



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0102946
(43) 공개일자 2024년07월03일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02F 1/35 (2006.01) G02F 1/365 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
G02F 1/3528 (2021.01)
G02F 1/353 (2021.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2024-7012281</p> <p>(22) 출원일자(국제) 2022년09월30일
심사청구일자 없음</p> <p>(85) 번역문제출일자 2024년04월12일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/EP2022/077286</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2023/078619
국제공개일자 2023년05월11일</p> <p>(30) 우선권주장
21205875.4 2021년11월02일
유럽특허청(EPO)(EP)
21211780.8 2021년12월01일
유럽특허청(EPO)(EP)</p> | <p>(71) 출원인
에이에스엠엘 네델란드 비.브이.
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324</p> <p>(72) 발명자
바우어슈미트 세바스티안 토마스
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
웨벨 패트릭 세바스티안
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
피츠 피터 막시밀리안
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324</p> <p>(74) 대리인
유미특허법인</p> |
|--|--|

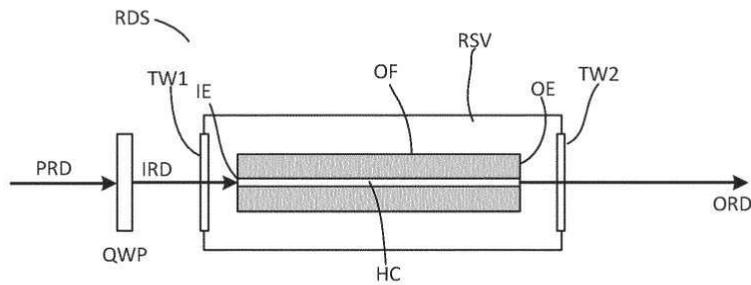
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 중공-코어 광결정 섬유 기반 광대역 방사선 생성기

(57) 요약

실질적으로 선형 편광된 입력 방사선을 수신할 때 광대역 출력 방사선을 생성하도록 구성된 광대역 방사선 소스 디바이스가 개시되며, 디바이스는: 중공-코어 광결정 섬유; 중공-코어 광결정 섬유에 의해 수신되기 전에 입력 방사선에 실질적으로 원형 또는 타원 편광을 부과하도록 작동 가능한 적어도 제1 편광 요소; 및 입력 방사선에 실질적으로 타원 편광을 부과하기 위해 제1 편광 요소와 조합하여 작동 가능한 제2 편광 요소를 포함하며, 제2 편광 요소 및 제1 편광 요소는 타원 편광이 중공-코어 광결정 섬유의 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하도록 배향된다.

대표도 - 도11



(52) CPC특허분류
G02F 1/365 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

실질적으로 선형 편광된 입력 방사선을 수신할 때 광대역 출력 방사선을 생성하도록 구성된 광대역 방사선 소스 디바이스로서,

중공-코어 광결정 섬유; 및

상기 중공-코어 광결정 섬유에 의해 수신되기 전에 상기 입력 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하도록 작동 가능한 적어도 제1 편광 요소를 포함하고,

상기 광대역 방사선 소스 디바이스는 상기 입력 방사선에 실질적으로 타원 편광을 부과하기 위해 상기 제1 편광 요소와 조합하여 작동 가능한 제2 편광 요소를 더 포함하며, 상기 제2 편광 요소 및 상기 제1 편광 요소는 상기 타원 편광이 상기 중공-코어 광결정 섬유의 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하도록 배향되는, 광대역 방사선 소스 디바이스.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 적어도 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선에 대한 원형 편광의 정도를 10%보다 큰 크기만큼 증가시키도록 작동 가능한, 광대역 방사선 소스 디바이스.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하도록 작동 가능한 1/4 파장판을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선의 선형 편광 상태에 대해 가변 배향을 갖는 가변 제1 편광 요소를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 제2 편광 요소는 1/2 파장판을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 광대역 출력 방사선의 편광 메트릭을 모니터링하도록 작동 가능한 편광계를 더 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 중공-코어 광결정 광섬유는 변조 불안정 메커니즘을 통해 상기 광대역 출력 방사선을 생성하도록 작동 가능한 작용 혼합물을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 중공-코어 광결정 섬유는 작용 혼합물로서 하나 이상의 희가스를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.

청구항 9

광대역 출력 방사선을 생성하는 방법으로서,

상기 광대역 출력 방사선을 생성하기 위해 입력 방사선으로 중공-코어 광결정 광섬유 내에 포함된 작용 매질을 여기시키는 단계를 포함하고, 상기 입력 방사선은 상기 중공-코어 광결정 광섬유의 복굴절을 적어도 부분적으로

보상하도록 타원 편광되는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 입력 방사선은 10%보다 큰 원형 편광의 정도를 갖는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.

청구항 11

제9항에 있어서, 1/4 파장판을 사용하여 상기 입력 방사선을 얻기 위해 실질적으로 선형 편광된 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.

청구항 12

제9항에 있어서, 1/2 파장판과 조합해 1/4 파장판을 사용하여 상기 타원 편광된 입력 방사선을 얻기 위해 실질적으로 선형 편광된 방사선에 타원 편광을 부과하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 광대역 출력 방사선이 지배적으로 선형 편광되도록 실질적으로 선형 편광된 방사선의 편광 배향에 대해 적어도 1/2 파장판의 배향을 변경하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.

청구항 14

제12항에 있어서, 광대역 출력 방사선이 지배적으로 선형 편광되도록 실질적으로 선형 편광된 방사선의 편광 배향에 대해 1/2 파장판과 1/4 파장판 각각의 배향을 변경하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.

청구항 15

제1항에 따른 광대역 방사선 소스 디바이스를 포함하는 계측 디바이스.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원은 2021년 11월 2일자로 출원된 EP 출원 제21205875.4호 및 2021년 12월 1일자로 출원된 EP 출원 제21211780.8호에 대해 우선권을 주장하며, 이러한 문헌의 내용은 원용에 의해 전체적으로 본 명세서에 포함된다.

[0002] 본 발명은 중공-코어 광결정 섬유 기반 광대역 방사선 생성기에 관한 것으로, 특히 집적 회로의 제조에 있어서 계측 응용예와 관련하여 이러한 광대역 방사선 생성기에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 리소그래피 장치는 기관 상에 원하는 패턴을 적용하도록 구성된 기기이다. 리소그래피 장치는, 예를 들어 집적 회로(IC)의 제조에 사용될 수 있다. 리소그래피 장치는, 예를 들어, 패턴링 디바이스(예를 들어, 마스크)에 있는 패턴("설계 레이아웃" 또는 "설계"로도 종종 지칭됨)을 기관(예를 들어, 웨이퍼) 상에 제공된 방사선-감응 재료(레지스트)의 층 상에 투영할 수 있다.

[0004] 기관 상에 패턴을 투영하기 위해 리소그래피 장치는 전자기 방사선을 사용할 수 있다. 이러한 방사선의 파장은 기관 상에 형성될 수 있는 피처의 최소 크기를 결정한다. 현재 사용되는 전형적인 파장은 365nm(i-line), 248nm, 193nm 및 13.5nm 이다. 4-20 nm 범위, 예를 들어 6.7 nm 또는 13.5 nm 의 파장을 갖는 극자외(EUV) 방사선을 사용하는 리소그래피 장치는, 예컨대 파장 193 nm의 방사선을 사용하는 리소그래피 장치보다 기관 상에 더 작은 피처를 형성하기 위해 사용될 수 있다.

[0005] 리소그래피 장치의 전통적인 분해능 한계보다 작은 치수를 갖는 피처를 처리하기 위해 로우- k_1 리소그래피가 사용될 수 있다. 이러한 프로세스에서, 분해능 식은 $CD = k_1 \times \lambda/NA$ 로 표현될 수 있으며, 여기서 λ 는 채용된 방사선의 파장이고, NA는 리소그래피 장치에서의 투영 광학계의 개구수이고, CD는 "임계 치수"(일반적으로 인쇄되는 최소 피처 크기이지만, 이 경우 1/2 피치)이고, k_1 은 실험상 분해능 인자이다. 일반적으로, k_1 이 작을수록,

특별한 전기적 기능 및 성능을 달성하기 위해 회로 설계자가 계획한 형상 및 치수와 유사한 기관 상의 패턴을 재현하는 것이 더 어려워진다. 이러한 어려움을 극복하기 위해, 정교한 미세 조정 단계가 리소그래피 투영 장치 및/또는 설계 레이아웃에 적용될 수 있다. 예를 들어 NA의 최적화, 커스터마이징 조명 스킴, 위상 시프팅 패턴닝 디바이스의 사용, 설계 레이아웃에서의 광학 근접 보정(OPC, 종종 "광학 및 프로세스 보정"이라고도 함)과 같은 설계 레이아웃의 다양한 최적화, 또는 "분해능 향상 기법"(RET)으로 일반적으로 규정되는 기타 다른 방법이 여기에 포함되지만 이에 제한되는 것은 아니다. 대안적으로, 리소그래피 장치의 안정성을 제어하기 위한 엄격한 제어 루프가 낮은 k_1 에서 패턴의 재현을 개선하기 위해 사용될 수 있다.

[0006] 계측 툴은 IC 제조 프로세스의 여러 양상에서 사용되는데, 예를 들어 노광 전에 기관을 적절하게 배치하기 위한 정렬 툴, 기관의 표면 토폴로지를 측정하는 레벨링 툴, 예컨대 프로세스 제어에 있어서 노광 및/또는 에칭된 제품을 검사/측정하기 위한 포커스 제어 및 산란계측 기반 툴 등이다. 각각의 경우에 방사선 소스가 필요하다. 측정 강건성 및 정확성을 비롯한 다양한 이유로, 광대역 방사선(또는 백색광) 소스가 이러한 계측 응용에 점점 더 많이 사용되고 있다. 광대역 방사선 생성을 위한 현재의 디바이스를 개선하는 것이 바람직할 것이다.

발명의 내용

[0007] 본 발명의 제1 양태에 따르면, 실질적으로 선형 편광된 입력 방사선을 수신할 때 광대역 출력 방사선을 생성하도록 구성된 광대역 방사선 소스 디바이스가 제공되는데, 디바이스는: 중공-코어 광결정 섬유; 및 상기 중공-코어 광결정 섬유에 의해 수신되기 전에 상기 입력 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하도록 작동 가능한 적어도 제1 편광 요소를 포함하고, 상기 광대역 방사선 소스 디바이스는 상기 입력 방사선에 실질적으로 타원 편광을 부과하기 위해 상기 제1 편광 요소와 조합하여 작동 가능한 제2 편광 요소를 더 포함하며, 상기 제2 편광 요소 및 상기 제1 편광 요소는 상기 타원 편광이 상기 중공-코어 광결정 섬유의 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하도록 배향된다.

[0008] 본 발명의 제2 양태에 따르면, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법이 제공되는데, 방법은: 상기 광대역 출력 방사선을 생성하기 위해 입력 방사선으로 중공-코어 광결정 광섬유 내에 포함된 작용 매질을 여기시키는 단계를 포함하고, 입력 방사선은 중공-코어 광결정 광섬유의 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하도록 타원 편광된다.

[0009] 본 발명의 제3 양태에 따르면, 제1 양태의 광대역 방사선 소스 디바이스를 포함하는 계측 디바이스가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0010] 이제 본 발명의 실시예에 관해, 첨부된 도면을 참조로 하여 단지 예시의 목적으로 설명할 것이다.

도 1은 리소그래피 장치의 개략도이다.

도 2는 리소그래피 셀의 개략도이다.

도 3은 반도체 제조를 최적화하기 위한 세 가지 핵심 기술 간의 협력을 나타내는 홀리스틱 리소그래피의 개략적인 도면을 나타낸다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 방사선 소스를 포함할 수 있는 계측 디바이스로 사용되는 산란계측 장치의 개략적인 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 방사선 소스를 포함할 수 있는 레벨 센서의 개략적인 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 방사선 소스를 포함할 수 있는 정렬 센서의 개략적인 도면이다.

도 7은 횡방향 평면(즉, 광섬유의 축에 수직)에서 일 실시예에 따른 방사선 소스의 일부를 형성할 수 있는 중공 코어 광섬유의 개략적인 단면도이다.

도 8(a) 및 (b)는 초연속체 생성을 위한 중공 코어 광결정 섬유(HC-PCF) 설계의 예에 대한 횡방향 단면을 개략적으로 도시한 것이다.

도 9은 광대역 출력 방사선을 제공하기 위한 방사선 소스의 개략도이다.

도 10은 입력 편광을 HC-PCF의 선호되는 축과 정렬하기 위한 모니터링 분기를 갖는 방사선 소스의 개략도를 도시한다.

도 11은 제1 실시예에 따른 방사선 소스의 개략도이다.

도 12는 제2 실시예에 따른 방사선 소스의 개략도이다.

