



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월21일  
(11) 등록번호 10-2719362  
(24) 등록일자 2024년10월15일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G02F 1/365 (2006.01) G02B 6/02 (2022.01)  
G02F 1/01 (2006.01) G02F 1/35 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
G02F 1/365 (2013.01)  
G02B 6/02214 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-7024447
- (22) 출원일자(국제) 2020년12월14일  
심사청구일자 2022년07월14일
- (85) 번역문제출일자 2022년07월14일
- (65) 공개번호 10-2022-0113799
- (43) 공개일자 2022년08월16일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2020/085965
- (87) 국제공개번호 WO 2021/144093  
국제공개일자 2021년07월22일
- (30) 우선권주장  
20151863.6 2020년01월15일  
유럽특허청(EPO)(EP)  
20156804.5 2020년02월12일  
유럽특허청(EPO)(EP)
- (56) 선행기술조사문헌  
US06952253 B  
US06961116 B  
US07265364 B

- (73) 특허권자  
에이에스엘 네델란드 비.브이.  
네덜란드 5500 아하 벨트호벤 피.오.박스 324
- (72) 발명자  
사베르트, 헨드릭  
네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324  
우에벨, 패트릭, 세바스티안  
네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324  
폰게르스, 빌렘, 리차드  
네덜란드, 5500 아하 벨트호벤, 피.오. 박스 324
- (74) 대리인  
특허법인(유)화우

전체 청구항 수 : 총 15 항

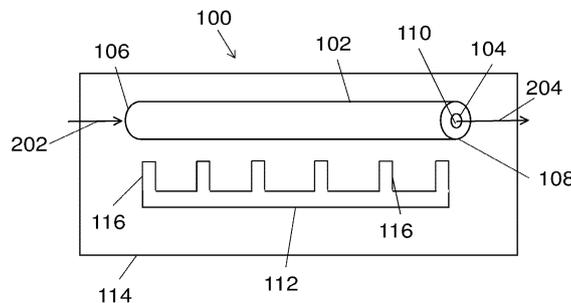
심사관 : 한상일

(54) 발명의 명칭 광대역 방사선 생성의 개선된 제어를 위한 방법, 조립체, 및 장치

(57) 요약

입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 중공 코어 광결정 광섬유(HC-PCF) 조립체가 개시되며, 중공 코어 섬유 조립체는: 입력 방사선을 수용하도록 구성되는 입력단으로부터 광대역 방사선을 출력하도록 구성되는 출력단 까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어를 갖는 미세구조 섬유-섬유의 중공 코어는 매질을 포함하도록 구성됨- ; 및 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 원하는 영 분산 파장 프로파일을 확립하기 위해 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 매질의 밀도 프로파일을 제어하도록 구성되는 밀도 제어 시스템을 포함한다.

대표도 - 도7



(52) CPC특허분류

*G02B 6/02328* (2013.01)

*G02F 1/0147* (2021.01)

*G02F 1/3528* (2021.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

입력 방사선(202)을 광대역 방사선(204)으로 변환하는 중공 코어 광결정 광섬유(HC-PCF) 조립체(100)로서, 입력 방사선을 수용하도록 구성되는 입력단(106)으로부터 광대역 방사선을 출력하도록 구성되는 출력단(108)까지 섬유(102)의 길이를 따라 연장되며, 매질(110)을 포함하는 중공 코어(104)를 갖는 미세구조 섬유(micro-structured fiber: 102); 및

상기 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 원하는 영 분산 파장 프로파일(zero dispersion wavelength profile)을 확립하기 위해 상기 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 상기 매질의 밀도 프로파일을 제어하도록 구성되는 밀도 제어 시스템(112)

을 포함하는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 원하는 영 분산 파장 프로파일은 솔리톤 트래핑(soliton trapping)을 향상시키도록 구성되는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 3**

제 1 항에 있어서,

상기 원하는 영 분산 파장 프로파일은 변조 불안정에 의해 생성되는 상기 광대역 방사선의 파장 범위를 확장하도록 구성되는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 4**

제 1 항에 있어서,

상기 원하는 영 분산 파장 프로파일은 상기 입력 방사선을 수용할 때 상기 HC-PCF에 의해 생성되는 분산파들과 솔리톤들 사이의 상호작용을 향상시키도록 구성되는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 원하는 영 분산 파장 프로파일은 상기 HC-PCF의 변환 효율을 향상시키도록 구성되는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 6**

제 1 항에 있어서,

상기 광대역 방사선은 350 내지 2000 nm 사이의 연속 파장 범위를 갖는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 섬유의 길이의 적어도 일부를 따른 밀도 프로파일은 음의 기울기 프로파일(negative gradient profile)인, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 밀도 제어 시스템은 상기 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 온도를 제어하도록 구성되는 온도 제어 시스템을 포함하는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 중공 코어의 직경은 상기 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 변동되는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 중공 코어의 직경은 상기 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 감소되는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 11**

제 1 항에 있어서,

상기 매질은 헬륨, 네온, 아르곤, 크립톤, 제논, O<sub>2</sub> 가스, N<sub>2</sub> 가스 중 적어도 하나를 포함하는, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 12**

제 1 항에 있어서,

상기 중공 코어 섬유는 단일 링 광결정 광섬유인, 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.

**청구항 13**

제 1 항 내지 제 12 항 중 어느 한 항에 따른 중공 코어 광결정 광섬유 조립체, 및 섬유 내부에서 광대역 방사선을 생성하는 중공 코어 섬유에 펌프 파장의 방사선을 커플링하도록 구성되는 펌프 방사선 소스를 포함하는 광대역 방사선을 출력하는 방사선 소스.

**청구항 14**

입력 방사선(202)을 광대역 방사선(204)으로 변환하는 방법으로서,

입력단(106)으로부터 출력단(108)까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어(104)를 갖는 미세구조 섬유(102)를 제공하는 단계 -상기 섬유의 중공 코어(104)는 매질(110)을 포함함- ;

상기 입력단(106)에서 중공 코어 섬유(102)로 입력 방사선(202)을 지향시키는 단계;

상기 섬유(102)의 길이의 적어도 일부를 따라 원하는 영 분산 파장 프로파일을 확립하기 위해 상기 섬유(102)의 길이의 적어도 일부를 따라 상기 매질의 밀도 프로파일을 제어하는 단계; 및

상기 출력단에서 광대역 방사선(204)을 출력하는 단계

를 포함하는, 방법.

**청구항 15**

제 13 항에 따른 방사선 소스를 포함하는 메트롤로지 구성부(metrology arrangement).

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 출원은 2020년 1월 15일에 출원된 EP 출원 20151863.6 및 2020년 2월 12일에 출원된 EP 출원 20156804.5의 우선권을 주장하며, 이들은 본 명세서에서 그 전문이 인용참조된다.

[0002] 본 발명은 입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 방법들, 조립체들, 및 장치에 관한 것이다. 특히, 이는

섬유 내부의 매질의 밀도 프로파일(density profile)을 제어하는 것에 관한 것이다.

**배경 기술**

- [0003] 리소그래피 장치는 기판 상에 원하는 패턴을 적용시키도록 구성되는 기계이다. 리소그래피 장치는, 예를 들어 집적 회로(IC)의 제조 시에 사용될 수 있다. 예를 들어, 리소그래피 장치는 기판(예를 들어, 웨이퍼) 상에 제공된 방사선-감응재(레지스트)층 상으로 패턴링 디바이스(예를 들어, 마스크)의 패턴(흔히 "디자인 레이아웃" 또는 "디자인"이라고도 함)을 투영할 수 있다.
- [0004] 기판 상에 패턴을 투영하기 위해, 리소그래피 장치는 전자기 방사선을 사용할 수 있다. 이 방사선의 파장은 기판 상에 형성될 수 있는 피쳐(feature)들의 최소 크기를 결정한다. 현재 사용중인 전형적인 파장들은 365 nm(i-line), 248 nm, 193 nm 및 13.5 nm이다. 4 내지 20 nm의 범위 내의 파장, 예를 들어 6.7 nm 또는 13.5 nm를 갖는 극자외(EUV) 방사선을 사용하는 리소그래피 장치가 사용되어, 예를 들어 193 nm의 파장을 갖는 방사선을 사용하는 리소그래피 장치보다 기판 상에 더 작은 피쳐들을 형성할 수 있다.
- [0005] 저(low)- $k_1$  리소그래피가 리소그래피 장치의 전형적인 분해능 한계보다 작은 치수들을 갖는 피쳐들을 처리하는 데 사용될 수 있다. 이러한 공정에서, 분해능 공식은  $CD = k_1 \times \lambda / NA$ 로서 표현될 수 있으며, 이때  $\lambda$ 는 채택되는 방사선의 파장이고, NA는 리소그래피 장치 내의 투영 광학기의 개구수(numerical aperture)이며, CD는 "임계 치수"[일반적으로, 프린트되는 최소 피쳐 크기, 이 경우에는 반-피치(half-pitch)]이고,  $k_1$ 은 경험적인 분해능 인자이다. 일반적으로,  $k_1$ 이 작을수록, 특정한 전기적 기능 및 성능을 달성하기 위하여 회로 설계자에 의해 계획된 형상 및 치수들과 비슷한 패턴을 기판 상에 재현하기가 더 어려워진다. 이 어려움을 극복하기 위해, 정교한 미세조정 단계들이 리소그래피 투영 장치 및/또는 디자인 레이아웃에 적용될 수 있다. 이들은, 예를 들어 NA의 최적화, 커스터마이징 조명 방식(customized illumination scheme), 위상 시프팅 패턴링 디바이스들의 사용, 디자인 레이아웃에서의 광 근접 보정(optical proximity correction: OPC, 때로는 "광학 및 공정 보정"이라고도 칭함)과 같은 디자인 레이아웃의 다양한 최적화, 또는 일반적으로 "분해능 향상 기술들"(resolution enhancement techniques: RET)로 정의되는 다른 방법들을 포함하며, 이에 제한되지는 않는다. 대안적으로, 리소그래피 장치의 안정성을 제어하는 엄격한 제어 루프가 저  $k_1$ 에서 패턴의 재현을 개선하는 데 사용될 수 있다.
- [0006] 리소그래피 분야에서는, 많은 상이한 측정 시스템들이 사용되어 기판들 상의 리소그래피로 패턴링된 구조체들에 대한 정보를 얻을 수 있다. 예를 들어, 리소그래피로 패턴링된 구조체들의 검사 및 연계된 리소그래피 패턴링 공정들의 분석을 위해 메트롤로지가 사용될 수 있다. 측정 시스템들은 기판 상의 구조체를 조사(interrogate)하기 위해 방사선, 예를 들어 전자기 방사선을 사용할 수 있다. 패턴링된 피쳐들의 작은 치수들로 인해, 기판들 및 그 위에 패턴링된 구조체들의 속성들을 검사하고 측정하는 데 사용되는 방사선의 속성들이 이 측정들에 의해 얻어질 수 있는 정보의 종류에 영향을 미칠 수 있다. 상이한 파장들의 방사선이 기판에서 상이한 속성들을 측정하는 데 적절할 수 있다. 또한, 빔의 품질은 결과적인 측정들의 품질에 영향을 미칠 수 있다. 측정 결과들에 영향을 줄 수 있는 방사선 속성들은, 예를 들어 방사선 빔의 크기 및 형상, 방사선의 세기, 및 방사선의 파장(들)을 포함할 수 있다. 파장 및/또는 빔 크기는 예를 들어 측정 시 구별될 수 있는 최소 피쳐에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 상이한 재료들 및/또는 구조들이 (예를 들어, 흡수, 투과, 간섭 효과들 등으로 인해) 파장 의존적 반응들을 가질 수도 있다. 그러므로, 원하는 방사선 파장들 및 빔 속성들을 제공할 수 있는 방사선 소스들에 접근할 수 있는 것이 바람직하다.

