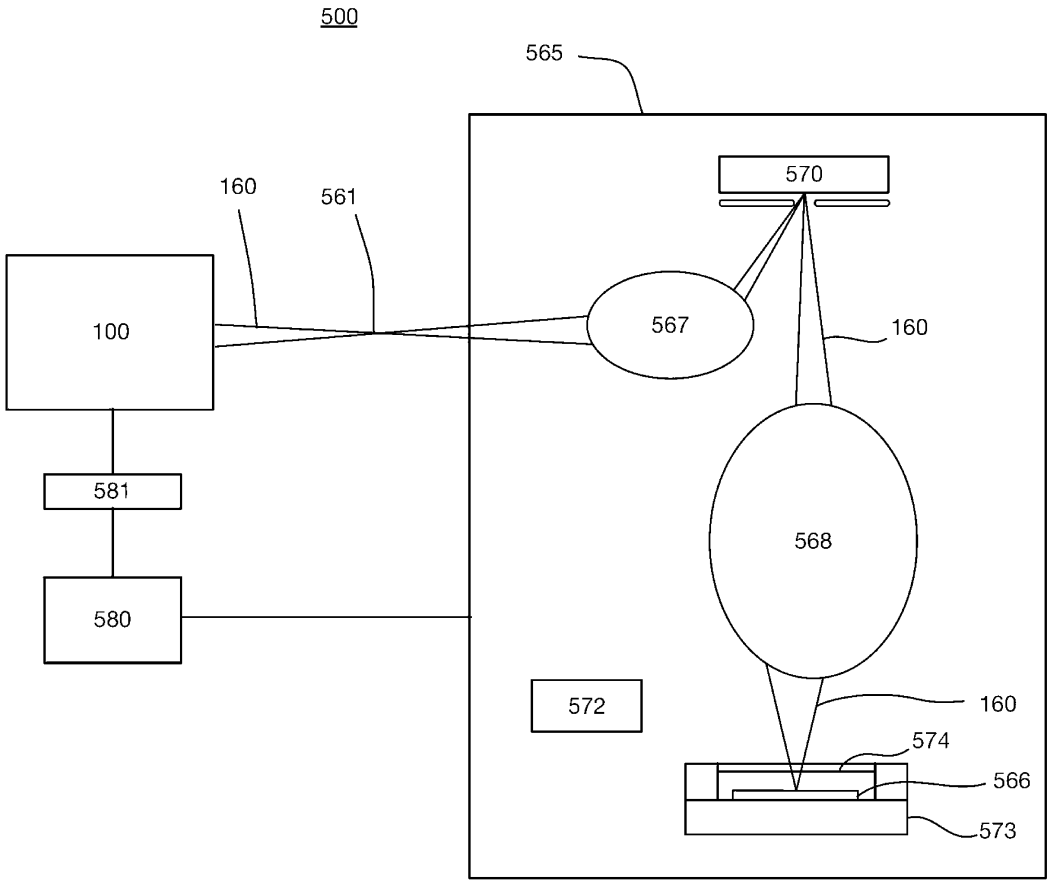
도면3b


3B-3B
305
330
325

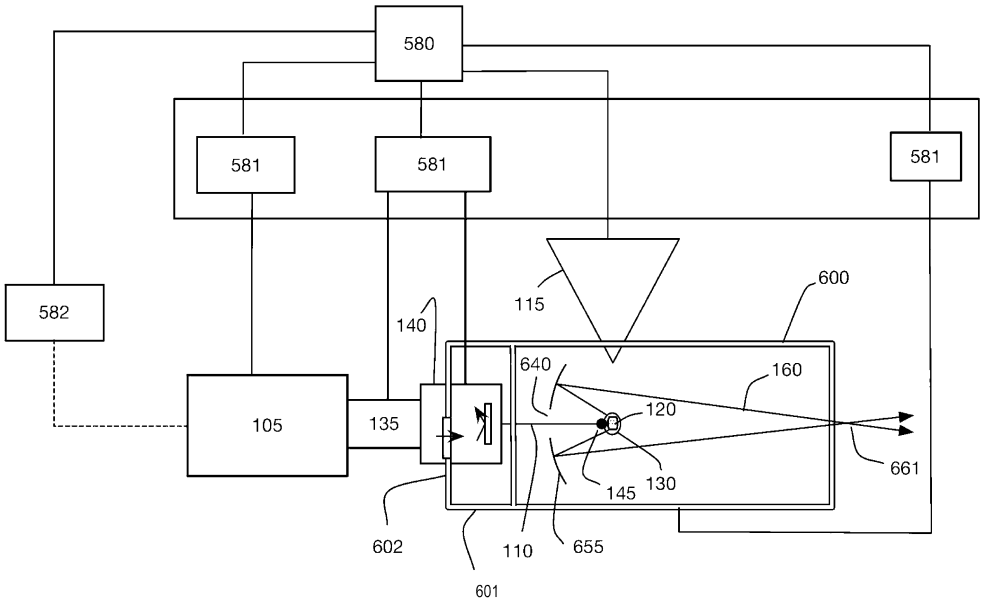
도면4


107
107
106
400
405
408
408
408
110

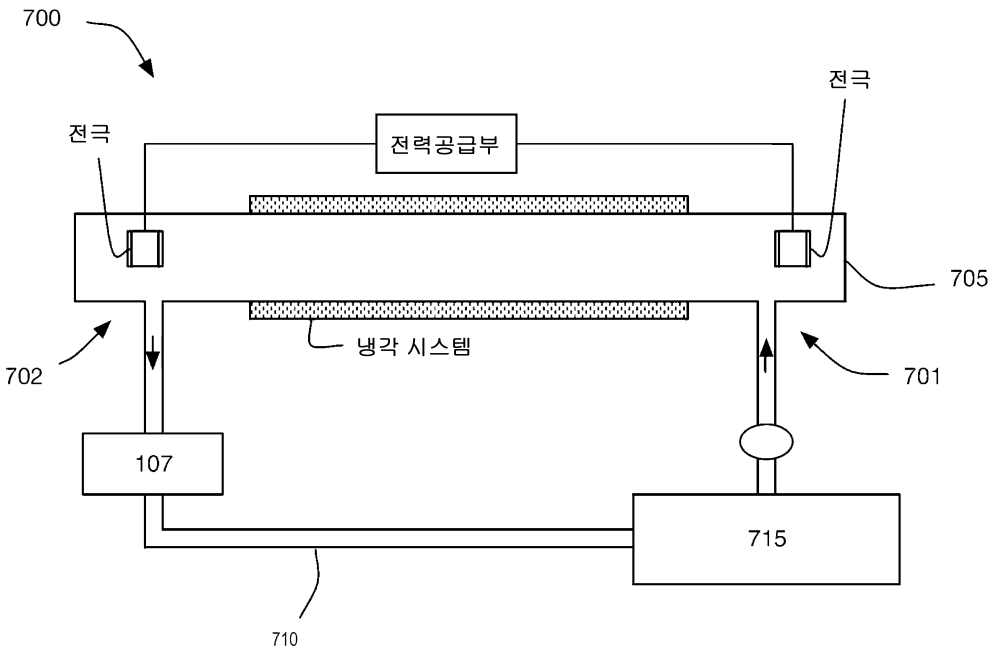
도면5


500
565
570
160
561
100
567
160
581
568
580
572
160
574
566