도 13은 선형 편광된 방사선과 원형 편광된 방사선에 대해 펄스 에너지에 대한 누적 파워(integrated power)의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 개시내용에서, 용어 "방사선" 및 "빔"은 자외선(예를 들어, 365, 248, 193, 157 또는 126 nm의 파장을 갖는 방사선) 및 EUV(예를 들어 약 5-100 nm 범위의 파장을 갖는 극 자외선)를 포함하는 모든 타입의 전자기 방사선을 포괄하기 위해 사용된다.
- [0012] 본 명세서에 사용되는 용어 "레티클", "마스크" 또는 "패터닝 디바이스"는, 기관의 타겟부에 생성될 패턴에 대응하여, 입사 방사선 빔에 패터닝된 단면을 부여하는 데 사용될 수 있는 일반적인 패터닝 디바이스를 지칭하는 것으로 넓게 해석될 수 있다. "방사선 밸브"라는 용어 또한 이와 관련하여 사용될 수 있다. 전통적인 마스크(투과형 또는 반사형, 바이너리, 위상 시프팅, 하이브리드 등) 이외에 다른 패터닝 디바이스의 예는, 프로그래밍 가능한 미러 어레이 및 프로그래밍 가능한 LCD 어레이를 포함한다.
- [0013] 도 1은 리소그래피 장치(LA)를 개략적으로 나타낸다. 리소그래피 장치(LA)는 방사선 빔(B)(예를 들어, UV 방사선, DUV 방사선 또는 EUV 방사선)을 컨디셔닝하도록 구성된 조명 시스템(조명기로도 지칭됨)(IL), 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA)를 지지하도록 구성되고 소정 파라미터들에 따라 패터닝 디바이스(MA)를 정확히 위치설정하도록 구성된 제1 위치 설정기(PM)에 연결되는 마스크 지지체(예를 들어, 마스크 테이블)(MT), 기관(예를 들어, 레지스트 코팅된 웨이퍼)(W)을 유지하도록 구성되고 소정 파라미터들에 따라 기관 지지체를 정확히 위치설정하도록 구성된 제2 위치 설정기(PW)에 연결되는 기관 지지체(예를 들어, 웨이퍼 테이블)(WT); 및 기관(W)의 타겟부(C)(예를 들어, 하나 이상의 다이들 포함함) 상에 패터닝 디바이스(MA)에 의해 방사선 빔(B)에 부여된 패턴을 투영하도록 구성된 투영 시스템(예를 들어, 굴절형 투영 렌즈 시스템)(PS)을 포함한다.
- [0014] 동작 시에 조명 시스템(IL)은, 예컨대 빔 전달 시스템(BD)을 통해 방사선 소스(SO)로부터 방사선 빔을 수광한다. 조명 시스템(IL)은 방사선을 지향, 성형 및/또는 제어하기 위해 굴절형, 반사형, 자기형, 전자기형, 정전형 및/또는 기타 다른 유형의 광학 컴포넌트 또는 이들의 임의의 조합과 같은 다양한 유형의 광학 컴포넌트를 포함할 수 있다. 조명기(IL)는 패터닝 디바이스(MA)의 평면에서 방사선 빔(B)의 단면에 원하는 공간 및 각도 세기 분포를 갖도록 방사선 빔(B)을 컨디셔닝하는 데 사용될 수 있다.
- [0015] 본 명세서에서 사용된 "투영 시스템"(PS)이라는 용어는, 사용되는 노광 방사선에 적합하고 및/또는 액침액의 사용 또는 진공의 사용과 같은 다른 요인들에 대해 적합한 것으로서, 굴절형, 반사형, 반사굴절형, 애너포픽, 자기형, 전자기형 및/또는 정전형 광학 시스템 또는 이들의 임의의 조합을 포함하는 다양한 유형의 투영 시스템을 포괄하는 것으로 폭넓게 해석되어야 한다. 본 명세서에서 "투영 렌즈"라는 용어의 어떠한 사용도 "투영 시스템"(PS)이라는 좀 더 일반적인 용어와 동의어로 간주될 수 있다.
- [0016] 리소그래피 장치(LA)는 투영 시스템(PS)과 기관(W) 사이의 공간을 채우도록, 비교적 높은 굴절률을 갖는 액체, 예를 들어 물로 기관의 적어도 일부가 덮일 수 있는 유형일 수도 있고, 이는 또한 액침 리소그래피라 불린다. 액침 기술에 대한 추가 정보는 US6952253에 제공되어 있으며, 이는 본 명세서에 원용에 의해 통합된다.
- [0017] 리소그래피 장치(LA)는 또한 2개 이상의 기관 지지체(WT)(또한 "이중 스테이지"라고도 함)를 갖는 유형일 수도 있다. 이러한 "다중 스테이지" 기기에서는, 기관 지지체(WT)가 병렬적으로 사용될 수 있고, 및/또는 기관(W)의 후속 노광을 준비하는 단계가 기관 지지체(WT) 중 하나에 위치한 기관(W) 상에서 수행되면서, 나머지 기관 지지체(WT) 상의 또 다른 기관(W)은 이러한 다른 기관(W) 상에 패턴을 노광하기 위해 이용 중일 수 있다.
- [0018] 기관 지지체(WT) 이외에, 리소그래피 장치(LA)는 측정 스테이지를 포함할 수 있다. 측정 스테이지는 센서 및/또는 세정 디바이스를 유지하도록 배열된다. 센서는 투영 시스템(PS)의 속성 또는 방사선 빔(B)의 속성을 측정하도록 배열될 수 있다. 측정 스테이지는 다수의 센서를 보유할 수 있다. 세정 디바이스는 리소그래피 장치의 일부, 예를 들어 투영 시스템(PS)의 일부 또는 액침액을 제공하는 시스템의 일부를 세정하도록 배열될 수 있다. 기관 지지체(WT)가 투영 시스템(PS)으로부터 떨어져 있을 때 측정 스테이지는 투영 시스템(PS) 아래로 이동할 수 있다.
- [0019] 동작 시에, 방사선 빔(B)은 마스크 지지체(MT) 상에 유지되는 패터닝 디바이스, 예컨대 마스크(MA) 상에 입사되고, 패터닝 디바이스(MA) 상에 존재하는 패턴(설계 레이아웃)에 의해 패터닝된다. 마스크(MA)를 거친 후에, 방사선 빔(B)은 투영 시스템(PS)을 통과하게 되며, 투영 시스템(PS)은 기관(W)의 타겟부(C) 상으로 빔을 포커싱한

다. 제2 위치설정기(PW) 및 위치 측정 시스템(IF)의 도움으로, 기관 지지체(WT)는 예를 들어, 방사선 빔(B)의 경로 내에서 포커싱되고 및 정렬된 위치에 다양한 타겟부(C)를 위치설정하기 위해 정확하게 이동될 수 있다. 마찬가지로, 제1 위치 설정기(PM) 및 가능하게는 또 다른 위치 센서(도 1에는 명확히 도시되지는 않음)가 방사선 빔(B)의 경로에 대해 패터닝 디바이스(MA)를 정확히 위치설정하기 위해 사용될 수 있다. 패터닝 디바이스(MA) 및 기관(W)은 마스크 정렬 마크(M1, M2) 및 기관 정렬 마크(P1, P2)를 사용하여 정렬될 수 있다. 도시된 바와 같이 기관 정렬 마크(P1, P2)는 전용화된 타겟부를 점유하지만, 이들은 타겟부 사이의 공간에 위치할 수도 있다. 기관 정렬 마크(P1, P2)는 이들이 타겟부(C) 사이에 위치될 때 스크라이브-라인 정렬 마크로 알려져 있다.

[0020] 도 2에 도시된 바와 같이, 리소그래피 장치(LA)는 리소그래피 셀(LC)의 일부를 형성할 수 있는데, 이는 때때로 리소셀 또는 (리소) 클러스터라고도 하며, 종종 기관(W)에 노광 전 및 노광 후 프로세스를 수행하는 장치를 포함한다. 통상적으로 이들은 레지스트 층을 증착하기 위한 스핀 코터(SC), 노광된 레지스트를 현상하기 위한 현상기(DE), 냉각 플레이트(CH) 및 베이킹 플레이트(BK)를 포함하며, 이들은 예를 들어 기관(W)의 온도를 컨디셔닝하기 위한 것이며, 예컨대 레지스트 층에서 용매를 컨디셔닝하기 위한 것이다. 기관 핸들러 또는 로봇(RO)이 입력/출력 포트(I/O1, I/O2)로부터 기관(W)을 픽업하여, 이를 상이한 프로세스 장치 간에 이동시키며, 리소그래피 장치(LA)의 로딩 베이(LB)에 기관(W)을 전달한다. 통칭하여 트랙으로도 지칭되는 리소셀 내의 이들 디바이스는 통상적으로 감독 제어 시스템(SCS)에 의해 제어될 수 있는 트랙 제어 유닛(TCU)의 제어 하에 있게 되며, 감독 제어 시스템은 또한 예컨대 리소그래피 제어 유닛(LACU)을 통해 리소그래피 장치를 제어할 수 있다.

[0021] 리소그래피 장치(LA)에 의해 노광되는 기관(W)이 정확하고 일관되게 노광되도록, 기관을 검사하여 후속하는 층들 간의 오버레이 오차, 라인 두께, 임계 치수(CD) 등의 패터닝된 구조체의 속성을 측정하는 것이 바람직하다. 이를 위해, 검사 툴(미도시)이 리소 셀(LC)에 포함될 수 있다. 오차가 검출되는 경우, 특히 동일한 배치(batch) 또는 로트의 다른 기관(W)이 노광되거나 처리되기 전에 검사가 수행된다면, 예를 들어 후속 기관의 노광에 대해 또는 기관(W) 상에서 수행될 다른 처리 단계에 대해 조정이 이루어질 수 있다.

[0022] 검사 장치(계측 장치라고도 칭할 수도 있음)가 기관(W)의 속성을 결정하는 데 사용되며, 특히 동일한 기관(W)의 상이한 층들과 연관되는 속성이 층마다 어떻게 달라지는지 또는 상이한 기관들(W)의 속성이 어떻게 달라지는지를 결정하는 데 사용된다. 검사 장치는 대안적으로 기관(W) 상의 결함을 식별하도록 구성될 수 있고, 예를 들어 리소 셀(LC)의 일부일 수 있거나, 리소그래피 장치(LA)에 통합될 수 있거나, 심지어 독립형 디바이스일 수도 있다. 검사 장치는 잠상(노광 후 레지스트 층 내의 이미지) 또는 반잠상 이미지(노광후 베이킹 단계(PEB) 이후 레지스트 층 내의 이미지), 또는 현상된 레지스트 이미지(레지스트의 노광된 부분 또는 노광되지 않은 부분이 제거됨), 또는 심지어 에칭된 이미지(에칭 등의 패턴 전사 단계 이후)에 대해 속성을 측정할 수 있다.

[0023] 일반적으로 리소그래피 장치(LA)에서의 패터닝 프로세스는 기관(W) 상의 구조체의 치수설정 및 배치의 높은 정확도를 요하는 처리에 있어서 가장 중요한 단계 중 하나이다. 이러한 높은 정확도를 보장하기 위해 도 3에 개략적으로 도시된 바와 같이 3개의 시스템이 소위 "홀리스틱" 제어 환경으로 조합될 수 있다. 이들 시스템 중 하나는 계측 툴(MT)(제2 시스템) 및 컴퓨터 시스템(CL)(제3 시스템)에 (가상으로) 연결된 리소그래피 장치(LA)이다. 이러한 "홀리스틱" 환경의 핵심은 이들 3개의 시스템 사이의 협력을 최적화하여 전체적인 프로세스 윈도우를 향상시키고 리소그래피 장치(LA)에 의해 수행된 패터닝이 프로세스 윈도우 내에 유지되도록 엄격한 제어 루프를 제공하는 것이다. 프로세스 윈도우는 특정 제조 프로세스가 규정된 결과(예를 들어, 기능 반도체 디바이스)를 생성하게 되는 프로세스 파라미터(예를 들어, 선량, 초점, 오버레이)의 범위를 규정한다 - 일반적으로 이러한 윈도우 내에서 리소그래피 프로세스 또는 패터닝 프로세스의 프로세스 파라미터가 변화하도록 허용된다.

[0024] 컴퓨터 시스템(CL)은, 패터닝될 설계 레이아웃(의 일부)을 사용하여 어떤 분해능 향상 기법을 사용할지를 예측하고 어느 마스크 레이아웃 및 리소그래피 장치 설정이 패터닝 프로세스의 가장 큰 전체 프로세스 윈도우를 달성하는지를 결정하도록 컴퓨터에이션 리소그래피 시뮬레이션 및 계산을 수행할 수 있다(도 3에서 첫 번째 스케일 SC1에 양방향 화살표로 표시됨). 전형적으로, 분해능 향상 기법은 리소그래피 장치(LA)의 패터닝 가능성과 매칭 되도록 구성된다. 컴퓨터 시스템(CL)은 또한, 예컨대 최적이지 아닌 처리로 인해 결함이 존재할 수 있는지를 예측하기 위해, (예를 들어, 계측 툴(MT)으로부터의 입력을 사용하여) 프로세스 윈도우 내의 어느 곳에서 리소그래피 장치(LA)가 현재 작동하는 중인지를 검출하기 위해 사용될 수도 있다(예를 들어, 도 3에서 두 번째 스케일 SC2에 "0"을 가리키는 화살표로 도시됨).

[0025] 계측 툴(MT)은 정확한 시뮬레이션 및 예측을 가능하게 하도록 컴퓨터 시스템(CL)에 입력을 제공할 수 있고, 예를 들면 리소그래피 장치(LA)의 교정 상태에 있어서, 가능한 드리프트를 식별하기 위해 리소그래피 장치(LA)에

피드백을 제공할 수 있다(도 3에서 세 번째 스케일 SC3에 다수의 화살표로 도시됨).