**발명의 내용**

- [0007] 본 발명의 제 1 실시형태에 따르면, 입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 중공 코어 광결정 광섬유(HC-PCF) 조립체가 제공되며, 중공 코어 섬유 조립체는: 입력 방사선을 수용하도록 구성되는 입력단으로부터 광대역 방사선을 출력하도록 구성되는 출력단까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어를 갖는 미세구조 섬유-섬유의 중공 코어는 매질을 포함하도록 구성됨- ; 및 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 원하는 영 분산 파장 프로파일(zero dispersion wavelength profile)을 확립하기 위해 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 매질의 밀도 프로파일을 제어하도록 구성되는 밀도 제어 시스템을 포함한다.
- [0008] 선택적으로, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 솔리톤 트래핑(soliton trapping)을 향상시키도록 구성될 수 있다.
- [0009] 선택적으로, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 변조 불안정에 의해 생성되는 광대역 방사선의 파장 범위를 확장

하도록 구성될 수 있다.

- [0010] 선택적으로, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 입력 방사선을 수용할 때 HCPCF에 의해 생성되는 분산파들과 솔리톤들 사이의 상호작용을 향상시키도록 구성될 수 있다.
- [0011] 선택적으로, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 HC-PCF의 변환 효율을 향상시키도록 구성될 수 있다.
- [0012] 선택적으로, 광대역 방사선은 350 내지 2000 nm 사이의 연속 파장 범위를 가질 수 있다.
- [0013] 선택적으로, 섬유 길이의 적어도 일부를 따른 밀도 프로파일은 음의 기울기(negative gradient) 프로파일일 수 있다.
- [0014] 선택적으로, 밀도 제어 시스템은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 온도를 제어하도록 구성되는 온도 제어 시스템을 포함할 수 있다.
- [0015] 선택적으로, 중공 코어의 직경은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 변동될 수 있다.
- [0016] 선택적으로, 중공 코어의 직경은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 감소될 수 있다.
- [0017] 선택적으로, 매질은 헬륨, 네온, 아르곤, 크립톤, 제논, O<sub>2</sub> 가스, N<sub>2</sub> 가스 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0018] 선택적으로, 중공 코어 섬유는 단일 링 광결정 광섬유일 수 있다.
- [0019] 선택적으로, 중공 코어 섬유는 중공 코어를 둘러싸는 모세관(capillary)들의 단일 링을 포함할 수 있다.
- [0020] 선택적으로, 광대역 방사선은 초연속 방사선(supercontinuum radiation)을 포함할 수 있다.
- [0021] 선택적으로, 광대역 방사선은 350 nm 내지 3000 nm 범위 내의 1 이상의 파장을 포함할 수 있다.
- [0022] 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 앞서 설명된 바와 같은 중공 코어 섬유 조립체, 및 섬유 내부에서 광대역 방사선을 생성하는 중공 코어 섬유에 펌프 파장의 방사선을 커플링하도록 구성되는 펌프 방사선 소스를 포함하는 광대역 방사선을 출력하는 방사선 소스가 제공된다.
- [0023] 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 방법이 제공되며, 상기 방법은: 입력단으로부터 출력단까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어를 갖는 미세구조 섬유를 제공하는 단계-섬유의 중공 코어는 매질을 포함함-; 입력단에서 중공 코어 섬유로 입력 방사선을 지향시키는 단계; 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 원하는 영 분산 파장 프로파일을 확립하기 위해 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 매질의 밀도 프로파일을 제어하는 단계; 및 출력단에서 광대역 방사선을 출력하는 단계를 포함한다.
- [0024] 선택적으로, 밀도 프로파일을 제어하는 단계는 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 음의 기울기 프로파일을 설정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0025] 선택적으로, 밀도 프로파일을 제어하는 단계는 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 온도를 제어하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0026] 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 앞서 설명된 바와 같은 방사선 소스를 포함하는 메트롤로지 구성부가 제공된다.
- [0027] 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 앞서 설명된 바와 같은 메트롤로지 구성부를 포함하는 검사 툴이 제공된다.
- [0028] 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 앞서 설명된 바와 같은 메트롤로지 구성부를 포함하는 메트롤로지 툴이 제공된다.
- [0029] 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 앞서 설명된 바와 같은 메트롤로지 구성부를 포함하는 리소그래피 장치가 제공된다.
- [0030] 본 발명의 또 다른 실시형태에 따르면, 앞서 설명된 바와 같은 메트롤로지 구성부를 포함하는 리소그래피 셀이 제공된다.

**도면의 간단한 설명**

[0031] 이제 첨부된 개략적인 도면들을 참조하여, 단지 예시의 방식으로만 본 발명의 실시예들을 설명할 것이다:

도 1은 리소그래피 장치의 개략적인 개요도;

도 2는 리소그래피 셀의 개략적인 개요도;

도 3은 반도체 제조를 최적화하기 위한 3 가지 핵심 기술들 간의 협력을 나타내는 전체론적(holistic) 리소그래피의 개략적인 개요도;

도 4는 스케터로미터의 개략적인 표현을 도시하는 도면;

도 5는 레벨 센서의 개략적인 표현을 도시하는 도면;

도 6은 정렬 센서의 개략적인 표현을 도시하는 도면;

도 7은 중공 코어 섬유 조립체의 개략적인 표현을 도시하는 도면; 및

도 8은 중공 코어 광결정 광섬유들에 대한 예시적인 분산 프로파일들을 나타내는 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0032] 본 명세서에서, "방사선" 및 "빔"이라는 용어는 (예를 들어, 365, 248, 193, 157 또는 126 nm의 파장을 갖는) 자외 방사선 및 EUV(예를 들어, 약 5 내지 100 nm 범위 내의 파장을 갖는 극자외 방사선)를 포함하는 모든 형태의 전자기 방사선을 포괄하는 데 사용된다.
- [0033] 본 명세서에서 채택된 "레티클", "마스크" 또는 "패터닝 디바이스"라는 용어는 기관의 타겟부에 생성될 패턴에 대응하여 입사하는 방사선 빔에 패터닝된 단면을 부여하는 데 사용될 수 있는 일반적인 패터닝 디바이스를 언급하는 것으로 폭넓게 해석될 수 있다. 또한, "광 밸브(light valve)"라는 용어가 이러한 맥락에서 사용될 수도 있다. 전형적인 마스크[투과형 또는 반사형, 바이너리(binary), 위상-시프팅, 하이브리드(hybrid) 등] 이외에, 여타의 이러한 패터닝 디바이스의 예시들로 프로그램가능한 거울 어레이 및 프로그램가능한 LCD 어레이를 포함한다.
- [0034] 도 1은 리소그래피 장치(LA)를 개략적으로 도시한다. 리소그래피 장치(LA)는 방사선 빔(B)(예를 들어, UV 방사선, DUV 방사선 또는 EUV 방사선)을 컨디셔닝(condition)하도록 구성되는 조명 시스템(일루미네이터라고도 함)(IL); 패터닝 디바이스(예를 들어, 마스크)(MA)를 지지하도록 구성되고, 소정 파라미터들에 따라 패터닝 디바이스(MA)를 정확히 위치시키도록 구성된 제 1 위치설정기(PM)에 연결되는 마스크 지지체(예를 들어, 마스크 테이블)(T); 기관(예를 들어, 레지스트-코팅된 웨이퍼)(W)을 유지하도록 구성되고, 소정 파라미터들에 따라 기관 지지체를 정확히 위치시키도록 구성된 제 2 위치설정기(PW)에 연결되는 기관 지지체(예를 들어, 웨이퍼 테이블)(WT); 및 기관(W)의 (예를 들어, 1 이상의 다이들 포함하는) 타겟부(C) 상으로 패터닝 디바이스(MA)에 의해 방사선 빔(B)에 부여된 패턴을 투영하도록 구성되는 투영 시스템(예를 들어, 굴절 투영 렌즈 시스템)(PS)을 포함한다.
- [0035] 작동 시, 조명 시스템(IL)은 예를 들어 빔 전달 시스템(BD)을 통해 방사선 소스(SO)로부터 방사선 빔을 수용한다. 조명 시스템(IL)은 방사선을 지향, 성형, 및/또는 제어하기 위하여, 굴절, 반사, 자기, 전자기, 정전기 및/또는 다른 타입의 광학 구성요소들, 또는 여하한 그 조합과 같은 다양한 타입들의 광학 구성요소들을 포함할 수 있다. 일루미네이터(IL)는 패터닝 디바이스(MA)의 평면에서 방사선 빔의 단면에 원하는 공간 및 각도 세기 분포를 갖기 위해, 방사선 빔(B)을 컨디셔닝하는 데 사용될 수 있다.
- [0036] 본 명세서에서 사용되는 "투영 시스템"(PS)이라는 용어는, 사용되는 노광 방사선에 대하여, 및/또는 침지 액체의 사용 또는 진공의 사용과 같은 다른 인자들에 대하여 적절하다면, 굴절, 반사, 카타디옵트릭(catadioptric), 아나모픽(anamorphic), 자기, 전자기 및/또는 정전기 광학 시스템, 또는 여하한 그 조합을 포함하는 다양한 타입의 투영 시스템을 내포하는 것으로서 폭넓게 해석되어야 한다. 본 명세서의 "투영 렌즈"라는 용어의 어떠한 사용도 "투영 시스템"(PS)이라는 좀 더 일반적인 용어와 동의어로 간주될 수 있다.
- [0037] 리소그래피 장치(LA)는 투영 시스템(PS)과 기관(W) 사이의 공간을 채우기 위해서, 기관의 적어도 일부가 비교적 높은 굴절률을 갖는 액체, 예컨대 물로 덮일 수 있는 형태로 구성될 수 있다 - 이는 침지 리소그래피라고도 한다. 침지 기술에 대한 더 많은 정보는 US6952253에서 주어지며, 이는 본 명세서에서 인용참조된다.
- [0038] 또한, 리소그래피 장치(LA)는 2 이상의 기관 지지체들(WT)("듀얼 스테이지"라고도 함)을 갖는 타입으로 이루어질 수 있다. 이러한 "다수 스테이지" 기계에서는 기관 지지체들(WT)이 병행하여 사용될 수 있으며, 및/또는 기관 지지체(WT) 중 하나에 위치한 기관(W)이 기관(W) 상에 패턴을 노광하는 데 사용되고 있는 동안, 다른 기관