573

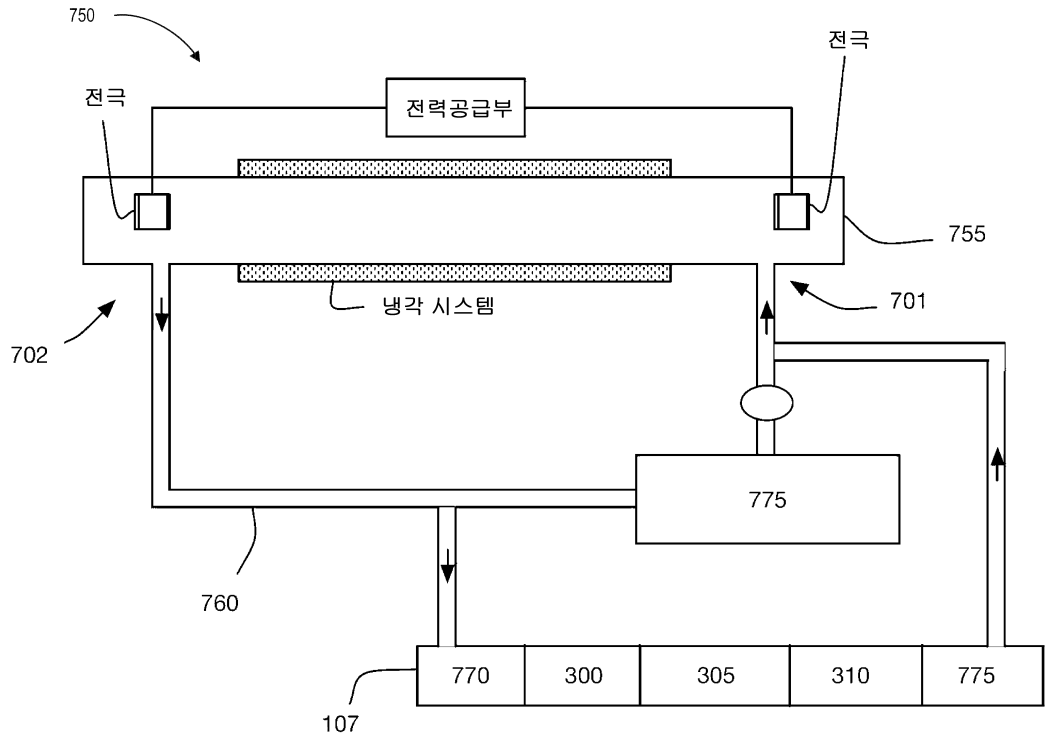
도면6


580
581
581
581
582
105
135
140
115
600
640
160
120
661
145
130
602
110
655
601

도면7a


700
전극
전극
전력공급부
705
냉각 시스템
702
701
107
715
710

도면7b


750
전극
전력공급부
전극
755
냉각 시스템
701
702
775
760
770
300
305
310
775
107