- [0026] 리소그래피 프로세스에서는, 예를 들어 프로세스 제어 및 검증을 위해 생성된 구조체를 자주 측정하는 것이 바람직하다. 이러한 측정을 수행하는 툴은 일반적으로 계측 툴(MT)이라고 한다. 주사 전자 현미경 또는 다양한 형태의 스캐터로미터 계측 툴(MT)을 포함하여, 이러한 측정을 수행하기 위한 다양한 유형의 계측 툴(MT)이 알려져 있다. 스캐터로미터는, 이러한 스캐터로미터의 대물계의 필드 또는 필드와 공액인 평면에 센서를 구비함으로써(이 경우 측정은 일반적으로 필드 기반 측정이라 함) 또는 이미지 평면 또는 이러한 이미지 평면에 공액인 평면에 센서를 구비함으로써(이 경우 측정은 일반적으로 이미지 또는 필드 기반 측정이라 함) 리소그래피 프로세스의 파라미터의 측정을 가능하게 하는 다목적 기구이다. 이러한 스캐터로미터 및 관련 측정 기법은 특허 출원 US20100328655, US2011102753A1, US20120044470A, US20110249244, US20110026032 또는 EP1,628,164A에 추가로 설명되어 있으며, 이러한 문헌의 내용은 원용에 의해 본 명세서에 포함된다. 기술한 스캐터로미터는 연결 x-선 및 가시광선에서부터 근적외선에 이르는 파장 범위의 방사선을 사용하여 격자를 측정할 수 있다.
- [0027] 제1 실시예에서, 스캐터로미터(MT)는 각도 분해 스캐터로미터이다. 이러한 스캐터로미터에서 격자의 속성을 재구성하거나 계산하기 위해 측정된 신호에 재구성 방법이 적용될 수 있다. 이러한 재구성은, 예를 들어 산란된 방사선과 타겟 구조체의 수학적 모델과의 상호 작용을 시뮬레이션하고 그 시뮬레이션 결과와 측정의 결과를 비교한 결과일 수 있다. 수학적 모델의 파라미터는 시뮬레이션된 상호 작용이 실제 타겟으로부터 관측된 것과 유사한 회절 패턴을 생성할 때까지 조정된다.
- [0028] 제2 실시예에서, 스캐터로미터(MT)는 분광 스캐터로미터(MT)이다. 이러한 분광 스캐터로미터(MT)에서, 방사선 소스에 의해 방출된 방사선은 타겟으로 지향되고 타겟으로부터 반사 또는 산란된 방사선은 분광계 검출기로 지향되어, 정반사 방사선의 스펙트럼(즉, 파장의 함수로서의 세기 측정치)을 측정하게 된다. 이러한 데이터로부터, 검출된 스펙트럼을 생성하는 타겟의 구조 또는 프로파일이 예를 들어 엄격 결합과 분석 및 비선형 회귀에 의해 또는 시뮬레이션된 스펙트럼의 라이브러리와 비교에 의해 재구성될 수 있다.
- [0029] 제3 실시예에서, 스캐터로미터(MT)는 타원계측 스캐터로미터이다. 타원계측 스캐터로미터는 각각의 편광 상태에 대해 산란된 방사선을 측정함으로써 리소그래피 프로세스의 파라미터를 결정할 수 있게 한다. 이러한 계측 장치는 예를 들어 계측 장치의 조명 섹션에서 적절한 편광 필터를 사용함으로써 편광된 방사선(예를 들어, 선형, 원형 또는 타원형 편광된 광)을 방출한다. 계측 장치에 적합한 소스가 또한 편광된 방사선을 제공할 수 있다. 기존의 타원계측 스캐터로미터의 다양한 실시예가 미국 특허 출원 11/451,599, 11/708,678, 12/256,780, 12/486,449, 12/920,968, 12/922,587, 13/000,229, 13/033,135, 13/533,110 및 13/891,410 등에 개시되어 있으며, 이들 문헌은 원용에 의해 전체로서 본원에 포함된다.
- [0030] 스캐터로미터(MT)의 일 실시예에서, 스캐터로미터(MT)는 반사 스펙트럼 및/또는 검출 구성에서 비대칭을 측정함으로써 2개의 오정렬된 격자 또는 주기적 구조체의 오버레이를 측정하도록 적용되며, 비대칭은 오버레이의 정도와 관련된다. 2개의 (전형적으로 중첩되는) 격자 구조체가 2개의 상이한 층(반드시 연속된 층일 필요는 없음)에 적용될 수 있고, 웨이퍼 상의 실질적으로 동일한 위치에 형성될 수 있다. 스캐터로미터는 예를 들어 공동 특허 출원 EP1,628,164A에 기술된 바와 같은 대칭적인 검출 구성을 가질 수 있고, 따라서 임의의 비대칭이 명확하게 구별될 수 있다. 이는 격자의 오정렬을 측정하는 간단한 방법을 제공하게 된다. 주기적 구조체의 비대칭을 통해 타겟이 측정될 때 주기적 구조체를 함유하는 2개의 층 사이의 오버레이 오차를 측정하기 위한 추가의 예는 PCT 특허 출원 공보 WO 2011/012624 또는 미국 특허 출원 US 20160161863에서 찾을 수 있고, 이러한 문헌은 원용에 의해 전체 내용이 본원에 통합된다.
- [0031] 관심 있는 다른 파라미터는 초점과 선량일 수 있다. 초점 및 선량은 미국 특허 출원 US2011-0249244에 기재된 바와 같이 산란계측에 의해(또는 대안적으로 주사 전자 현미경에 의해) 동시에 결정될 수도 있으며, 이러한 문헌의 내용은 원용에 의해 전체로서 본원에 통합된다. 초점 에너지 매트릭스(FEM - 초점 노출 매트릭스라고도 함)에서 각각의 포인트에 대한 임계 치수 및 측벽 각도 측정치의 고유한 조합을 갖는 단일 구조체가 사용될 수도 있다. 임계 치수와 측벽 각도의 이러한 고유한 조합을 사용할 수 있는 경우 초점 및 선량 값은 이러한 측정치로부터 고유하게 결정될 수 있다.
- [0032] 계측 타겟은, 주로 레지스트에, 하지만 예컨대 에칭 프로세스 이후에도, 리소그래피 프로세스에 의해 형성된 복합 격자의 양상불일 수 있다. 전형적으로 격자 내의 구조체의 피치 및 라인폭은 계측 타겟으로부터 기인한 회절 차수를 캡처할 수 있도록 하는 측정 광학계(특히 광학계의 NA)에 크게 의존한다. 앞서 언급한 바와 같이, 회절된 신호는 두 개의 층들 사이의 시프트('오버레이'라고도 함)를 결정하는 데 사용되거나 리소그래피 프로세스에 의해 생성된 원래 격자의 적어도 일부를 재구성하는 데 사용될 수 있다. 이러한 재구성은 리소그래피 프로세스

의 품질에 대한 안내를 제공하는 데 사용될 수 있으며 리소그래피 프로세스의 적어도 일부를 제어하는 데 사용될 수 있다. 타겟은 더 작은 하위 세그먼트들을 가질 수 있고, 이들은 타겟에서 설계 레이아웃의 기능적 부분의 치수를 모방하도록 구성된다. 이러한 하위 세그먼트화로 인해, 전체 프로세스 파라미터 측정이 설계 레이아웃의 기능적 부분에 더 유사하게 되도록 타겟은 설계 레이아웃의 기능적 부분과 더 유사하게 거동할 것이다. 타겟은 언더필 모드 또는 오버필 모드로 측정될 수 있다. 언더필 모드에서는 측정 빔이 전체 타겟보다 작은 스폿을 생성한다. 오버필 모드에서는 측정 빔이 전체 타겟보다 큰 스폿을 생성한다. 이러한 오버필 모드에서는, 상이한 타겟을 동시에 측정하여 상이한 프로세싱 파라미터를 동시에 결정할 수도 있다.

[0033] 특정 타겟을 사용하는 리소그래피 파라미터의 전체적인 측정 품질은 이러한 리소그래피 파라미터를 측정하는 데에 사용되는 측정 레시피에 의해 적어도 부분적으로 결정된다. "기판 측정 레시피"라는 용어는 측정 자체의 하나 이상의 파라미터, 측정된 하나 이상의 패턴의 하나 이상의 파라미터, 또는 둘 모두를 포함할 수 있다. 예를 들어, 기판 측정 레시피에 사용된 측정이 회절 기반 광학 측정인 경우, 측정의 하나 이상의 파라미터는 방사선의 파장, 방사선의 편광, 기판에 대한 방사선의 입사각, 기판 상의 패턴에 대한 방사선의 배향 등을 포함할 수 있다. 측정 레시피를 선택하는 기준 중 하나는 예를 들어, 프로세싱 변동에 대한 측정 파라미터 중 하나의 감도일 수 있다. 추가적인 예가 미국 특허 출원 US2016-0161863 및 공개된 미국 출원 US 2016/0370717A1에 기술되어 있으며, 이들은 원용에 의해 전체로서 본원에 포함된다.

[0034] 스캐터로미터 등의 계측 장치가 도 4에 도시되어 있다. 이는 기판(6) 상에 방사선을 투영하는 광대역(백색광) 방사선 투영기(2)를 포함한다. 반사 또는 산란 방사선은 정반사된 방사선의 스펙트럼(10)(즉, 파장의 함수로서의 세기의 측정)을 측정하는 분광계 검출기(4)로 전달된다. 이 데이터로부터, 검출된 스펙트럼을 발생시키는 구조체 또는 프로파일은 처리 유닛(PU)에 의해 재구성될 수 있으며, 이는 예를 들어, 정밀 결합과 분석 및 비선형 회귀 분석에 의해 또는 도 3의 하단에 표시된 바와 같은 시뮬레이션된 스펙트럼 라이브러리와 비교를 통해 이루어진다. 일반적으로, 이러한 재구성을 위해, 구조체의 일반적인 형태가 알려져 있으며, 일부 파라미터는 구조체가 만들어진 프로세스에 대한 지식으로부터 가정되고, 산란계측 데이터로부터 결정되어야 하는 구조체의 몇 가지 파라미터만이 남게 된다. 이러한 스캐터로미터는 수직 입사 스캐터로미터 또는 경사 입사 스캐터로미터로 구성될 수 있다.

[0035] 계측 타겟의 측정을 통한 리소그래피 파라미터의 전체적인 측정 품질은 이러한 리소그래피 파라미터를 측정하는 데에 사용되는 측정 레시피에 의해 적어도 부분적으로 결정된다. "기판 측정 레시피"라는 용어는 측정 자체의 하나 이상의 파라미터, 측정된 하나 이상의 패턴의 하나 이상의 파라미터, 또는 둘 모두를 포함할 수 있다. 예를 들어, 기판 측정 레시피에 사용된 측정이 회절 기반 광학 측정인 경우, 측정의 하나 이상의 파라미터는 방사선의 파장, 방사선의 편광, 기판에 대한 방사선의 입사각, 기판 상의 패턴에 대한 방사선의 배향 등을 포함할 수 있다. 측정 레시피를 선택하는 기준 중 하나는 예를 들어, 프로세싱 변동에 대한 측정 파라미터 중 하나의 감도일 수 있다. 추가적인 예가 미국 특허 출원 US2016/0161863 및 공개된 미국 출원 US US 2016/0370717A1에 기술되어 있으며, 이들은 원용에 의해 전체로서 본원에 포함된다.

[0036] IC 제조에 사용되는 또 다른 유형의 계측 틀은 토포그래피 측정 시스템, 레벨 센서 또는 높이 센서이다. 그러한 틀은 기판(또는 웨이퍼)의 상부 표면의 토포그래피를 측정하기 위해 리소그래피 장치에 통합될 수도 있다. 높이 맵이라고도 하는 기판의 토포그래피 맵은 기판 상의 위치의 함수로서 기판의 높이를 나타내도록 이들 측정치로부터 생성될 수 있다. 이러한 높이 맵은 기판 상의 적절한 초점 위치에 패턴닝 디바이스의 공간상을 제공하기 위해 기판 상의 패턴의 전사 동안에 기판의 위치를 수정하기 위해 후속적으로 사용될 수도 있다. 이러한 문맥에서 "높이"는 광범위하게 기판에 대해 평면으로부터 벗어난 치수(Z-축으로도 지칭됨)를 지칭하는 것으로 이해될 것이다. 일반적으로, 레벨 또는 높이 센서는 (자체 광학 시스템에 대해) 고정된 위치에서 측정을 수행하고, 기판과 레벨 또는 높이 센서의 광학 시스템 사이의 상대 이동을 통해 기판을 가로지르는 위치에서 높이 측정이 일어나게 된다.

[0037] 당업계에 공지된 바와 같은 레벨 또는 높이 센서(LS)의 예가 도 5에 개략적으로 도시되어 있으며, 이는 작동 원리만을 예시한다. 이러한 예에서, 레벨 센서는 투영 유닛(LSP) 및 검출 유닛(LSD)을 포함하는 광학 시스템을 포함한다. 투영 유닛(LSP)은 투영 유닛(LSP)의 투영 격자(PGR)에 의해 부여되는 방사선 빔(LSB)을 제공하는 방사선 소스(LSO)를 포함한다. 방사선 소스(LSO)는, 예를 들어 초연속체 방사선 소스와 같은 광대역 또는 협대역 방사선 소스, 편광 또는 비편광, 펄스형 또는 연속형, 예를 들어 편광 또는 비편광 레이저 빔일 수 있다. 방사선 소스(LSO)는 복수의 LED와 같이 서로 다른 색상 또는 파장 범위를 갖는 복수의 방사선 소스를 포함할 수 있다. 레벨 센서(LS)의 방사선 소스(LSO)는 가시 방사선으로 제한되지 않고, 추가적으로 또는 대안적으로 UV 및/또는

IR 방사선 및 기관의 표면으로부터 반사되기에 적합한 임의의 범위의 파장을 포괄할 수 있다.

- [0038] 투영 격자(PGR)는 주기적으로 변화하는 세기를 갖는 방사선 빔(BE1)을 생성하는 주기적 구조를 포함하는 주기적 격자이다. 주기적으로 변화하는 세기를 갖는 방사선 빔(BE1)은, 0도 내지 90도로, 통상적으로 70도 내지 80도로, 입사 기관 표면에 수직인 축(Z축)에 대해 입사각(ANG)을 갖고 기관(W) 상의 측정 위치(MLO)를 향해 지향된다. 측정 위치(MLO)에서, 패터닝된 방사선 빔(BE1)은 기관(W)에 의해 반사되고(화살표 BE2로 표시됨) 검출 유닛(LSD)을 향해 지향된다.
- [0039] 측정 위치(MLO)에서의 높이 레벨을 결정하기 위해, 레벨 센서는 검출 격자(DGR), 검출기(DET) 및 검출기(DET)의 출력 신호를 처리하기 위한 처리 유닛(미도시)을 포함하는 검출 시스템을 더 포함한다. 검출 격자(DGR)는 투영 격자(PGR)와 동일할 수도 있다. 검출기(DET)는, 광검출기와 같이, 수신된 방사선을 나타내거나(예컨대 수신된 방사선의 세기를 나타내거나) 카메라와 같이 수신된 세기의 공간적 분포를 나타내는 검출기 출력 신호를 생성한다. 검출기(DET)는 하나 이상의 검출기 유형의 임의의 조합을 포함할 수 있다.
- [0040] 삼각 측량 기법을 사용하여 측정 위치(MLO)에서의 높이 레벨을 결정할 수 있다. 검출된 높이 레벨은 일반적으로 검출기(DET)에 의해 측정된 신호 강도와 관련되며, 이러한 신호 강도는 특히 투영 격자(PGR)의 설계 및 (비스듬한) 입사각(ANG)에 의존하는 주기성을 갖는다.
- [0041] 투영 유닛(LSP) 및/또는 검출 유닛(LSD)은 투영 격자(PGR)와 검출 격자(DGR) 사이의 패터닝된 방사선 빔의 경로를 따라 렌즈 및/또는 미러와 같은 추가 광학 요소를 포함할 수 있다(도시되지 않음).
- [0042] 일 실시예에서, 검출 격자(DGR)는 생략될 수 있고, 검출 격자(DGR)가 배치된 위치에 검출기(DET)가 배치될 수도 있다. 이러한 구성은 투영 격자(PGR)의 이미지에 대한 보다 직접적인 검출을 제공한다.
- [0043] 기관(W)의 표면을 효과적으로 커버하기 위해, 레벨 센서(LS)는 기관(W)의 표면 상에 측정 빔(BE1)의 어레이를 투영하도록 구성될 수 있고, 이로써 더 큰 측정 범위를 커버하는 측정 영역(MLO) 또는 스폿의 어레이를 생성할 수 있다.
- [0044] 일반적인 유형의 다양한 높이 센서가 예를 들어 US7265364 및 US7646471에 개시되어 있으며, 이러한 문헌 모두 원용에 의해 포함된다. 가시광선 또는 적외선 대신 UV 방사선을 사용하는 높이 센서가 US2010233600A1에 개시되어 있으며, 이러한 문헌은 원용에 의해 포함된다. 원용에 의해 포함되는 W02016102127A1에서는 검출 격자를 필요로 하지 않으면서 격자 이미지의 위치를 검출하고 인식하기 위해 다중-요소 검출기를 사용하는 컴팩트한 높이 센서에 관해 설명하고 있다.
- [0045] IC 제조에 사용되는 또 다른 유형의 계측 틀은 정렬 센서이다. 따라서, 리소그래피 장치의 성능의 중요한 양상은 이전 층에 (동일한 장치 또는 상이한 리소그래피 장치에 의해) 레이아웃된 피처들과 관련하여 적용된 패턴을 올바르게 정확하게 배치할 수 있는 능력이다. 이러한 목적을 위해, 기관에는 하나 이상의 마크 또는 타겟 세트가 제공된다. 각각의 마크는 나중에 위치 센서, 일반적으로 광학 위치 센서를 사용하여 위치를 측정할 수 있는 구조체이다. 위치 센서는 "정렬 센서"로 지칭될 수 있고 마크는 "정렬 마크"로 지칭될 수 있다.
- [0046] 리소그래피 장치는 기관 상에 제공된 정렬 마크들의 위치들이 정확하게 측정될 수 있는 하나 이상의(예컨대, 복수의) 정렬 센서들을 포함할 수 있다. 정렬(또는 위치) 센서는 회절 및 간섭과 같은 광학적 현상을 이용하여 기관에 형성된 정렬 마크로부터 위치 정보를 얻을 수 있다. 현재 리소그래피 장치에서 사용되는 정렬 센서의 일례는 미국 특허 제6,961,116 호에 기재된 자기-참조 간섭계에 기초한다. 예를 들어 US2015261097A1에 개시된 바와 같이 위치 센서의 다양한 개선 및 수정사항이 발전되어 왔다. 이들 문헌 모두의 내용은 원용에 의해 본원에 포함된다.
- [0047] 도 6은 원용에 의해 포함되는 예를 들어 US6961116에 설명되어 있는 것과 같은 공지된 정렬 센서(AS)의 실시예의 개략적인 블록도이다. 방사선 소스(RSO)는, 조명 스폿(SP)으로서, 기관(W) 상에 위치한 마크(AM)와 같은 마크 상에 방향전환 광학계에 의해 방향전환되는 하나 이상의 파장의 방사선 빔(RB)을 제공한다. 이러한 예에서 방향전환 광학계는 스폿 미러(SM)와 대물 렌즈(OL)를 포함한다. 마크(AM)가 조명되는 조명 스폿(SP)은 마크 자체의 폭보다 직경이 약간 작을 수 있다.
- [0048] 정렬 마크(AM)에 의해 회절된 방사선은 정보 전달 빔(IB)으로 시준된다(이러한 예에서는 대물 렌즈(OL)를 통해). "회절된"이라는 용어는 마크로부터의 0차 회절(반사라고 할 수 있음)을 포함하도록 의도된다. 예를 들어, 위에서 언급된 US6961116에 개시된 유형의 자기-참조 간섭계(SRI)는 빔(IB)과 자체적으로 간섭한 후에 빔이 광검출기(PD)에 의해 수광된다. 방사선 소스(RSO)에 의해 둘 이상의 파장이 생성되는 경우 별도의 빔들을 제공하