지지체(WT) 상의 또 다른 기판(W)에서는 다른 기판(W)의 후속한 노광의 준비작업 단계가 수행될 수 있다.

- [0039] 기판 지지체(WT)에 추가하여, 리소그래피 장치(LA)는 측정 스테이지를 포함할 수 있다. 측정 스테이지는 센서 및/또는 세정 디바이스를 유지하도록 배치된다. 센서는 투영 시스템(PS)의 속성 또는 방사선 빔(B)의 속성을 측정하도록 배치될 수 있다. 측정 스테이지는 다수 센서들을 유지할 수 있다. 세정 디바이스는 리소그래피 장치의 일부, 예를 들어 투영 시스템(PS)의 일부 또는 침지 액체를 제공하는 시스템의 일부를 세정하도록 배치될 수 있다. 측정 스테이지는 기판 지지체(WT)가 투영 시스템(PS)으로부터 멀어질 때 투영 시스템(PS) 아래로 이동할 수 있다.
- [0040] 작동 시, 방사선 빔(B)은 마스크 지지체(T) 상에 유지되어 있는 패터닝 디바이스, 예를 들어 마스크(MA) 상에 입사되며, 패터닝 디바이스(MA)에 존재하는 패턴(디자인 레이아웃)에 의해 패터닝된다. 마스크(MA)를 가로질렀으면, 방사선 빔(B)은 투영 시스템(PS)을 통과하며, 이는 기판(W)의 타겟부(C) 상에 상기 빔을 포커스한다. 제 2 위치설정기(PW) 및 위치 측정 시스템(IF)의 도움으로, 기판 지지체(WT)는 예를 들어 포커스 및 정렬될 위치에서 방사선 빔(B)의 경로 내에 상이한 타겟부(C)들을 위치시키도록 정확하게 이동될 수 있다. 이와 유사하게, 제 1 위치설정기(PM) 및 가능하게는 (도 1에 명확히 도시되지 않은) 또 다른 위치 센서는 방사선 빔(B)의 경로에 대해 패터닝 디바이스(MA)를 정확히 위치시키는 데 사용될 수 있다. 패터닝 디바이스(MA) 및 기판(W)은 마스크 정렬 마크들(M1, M2) 및 기판 정렬 마크들(P1, P2)을 이용하여 정렬될 수 있다. 비록, 예시된 기판 정렬 마크들(P1, P2)은 지정된(dedicated) 타겟부들을 차지하고 있지만, 그들은 타겟부들 사이의 공간들 내에 위치될 수도 있다. 기판 정렬 마크들(P1, P2)은 이들이 타겟부들(C) 사이에 위치될 때 스크라이브-레인 정렬 마크(scribe-lane alignment mark)들로 알려져 있다.
- [0041] 도 2에 나타난 바와 같이, 리소그래피 장치(LA)는 때때로 리소셀(lithocell) 또는 (리소)클러스터라고도 칭하는 리소그래피 셀(LC)의 일부분을 형성할 수 있으며, 이는 흔히 기판(W) 상에 노광-전(pre-exposure) 및 노광-후(post-exposure) 공정들을 수행하는 장치를 포함한다. 통상적으로, 이들은 레지스트 층들을 증착시키는 스핀 코터(spin coater: SC), 노광된 레지스트를 현상하는 디벨로퍼(developer: DE), 칠 플레이트(chill plate: CH) 및, 예를 들어 기판(W)의 온도를 컨디셔닝하는, 예를 들어 레지스트 층들에서 용매를 컨디셔닝하는 베이킹 플레이트(bake plate: BK)를 포함한다. 기판 핸들러 또는 로봇(RO)이 입력/출력 포트들(I/O1, I/O2)로부터 기판(W)들을 집어올리고, 이들을 상이한 공정 장치 사이에서 이동시키며, 리소그래피 장치(LA)의 로딩 베이/loading bay: LB)로 기판(W)들을 전달한다. 흔히 집합적으로 트랙이라고도 하는 리소셀 내의 디바이스들은 통상적으로, 예를 들어 리소그래피 제어 유닛(LACU)을 통해 리소그래피 장치(LA)를 제어할 수도 있는 감독 제어 시스템(supervisory control system: SCS)에 의해 자체 제어될 수 있는 트랙 제어 유닛(TCU)의 제어를 받는다.
- [0042] 리소그래피 장치(LA)에 의해 노광되는 기판(W)들이 올바르게 일관성있게(consistently) 노광되기 위해서는, 후속한 층들 간의 오버레이 오차, 라인 두께, 임계 치수(CD) 등과 같은 패터닝된 구조체들의 속성들을 측정하도록 기판들을 검사하는 것이 바람직하다. 이를 위해, 리소셀(LC)에 검사 툴들(도시되지 않음)이 포함될 수 있다. 오차가 검출되는 경우, 특히 검사가 동일한 배치(batch) 또는 로트(lot)의 다른 기판(W)들이 노광 또는 처리되기 전에 행해진다면, 예를 들어 후속한 기판들의 노광에 대해 또는 기판(W)들에서 수행되어야 하는 다른 처리 단계들에 대해 조정이 수행될 수 있다.
- [0043] 메트롤로지 장치라고도 칭해질 수 있는 검사 장치가 기판(W)의 속성들을 결정하는 데 사용되며, 특히 상이한 기판(W)들의 속성들이 어떻게 변하는지 또는 동일한 기판(W)의 상이한 층들과 연계된 속성들이 층마다 어떻게 변하는지를 결정하는 데 사용된다. 검사 장치는 대안적으로 기판(W) 상의 결함들을 식별하도록 구성될 수 있으며, 예를 들어 리소셀(LC)의 일부일 수 있거나, 리소그래피 장치(LA)에 통합될 수 있거나, 또는 심지어 독립형 디바이스(stand-alone device)일 수 있다. 검사 장치는 잠상(latent image)(노광 후 레지스트 층 내의 이미지), 또는 반(semi)-잠상[노광-후 베이킹 단계(PEB) 후 레지스트 층 내의 이미지], 또는 현상된 레지스트 이미지(이때, 레지스트의 노광된 부분 또는 노광되지 않은 부분은 제거되었음), 또는 심지어 (에칭과 같은 패턴 전사 단계 후) 에칭된 이미지에 대한 속성들을 측정할 수 있다.
- [0044] 전형적으로, 리소그래피 장치(LA)에서의 패터닝 공정은 기판(W) 상의 구조체들의 높은 치수 및 배치 정확성을 필요로 하는 처리에서 가장 중요한 단계들 중 하나이다. 이 높은 정확성을 보장하기 위해, 3 개의 시스템들이 도 3에 개략적으로 도시된 바와 같이 소위 "전체론적" 제어 환경에서 조합될 수 있다. 이 시스템들 중 하나는 메트롤로지 툴(MT)(제 2 시스템) 및 컴퓨터 시스템(CL)(제 3 시스템)에 (가상으로) 연결되는 리소그래피 장치(LA)이다. 이러한 "전체론적" 환경의 핵심은 이 3 개의 시스템들 간의 협력을 최적화하여 전체 공정 윈도우를 향상시키고 리소그래피 장치(LA)에 의해 수행된 패터닝이 공정 윈도우 내에 유지될 것을 보장하도록 엄격한 제

어 루프를 제공하는 것이다. 공정 윈도우는 특정 제조 공정이 정의된 결과(예를 들어, 기능적 반도체 디바이스)를 산출하는 공정 파라미터들(예를 들어, 도즈, 포커스, 오버레이)의 범위를 정의한다 - 전형적으로, 이 안에서 리소그래피 공정 또는 패터닝 공정의 공정 파라미터들이 변동하게 된다.