기 위해 추가의 광학계(도시되지 않음)가 포함될 수 있다. 광검출기는 단일 요소일 수 있거나 필요한 경우 다수의 픽셀을 포함할 수도 있다. 광검출기는 센서 어레이를 포함할 수 있다.

- [0049] 이러한 예에서 스폿 미러(SM)를 포함하는 방향전환 광학계는, 정보 전달 빔(IB)이 마크(AM)로부터의 고차 회절 방사선만을 포함하도록, 마크로부터 반사된 0차 방사선을 차단하는 역할을 할 수도 있다(이는 측정에 필수적인 것은 아니고, 신호 대 잡음비를 향상시킴).
- [0050] 세기 신호(SI)가 처리 유닛(PU)에 공급된다. 블록(SRI) 내의 광학 처리와 유닛(PU) 내의 계산 처리의 조합에 의해 기준 프레임에 대한 기관 상의 X 및 Y-위치의 값들이 출력된다.
- [0051] 도시된 유형의 단일 측정은 단지 마크의 한 피치에 해당하는 특정 범위 내에서 마크의 위치를 고정한다. 정현파의 어느 주기가 마크된 위치를 포함하는 주기인지를 식별하기 위해 이와 함께 좀 더 개략적인 측정 기술이 사용된다. 마크가 제조되는 재료와 마크가 제공되는 위치의 아래 및/또는 위의 재료에 관계없이 향상된 정확도 및/또는 마크의 강건한 검출을 위해 더 개략적인 및/또는 더 미세한 수준에서의 동일한 프로세스가 서로 다른 과정에서 반복될 수도 있다. 과정은 광학적으로 다중화 및 역다중화되어 동시에 처리될 수 있고/있거나 시분할 또는 주파수 분할에 의해 다중화될 수 있다.
- [0052] 이러한 예에서 정렬 센서와 스폿(SP)은 고정된 채로 유지되는 반면 이동하는 것은 기관(W)이다. 따라서 정렬 센서는, 기관(W)의 이동 방향과 반대 방향으로 마크(AM)를 효과적으로 스캔하면서, 기준 프레임에 견고하고 정확하게 장착될 수 있다. 기관(W)이 기관 지지체 상에 장착되고 기관 위치설정 시스템이 기관 지지체의 움직임을 제어함으로써 기관(W)의 움직임이 제어된다. 기관 지지체 위치 센서(예를 들어, 간섭계)는 기관 지지체의 위치를 측정한다(미도시). 일 실시예에서, 하나 이상의 (정렬) 마크가 기관 지지체 상에 제공된다. 기관 지지체 상에 제공된 마크의 위치를 측정하면 위치 센서에 의해 결정된 바와 같은 기관 지지체의 위치가 교정될 수 있다(예컨대, 정렬 시스템이 연결된 프레임에 대해 상대적으로). 기관 상에 제공된 정렬 마크의 위치의 측정에 의해 기관 지지체에 대한 기관의 위치가 결정될 수 있다.
- [0053] 위에서 언급된 스캐터로미터, 토포그래피 측정 시스템 또는 위치 측정 시스템과 같은 계측 틀(MT)은 측정을 수행하기 위해 방사선 소스로부터 발생하는 방사선을 사용할 수 있다. 계측 틀에 의해 사용되는 방사선의 특성은 수행될 수 있는 측정의 유형과 품질에 영향을 미칠 수 있다. 일부 응용예의 경우, 기관을 측정하기 위해 다수의 방사선 주파수를 사용하는 것이 유리할 수 있고, 예를 들어 광대역 방사선이 사용될 수 있다. 다수의 서로 다른 주파수는 다른 주파수와는 다른 간섭이 없거나 간섭을 최소화하면서 계측 타겟으로부터 전파, 조사 및 산란될 수도 있다. 따라서, 예를 들어 더 많은 계측 데이터를 동시에 획득하기 위해 서로 상이한 주파수가 사용될 수 있다. 서로 상이한 방사선 주파수는 또한 계측 타겟의 서로 다른 특성을 조사하고 발견할 수도 있다. 광대역 방사선은 예를 들어 레벨 센서, 정렬 마크 측정 시스템, 산란계측 틀 또는 검사 틀과 같은 계측 시스템(MT)에서 유용할 수 있다. 광대역 방사선 소스는 초연속체 소스일 수 있다.
- [0054] 고품질 광대역 방사선, 예컨대 초연속체 방사선은 생성하기 어려울 수 있다. 광대역 방사선을 생성하기 위한 한 가지 방법은, 예를 들어 비선형의 고차 효과를 이용하여, 높은 파워의 협대역 또는 단일 주파수 입력 방사선 또는 펄프 방사선을 확장시키는 것일 수 있다. (레이저를 사용하여 생성될 수 있는) 입력 방사선은 펄프 방사선으로 지칭될 수 있다. 대안적으로, 입력 방사선은 시드 방사선이라 지칭될 수도 있다. 확장 효과를 위한 높은 파워의 방사선을 얻기 위해, 방사선은 작은 영역으로 구속되어 강하게 국소화된 높은 세기의 방사선이 달성된다. 그러한 영역에서, 방사선은 광대역 출력 방사선을 생성하도록 비선형 매질을 형성하는 확장용 구조 및/또는 재료와 상호작용할 수 있다. 높은 세기의 방사선 영역에서, 적절한 비선형 매질을 제공함으로써 방사선 확장을 가능하게 하고 및/또는 개선하기 위해 상이한 재료들 및/또는 구조들이 사용될 수 있다.
- [0055] 일부 구현예에서 광대역 출력 방사선은 광결정 섬유(PCF)에서 생성된다. 몇몇 실시예에서, 이러한 광결정 섬유는 섬유 코어 주위의 미세구조를 가지며, 이는 섬유 코어 내에서 섬유를 통해 진행되는 방사선을 구속하는 것을 돕는다. 섬유 코어는, 비선형적인 특성을 가지며 높은 세기의 펄프 방사선이 섬유 코어를 통해 전송될 때 광대역 방사선을 생성할 수 있는 중실(solid) 재료로 만들어질 수 있다. 중실 코어 광결정 섬유에서 광대역 방사선을 생성하는 것이 가능하지만, 중실 재료를 이용하는 데에는 몇 가지 단점이 있을 수 있다. 예를 들어, 중실 코어에서 UV 방사선이 생성되는 경우, 이러한 방사선은 대부분의 중실 재료에 의해 흡수되기 때문에 섬유의 출력 스펙트럼에 없을 수도 있다.
- [0056] 일부 구현예로서, 도 9를 참조하여 아래에서 더 논의되는 바와 같이, 입력 방사선을 확장하기 위한 방법 및 장치는 입력 방사선을 구속하기 위해 그리고 입력 방사선을 출력 광대역 방사선으로 확장하기 위해 섬유를 사용할

수 있다. 섬유는 중공 코어 섬유일 수 있고, 섬유 내에서 방사선의 효과적인 안내 및 구속을 달성하기 위한 내부 구조를 포함할 수 있다. 섬유는 중공 코어 광결정 섬유(HC-PCF)일 수 있으며, 이는 주로 섬유의 중공 코어 내부에서 강한 방사선 구속에 특히 적합하여, 높은 방사선 세기를 달성한다. 섬유의 중공 코어는 입력 방사선을 확장시키기 위한 확장용 매질로 작용하는 가스로 충전될 수 있다. 이러한 섬유 및 가스 배열은 초연속체 방사선 소스를 생성하는 데 사용될 수 있다. 섬유에 입력되는 방사선은 전자기 방사선, 예를 들어 적외선, 가시광선, UV 및 극자외선 스펙트럼 중 하나 이상의 방사선일 수 있다. 출력 방사선은 본 명세서에서 백색광으로 지칭될 수 있는 광대역 방사선으로 구성되거나 이를 포함할 수 있다.

[0057] 일부 실시예는 광섬유를 포함하는 그러한 광대역 방사선 소스의 새로운 설계에 관한 것이다. 광섬유는 중공 코어 광결정 섬유(HC-PCF)이다. 특히, 광섬유는 방사선의 구속을 위한 반공진 구조를 포함하는 유형의 중공 코어, 광결정 섬유일 수 있다. 반공진 구조를 포함하는 그러한 섬유는 반공진 섬유, 튜브형 섬유, 단일 링 섬유, 음의 곡률 섬유 또는 억제된 커플링 섬유로서 당업계에 알려져 있다. 이러한 섬유의 다양한 상이한 설계가 당업계에 공지되어 있다. 대안적으로, 광섬유는 광자 밴드갭 섬유(HC-PBF, 예를 들어 Kagome 섬유)일 수 있다.

[0058] 서로 다른 물리적 가이드 메커니즘을 각각 기반으로 하는 수많은 유형의 HC-PCF가 설계제작될 수 있다. (순전한 예시로서) 이러한 두 가지 HC-PCF에는 중공-코어 광자 밴드갭 섬유(HC-PBF) 및 중공-코어 반공진 반사 섬유(HC-ARF)가 포함된다. HC-PCF의 설계 및 제조에 대한 세부사항은 미국 특허 US 2004/015085 A1(HC-PBF의 경우) 및 국제 PCT 특허 출원 WO 2017/032454 A1(중공 코어 반공진 반사 섬유의 경우)에서 찾을 수 있으며, 이들은 원용에 의해 본원에 포함된다. 도 9(a)는 Kagome 격자 구조를 포함하는 Kagome 섬유를 나타낸다.

[0059] 방사선 소스에 사용하기 위한 광섬유의 예에 관해 이제 도 7을 참조하여 설명할 것이고, 이러한 도면은 횡방향 평면에서 광섬유(OF)의 개략적인 단면도이다. 도 7의 섬유의 실제 예와 유사한 추가 실시예가 WO 2017/032454 A1에 개시되어 있다.

[0060] 광섬유(OF)는 기다란 몸체를 포함하고, 섬유(OF)의 나머지 두 치수에 비해 한 치수에서 더 기다랗다. 이러한 더 긴 치수는 축 방향으로 지칭될 수 있고 광섬유(OF)의 축을 규정할 수 있다. 2개의 다른 치수는 횡방향 평면으로 지칭될 수 있는 평면을 규정한다. 도 7은 xy 평면으로 표시된 이러한 횡방향 평면(즉, 축에 수직)에서 광섬유(OF)의 단면을 보여준다. 광섬유(OF)의 횡방향 단면은 섬유 축을 따라 실질적으로 일정할 수 있다.

[0061] 광섬유(OF)는 어느 정도의 가요성을 갖고 따라서 축의 방향은 일반적으로 광섬유(OF)의 길이를 따라 균일하지 않을 것이라는 점을 이해할 것이다. 광축, 횡방향 단면 등의 용어는 국소적인 광축, 국소적인 횡방향 단면 등을 의미함을 이해할 것이다. 또한, 컴포넌트들이 원통형 또는 튜브형인 것으로 기술되는 경우 이들 용어는 광섬유(OF)가 구부러질 때 왜곡될 수 있는 그러한 형상을 포괄한다는 점을 이해할 것이다.

[0062] 광섬유(OF)는 임의의 길이를 가질 수 있고 광섬유(OF)의 길이는 응용예에 따라 달라질 수 있음을 이해할 것이다. 광섬유(OF)는 1 cm 내지 10 m의 길이를 가질 수도 있고, 예를 들어 광섬유(OF)는 10 cm 내지 100 cm의 길이를 가질 수 있다.

[0063] 광섬유(OF)는: 중공 코어(HC); 중공 코어(HC)를 둘러싸는 클래딩 부분; 및 클래딩 부분을 둘러싸서 지지하는 지지 부분(SP)을 포함한다. 광섬유(OF)는 중공 코어(HC)를 갖는 본체(클래딩 부분 및 지지 부분(SP))를 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 클래딩 부분은 중공 코어(HC)를 통해 방사선을 안내하기 위한 복수의 반공진 요소를 포함한다. 특히, 복수의 반공진 요소는 주로 중공 코어(HC) 내부에서 광섬유(OF)를 통해 전파되는 방사선을 구속하고 광섬유(OF)를 따라 방사선을 안내하도록 배열된다. 광섬유(OF)의 중공 코어(HC)는 실질적으로 광섬유(OF)의 중심 영역에 배치될 수 있어, 광섬유(OF)의 축이 또한 광섬유(OF)의 중공 코어(HC)의 축을 규정하게 될 수 있다.

[0064] 클래딩 부분은 광섬유(OF)를 통해 전파되는 방사선을 안내하기 위한 복수의 반공진 요소를 포함한다. 특히, 이러한 실시예에서, 클래딩 부분은 6개의 튜브형 모세관(CAP)의 단일 링을 포함한다. 각각의 튜브형 모세관(CAP)은 반공진 요소로 작용한다.

[0065] 모세관(CAP)은 튜브라고도 한다. 모세관은 단면이 원형일 수 있거나 다른 형상을 가질 수도 있다. 각각의 모세관(CAP)은, 광섬유(OF)의 중공 코어(HC)를 적어도 부분적으로 규정하고 중공 코어(HC)를 모세관 캐비티(CC)로부터 분리하는 대체로 원통형인 벽 부분(WP)을 포함한다. 벽 부분(WP)은 중공 코어(HC)를 통해 전파되는(그리고 벽 부분(WP) 상에 그레이징 입사각으로 입사될 수 있는) 방사선에 대한 반사-방지 Fabry-Perot 공진기로서 작용할 수 있다는 점을 이해할 것이다. 벽 부분(WP)의 두께는, 중공 코어(HC)로의 되반사가 일반적으로 강화되는 반

면 모세관 캐비티(CC)로의 투과는 일반적으로 억제되도록 보장하는 데에 적합할 수 있다. 일부 실시예에서, 모세관 벽 부분(WP)은 0.01 내지 10.0 μm 의 두께를 가질 수 있다.

- [0066] 본 명세서에 사용될 때, 클래딩 부분이라는 용어는 광섬유(OF)를 통해 전파되는 방사선을 안내하기 위한 광섬유(OF)의 일부(즉, 상기 방사선을 중공 코어(HC) 내에 구속하는 모세관(CAP))를 의미하는 것으로 이해될 것이다. 방사선은 섬유 축을 따라 전파되는 횡방향 모드의 형태로 구속될 수 있다.
- [0067] 지지 부분은 일반적으로 튜브형이며 클래딩 부분의 6개 모세관(CAP)을 지지한다. 6개의 모세관(CAP)은 내측 지지 부분(SP)의 내면 둘레에 고르게 분포되어 있다. 6개의 모세관(CAP)은 일반적으로 육각형 형태로 배치되는 것으로 설명할 수 있다.
- [0068] 모세관(CAP)은 각 모세관이 나머지 모세관(CAP)의 어느 것보다도 접촉하지 않도록 배열된다. 모세관(CAP) 각각은 내측 지지 부분(SP)과 접촉하며 링 구조 내에서 인접한 모세관(CAP)과 이격되어 있다. 그러한 배열은 (예를 들어, 모세관들이 서로 접촉하는 배열에 비해) 광섬유(OF)의 전송 대역폭을 증가시킬 수 있기 때문에 유리할 수 있다. 대안적으로, 일부 실시예에서, 모세관(CAP) 각각은 링 구조 내에서 인접한 모세관(CAP)과 접촉할 수도 있다.
- [0069] 클래딩 부분의 6개의 모세관(CAP)은 중공 코어(HC) 주위에 링 구조로 배치된다. 모세관(CAP)의 링 구조의 내면은 광섬유(OF)의 중공 코어(HC)를 적어도 부분적으로 규정한다. 중공 코어(HC)의 직경 d (화살표 d 로 표시된, 서로 대향하는 모세관들 사이의 최소 치수로 규정될 수 있음)는 10 내지 1000 μm 일 수 있다. 중공 코어(HC)의 직경 d 는 중공 코어(HC) 광섬유(OF)의 모드 필드 직경, 충격 손실, 분산, 모드 복수(modal plurality) 및 비선형성 특성에 영향을 미칠 수 있다.
- [0070] 이 실시예에서, 클래딩 부분은 (반공진 요소로 작용하는) 모세관(CAP)의 단일 링 배열을 포함한다. 따라서, 중공 코어(HC)의 중심으로부터 광섬유(OF)의 외부까지의 임의의 반경 방향의 라인은 단지 하나의 모세관(CAP)만을 통과한다.
- [0071] 다른 실시예에는 반공진 요소의 다양한 배열들이 제공될 수 있음이 이해될 것이다. 여기에는 반공진 요소들의 다수의 링을 갖는 배열 및 내포된(nested) 반공진 요소들을 갖는 배열이 포함될 수 있다. 도 8(a)는 모세관(CAP)의 3개 링이 반경 방향을 따라 서로 적층된 HC-PCF의 일 실시예를 보여준다. 이러한 실시예에서, 각각의 모세관(CAP)은 동일한 링 및 상이한 링 양자 모두에서 다른 모세관과 접촉한다. 또한, 도 7에 도시된 실시예가 6개의 모세관의 링을 포함하지만, 다른 실시예에서는 임의의 수의 반공진 요소(예를 들어, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 또는 12개의 모세관)를 포함하는 하나 이상의 링이 클래딩 부분에 제공될 수 있다.
- [0072] 도 8(b)는 튜브형 모세관의 단일 링을 갖는 위에서 논의된 HC-PCF의 변형된 실시예를 나타낸다. 도 9(b)의 예에는 튜브형 모세관(21)의 2개의 동축 링이 있다. 튜브형 모세관(21)의 내측 링과 외측 링을 유지하기 위해 지지 튜브(ST)가 HC-PCF에 포함될 수 있다. 지지 튜브는 실리카로 만들어질 수 있다.
- [0073] 도 7 및 도 8(a)와 8(b)의 예의 튜브형 모세관은 원형 단면 형상을 가질 수 있다. 타원형 또는 다각형 단면과 같이, 튜브형 모세관에 대해 다른 형상도 가능하다. 추가적으로, 도 7 및 도 8(a)와 8(b)의 예의 튜브형 모세관의 고체 재료는 PMA와 같은 플라스틱 재료, 실리카와 같은 유리, 또는 연질 유리를 포함할 수도 있다.
- [0074] 도 9은 광대역 출력 방사선을 제공하기 위한 방사선 소스(RDS)의 개략도이다. 방사선 소스(RDS)는 펄스형 펌프 방사선 소스(PRS) 또는 원하는 길이 및 에너지 레벨의 짧은 펄스를 생성할 수 있는 임의의 다른 유형의 소스; 중공 코어(HC)를 갖는 광섬유(OF)(예를 들어, 도 7에 도시된 유형); 및 중공 코어(HC) 내에 배치된 작용 매질(예를 들어, 가스)을 포함한다. 도 9에서 방사선 소스(RDS)는 도 7에 도시된 광섬유(OF)를 포함하지만, 대안적인 실시예로서 다른 유형의 중공 코어(HC) 광섬유(OF)가 사용될 수도 있다.
- [0075] 펄스형 펌프 방사선 소스(PRS)는 펌프 방사선 또는 입력 방사선(IRD)을 제공하도록 구성된다. 광섬유(OF)의 중공 코어(HC)는 펄스형 펌프 방사선 소스(PRS)로부터 입력 방사선(IRD)을 수신하고 이를 확장하여 출력 방사선(ORD)을 제공하도록 배열된다. 작용 매질은 광대역 출력 방사선(ORD)을 제공하도록 수신된 입력 방사선(IRD)의 주파수 범위의 확장을 가능하게 한다.
- [0076] 방사선 소스(RDS)는 저장소(RSV)를 더 포함한다. 광섬유(OF)는 저장소(RSV) 내부에 배치된다. 저장소(RSV)는 또한 하우징, 컨테이너, 또는 가스 셀로 지칭될 수 있다. 저장소(RSV)는 작용 매질을 함유하도록 구성된다. 저장소(RSV)는 저장소(RSV) 내부의 작용 매질(가스일 수 있음)의 조성을 제어, 조절 및/또는 모니터링하기 위해 당업계에 공지된 하나 이상의 특징을 포함할 수도 있다. 저장소(RSV)는 제1 투명 창(TW1)을 포함할 수 있다. 사

용 시에, 광섬유(OF)는 제1 투명 창(TW1)이 광섬유(OF)의 입력 단부(IE)에 근접하여 위치되도록 저장소(RSV) 내부에 배치된다. 제1 투명 창(TW1)은 저장소(RSV)의 벽의 일부를 형성할 수 있다. 제1 투명 창(TW1)은 적어도 수신된 입력 방사선 주파수에 대해 투명할 수 있고, 이로써 수신된 입력 방사선(IRD)(또는 그것 중 적어도 많은 부분)은 저장소(RSV) 내부에 위치한 광섬유(OF)에 커플링될 수 있게 된다. 입력 방사선(IRD)을 광섬유(OF)에 커플링하기 위해 광학계(미도시)가 제공될 수 있다는 점을 이해할 것이다.

[0077] 저장소(RSV)는 저장소(RSV)의 벽의 일부를 형성하는 제2 투명 창(TW2)을 포함할 수 있다. 사용 시에, 광섬유(OF)가 저장소(RSV) 내부에 배치될 때, 제2 투명 창(TW2)이 광섬유(OF)의 출력 단부(OE)에 근접하여 위치된다. 제2 투명 창(TW2)은 적어도 장치의 광대역 출력 방사선(ORD)의 주파수들에 대해 투명할 수 있다.

[0078] 대안적으로, 다른 실시예로서, 광섬유(OF)의 2개의 반대측 단부가 서로 상이한 저장소들 내부에 배치될 수도 있다. 광섬유(OF)는 입력 방사선(IRD)을 수신하도록 구성된 제1 단부 섹션, 및 광대역 출력 방사선(ORD)을 출력하기 위한 제2 단부 섹션을 포함할 수 있다. 제1 단부 섹션은 작용 매질을 포함하는 제1 저장소 내부에 배치될 수 있다. 제2 단부 섹션은 제2 저장소 내부에 배치될 수 있고, 제2 저장소 또한 작용 매질을 포함할 수 있다. 저장소의 기능은 위에서 도 9과 관련하여 설명한 것과 같을 수 있다. 제1 저장소는 입력 방사선(IRD)에 대해 투명하도록 구성된 제1 투명 창을 포함할 수 있다. 제2 저장소는 광대역 출력 광대역 방사선(ORD)에 대해 투명하도록 구성된 제2 투명 창을 포함할 수 있다. 제1 및 제2 저장소는 또한 광섬유(OF)가 부분적으로 저장소 내부에 그리고 부분적으로 외부에 배치되도록 허용하는 밀봉가능한 개구를 포함할 수 있어, 가스가 저장소 내부에 밀봉될 수 있다. 광섬유(OF)는 저장소 내부에 포함되지 않은 중간 섹션을 더 포함할 수 있다. 2개의 별개 가스 저장소를 사용하는 이러한 배열은 광섬유(OF)가 비교적 긴(예를 들어, 길이가 1m를 넘어서는 경우) 실시예에 특히 편리할 수 있다. 2개의 별개 가스 저장소를 사용하는 그러한 배열의 경우, 2개의 저장소(이는 2개의 저장소 내부의 가스의 조성을 제어, 조절 및/또는 모니터링하기 위해 당업계에 공지된 하나 이상의 특징을 포함할 수 있음)는 광섬유(OF)의 중공 코어(HC) 내에 작용 매질을 제공하기 위한 장치를 제공하는 것으로 여겨질 수 있음을 이해할 것이다.

[0079] 이러한 맥락에서, 창에 입사되는 해당 주파수의 방사선의 적어도 50%, 75%, 85%, 90%, 95%, 또는 99%가 창을 통해 투과되는 경우 창은 그 주파수에 대해 투명한 것일 수 있다.

[0080] 제1 투명 창(TW1) 및 제2 투명 창(TW2) 모두는 작용 매질(가스일 수 있음)이 저장소(RSV) 내에 함유될 수 있도록 저장소(RSV)의 벽 내에 기밀 시일을 형성할 수 있다. 가스는 저장소(RSV)의 주변 압력과 상이한 압력으로 저장소(RSV) 내에 함유될 수 있다는 점을 이해할 것이다.

[0081] 작용 매질은 아르곤, 크립톤 및 크세논과 같은 희가스, 수소, 중수소 및 질소와 같은 라만 활성 가스, 또는 아르곤/수소 혼합물, 크세논/중수소 혼합물, 크립톤/질소 혼합물, 또는 질소/수소 혼합물과 같은 가스 혼합물을 포함할 수 있다. 충전 가스의 유형에 따라, 비선형 광학 프로세스는 변조 불안정성(MI), 솔리톤 자체-압축, 솔리톤 핵분열, Kerr 효과, 라만 효과 및 분산과 생성(DWG)을 포함할 수 있으며, 이에 대한 자세한 내용은 원용에 의해 포함되는 WO2018/127266A1 및 US9160137B1에 설명되어 있다. 충전 가스의 분산은 저장소(RSV) 내의 작용 매질 압력(즉, 가스 셀 압력)을 변경하여 튜닝될 수 있으므로, 주파수 변환을 최적화하기 위해 생성된 광대역 펄스 역학관계 및 연관된 스펙트럼 확장 특성이 조정될 수 있다.

[0082] 일 구현예로서, 작용 매질은 광대역 출력 방사선(ORD)을 생성하기 위해 적어도 입력 방사선(IRD)을 수신하는 동안 중공 코어(HC) 내에 배치될 수 있다. 광섬유(OF)가 광대역 출력 방사선을 생성하기 위해 입력 방사선(IRD)을 수신하지 않는 동안, 가스는 중공 코어(HC)에 전체적으로 또는 부분적으로 부재(absent)할 수 있다는 점을 이해할 것이다.

[0083] 주파수 확장을 달성하기 위해 높은 세기의 방사선이 필요할 수 있다. 중공 코어(HC) 광섬유(OF)를 갖는 이점은, 광섬유(OF)를 통해 전파되는 방사선의 강한 공간적 구속을 통해 높은 세기의 방사선을 달성하여 높은 국소화된 방사선 세기를 달성할 수 있다는 점이다. 광섬유(OF) 내부의 방사선 세기는 예를 들어, 수신한 입력 방사선의 높은 세기 및/또는 광섬유(OF) 내부의 방사선의 강한 공간적 구속으로 인해 높아질 수 있다. 중공 코어 광섬유의 장점은 중심 코어 섬유보다 넓은 파장 범위를 갖는 방사선을 안내할 수 있고, 특히 중공 코어 광섬유가 자외선 및 적외선 범위 모두에서 방사선을 안내할 수 있다는 점이다.

[0084] 중공 코어(HC) 광섬유(OF)를 사용하는 이점은 광섬유(OF) 내부로 안내되는 방사선의 대부분이 중공 코어(HC)에 구속된다는 점이다. 따라서 광섬유(OF) 내부의 방사선의 상호작용의 대부분은 광섬유(OF)의 중공 코어(HC) 내부에 제공되는 작용 매질과의 상호작용이다. 결과적으로 방사선에 대한 작용 매질의 확장 효과가 증가할 수 있다.