[0045] 컴퓨터 시스템(CL)은 패터닝될 디자인 레이아웃(의 일부)을 사용하여, 어느 분해능 향상 기술이 사용될지를 예측하고, 전산(computational) 리소그래피 시뮬레이션들 및 계산들을 수행하여 어느 마스크 레이아웃 및 리소그래피 장치 설정들이 패터닝 공정의 가장 큰 전체 공정 윈도우를 달성하는지를 결정할 수 있다[도 3에서 제 1 스케일(SC1)의 양방향 화살표로 도시됨]. 전형적으로, 분해능 향상 기술들은 리소그래피 장치(LA)의 패터닝 가능성들과 매칭하도록 배치된다. 또한, 컴퓨터 시스템(CL)은 공정 윈도우 내에서 [예를 들어, 메트롤로지 툴(MT)로부터의 입력을 사용하여] 리소그래피 장치(LA)가 현재 작동하고 있는 곳을 검출하여, 예를 들어 차선의 처리로 인해 결함들이 존재할 수 있는지를 예측하는 데 사용될 수 있다[도 3에서 제 2 스케일(SC2)의 "0"을 가리키는 화살표로 도시됨].

[0046] 메트롤로지 툴(MT)은 정확한 시뮬레이션 및 예측을 가능하게 하기 위해 컴퓨터 시스템(CL)에 입력을 제공할 수 있고, 예를 들어 리소그래피 장치(LA)의 캘리브레이션 상태에서 가능한 드리프트를 식별하기 위해 리소그래피 장치(LA)에 피드백을 제공할 수 있다[도 3에서 제 3 스케일(SC3)의 다수 화살표들로 도시됨].

[0047] 리소그래피 공정들에서는, 예를 들어 공정 제어 및 검증(verification)을 위해, 흔히 생성되는 구조체들의 측정들을 수행하는 것이 바람직하다. 이러한 측정을 수행하는 툴들은 통상적으로 메트롤로지 툴(MT)이라고 한다. 이러한 측정들을 수행하는 상이한 타입들의 메트롤로지 툴들(MT)이 알려져 있으며, 스캐닝 전자 현미경 또는 다양한 형태의 스캐터로미터 메트롤로지 툴들(MT)을 포함한다. 스캐터로미터들은 스캐터로미터의 대물렌즈의 퓨필 또는 퓨필과의 컬레면에 센서를 가짐으로써 -일반적으로, 퓨필 기반 측정들로 칭해지는 측정들-, 또는 이미지 평면 또는 이미지 평면과의 컬레면에 센서를 가짐으로써 -이 경우, 측정들은 일반적으로 이미지 또는 필드 기반 측정들로 칭해짐-, 리소그래피 공정의 파라미터들의 측정들을 허용하는 다목적 기구이다. 이러한 스캐터로미터들 및 관련 측정 기술들은, 본 명세서에서 그 전문이 인용참조되는 특허 출원들 US20100328655, US2011102753A1, US20120044470A, US20110249244, US20110026032 또는 EP1,628,164A에서 더 설명된다. 앞서 언급된 스캐터로미터는 연결 x-선 및 가시광선으로부터 근적외선(near-IR) 파장 범위까지의 광을 사용하여 격자들을 측정할 수 있다.

[0048] 제 1 실시예에서, 스캐터로미터(MT)는 각도 분해 스캐터로미터(angular resolved scatterometer)이다. 이러한 스캐터로미터에서는, 재구성 방법들이 측정된 신호에 적용되어 격자의 속성들을 재구성하거나 계산할 수 있다. 이러한 재구성은, 예를 들어 타겟 구조체의 수학적 모델과 산란된 방사선의 상호작용의 시뮬레이션 및 시뮬레이션 결과들과 측정 결과들의 비교로부터 발생할 수 있다. 수학적 모델의 파라미터들은 시뮬레이션된 상호작용이 실제 타겟으로부터 관찰되는 것과 유사한 회절 패턴을 생성할 때까지 조정된다.

[0049] 제 2 실시예에서, 스캐터로미터(MT)는 분광 스캐터로미터(spectroscopic scatterometer)(MT)이다. 이러한 분광 스캐터로미터(MT)에서, 방사선 소스에 의해 방출된 방사선은 타겟 상으로 지향되고, 타겟으로부터 반사 또는 산란된 방사선은 정반사된 방사선(specular reflected radiation)의 스펙트럼(즉, 파장의 함수로서 세기의 측정)을 측정하는 분광계 검출기(spectrometer detector)로 지향된다. 이 데이터로부터, 검출된 스펙트럼에 의해 생성되는 타겟의 프로파일 또는 구조체는, 예를 들어 RCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis) 및 비-선형 회귀(non-linear regression)에 의해, 또는 시뮬레이션된 스펙트럼들의 라이브러리와 비교에 의해 재구성될 수 있다.

[0050] 제 3 실시예에서, 스캐터로미터(MT)는 엘립소메트릭 스캐터로미터(ellipsometric scatterometer)이다. 엘립소메트릭 스캐터로미터는 각각의 편광 상태들에 대해 산란된 방사선을 측정함으로써 리소그래피 공정의 파라미터들의 결정을 허용한다. 이러한 메트롤로지 장치는, 예를 들어 메트롤로지 장치의 조명 섹션에서 적절한 편광 필터들을 사용함으로써 편광된 광(예를 들어, 선형, 원형 또는 타원형)을 방출한다. 메트롤로지 장치에 적절한 소스가 편광된 방사선도 제공할 수 있다. 기존 엘립소메트릭 스캐터로미터의 다양한 실시예들이, 본 명세서에서 그 전문이 인용참조되는 미국 특허 출원들 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 13/891,410에서 설명된다.

[0051] 알려진 스캐터로미터들의 예시들은 흔히 지정된 메트롤로지 타겟들, 예컨대 언더필링 타겟(underfilled target)들(측정 빔이 격자보다 작은 스폿을 발생시키도록 충분히 큰, 단순한 격자 또는 상이한 층들에서의 겹쳐진 격자들의 형태의 타겟) 또는 오버필링 타겟(overfilled target)들(조명 스폿이 부분적으로 또는 완전히 타겟을 포함함)의 제공에 의존한다. 또한, 메트롤로지 툴들, 예를 들어 격자와 같은 언더필링 타겟을 조명하는 각도 분

해 스캐터로미터의 사용은 소위 재구성 방법들의 사용을 허용하고, 여기서 타겟 구조체의 수학적 모델과 산란된 방사선의 상호작용의 시뮬레이션 및 시뮬레이션 결과들과 측정 결과들의 비교로부터 격자의 속성들이 계산될 수 있다. 시뮬레이션된 상호작용이 실제 타겟으로부터 관찰되는 것과 유사한 회절 패턴을 생성할 때까지 모델의 파라미터들이 조정된다.

[0052] 스캐터로미터(MT)의 일 실시예에서, 스캐터로미터(MT)는 반사된 스펙트럼 및/또는 검출 구성에서 비대칭을 측정함으로써 2 개의 오정렬된 격자들 또는 주기적 구조체들의 오버레이를 측정하도록 구성되며, 비대칭은 오버레이의 크기와 관련된다. 2 개의 (전형적으로 겹쳐진) 격자 구조체들은 2 개의 상이한 층들(반드시 연속 층들이 아닌 것)에 적용될 수 있고, 실질적으로 웨이퍼 상의 동일한 위치에 형성될 수 있다. 스캐터로미터는, 예를 들어 공유 특허 출원 EP1,628,164A에서 설명된 바와 같은 대칭적 검출 구성을 가져, 이하한의 비대칭이 명확하게 구별될 수 있도록 한다. 이는 격자들에서 오정렬을 측정하는 간단한 방식을 제공한다. 주기적 구조체들의 비대칭을 통해 타겟이 측정됨에 따라 주기적 구조체들을 포함한 두 층들 간의 오버레이 오차를 측정하는 추가 예시들은, 본 명세서에서 그 전문이 인용참조되는 PCT 특허 출원 공개공보 WO 2011/012624 또는 미국 특허 출원 US 20160161863에서 찾아볼 수 있다.

[0053] 다른 관심 파라미터들은 포커스 및 도즈일 수 있다. 포커스 및 도즈는, 본 명세서에서 그 전문이 인용참조되는 미국 특허 출원 US2011-0249244에 설명된 바와 같이 스캐터로메트리에 의해(또는 대안적으로 스캐닝 전자 현미경에 의해) 동시에 결정될 수 있다. 포커스 에너지 매트릭스(FEM - 포커스 노광 매트릭스라고도 함)의 각 지점에 대해 임계 치수 및 측면 각도 측정들의 고유한 조합을 갖는 단일 구조체가 사용될 수 있다. 임계 치수 및 측면 각도의 이 고유한 조합들이 이용가능한 경우, 포커스 및 도즈 값들은 이 측정들로부터 고유하게 결정될 수 있다.

[0054] 메트몰로지 타겟은 리소그래피 공정에 의해 대부분은 레지스트에, 그러나 예를 들어 에칭 공정 후에도 형성되는 복합 격자들의 앙상블(ensemble)일 수 있다. 전형적으로, 격자들 내의 구조체들의 피치 및 선포는 메트몰로지 타겟들로부터 오는 회절 차수들을 포착할 수 있도록 측정 광학기(특히, 광학기의 NA)에 크게 의존한다. 앞서 나타낸 바와 같이, 회절 신호는 두 층들 간의 시프트들('오버레이'라고도 함)을 결정하는 데 사용될 수 있거나, 또는 리소그래피 공정에 의해 생성되는 바와 같은 원래 격자의 적어도 일부를 재구성하는 데 사용될 수 있다. 이 재구성은 리소그래피 공정의 품질 지침을 제공하는 데 사용될 수 있으며, 리소그래피 공정의 적어도 일부를 제어하는 데 사용될 수 있다. 타겟들은 더 작은 하위-세분화(sub-segmentation)를 가질 수 있으며, 이는 타겟에서 디자인 레이아웃의 기능부의 치수들을 모방하도록 구성된다. 이 하위-세분화로 인해, 타겟들은 디자인 레이아웃의 기능부와 더 유사하게 거동하여, 전체 공정 파라미터 측정들이 디자인 레이아웃의 기능부와 더 많이 닮도록 할 것이다. 타겟들은 언더필링 모드 또는 오버필링 모드에서 측정될 수 있다. 언더필링 모드에서, 측정 빔은 전체 타겟보다 작은 스폿을 발생시킨다. 오버필링 모드에서, 측정 빔은 전체 타겟보다 큰 스폿을 발생시킨다. 이러한 오버필링 모드에서는, 상이한 타겟들을 동시에 측정하는 것이 가능하며, 이에 따라 상이한 처리 파라미터들을 동일한 시간에 결정할 수도 있다.