- [0085] 수신된 입력 방사선(IRD)은 전자기 방사선일 수 있다. 입력 방사선(IRD)은 펄스형 방사선으로 수신될 수 있다. 예를 들어, 입력 방사선(IRD)은 예를 들어 레이저에 의해 생성된 초고속 펄스를 포함할 수 있다.
- [0086] 입력 방사선(IRD)은 코히어런트 방사선일 수 있다. 입력 방사선(IRD)은 시준된 방사선일 수 있고, 그 이점은 입력 방사선(IRD)을 광섬유(OF)에 커플링하는 효율성을 촉진하고 향상시킬 수 있다는 점이다. 입력 방사선(IRD)은 단일 주파수 또는 좁은 범위의 주파수를 포함할 수 있다. 입력 방사선(IRD)은 레이저에 의해 생성될 수 있다. 유사하게, 출력 방사선(ORD)은 시준되고 및/또는 코히어런트할 수 있다.
- [0087] 출력 방사선(ORD)의 광대역 범위는 방사선 주파수의 연속적인 범위를 포함하는 연속적인 범위일 수 있다. 출력 방사선(ORD)은 초연속체 방사선을 포함할 수 있다. 연속적인 방사선은 예를 들어 계측 응용예와 같은 여러 응용예에서 사용하기에 유용할 수 있다. 예컨대, 연속적인 주파수 범위는 다수의 특성을 조사하기 위해 사용될 수 있다. 연속적인 주파수 범위는 예를 들어 측정된 특성의 주파수 종속성을 결정 및/또는 제거하기 위해 사용될 수 있다. 초연속체 출력 방사선(ORD)은 예를 들어 100 nm - 4000 nm의 파장 범위에 걸친 전자기 방사선을 포함할 수 있다. 광대역 출력 방사선(ORD) 주파수 범위는 예를 들어 400 nm - 900 nm, 500 nm - 900 nm, 또는 200 nm - 2000 nm일 수 있다. 초연속체 출력 방사선(ORD)은 백색광을 포함할 수 있다.
- [0088] 펄스형 펌프 방사선 소스(PRS)에 의해 제공되는 입력 방사선(IRD)은 펄스형일 수 있다. 입력 방사선(IRD)은 200 nm 내지 2 μm 범위의 하나 이상의 주파수를 갖는 전자기 방사선을 포함할 수 있다. 입력 방사선(IRD)은 예를 들어 1.03 μm 의 파장을 갖는 전자기 방사선을 포함할 수 있다. 펄스형 방사선(IRD)의 반복율은 대략 1kHz 내지 100MHz의 크기일 수 있다. 펄스 에너지는 대략 0.1 μJ 내지 100 μJ, 예를 들어 1 ~ 10 μJ의 크기를 가질 수 있다. 입력 방사선(IRD)에 대한 펄스 지속기간은 10fs 내지 10ps, 예를 들어 300fs일 수 있다. 입력 방사선(IRD)의 평균 파워는 100mW 내지 수 100W 일 수 있다. 입력 방사선(IRD)의 평균 파워는 예를 들어 20 - 50W 일 수 있다.
- [0089] 펄스형 펌프 방사선 소스(PRS)는 레이저일 수 있다. 광섬유(OF)를 따라 전송되는 그러한 레이저 펄스의 시공간 (spatio-temporal) 전송 특성(예컨대, 스펙트럼 진폭 및 위상)은 (펌프) 레이저 파라미터, 작용 성분 변동 및 광섬유(OF) 파라미터의 조정을 통해 변경 및 튜닝될 수 있다. 상기 시공간 전송 특성은 출력 파워, 출력 모드 프로파일, 출력 시간 프로파일, 출력 시간 프로파일의 폭(또는 출력 펄스 폭), 출력 스펙트럼 프로파일, 및 출력 스펙트럼 프로파일의 대역폭(또는 출력 스펙트럼 대역폭) 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 상기 펄스형 펌프 레이저 소스(RPS) 파라미터는 펌프 파장, 펌프 펄스 에너지, 펌프 펄스 폭, 펌프 펄스 반복률 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 상기 광섬유(OF) 파라미터는 광섬유 길이, 중공 코어(HC)의 크기 및 형상, 모세관의 크기 및 형상, 중공 코어(HC)를 둘러싸는 모세관의 벽의 두께 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 작용 성분, 예컨대 충전 가스 파라미터는 가스 유형, 가스 압력 및 가스 온도 중 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0090] 방사선 소스(RDS)에 의해 제공되는 광대역 출력 방사선(ORD)은 적어도 1W의 평균 출력 파워를 가질 수 있다. 평균 출력 파워는 적어도 5W일 수 있다. 평균 출력 파워는 적어도 10W일 수 있다. 광대역 출력 방사선(ORD)은 펄스형 광대역 출력 방사선(ORD)일 수 있다. 광대역 출력 방사선(ORD)은 출력 방사선의 전체 파장 대역에서 적어도 0.01 mW/nm의 파워 스펙트럼 밀도를 가질 수 있다. 광대역 출력 방사선의 전체 파장 대역에서 파워 스펙트럼 밀도는 적어도 3 mW/nm일 수 있다.
- [0091] 진술한 계측 응용예와 같이 광대역 출력 방사선(ORD)을 필요로 하는 많은 응용예에서, 광대역 출력 방사선(ORD)의 단파장 에지를 더 신장하는 것, 특히 자외선(UV) 파장 영역으로 신장하는 것에 대한 관심이 커지고 있다. 원하는 파장 영역은 예를 들어 아래로 400 nm 까지의, 350 nm 까지의, 300 nm 까지의, 200 nm 까지의, 100 nm 까지의, 50 nm 까지의 또는 10 nm 까지의 파장을 포함할 수 있다. 매끄러운(또는 평탄한) 스펙트럼 프로파일과 신장된 단파장 에지를 갖는 광대역 출력 방사선(ORD)(예컨대, 초연속체 방사선)를 방출할 수 있는 방사선 소스(RDS)는 더 나은 파장 다양성과 그에 따라 더 큰 유연성이 요구되는 응용예에서 매우 바람직하다. 예를 들어, 매끄럽고 UV 신장된 초연속체는 기존 방사선 소스가 더 작은 피치 크기와 더 많은 수의 층을 가진 타겟을 사용해야 하는 지속적인 요구를 충족할 수 없는 오버레이 계측 응용예에 특히 유용하다. 신장된 UV 파장은 더 작은 타겟 격자를 분해하고 더 많은 타겟 층을 관통할 수 있다. 매끄럽고 UV 신장된 스펙트럼 프로파일은 다양한 응용예를 위해 또는 측정 성능 최적화를 위해 다양한 스펙트럼 범위 사이에 정확하고 안정적인 파장 전환을 가능하게 한다.
- [0092] 현재, 광섬유(OF)에서 생성된 광대역 출력 방사선(ORD)의 단파장 에지를 더욱 신장하기 위해 여러 가지 방법이 채택되어 왔다. 이러한 방법에는 a) 더 긴 광섬유(OF)를 사용하는 것; b) 코어 직경이 더 작은 광섬유를 사용하는 것; 그리고 c) 더 낮은 가스 압력을 사용하는 것 등이 있다. 개별적으로 또는 조합하여 사용될 때, 이들 방

법은 위상 정합 조건이 UV 영역에서 충족되도록 함으로써 UV 파장의 생성을 촉진한다. 그러나 이러한 방법에는 많은 단점이 있다. 예를 들어, 더 긴 중공 코어(HC) 광섬유(OF)(예를 들어, HC-PCF)는 일반적으로 더 큰 저장소(RSV)를 필요로 하며, 이는 광대역 방사선 소스(RDS)의 더 큰 물리적 치수와 더 높은 제조 비용으로 이어진다. 설치 공간이 큰 방사선 소스는 방사선 소스를 수용하기 위해 제한된 공간만 제공되는 많은 응용에 적합하지 않다. 중공 코어(HC) 광섬유(OF)의 코어 직경을 줄이면 광섬유의 전파 손실이 증가하여 변환 효율이 낮아지고 바람직하지 않은(예컨대, 불균형한 또는 피크가 있는) 스펙트럼 프로파일이 유발된다. 또한, 연신(drawing) 타워에서 코어 직경이 더 작은 중공 코어(HC) 광섬유(OF)를 제조하는 것이 매우 어려우므로 제조 비용이 더 높아진다. 가스 압력을 줄이면 가스로 충전된 중공 코어(HC)의 비선형성이 크게 감소하여, 변환 효율이 낮아지고 바람직하지 않은(예컨대, 불균형한 또는 피크가 있는) 스펙트럼 프로파일이 유발된다. 더 낮은 가스 압력에서 동일한 수준의 비선형성을 유지하려면, 더 높은 펄스 에너지를 갖는 펄스형 펌프 방사선 소스(PRS)가 필요할 것이다. 그러나 이러한 고펄스 에너지 펌프 방사선 소스(PRS)는 매우 비쌀 수 있다.

[0093] 광대역 출력 방사선(ORD)(예컨대, 초연속체 방사선) 생성에 수반되는 많은 비선형 광학 프로세스가 있다. 어떤 비선형 광학 프로세스가 다른 프로세스에 비해 더 뚜렷한 스펙트럼 확장 효과를 갖는지는 작동 파라미터가 어떻게 설정되는지에 따라 달라질 것이다. 예를 들어, 펌프 펄스가 정상적인 분산 영역(양의 그룹 속도 분산(GVD))에서 광섬유를 통해 전파되도록 펌프 파장 및/또는 광섬유를 선택함으로써, 자체 위상 변조가 지배적인 비선형 광학 프로세스가 되며, 펌프 펄스의 스펙트럼 확장을 담당하게 된다. 그러나 대부분의 경우, 펄스형 펌프 방사선 소스(PRS)에 의해 제공되는 입력 방사선(IRD)의 스펙트럼 확장은 솔리톤 역학에 의해 주도(driven)되고, 이는 펌프 펄스가 이례적인 분산 영역(음의 GVD)에서 광섬유(OF)에서 전파되도록 요구한다. 이례적인 분산 영역에서는 Kerr 비선형성과 분산의 효과가 서로 반대방향으로 작용하기 때문이다. 이례적인 색분산을 갖는 광섬유(예컨대, HC-PCF) 내로 발사 되는 펌프 펄스 의 펄스 파라미터가 솔리톤의 펄스 파라미터와 정확히 일치하지 않는 경우, 펌프 펄스는 특정 솔리톤 차수와 분산 파동을 갖는 솔리톤 펄스로 발전할 것이다.

[0094] 솔리톤 핵분열과 변조 불안정성(MI)은 솔리톤 주도 광대역 방사선 생성에서 스펙트럼 확장을 위한 두 가지 주요 메커니즘인 것으로 알려져 있다. 두 메커니즘의 차이점은 솔리톤 핵분열 프로세스는 낮은 솔리톤 차수와 연관되는 반면 MI 프로세스는 높은 솔리톤 차수와 연관된다는 것이다. MI는 비선형 분산 매질에서 강한 헵대역(MI 변조 주파수와 비교하여) 펌프 펄스의 스펙트럼 측파대가 자발적으로 증가하는 것을 의미하는 물리적 프로세스이다. MI는 일반적으로 이례적인 분산 체제에서 발생한다; 그러나 특정 조건이 충족되면(예컨대, 고차 분산이 존재하는 경우) 정상적인 분산 영역에서도 발생할 수 있다. MI 프로세스 동안, 펄스의 전기장(또는 엔벨로프)에 존재하는 작은 섭동(예컨대, 양자 요동으로 인한 것)은 Kerr 비선형성이 있는 경우에 기하급수적으로 증폭된다. 증폭량은 MI 이득에 따라 결정된다. 이러한 MI 프로세스 동안, 시간적 펄스 엔벨로프는 복수의 짧은 시간적 하위 구조 또는 기본 솔리톤으로 쪼개진다. 이와 병행하여, 스펙트럼 측파대가 피크 펌프 파장의 양쪽에서 대칭적으로 생성되어 스펙트럼 프로파일이 지속적으로 확장된다.

[0095] 변조 주파수는 다음과 같이 표현된다:

[0096]
$$\Delta\omega_{MI} = \sqrt{\frac{2\gamma P}{|\beta_2|}} \quad \text{식[1]}$$

[0097] 대응하는 MI 기간은 다음과 같이 주어진다:

[0098]
$$T_{MI} = 2\pi/\Delta\omega_{MI} = 2\pi/\sqrt{\frac{2\gamma P}{|\beta_2|}} \quad \text{식[2]}$$

[0099] 여기서 γ 는 비선형 계수를 나타내며, P 는 펌프 파워를 나타내고, β_2 는 섬유 전파 상수를 나타낸다. MI 프로세스가 지배적이라면, 펌프 펄스가 MI 기간 T_{MI} 보다 충분히 길어야 한다. 그러나, 펌프 펄스 지속시간만으로는 솔리톤 핵분열 프로세스나 MI 프로세스가 광대역 방사선 생성의 스펙트럼 확장에 대한 지배적인 메커니즘이 될지 여부를 알 수 없다. 이는 펌프 펄스 지속시간이, 비선형 계수와 그에 따른 변조 기간에 영향을 미치는 펌프 피크 파워에 따라 크기가 달라지기 때문이다.

[0100] 펄스 지속시간 τ 을 갖는 특정 펌프 펄스의 경우, 등가 솔리톤 차수 N은 다음과 같이 주어진다:

$$N = \sqrt{2\pi\tau_0}/T_{MI} \quad \text{식[3]}$$

식[1]에서, $N = 1$ 인 경우, 솔리톤은 기본 솔리톤이다. $N > 1$ 을 갖는 다른 모든 솔리톤은 고차 솔리톤이다. 위에서 설명한 것처럼, MI 프로세스가 지배적인 스펙트럼 확장 메커니즘이 되려면 펌프 펄스가 MI 기간 T_{MI} (또는 $\tau_0 \gg T_{MI}$)보다 충분히 길어야 한다. 스펙트럼 확장은 전형적으로 $N \gg 20$ 인 경우 MI 프로세스에 의해 지배되는 반면, 스펙트럼 확장은 전형적으로 $N \ll 20$ 인 경우 솔리톤 핵분열에 의해 지배된다고 알려져 있다. 따라서 MI 프로세스를 사용하는 구성의 경우, 높은 솔리톤 차수 N 로 입력 방사선(IRD)을 생성하는 것이 바람직하다. 또한, 식[3]에서 알 수 있듯이, 입력 방사선(IRD)의 솔리톤 차수는 입력 방사선(IRD)의 펄스 지속시간 τ_0 에 비례한다. 따라서 MI 프로세스가 지배적인 전형적인 종래 기술 구성의 경우, 입력 방사선(IRD)의 펄스 지속시간 τ_0 의 범위는 일반적으로 100펨토초(fs) 내지 10초 피코초(ps)이고 펄스 에너지 범위는 1마이크로줄(μJ) 내지 20 μJ 이다.

예를 들어, 라만 프로세스와 같은 다른 비선형 광학 프로세스도 비선형 스펙트럼 확장에 기여할 수 있다. 라만 프로세스는 가스 매질의 유형에 따라 달라진다. 예를 들어, 광대역 출력 방사선(ORD)이 회가스 또는 가스 혼합물(예컨대, 아르곤, 크립톤 및 크세논)로 충전된 HC-ARF에서 생성되는 경우, MI가 펌프 펄스의 스펙트럼 확장에 대한 지배적인 프로세스인 반면, 라만 효과는 없다. 마찬가지로, 광대역 출력 방사선(ORD)이 라만 활성 가스 또는 가스 혼합물(예컨대, 수소, 중수소 및 질소)로 충전된 HC-ARF에서 생성되는 경우, 펌프 펄스 지속시간이 지배적인(즉, 더 높은 이득) 분자 진동의 진동 시간 정도이거나 또는 그보다 짧으면 MI가 여전히 지배적인 프로세스인 반면, 라만 효과는 덜 지배적이며 펌프 펄스 스펙트럼 중심(centroid)의 적색 시프트를 초래한다. 그러나 펌프 펄스 지속시간이 지배적인 라만 활성 모드의 진동 시간보다 길 때 라만 효과가 지배적인 역할을 한다. 라만 효과는 솔리톤 자체 주파수 시프트와 솔리톤 충돌을 유도한다. 라만 프로세스와 MI 프로세스 간의 상호 작용으로 인해 광대역 출력 방사선(ORD)의 장파장 에지가 신장될 수 있는 것으로 밝혀졌다.

광학 계측에 있어서, 계측 툴의 성능은 특히 소스 방사선(예컨대, 소스로부터의 광대역 방사선)의 편광 안정성에 따라 종종 달라진다. 수신된 편광 상태의 변동은 통상적으로 웨이퍼 레벨에서 파워의 변동을 유발하여, 계측 시스템의 충실도를 손상시킨다.

HC-PCF에서 입력 방사선(IRD)으로부터 광대역 출력 방사선(ORD)으로의 충분히 높은 변환 효율을 보장하려면, 입력 편광이 증공 섬유에 선호되는 축과 정렬되어야 한다. 선호되는 축은 빠른 축이나 느린 축 중 하나일 것이다; 이러한 두 축 중 하나만이 최적의 변환 효율을 제공하고 입력 방사선(IRD)의 선형 편광 상태를 유지한다. 산업화된 제품에서는, HC-PCF의 선호되는 축이 장착 전에 알려지지 않고 빠른 축 또는 느린 축 중 어느 것이 선호되는 축이 될지 항상 명확하지는 않기 때문에 이를 달성하기가 번거롭다. 이는 가스 셀이 교체(swap)될 때 입력 편광 각도가 편광 소멸비(PER)와 같은 편광 메트릭을 최대화하고 적절한 출력 파워 스펙트럼 밀도(PSD)를 얻도록 스캐닝되어야 함을 의미한다. 이는 PER을 모니터링하고 변경하기 위한 추가 컴포넌트를 필요로 한다: 이로 인해 비용, 볼륨 및 방사선 소스 다운타임이 늘어난다(스캐닝이 느림). 완화 전략이 절대적인 HC-PCF 회전 공장 정렬을 포함할 수도 있지만, 그러한 추가 컴포넌트 없이는 예상되는 수명 동안 편광 성능이 확보될 수 없다.

도 10은 입력 편광을 HC-PCF의 선호되는(예를 들어, 느린 또는 빠른) 축과 정렬하여 스펙트럼 필터링된 광대역 방사선 출력의 PER 및 편광 축이 평가될 수 있게 하기 위해 추가 컴포넌트를 포함하는 HC-PCF 소스 구성에 대한 개략도이다. 도 9와 관련하여 이미 설명한 컴포넌트에 대해서는 다시 설명하지 않을 것이다. 광섬유(HC) 앞에 가변 1/2 파장판(MHWP)이 제공된다. 입력 편광 방향의 함수로서 출력 방사선(ORD)(즉, 빔 스플리터(BS)에 의해 분할된 메인 출력 빔의 일부 또는 모니터링 분기)의 PER을 측정하기 위해 필터(FL) 및 편광계(PLM)가 제공된다. 가변 1/2 파장판(MHWP)은, PER이 최대화될 때까지 출력 방사선의 PER을 모니터링하면서 축-회전된 입력 방사선(IRD)을 얻기 위해 선형 편광된 펌프 방사선(PRD)의 축을 회전하기 위해 사용될 수 있다.

본 발명자들이 또한 관찰한 바에 따르면, PER가 섬유간에(1회 연신 실행에서 취해진) 또는 섬유 생산 배치(batch) 사이에서 크게 변동된다: 5-20dB 사이에서 PER 범위가 측정되었다. 이렇게 상대적으로 큰 PER 범위는 HC-PCF의 하류에서 동적(즉, 섬유 의존적) 편광 관리를 필요로 하며, 이로 인해 제품 복잡성과 비용이

증가한다.

- [0108] 원형 또는 타원 편광된 입력 방사선 또는 펄프 방사선을 사용하여 MI 프로세스(예를 들어, MI 가스 또는 하나 이상의 회가스/18족 가스와 같은 가스 혼합물을 포함하는 작용 매질을 사용)를 통해 광대역 방사선을 생성하도록 구성된 HC-PCF 기반 방사선 소스를 제공하는 것이 제안된다.
- [0109] 도 11은 일 실시예에 따른 제1 소스 구성의 개략도이다. 이러한 구성은 도 10의 가변 1/2 파장판을 제1 편광 요소 또는 (예를 들어, 고정된) 1/4 파장판(QWP)으로 대체하고, 이는 선형 편광된 펄프 방사선(PRD)에 원형 편광을 부과하여 원형 편광된 입력 방사선(IRD)을 얻게 된다. 이 예에서는 1/4 파장판(QWP)이 고정되어 있으므로 출력에 편광계를 포함한 모니터링 분기가 없다. 다른 실시예에서, 1/4 파장판(QWP)은 가변적일 수 있고 모니터링 분기가 포함될 수 있다.
- [0110] 고정된 1/4 파장판(QWP)을 사용하는 것의 장점은, QWP를 통과한 후 입력 방사선(IRD)의 편광 배향이 알려져 있으므로 선형 편광된 입력 방사선(IRD)에 대한 1/4 파장판(QWP)의 공장 정렬이 간단하다는 것이다. 즉, 제품내 편광계와 가변 스테이지가 필요하지 않아 구성이 단순화된다. 또한 각각의 새로운 HC-PCF는 그 입력에서 원형 편광이 보이기 때문에 재현성이 보장된다.
- [0111] 본 명세서에 개시된 개념으로 개선될 수 있는 또 다른 측면은 출력(PSD)이다. 직관적으로는, 단순히 펄프 에너지 및/또는 반복율을 크기 조정하여 출력(PSD)를 높일 수 있는 것으로 보일 수도 있다. 이는 어느 정도 사실이다; 그러나 실제로 이러한 접근 방식에는 제한이 있다. 낮은(예컨대, 1-2.5MHz 에 이르기까지) 반복율에서, PSD는 본질적으로 반복율에 선형 비례한다. 그러나, 더 높은 펄스 에너지에서 중공 코어 섬유를 구동할 때 PSD는 감쇠(roll-off)를 나타낸다. 또한, 반복율이 임계율(예컨대, 2.5MHz)을 넘어 증가함에 따라 감쇠 에너지는 더 낮은 에너지로 시프트된다. 이러한 효과는 달성 가능한 최대 PSD의 상한을 사실상 설정하는 펄스간 효과로 인해 유발될 가능성이 높다. 이러한 펄스간 효과는 입력 방사선에 의한 작용 가스 혼합물의 원치 않는 이온화로 인해 발생할 가능성이 높다(중실 코어 PCF를 구동하는 경우 중실 코어를 손상시키기 전에 훨씬 더 높은 펄스 에너지에 이를 수 있음).
- [0112] 그러나 원형 또는 타원 편광된 입력 방사선을 사용하여 스펙트럼 확장을 구동하는 경우, 작용 가스 혼합물의 비선형 굴절률은 선형 편광된 입력 방사선보다 1.5배 더 작다. 또한, 원형 또는 타원 편광된 입력 방사선을 사용하면 작용 가스 혼합물의 이온화가 줄어든다. 결과적으로, 동일한 광학적 비선형성을 가능하게 하려면 50% 더 큰 펄프 에너지가 필요하며, 이는 출력(PSD)의 유익한 스케일링을 가져오게 된다. 따라서, 원형 편광된 입력 방사선에 의해 생성된 스펙트럼은 선형 편광 방사선의 경우와 유사한 감쇠 거동을 나타내지만, 감쇠는 선형 편광의 경우에 비해 더 높은 펄스 에너지에서 실현된다. 이는 도 13에 예시되어 있으며, 선형 편광된 방사선(LP)과 원형 편광된 방사선(CP)에 대해 펄스 에너지(PE)에 대한 누적 파워(IP)(또는 PSD)의 그래프이다. 본 발명자들은 50% 더 높은 에너지 레벨에서 원형 편광된 펄프 방사선으로 펄핑되는 경우 PSD가 1.5배 증가할 수 있음을 실험적으로 입증하였다. 이는 선형 편광된 입력 방사선에서 원형 편광된 입력 방사선으로 이동할 때 PE1(및 대응하는 누적 파워(IP1))의 증가로 그래프 13에 나타난다.
- [0113] 비선형 굴절률(따라서 PSD)의 이러한 선형 스케일링(감쇠 전)은 스펙트럼 특성(예를 들어, 스펙트럼 형상)에 대한 실질적인 변화 없이 발생하는 것이 MI 생성의 특징이라는 점을 이해해야 한다. 라만 생성을 사용할 때 입력 에너지 및/또는 반복율을 높이면 스펙트럼 형상이 변경되므로 바람직하지 않다.
- [0114] 본 발명의 다른 실시예에서, (실질적으로 원형 편광 상태가 아니라) 규정된 타원 편광 상태가, 섬유 복굴절을 (적어도 부분적으로) 사전 보상하여 더 나은 선형 출력 편광 충실도를 달성하도록 입력 방사선(IRD)에 대해 규정될 수 있다.
- [0115] 도 12는 이러한 타원 편광 상태를 획득하기 위한 실시예를 예시한다. 이러한 구성은 고정 또는 가변 1/4 파장판(QWP)(제1 편광 요소)에 추가하여 제2 편광 요소 또는 가변(예를 들어, 동력식) 1/2 파장판(HWP)을 포함한다. 또한 이러한 구성은 출력 PER을 모니터링하기 위한 편광계(PLM)가 있는 모니터링 분기를 포함한다. 이러한 실시예는 다양한 광섬유에 대해 출력 편광의 PER 재현성을 향상시킨다. 일 실시예에서, 입력 방사선의 편광 배향에 대한 1/2 파장판(HWP) 및 (선택적으로, 가변적인 경우) 1/4 파장판의 배향은, HC-PCF의 출력이 지배적으로 선형 편광되도록 조정된다(예를 들어, 최대화된 PER 및/또는 1% 미만의 원형 편광 정도). 이는 최대 PER가 결정될 수 있는 2D 맵을 얻기 위해 적절한 범위(예를 들어, 45도)에 걸쳐 1/2 파장(HWP)과 1/4 파장판 각각을 스캐닝함으로써 수행될 수 있다.
- [0116] 위의 개시내용에서, 임의의 타원 편광 상태는, 10%보다 큰 크기, 20%보다 큰 크기, 30%보다 큰 크기, 40%보다

큰 크기, 50%보다 큰 크기, 60%보다 큰 크기, 70%보다 큰 크기, 80%보다 큰 크기, 또는 90%보다 큰 크기의 원형 편광 정도(DOCP)를 갖는 입력 방사선의 편광 상태를 기술할 수도 있다.

- [0117] DOCP는 빔에 있어서 원형 편광 방사선의 부분 또는 비율을 표현하는 것이다. 예를 들어, 0의 DOCP는 선형 및 비 편광 방사선의 조합일 수 있는 상태에 해당하지만, (펌프 레이저) 입력 방사선은 높은 정도의 (선형) 편광을 가지게 되어 본 출원에서는 DOCP가 사실상 선형 편광된 방사선을 의미하게 될 것이다. 원형 편광 상태는 실질적으로 100%(예를 들어, 99% 보다 크거나 99.9% 보다 큰) 크기의 DCOP를 갖는 입력 방사선의 편광 상태를 기술할 수 있다. DCOP는 -100%(또는 -1)에서 100%(또는 1)까지의 스케일을 기술할 수 있으며, 여기서 -100% DCOP는 순수하게 좌측 원형 편광된 방사선을 나타내고 100% DCOP는 순수하게 우측 원형 편광된 방사선을 나타내며, 그 사이의 값들은 편광의 타원 정도를 기술할 수 있다.
- [0118] 편광의 타원 정도는 타원율의 중형비로 기술될 수도 있다. 예를 들어, 원형 편광된 방사선은 1의 중형비를 가질 수 있고, 타원 편광된 입력 방사선은 20:1 미만, 10:1 미만, 8:1 미만, 6:1 미만, 4:1 미만, 또는 2:1 미만의 중형비로 기술되는 타원율을 가질 수 있다.
- [0119] 다른 실시예에서, 하나 이상의 편광 요소를 사용하여 선형 편광된 펌프 방사선에 타원 편광 또는 원형 편광을 부과함으로써 타원 편광 또는 원형 편광된 방사선을 생성하는 대신, 펌프 방사선 소스는 예를 들면 캐비티의 특성으로 인해 타원 또는 원형 편광 방사선을 직접 생성하도록 구성될 수 있다.
- [0120] 본 발명의 추가 실시예는 아래의 번호가 매겨진 조항의 목록으로 제시된다:
- [0121] 1. 실질적으로 선형 편광된 입력 방사선을 수신할 때 광대역 출력 방사선을 생성하도록 구성된 광대역 방사선 소스 디바이스로서, 중공-코어 광결정 섬유; 및 상기 중공-코어 광결정 섬유에 의해 수신되기 전에 상기 입력 방사선에 실질적으로 원형 또는 타원 편광을 부과하도록 작동 가능한 적어도 제1 편광 요소를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0122] 2. 제1조항에 있어서, 상기 적어도 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선에 대한 원형 편광의 정도를 10%보다 큰 크기만큼 증가시키도록 작동 가능한, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0123] 3. 제1조항 또는 제2조항에 있어서, 상기 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하도록 작동 가능한 1/4 파장판을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0124] 4. 제1조항, 제2조항, 또는 제3조항에 있어서, 상기 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선의 선형 편광 상태에 대해 고정된 배향을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0125] 5. 제1조항, 제2조항, 또는 제3조항에 있어서, 상기 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선의 선형 편광 상태에 대해 가변 배향을 갖는 가변 제1 편광 요소를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0126] 6. 제1조항 내지 제5조항 중 어느 한 조항에 있어서, 상기 광대역 방사선 소스 디바이스는 상기 입력 방사선에 실질적으로 타원 편광을 부과하기 위해 상기 제1 편광 요소와 조합하여 작동 가능한 제2 편광 요소를 더 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0127] 7. 제6조항에 있어서, 상기 제2 편광 요소는 1/2 파장판을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0128] 8. 제6조항 또는 제7조항에 있어서, 상기 제2 편광 요소 및 상기 제1 편광 요소는 상기 타원 편광이 상기 중공-코어 광결정 섬유의 섬유 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하도록 배향되는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0129] 9. 제6조항, 제7조항, 또는 제8조항에 있어서, 상기 광대역 출력 방사선의 편광 메트릭을 모니터링하도록 작동 가능한 편광계를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0130] 10. 제1조항 내지 제9조항 중 어느 한 조항에 있어서, 상기 중공-코어 광결정 광섬유는 변조 불안정 메커니즘을 통해 상기 광대역 출력 방사선을 생성하도록 작동 가능한 작용 혼합물을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0131] 11. 제10조항에 있어서, 상기 중공-코어 광결정 섬유는 작용 혼합물로서 하나 이상의 희가스를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0132] 12. 제1조항 내지 제11조항 중 어느 한 조항에 있어서, 상기 입력 방사선을 생성하기 위한 펌프 방사선 소스를 더 포함하는 광대역 방사선 소스 디바이스.