[0055] 특정 타겟을 사용하는 리소그래피 파라미터의 전체 측정 품질은 적어도 부분적으로 이 리소그래피 파라미터를 측정하는 데 사용되는 측정 레시피(recipe)에 의해 결정된다. "기관 측정 레시피"라는 용어는 측정 자체의 1 이상의 파라미터, 측정되는 1 이상의 패턴의 1 이상의 파라미터, 또는 둘 모두를 포함할 수 있다. 예를 들어, 기관 측정 레시피에 사용되는 측정이 회절-기반 광학 측정인 경우, 측정의 파라미터들 중 1 이상은 방사선의 파장, 방사선의 편광, 기관에 대한 방사선의 입사각, 기관 상의 패턴에 대한 방사선의 방위(orientation) 등을 포함할 수 있다. 측정 레시피를 선택하는 기준 중 하나는, 예를 들어 처리 변수들에 대한 측정 파라미터들 중 하나의 민감도일 수 있다. 더 많은 예시들이, 본 명세서에서 그 전문이 인용참조되는 미국 특허 출원 US2016-0161863 및 공개된 미국 특허 출원 US2016/0370717A에서 설명된다.

[0056] 스캐터로미터(SM1)와 같은 메트몰로지 장치가 도 4에 도시되어 있다. 이는 기관(6) 상으로 방사선을 투영하는 광대역(백색 광) 방사선 투영기(2)를 포함한다. 반사 또는 산란된 방사선은 정반사된 방사선의 스펙트럼(10) [즉, 파장( $\lambda$ )의 함수로서 세기(INT)의 측정]을 측정하는 분광계 검출기(4)로 통과된다. 이 데이터로부터, 검출된 스펙트럼을 야기하는 프로파일 또는 구조체가, 예를 들어 RCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis) 및 비선형 회귀에 의해, 또는 도 4의 하단에 나타낸 바와 같은 시뮬레이션된 스펙트럼들의 라이브러리와 비교함으로써, 처리 유닛(PU)에 의해 재구성될 수 있다. 일반적으로, 재구성을 위해 구조체의 일반적인 형태가 알려지며, 구조체가 만들어진 공정의 정보로부터 일부 파라미터들이 가정되어, 스캐터로메트리 데이터로부터 결정될 구조체의 몇몇 파라미터들만이 남게 된다. 이러한 스캐터로미터는 수직-입사(normal-incidence) 스캐터로미터 또는

경사-입사(oblique-incidence) 스캐터로미터로서 구성될 수 있다.

- [0057] 리소그래피 장치에 통합될 수 있는 토포그래피 측정 시스템, 레벨 센서 또는 높이 센서가 기관(또는 웨이퍼)의 최상부 표면의 토포그래피를 측정하도록 배치된다. 높이 맵이라고도 하는 기관의 토포그래피 맵은 기관 상의 위치의 함수로서 기관의 높이를 나타내는 이 측정들로부터 생성될 수 있다. 이 높이 맵은 후속하여 기관 상의 적절한 포커스 위치에 패터닝 디바이스의 에어리얼 이미지를 제공하기 위해 기관 상의 패턴의 전사 동안 기관의 위치를 보정하는 데 사용될 수 있다. 이 문맥에서 "높이"는 폭넓게 기관에 대한 평면을 벗어난 차원(Z-축이라고도 함)을 지칭함을 이해할 것이다. 통상적으로, 레벨 또는 높이 센서는 (자체 광학 시스템에 대해) 고정된 위치에서 측정을 수행하고, 레벨 또는 높이 센서의 광학 시스템과 기관 사이의 상대 이동이 기관에 걸친 위치들에서 높이 측정들을 유도한다.
- [0058] 당업계에 알려진 바와 같은 레벨 또는 높이 센서(LS)의 일 예시가 도 5에 개략적으로 도시되며, 이는 작동 원리만을 예시한다. 이 예시에서, 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 초연속 광 소스와 같은 협대역 또는 광대역 방사선 소스, 편광 또는 비-편광, 펄스 또는 연속, 예컨대 편광 또는 비-편광 레이저 빔일 수 있다. 방사선 소스(LSO)는 복수의 LED들과 같은 상이한 색상들 또는 파장 범위들을 갖는 복수의 방사선 소스들을 포함할 수 있다. 레벨 센서(LS)의 방사선 소스(LSO)는 가시 방사선에 제한되지 않고, 추가적으로 또는 대안적으로 UV 및/또는 IR 방사선 및 기관의 표면으로부터 반사하기에 적절한 여하한 범위의 파장들을 포괄할 수 있다.
- [0059] 투영 격자(PGR)는 주기적으로 변동하는 세기를 갖는 방사선 빔(BE1)을 유도하는 주기적 구조체를 포함하는 주기적 격자이다. 주기적으로 변동하는 세기를 갖는 방사선 빔(BE1)은 0 도와 90 도 사이에서, 통상적으로는 70 도와 80 도 사이에서 입사 기관 표면에 수직인 축(Z-축)에 대해 입사각(ANG)을 갖는 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 나타냄) 검출 유닛(LSD)을 향해 지향된다.
- [0060] 측정 위치(MLO)에서 높이 레벨을 결정하기 위해, 레벨 센서는 검출 격자(DGR), 검출기(DET) 및 검출기(DET)의 출력 신호를 처리하는 처리 유닛(도시되지 않음)을 포함하는 검출 시스템을 더 포함한다. 검출 격자(DGR)는 투영 격자(PGR)와 동일할 수 있다. 검출기(DET)는 광검출기와 같이 수신된 광을 나타내는, 예를 들어 수신된 광의 세기를 나타내는, 또는 카메라와 같이 수신된 세기의 공간 분포를 나타내는 검출기 출력 신호를 생성한다. 검출기(DET)는 1 이상의 검출기 타입의 여하한 조합을 포함할 수 있다.
- [0061] 삼각측량 기술들에 의해, 측정 위치(MLO)에서의 높이 레벨이 결정될 수 있다. 검출된 높이 레벨은 통상적으로 검출기(DET)에 의해 측정된 바와 같은 신호 강도와 관련되며, 신호 강도는 특히 투영 격자(PGR)의 디자인 및 (비스듬한) 입사각(ANG)에 의존하는 주기성을 갖는다.
- [0062] 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 거울과 같은 추가 광학 요소들을 포함할 수 있다(도시되지 않음).
- [0063] 일 실시예에서, 검출 격자(DGR)는 생략될 수 있고, 검출기(DET)는 검출 격자(DGR)가 놓이는 위치에 배치될 수 있다. 이러한 구성은 투영 격자(PGR)의 이미지의 더 직접적인 검출을 제공한다.
- [0064] 기관(W)의 표면을 효과적으로 커버하기 위해, 레벨 센서(LS)는 기관(W)의 표면 상에 측정 빔(BE1)들의 어레이를 투영하도록 구성될 수 있고, 이에 의해 더 큰 측정 범위를 덮는 스폿들 또는 측정 영역(MLO)들의 어레이를 생성한다.
- [0065] 일반적인 타입의 다양한 높이 센서들이, 예를 들어 인용참조되는 US7265364 및 US7646471에 개시되어 있다. 가시 방사선 또는 적외 방사선 대신에 UV 방사선을 사용하는 높이 센서가, 인용참조되는 US2010233600A1에 개시되어 있다. 인용참조되는 W02016102127A1에는, 검출 격자를 필요로 하지 않고 격자 이미지의 위치를 검출하고 인식하기 위해 다수-요소 검출기를 사용하는 콤팩트 높이 센서가 설명되어 있다.
- [0066] 복잡한 디바이스들의 제조 시, 통상적으로 많은 리소그래피 패터닝 단계들이 수행되어 기관 상의 연속 층들에 기능적 피쳐들을 형성한다. 그러므로, 리소그래피 장치의 성능의 중요한 측면은 (동일한 장치 또는 상이한 리소그래피 장치에 의해) 적용된 패턴을 이전 층들에 배치된 피쳐들과 관련하여 정확하고 올바르게 배치하는 능력이다. 이를 위해, 기관에는 1 이상의 마크 세트가 제공된다. 각각의 마크는 위치 센서, 통상적으로 광학 위치 센서를 사용하여 나중에 위치가 측정될 수 있는 구조체이다. 위치 센서는 "정렬 센서"라고 칭해질 수 있고, 마

크들은 "정렬 마크"라고 칭해질 수 있다.

- [0067] 리소그래피 장치는 기관 상에 제공된 정렬 마크들의 위치들을 정확하게 측정할 수 있는 1 이상의(예를 들어, 복수의) 정렬 센서를 포함할 수 있다. 정렬(또는 위치) 센서들은 회절 및 간섭과 같은 광학 현상을 사용하여 기관에 형성된 정렬 마크들로부터 위치 정보를 얻을 수 있다. 현재 리소그래피 장치에서 사용되는 정렬 센서의 일 예시는 US6961116에 설명된 바와 같은 자기-참조 간섭계(self-referencing interferometer)에 기초한다. 예를 들어, US2015261097A1에 개시된 바와 같이 위치 센서의 다양한 개선 및 수정 사항들이 개발되었다. 이들은 모두 그 내용이 본 명세서에서 인용참조된다.
- [0068] 마크 또는 정렬 마크는 기관 상에 제공된 층에 또는 그 위에 형성되거나 기관에 (직접) 형성되는 일련의 바아(bar)들을 포함할 수 있다. 바아들은 규칙적으로 이격되고 격자 라인들로서 작용하여, 마크가 잘 알려진 공간 주기(피치)를 갖는 회절 격자로 간주될 수 있도록 할 수 있다. 이 격자 라인들의 방위에 따라, 마크는 X 축을 따라 또는 Y 축(이는 X 축에 실질적으로 수직으로 방위가 지정됨)을 따라 위치의 측정을 허용하도록 디자인될 수 있다. X 축 및 Y 축 모두에 대해 +45 도 및/또는 -45 도로 배치되는 바아들을 포함한 마크는, 인용참조되는 US2009/195768A에 설명된 바와 같은 기술들을 사용하여 조합된 X 및 Y 측정을 허용한다.
- [0069] 정렬 센서는 방사선의 스폿으로 각각의 마크를 광학적으로 스캔하여 사인파와 같은 주기적으로 변동하는 신호를 얻는다. 이 신호의 위상이 분석되어 마크의 위치를 결정하고, 이에 따라 리소그래피 장치의 기준 프레임에 대해 고정되는 정렬 센서에 대한 기관의 위치를 결정한다. 정렬 센서가 주기적 신호의 상이한 사이클들, 및 사이클 내의 정확한 위치(위상)를 구별할 수 있도록, 상이한(개략 및 미세) 마크 치수들과 관련하여 소위 개략 및 미세 마크들이 제공될 수 있다. 또한, 상이한 피치들의 마크들이 이 목적으로 사용될 수도 있다.
- [0070] 또한, 마크들의 위치를 측정하는 것은 마크들이 제공되는 기관의 변형에 대한 정보를, 예를 들어 웨이퍼 그리드의 형태로 제공할 수 있다. 기관의 변형은, 예를 들어 기관이 방사선에 노광될 때 기관의 가열 및/또는 기관 테이블에 대한 기관의 정전기적 클램핑에 의해 발생할 수 있다.
- [0071] 도 6은, 예를 들어 인용참조되는 US6961116에 설명되어 있는 알려진 정렬 센서(AS)의 일 실시예의 개략적인 블록 다이어그램이다. 방사선 소스(RSO)가 1 이상의 파장의 방사선 빔(RB)을 제공하며, 이는 전환 광학기(diverting optics)에 의해 조명 스폿(SP)으로서 기관(W) 상에 위치한 마크(AM)와 같은 마크 상으로 전환된다. 이 예시에서, 전환 광학기는 스폿 거울(SM) 및 대물 렌즈(OL)를 포함한다. 마크(AM)가 조명되는 조명 스폿(SP)은 마크 자체의 폭보다 직경이 약간 더 작을 수 있다.
- [0072] 마크(AM)에 의해 회절된 방사선은 [이 예시에서는 대물 렌즈(OL)를 통해] 정보-전달 빔(information-carrying beam: IB)으로 시준(collimate)된다. "회절된"이라는 용어는 마크로부터의 0차 회절(이는 반사라고 할 수 있음)을 포함하도록 의도된다. 예를 들어, 앞서 언급된 US6961116에 개시된 타입의 자기-참조 간섭계(SRI)가 빔(IB)을 자신과 간섭하고, 이후 광검출기(PD)에 의해 빔이 수용된다. 방사선 소스(RSO)에 의해 1보다 많은 파장이 생성되는 경우에 별개의 빔들을 제공하기 위해 추가적인 광학기(도시되지 않음)가 포함될 수 있다. 광검출기는 단일 요소일 수 있거나, 이는 원하는 경우에 다수의 픽셀들을 포함할 수 있다. 광검출기는 센서 어레이를 포함할 수 있다.
- [0073] 이 예시에서 스폿 거울(SM)을 포함하는 전환 광학기는 마크로부터 반사된 0차 방사선을 차단하는 역할도 하여, 정보-전달 빔(IB)이 마크(AM)로부터의 고차 회절 방사선만을 포함하도록 할 수 있다(이는 측정에 필수적인 것은 아니지만, 신호 대 잡음 비를 개선함).
- [0074] 세기 신호들(SI)이 처리 유닛(PU)에 공급된다. 블록 SRI에서의 광학 처리 및 유닛 PU에서의 전산 처리의 조합에 의해, 기준 프레임에 대한 기관의 X 및 Y 위치에 대한 값들이 출력된다.
- [0075] 나타낸 타입의 단일 측정은 단지 마크의 한 피치에 대응하는 소정 범위 내에 마크의 위치를 고정한다. 이와 함께 더 개략적인 측정 기술들이 사용되어 마크 위치를 포함하는 사인파의 주기를 식별한다. 마크가 만들어지는 재료들 및 마크가 위 및/또는 아래에 제공되는 재료들에 관계없이 마크의 견고한 검출 및/또는 증가된 정확성을 위해 상이한 파장들에서 더 개략적인 및/또는 미세한 레벨들의 동일한 프로세스가 반복될 수 있다. 파장들은 광학적으로 다중화 및 역다중화되어 동시에 처리될 수 있고, 및/또는 이들은 시분할 또는 주파수 분할에 의해 다중화될 수 있다.
- [0076] 이 예시에서, 정렬 센서 및 스폿(SP)은 정지 상태로 유지되는 한편, 이동하는 것은 기관(W)이다. 따라서, 정렬 센서는 기관(W)의 이동 방향과 반대인 방향으로 마크(AM)를 효과적으로 스캔하면서 기준 프레임에 견고하고 정확하게 장착될 수 있다. 기관(W)은 기관 지지체 및 기관 지지체의 이동을 제어하는 기관 위치설정 시스템 상의

장착에 의해 이 이동이 제어된다. 기관 지지체 위치 센서(예를 들어, 간접계)는 기관 지지체(도시되지 않음)의 위치를 측정한다. 일 실시예에서, 1 이상의 (정렬) 마크가 기관 지지체 상에 제공된다. 기관 지지체 상에 제공된 마크들의 위치의 측정이 위치 센서에 의해 결정된 바와 같은 기관 지지체의 위치로 하여금 (예를 들어, 정렬 시스템이 연결되는 프레임에 대해) 캘리브레이션되게 한다. 기관 상에 제공된 정렬 마크들의 위치의 측정이 기관 지지체에 대한 기관의 위치로 하여금 결정되게 한다.

[0077] 앞서 설명된 바와 같은 스케터로미터, 레벨 센서, 및 정렬 센서와 같은 메트롤로지 툴들(MT)은 측정을 수행하기 위해 방사선을 사용할 수 있다. 방사선은 전자기 방사선일 수 있다. 방사선은, 예를 들어 전자기 스펙트럼의 적외선, 가시광선, 및/또는 자외선 부분들 중 1 이상에서의 파장들을 포함하는 광 방사선(optical radiation)일 수 있다. 방사선은 전자기 스펙트럼의 심자외선(DUV), 극자외선(EUV)(예를 들어, 1 nm 내지 100 nm), 및/또는 연결 X-선(SXR)(예를 들어, 0.1 nm 내지 10 nm) 부분들에서의 파장들을 포함할 수 있다. 메트롤로지 툴(MT)은 방사선 소스를 포함하거나 이에 연결될 수 있다. 메트롤로지 툴(MT)에 의해 수행되는 측정들의 타입 및 품질은 사용되는 방사선의 속성들에 의해 영향을 받을 수 있다. 상이한 타입들의 소스들에 의해 상이한 타입들의 방사선이 제공될 수 있다. 일부 소스들은 단일 파장에서, 또는 좁은 파장 범위에서 방사선을 제공할 수 있다. 일부 소스들은 다수 파장에서, 예를 들어 광대역 파장 범위에서 걸쳐 방사선을 제공할 수 있다. 방사선을 생성하는데 사용되는 물리적 효과들 및 기술들은 파장(들) 및/또는 파장 범위의 폭에 따라 상이할 수 있다. 예를 들어, 광대역 방사선을 제공하는 소스들은 협대역 또는 단일 파장 방사선의 스펙트럼 확장(spectral broadening)을 사용할 수 있다. 광대역 방사선 소스를 갖는 것이 이용가능한 상이한 파장들을 사용하여 더 넓은 범위의 측정들을 수행할 수 있게 하므로 유리할 수 있다. 고품질 광대역 방사선 소스를 제공하기 위해서는, 소스에 의해 출력되는 방사선에 걸쳐 더 많이 제어하는 것이 바람직할 수 있다. 제어는, 예를 들어 원하는 파장 범위에 걸쳐 방사선을 제공하고, 및/또는 예를 들어 빔의 세기, 크기 및 형상과 같은 방사선 빔 속성들을 제어하기 위한 것일 수 있다. 소스에 의해 출력되는 방사선에 걸친 제어를 증가시키는 것이 개선된 측정 결과들을 유도할 수 있다. 본 명세서의 방법들은 개선된 광대역 방사선 소스를 제공하는 조립체들을 설명한다.

[0078] 광대역 방사선은 비선형 프로세스들을 사용하여 생성될 수 있다. 비선형 프로세스들은 효율적으로 자극되도록 높은 방사선 세기들을 필요로 할 수 있다. 이는, 예를 들어 높은 세기의 방사선을 광섬유로 커플링함으로써 달성될 수 있다. 섬유 코어 내에서, 강한 국부적 세기들의 방사선이 얻어질 수 있다. 광섬유는 광결정 광섬유(PCF)일 수 있고, 이는 예를 들어 섬유 코어 내에서 강한 방사선 한정을 달성할 수 있다. 이는 국부적인 높은 세기들의 방사선을 제공하는 데 기여할 수 있다. 비선형 프로세스들은 비선형 프로세스가 일어날 수 있는 비선형 매질을 더 필요로 할 수 있다. 이는, 예를 들어 비선형 결정체, 또는 비선형 유체, 예를 들어 비선형 가스 또는 가스 혼합물일 수 있다. 비선형 매질은 섬유 내부에 제공될 수 있다. 섬유는 중공 코어 광결정 광섬유(HC-PCF)일 수 있고, 비선형 유체와 같은 비선형 매질이 중공 코어 내부에 제공될 수 있다. 그 후, 높은 세기의 방사선이 광섬유의 중공 코어 내에 강하게 한정되어, 높은 세기의 방사선으로 하여금 광대역 방사선을 생성하기 위해 비선형 매질과 상호작용하게 할 수 있다. 중공 코어 광결정 광섬유와 같은 중공 코어 섬유는, 예를 들어 1 이상의 펌프 파장에서 제공된 입력 방사선으로부터 초연속 방사선을 생성하기 위해 사용될 수 있다.