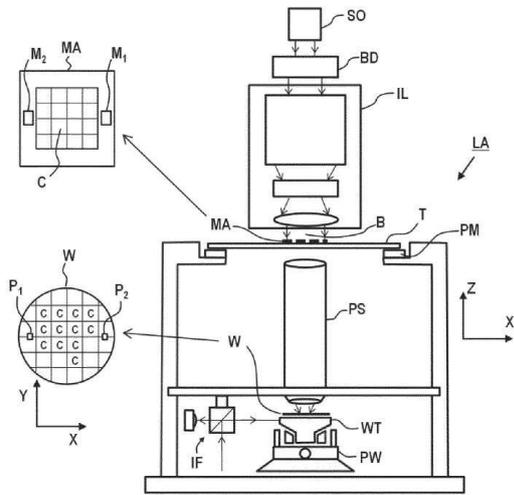
- [0133] 13. 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법으로서,
- [0134] 상기 광대역 출력 방사선을 생성하기 위해 입력 방사선으로 중공-코어 광결정 광섬유 내에 포함된 작용 매질을 여기시키는 단계를 포함하고,
- [0135] 상기 입력 방사선은 실질적으로 원형 또는 타원 편광을 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0136] 14. 제13조항에 있어서, 상기 입력 방사선은 10%보다 큰 원형 편광의 정도를 갖는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0137] 15. 제13조항 또는 제14조항에 있어서, 1/4 파장판을 사용하여 상기 입력 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하는 단계를 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0138] 16. 제13조항 또는 제14조항에 있어서, 1/2 파장판과 조합해 1/4 파장판을 사용하여 입력 방사선에 실질적으로 타원 편광을 부과하는 단계를 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0139] 17. 제16조항에 있어서, 상기 타원 편광은 상기 중공 코어 광결정 섬유의 섬유 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0140] 18. 제16조항 또는 제17조항에 있어서, 광대역 출력 방사선이 지배적으로 선형 편광되도록 입력 방사선의 편광 배향에 대해 적어도 1/2 파장판의 배향을 변경하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0141] 19. 제16조항 또는 제17조항에 있어서, 광대역 출력 방사선이 지배적으로 선형 편광되도록 입력 방사선의 편광 배향에 대해 1/2 파장판과 1/4 파장판 각각의 배향을 변경하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0142] 20. 제13조항 내지 제19조항 중 어느 한 조항에 있어서, 상기 작용 혼합물은 하나 이상의 희가스를 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0143] 21. 제1조항 내지 제11조항 중 어느 한 조항에 따른 광대역 방사선 소스 디바이스를 포함하는 계측 디바이스.
- [0144] 22. 제21조항에 있어서, 스퀘어미터 계측 장치, 레벨 센서 또는 정렬 센서를 포함하는, 계측 디바이스.
- [0145] 23. 실질적으로 선형 편광된 입력 방사선을 수신할 때 광대역 출력 방사선을 생성하도록 구성된 광대역 방사선 소스 디바이스로서, 실질적으로 원형 또는 타원 편광을 갖는 상기 입력 방사선을 생성하기 위한 펌프 방사선 소스; 및 상기 입력 방사선을 수신하도록 구성된 중공-코어 광결정 섬유를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0146] 24. 제23조항에 있어서, 상기 광대역 출력 방사선의 편광 메트릭을 모니터링하도록 작동 가능한 편광계를 더 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0147] 25. 제23조항 또는 제24조항에 있어서, 상기 중공-코어 광결정 광섬유는 변조 불안정 메커니즘을 통해 상기 광대역 출력 방사선을 생성하도록 작동 가능한 작용 혼합물을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0148] 26. 제25조항에 있어서, 상기 중공-코어 광결정 섬유는 작용 혼합물로서 하나 이상의 희가스를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0149] 27. 실질적으로 선형 편광된 입력 방사선을 수신할 때 광대역 출력 방사선을 생성하도록 구성된 광대역 방사선 소스 디바이스로서, 중공-코어 광결정 섬유; 및 상기 중공-코어 광결정 섬유에 의해 수신되기 전에 상기 입력 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하도록 작동 가능한 적어도 제1 편광 요소를 포함하고, 상기 광대역 방사선 소스 디바이스는 상기 입력 방사선에 실질적으로 타원 편광을 부과하기 위해 상기 제1 편광 요소와 조합하여 작동 가능한 제2 편광 요소를 더 포함하며, 상기 제2 편광 요소 및 상기 제1 편광 요소는 상기 타원 편광이 상기 중공-코어 광결정 섬유의 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하도록 배향되는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0150] 28. 제27조항에 있어서, 상기 적어도 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선에 대한 원형 편광의 정도를 10%보다 큰 크기만큼 증가시키도록 작동 가능한, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0151] 29. 제27조항에 있어서, 상기 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하도록 작동 가능한 1/4 파장판을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0152] 30. 제27조항에 있어서, 상기 제1 편광 요소는 상기 입력 방사선의 선형 편광 상태에 대해 가변 배향을 갖는 가

변 제1 편광 요소를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.

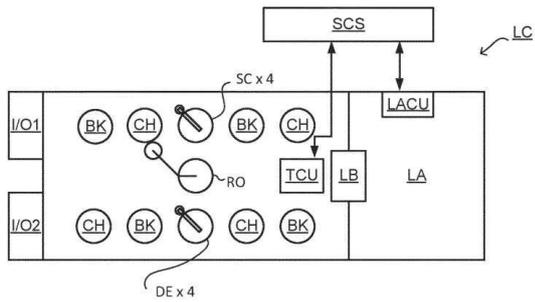
- [0153] 31. 제27조항에 있어서, 상기 제2 편광 요소는 1/2 파장판을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0154] 32. 제27조항에 있어서, 상기 광대역 출력 방사선의 편광 메트릭을 모니터링하도록 작동 가능한 편광계를 더 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0155] 33. 제27조항에 있어서, 상기 중공-코어 광결정 광섬유는 변조 불안정 메커니즘을 통해 상기 광대역 출력 방사선을 생성하도록 작동 가능한 작용 혼합물을 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0156] 34. 제33조항에 있어서, 상기 중공-코어 광결정 섬유는 작용 혼합물로서 하나 이상의 희가스를 포함하는, 광대역 방사선 소스 디바이스.
- [0157] 35. 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법으로서, 상기 광대역 출력 방사선을 생성하기 위해 입력 방사선으로 중공-코어 광결정 광섬유 내에 포함된 작용 매질을 여기시키는 단계를 포함하고, 입력 방사선은 중공-코어 광결정 광섬유의 복굴절을 적어도 부분적으로 보상하도록 타원 편광되는, 방법.
- [0158] 36. 제35조항에 있어서, 상기 입력 방사선은 10%보다 큰 원형 편광의 정도를 갖는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0159] 37. 제35조항에 있어서, 1/4 파장판을 사용하여 상기 입력 방사선을 얻기 위해 실질적으로 선형 편광된 방사선에 실질적으로 원형 편광을 부과하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0160] 38. 제35조항에 있어서, 1/2 파장판과 조합해 1/4 파장판을 사용하여 상기 타원 편광된 입력 방사선을 얻기 위해 실질적으로 선형 편광된 방사선에 타원 편광을 부과하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0161] 39. 제38조항에 있어서, 광대역 출력 방사선이 지배적으로 선형 편광되도록 실질적으로 선형 편광된 방사선의 편광 배향에 대해 적어도 1/2 파장판의 배향을 변경하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0162] 40. 제38조항에 있어서, 광대역 출력 방사선이 지배적으로 선형 편광되도록 실질적으로 선형 편광된 방사선의 편광 배향에 대해 1/2 파장판과 1/4 파장판 각각의 배향을 변경하는 단계를 더 포함하는, 광대역 출력 방사선을 생성하는 방법.
- [0163] 41. 제27조항에 따른 광대역 방사선 소스 디바이스를 포함하는 계측 디바이스.
- [0164] 본 명세서에서는 IC의 제조에 리소그래피 장치를 사용하는 것에 대해 특별히 언급할 수 있지만, 여기에 설명된 리소그래피 장치는 다른 응용 분야를 가질 수 있음을 이해해야 할 것이다. 가능한 다른 응용 분야로는, 통합형 광학 시스템, 자기 도메인 메모리를 위한 안내 및 검출 패턴, 평판 디스플레이, 액정 디스플레이(LCD) 및 박막 자기 헤드 등의 제조가 있다.
- [0165] 본 명세서에서는 리소그래피 장치와 관련하여 본 발명의 실시예를 구체적으로 언급할 수 있지만, 본 발명의 실시예는 다른 장치에서도 사용될 수 있다. 본 발명의 실시예는 마스크 검사 장치, 계측 장치, 또는 웨이퍼(또는 기타 다른 기판) 또는 마스크(또는 기타 다른 패턴링 디바이스)와 같은 대상물을 측정 또는 처리하는 임의의 장치의 일부를 형성할 수 있다. 이들 장치는 일반적으로 리소그래피 툴이라 지칭될 수 있다. 이러한 리소그래피 툴은 진공 조건 또는 주변(비-진공) 조건을 이용할 수 있다.
- [0166] 광학 리소그래피의 맥락에서 본 발명의 실시예를 이용하는 것에 대해 특정하게 언급하였지만, 본 발명은 문맥이 허용하는 한 광학 리소그래피로 제한되지 않으며 예를 들어 임프린트 리소그래피 등의 다른 응용 분야에서도 이용될 수 있음을 이해할 것이다.
- [0167] 이상에서 발명의 특정 실시예들이 설명되었지만, 본 발명은 설명된 것과 다르게 실시될 수도 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 앞선 설명은 예시적인 것으로 의도되며, 제한적인 것으로 의도되지 않는다. 따라서, 이하 제시되는 청구 범위로부터 벗어남이 없이, 기술된 본 발명에 대해 수정이 이루어질 수 있음은 당업자에게 명백할 것이다.

도면

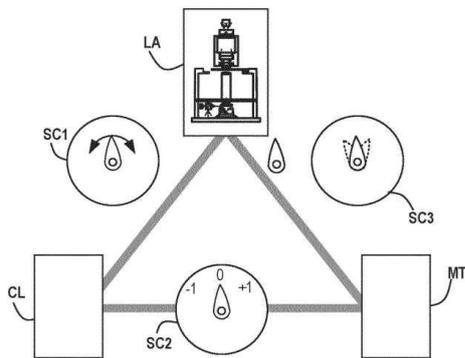
도면1



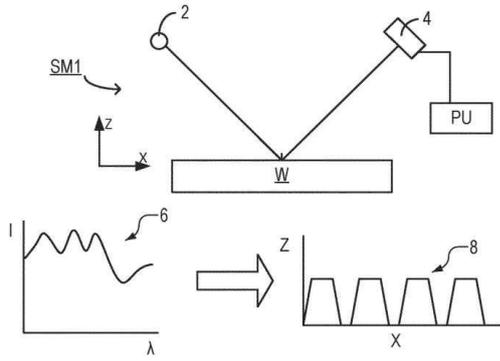
도면2



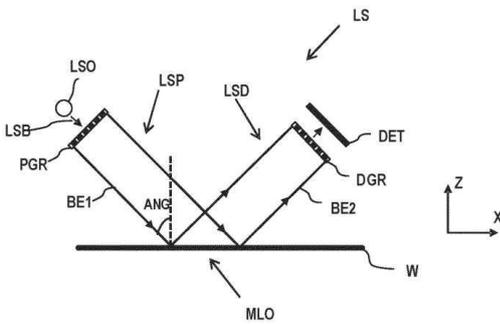
도면3



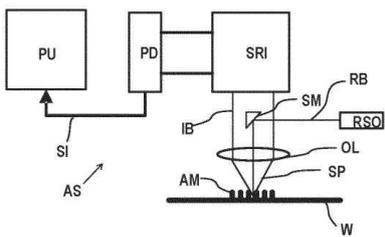
도면4



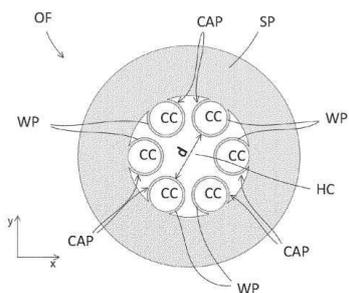
도면5



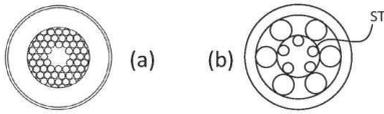
도면6



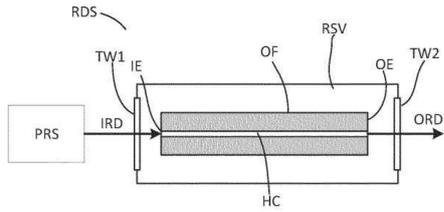
도면7



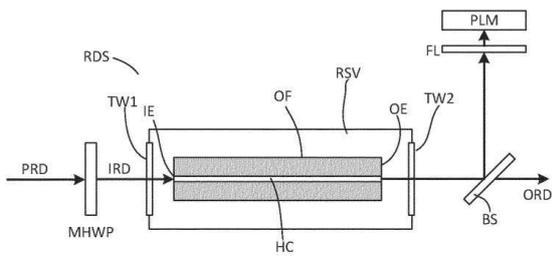
도면8



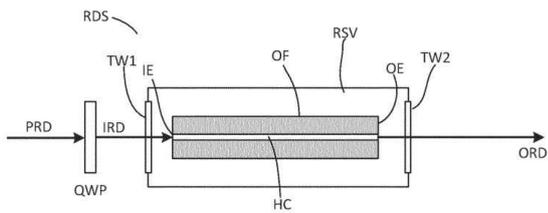
도면9



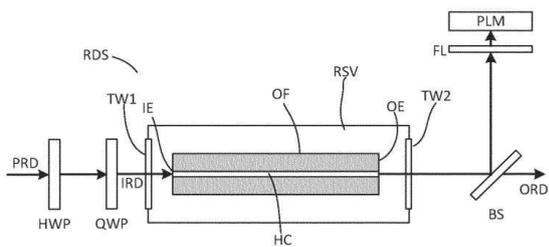
도면10



도면11



도면12



도면13