[0079] 길이를 따라 균일한 속성들을 갖는 섬유, 예를 들어 길이를 따라 균일한 단면 및 균일한 매질 속성들을 갖는 섬유가 광대역 파장 생성을 위한 최적 조건들을 제공하지 않을 수 있다. 이는 예를 들어 분산 및/또는 광학적 비선형성으로 인한 것일 수 있으며, 이는 섬유 길이를 따라 방사선이 전파됨에 따라 상이한 파장들이 상이한 속성들을 겪을 것임을 의미한다. 특히, 섬유 내에 한정된 방사선의 전파 방향을 따라 균일한 속성들이 더 짧은 파장들(예를 들어, UV, DUV, EUV, SXR 방사선)을 갖는 방사선의 생성의 유효성에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 섬유 길이를 따라 균일한 속성들은 펌프 생성의 광대역 생성으로의 변환 효율에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며, 광대역 스펙트럼에 걸쳐 생성된 세기의 차이들을 초래할 수도 있다. 그러므로, 본 명세서에서는 광대역 방사선 생성 프로세스의 측면들을 개선하기 위한 불균일한 속성들을 제공하기 위해 섬유를 따라 1 이상의 조건의 제어를 제공하는 것이 제안된다.

[0080] 일반적으로, 본 명세서에서 입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 중공 코어 섬유 조립체가 개시된다. 도 7은 중공 코어 섬유 조립체(100)의 개략적인 표현을 도시한다. 중공 코어 섬유 조립체(100)는 섬유의 입력단(106)으로부터 출력단(108)까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어(104)를 갖는 미세구조 섬유(102)를 포함한다. 입력단(106)은 입력 방사선(202)을 수용하도록 구성되고, 출력단(108)은 광대역 방사선(204)을 출력하도록 구성된다. 섬유의 중공 코어(104)는 매질(110)을 포함할 수 있다. 또한, 중공 코어(104)를 갖는 섬유(102)는 중공 코어 섬유(102)라고 칭해질 수 있다. 입력 방사선(202)으로부터 광대역 방사선(204)으로의 변환은 입력 방사선(202)과 매질(110)의 상호작용을 통한 광대역 방사선(204)의 생성을 포함할 수 있다. 조립체는

섬유(102)의 길이의 적어도 일부를 따른 매질(110)의 밀도 프로파일을 제어하도록 구성되는 밀도 제어 시스템(112)을 더 포함한다. 밀도 프로파일은 섬유(102)의 길이의 적어도 일부를 따라 원하는 영 분산 파장 프로파일에 의존하여 제어될 수 있다. 원하는 영 분산 파장 프로파일은 통상적으로 입력 방사선의 광대역 방사선(204)으로의 변환 효율 및/또는 광대역 방사선(204)의 파장 스펙트럼과 관련된 원하는 특성과 연계된다. 따라서, 밀도 프로파일은 대안적으로 입력 방사선의 광대역 방사선(204)으로의 변환 효율 및/또는 광대역 방사선(204)의 파장 스펙트럼과 관련된 특성에 의존하여 제어될 수 있다. 섬유(102)는 선택적으로 저장부(reservoir: 114) 내부에 제공될 수 있다.

[0081] 밀도 제어 시스템을 갖는 중공 코어 섬유 조립체를 제공하는 이점은, 매질의 밀도가 섬유의 적어도 일부를 따라 불균일한 속성들을 제공하기 위해 섬유의 길이를 따라 상이할 수 있다는 것이다. 섬유의 밀도 프로파일은 생성된 광대역 방사선에 영향을 미치도록 설정될 수 있다. 파장 스펙트럼과 관련된 특성은 방사선 스펙트럼을 조정할 수 있는 속성 또는 파라미터로 볼 수 있다. 특성은 분산이 방사선 스펙트럼을 조정하는 데 사용될 수 있기 때문에, 중공 코어 섬유 조립체의 분산 프로파일(전형적으로, 영 분산 파장 프로파일)과 연계될 수 있다. 조립체의 분산 프로파일에 기초하여, 영-분산 파장 프로파일 및 군속도와 같은 다른 속성들이 도출될 수 있다. 영향을 받을 수 있는 특성들의 예시들은, 예를 들어 광대역 방사선의 파장 범위, 광대역 파장 범위에 걸쳐 상이한 파장에 대해 생성된 세기를 포함한다. 또한, 제어된 밀도 프로파일은 광대역 방사선 파장 범위의 일부 또는 전체에 대해 입력 방사선으로부터 광대역 출력 방사선으로의 변환 효율에 영향을 미칠 수 있다. 밀도 프로파일은 출력 광대역 방사선에서 잡음을 감소시키도록 더 제어될 수 있다.

[0082] Song Z 외의: "Femtosecond pulse propagation in temperature controlled gas-filled hollow fiber", Optics communications, Elsevier, Amsterdam, NL, vol. 281, no. 15-16, 2008년 8월 1일, 페이지 4109-4113, ISSN: 0030-4018, DOI: 10.1016/J.OPTCOM.2008.04.037가 더 참조되며, 지금부터 간결함을 위해 "Song"이라고 칭해진다. Song은 섹션 3에서 튜브 길이를 따라 밀도 기울기를 적용하는 온도 제어 기반 방법을 설명한다. 본 명세서에 개시된 발명과 대조적으로, Song의 밀도 제어 시스템에 의해 달성된 밀도 기울기는 Song의 섬유 구성에 영 분산 체제가 적용되지 않는다는 사실로부터 추론될 수 있는 바와 같이 섬유 내에서 영 분산 파장의 어떠한 거동과도 연계되지 않는다. 후자는 여하한 파장에 대해 굴절률이 1을 초과함을 보여주는 Song의 방정식 8에서 추론될 수 있다(따라서, 섬유를 따라 어디에서도 영 분산이 발생하지 않을 것임). 또한, Song의 섬유는 Song에 의해 사용되는 매우 높은 펄스 에너지(>> 미세구조 섬유 내에서 시작되는 비선형 프로세스들과 연계되는 uJ 범위)로부터 추론될 수 있는 바와 같이, (본 발명에 따른 섬유와 대조적으로) 미세구조화되어 있지 않으며, (따라서) 광대역 방사선 생성이 본 명세서에서 언급되는 (변조 불안정과 같은) 비선형 메카니즘들 중 어느 하나에 기초하지 않는다.

[0083] 입력 방사선의 광대역 출력 방사선으로의 변환은 섬유의 중공 코어 내부에서의 방사선의 초연속체 생성을 포함할 수 있다. 초연속체 생성은 변조 불안정에 의해 개시되는 프로세스를 포함할 수 있다. 예시적인 구현에서, 변조 불안정은 2 개의 개별 스테이지들에서 발생하는 것으로 간주될 수 있다. 제 1 스테이지에서, 입력 방사선은 이상 분산 체제, 즉  $\beta_2 < 0$ 인 분산 체제에서 솔리톤 샤워(soliton shower)로 변환될 수 있으며, 여기서  $\beta_2$ 는 파장의 함수로서 굴절률(n)의 이차 도함수에 비례한다. 이는 중공 코어 섬유의 길이를 따라, 예를 들어 중공 코어 섬유의 처음 10 내지 15 cm를 따라 제 1 부분에서 발생할 수 있다. 솔리톤은 비선형 파동 방정식의 해이다. 선형 분산과 섬유의 디자인 사이의 상호작용, 및 섬유 내부의 비선형 효과들이 섬유 내부에서 솔리톤이 겪는 분산에 영향을 줄 수 있다. 섬유 내부의 솔리톤들과 연계된 에너지 중 일부는 정상 분산 체제로 확장될 수 있다( $\beta_2 > 0$ , 굴절률 n이 파장 증가에 따라 감소함). 제 2 스테이지에서, 정상 분산 체제에서의 에너지는 분산파(즉, 비-솔리톤 파동 패킷)를 여기(excite)시킬 수 있다. 분산파들은 펌프 파장(들)과 상이한 파장들에서 여기될 수 있다. 여기된 파들은 솔리톤 파장들보다 실질적으로 더 짧은 파장들을 갖는 파들을 포함할 수 있다.

[0084] 길이를 따라 균일한 속성들을 갖는 섬유에서는, 앞서 설명된 초연속 방사선 생성의 프로세스를 달성 및/또는 최적화하는 데 필요한 조건들을 충족시키는 것이 어려울 수 있다. 충족하기 어려울 수 있는 조건들 중 일부는 중공 코어 섬유에 대한 영 분산 파장이 솔리톤 연속체 형성에 적절한 범위에 속하는 조건들을 얻는 것을 포함할 수 있다. 변조 불안정 개시 솔리톤 연속체의 효율적인 형성을 위해, 중공 코어 섬유의 영 분산 파장이 입력 방사선의 파장 또는 그 근처에 있는 것이 바람직할 수 있다. 영 분산 파장은 솔리톤 연속체가 형성될 수 있도록 이상 분산 체제에 더 들어가야 한다. 또한, 중공 코어 섬유에 대한 분산 프로파일은 분산 프로파일이 더 평평할 때 더 넓은 범위의 파장들에 대해 위상 매칭 조건들이 충족되거나 근사될 수 있기 때문에, 영-분산 파장 주위에서 비교적 평평한 것이 바람직하다. 더 넓은 범위의 파장들에 대한 이러한 더 가까운 근사는 더 넓은 범위

의 파장들에 대한 더 효율적인 초연속체 생성을 초래할 수 있다.

[0085] 충족하기 어려울 수 있는 초연속 방사선에 대한 또 다른 조건은 생성될 분산파들과 솔리톤들 간의 군 매칭 (group matching)을 달성하는 것일 수 있다. 솔리톤 연속체가 분산파로 에너지를 효율적으로 전달하기 위해서는, 솔리톤과 분산파의 군속도가 매칭되어야 한다. 군속도 매칭 조건들은 섬유의 분산에 의해 영향을 받는다. 중공 코어 섬유 내부의 분산은 섬유 자체의 디자인뿐만 아니라, 섬유의 재료들 및 중공 코어 내부의 매질에 의해 영향을 받을 수 있다. 하지만, 분산 속성들은 비교적 제약을 받으며, 이는 디자인 변화들이 결과적인 분산에 제한적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 또한, 입력 파장과 생성된 분산 파장 사이의 파장 차이가 더 큰 경우, 군속도 매칭을 달성하는 것이 더 어려울 수 있다. 입력 방사선은 생성된 관심 방사선보다 더 긴 파장(들)을 가질 수 있다. 입력 방사선은 예를 들어 스펙트럼의 적외선 부분(예를 들어, 1550 nm)에서의 1 이상의 파장을 포함할 수 있다. 결과로서, 생성된 더 짧은 파장들에 대한 군속도 매칭을 충족 및/또는 근사하는 것이 더 어려울 수 있다.

[0086] 또한, 더 짧은 파장들, 예를 들어 250 nm 이하의 DUV, EUV 및/또는 SXR 파장들에 대해, 분산 곡선 및 기울기는 매질의 분산 속성들에 의해 좌우될 수 있으며, 이는 바람직한 평평한 분산 곡선 구성에서 크게 벗어날 수 있다. 분산 곡선은 더 짧은 파장들에 대해 가파르게 될 수 있다. 결과로서, 짧은 파장들은 길이를 따라 균일한 속성들을 갖는 중공 코어 섬유 내부에서 더 강한 분산을 겪을 수 있다. 중공 코어 섬유 내부의 증가된 분산 외에도, 더 가파른 분산 곡선은 군속도 매칭이 충족 및/또는 근사되는 파장 범위도 감소시켰다. 분산을 보상하기 위해, 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 불균일한 디자인이 제공될 수 있다. 예를 들어, 섬유의 길이를 따라 군속도 매칭을 달성하기 위해, 섬유의 입력단에 비해 섬유의 출력단에 더 작은 코어 직경이 제공되어 분산을 보상할 수 있다. 중공 코어 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 불균일을 제공하는 것이 더 짧은 파장들에 대해 존재하는 분산을 해결할 수 있다. 이는 더 짧은 파장들에 대해 초연속체 생성을 더 효율적으로 만들 수 있다. 결과로서, 생성된 파장 범위는 스펙트럼의 UV, DUV, EUV 및/또는 SRX 부분들에서의 파장들에 대해 시프트 또는 개선될 수 있다.

[0087] 충족하기 어려울 수 있는 초연속 방사선에 대한 또 다른 조건은 증가된 효율을 위해 분산과 트래핑을 달성하는 방식일 수 있다. 올바른 조건들 하에서는, 솔리톤에 의해 생성되는 분산파가 해당 솔리톤에 의해 트래핑될 수 있다. 트래핑된 파와 솔리톤은 섬유를 따라 함께 전파될 수 있다. 이는 솔리톤과 분산파 사이의 상호작용의 양을 증가시킬 수 있으며, 이는 솔리톤으로부터 상기 파로의 에너지 전달이 크게 증가될 수 있음을 의미한다. 분산 트래핑의 발생을 위해, 솔리톤의 군속도는 섬유를 따라 전파됨에 따라 감소되어야 한다. 솔리톤이 섬유를 따라 전파됨에 따라, 이는 더 긴 파장들로 자체-시프트될 수 있다. 솔리톤으로부터 생성되는 연계된 분산파는 반대로 더 짧은 파장들로 시프트될 수 있다. 중실 코어 섬유들에서, 이러한 군속도의 감소는 솔리톤 스펙트럼의 에너지가 더 짧은 파장에서 더 긴 파장으로 전달되는 라만 자체-주파수 시프트 효과의 결과로서 달성될 수 있다. 일부 중공 코어 섬유들, 예를 들어 희가스(noble-gas)로 채워진 중공 코어 섬유들에서는 이러한 라만 효과가 없을 수 있다. 더 긴 파장들로의 시프트 및 연계된 군속도의 감소는 방사선이 균일한 중공 코어 섬유를 따라 이동함에 따라 여전히 발생할 수 있다. 하지만, 군속도 감소의 양이 제한되어 분산과 트래핑에 대한 지원이 제한될 수 있다. 분산과 트래핑이 발생하기 위해, 섬유의 적어도 일부에 불균일한 디자인이 주어져 섬유를 통해 전파하는 방사선에 대한 군속도의 감소를 조장할 수 있다. 이는 예를 들어 섬유의 다운-테이퍼링(down-tapering)에 의해 달성될 수 있으며, 예를 들어 섬유의 입력단과 출력단 사이의 섬유 코어의 직경을 감소시킬 수 있다.

[0088] 충족하기 어려울 수 있는 초연속 방사선에 대한 또 다른 조건은 솔리톤 에너지 매칭일 수 있다. 솔리톤이 섬유의 길이를 따라 전파됨에 따라, 이는 생성하고 있는 분산파 및/또는 섬유 내부에서의 전파 손실들로 에너지를 잃을 수 있다. 솔리톤에 의한 방사선의 초연속체 생성을 증가시키기 위해서는 솔리톤 상태를 유지하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 솔리톤을 교란시키지 않고, 분산과 생성과 관련되지 않은 솔리톤의 손실들을 감소시키는 것이 바람직할 수 있다. 솔리톤 상태를 유지하는 한 가지 예시적인 방식은, 섬유의 분산 속성들을 변화시키지 않고 솔리톤이 섬유를 따라 전파할 때 솔리톤이 겪는 비선형성을 증가시키는 것일 수 있다. 이는 예를 들어 섬유의 길이를 따라 매질 밀도 및/또는 섬유 구조/디자인의 불균일한 프로파일을 가짐으로써 달성될 수 있다.

[0089] 앞서 설명된 초연속체 생성을 충족 및/또는 개선하는 것과 관련된 문제들에 기초하여, 중공 코어 섬유의 적어도 일부를 따라 불균일한 밀도 프로파일을 제공하는 것이 초연속체 생성 프로세스의 효율을 개선하고, 및/또는 이를 제어하기 위해 사용될 수 있다. 그러므로, 광대역 방사선의 파장 스펙트럼과 관련된 특성은 영 분산 파장 (프로파일), 섬유를 따른 군속도 프로파일, 섬유를 따라 전파하는 방사선에 대한 분산 곡선의 프로파일 중 1 이

상을 포함할 수 있다. 차례로, 중공 코어 섬유 조립체의 분산(영 분산 파장) 프로파일과 비선형성을 조정하는 것이 생성된 방사선의 파장 범위에 영향을 줄 수 있다. 입력 방사선으로부터 광대역 방사선으로의 변환 효율은 광대역 방사선 범위에서의 파장들의 일부 또는 전부에 대해 개선될 수 있다.

[0090] 중공 코어 섬유 조립체의 밀도 제어 시스템은 섬유의 적어도 일부를 따라 불균일한 조건들을 제공할 수 있다. 섬유의 중공 코어 길이의 적어도 일부를 따라 변화하는 매질 밀도를 갖는 것이 섬유의 길이를 따라 비선형 및/또는 분산 속성들을 수정할 수 있다. 매질 자체를 제어함으로써 매질의 밀도를 변화시키는 것이 그 길이를 따른 단면을 변화시키지 않고도 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 비선형 및 분산 속성들(예컨대, 영 분산 파장 프로파일)의 불균일한 프로파일을 도입할 수 있다. 하지만, 섬유 내부의 불균일한 비선형 및/또는 분산 속성들을 도입하기 위해 매질을 제어하는 것에 추가하여, 또는 이에 대한 대안으로서, 섬유 예를 들어 중공 코어 PCF의 단면의 디자인을 변동시키는 것이 가능하다.

[0091] 매질의 음의 밀도 기울기가 압력에 관하여 표현될 수 있다. 음의 압력 기울기가 중공 코어 섬유 조립체를 따른 제 1 위치에서의 초기 압력 값으로부터 중공 코어 섬유 조립체를 따른 제 2 위치에서의 더 낮은 압력 값으로의 압력 변화를 가질 수 있다. 제 2 위치는 제 1 위치보다 섬유의 전과 방향을 따라 더 멀리 있으므로, 전파하는 방사선이 음의 밀도 기울기를 겪는다. 초기 압력 값들은, 예를 들어 5 내지 60 bar 범위에 있을 수 있으며, 예를 들어 5 bar, 10 bar, 20 bar, 30 bar, 40 bar, 50 bar, 60 bar일 수 있다. 더 낮은 압력 값들은 연계된 초기 압력 값보다 낮으며, 예를 들어 0 내지 50 bar 범위에 있을 수 있고, 예를 들어 0 bar, 5 bar, 10 bar, 20 bar, 30 bar, 40 bar, 50 bar일 수 있으며, 여기서 더 낮은 압력 값은 연계된 초기 압력 값보다 낮다. 제 1 위치와 제 2 위치 사이의 예시적인 압력 기울기 곡선들은 직선, 제곱근, 포물선, 또는 여하한 사용자 정의 프로파일을 포함할 수 있다. 프로파일은 아래에서 더 상세히 설명되는 밀도 제어 시스템에 의해 제어될 수 있다.

[0092] 본 명세서에서, 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 음의 밀도 기울기 프로파일을 도입하는 것이 제안된다. 본 발명자들은 음의 기울기 밀도 프로파일이 변조 불안정 제어 광대역 방사선 생성의 파장 범위를 더 짧은 파장들로 확장하는 데 사용될 수 있다는 것을 발견하였다. 또한, 음의 기울기 밀도 프로파일은 솔리톤들에 의한 분산과 트래핑을 지원하는 데 사용될 수 있다. 일반적으로, 섬유의 적어도 일부를 따라 밀도 기울기 프로파일을 제어함으로써, 섬유 내부의 분산(영 분산 파장 프로파일) 및 비선형성이 조정될 수 있고, 이는 초연속체 생성 프로세스에 영향을 미칠 수 있다. 도 8은 상이한 압력들에서 아르곤 가스로 채워진 중공 코어 광결정 광섬유들에 대한 예시적인 분산 프로파일들을 도시하는 그래프를 나타낸다. 그래프에서 알 수 있는 바와 같이, 중공 코어 섬유(102) 내부의 영 분산 파장은 매질(110)의 더 낮은 밀도들에 대해 더 낮을 수 있다. 그러므로, 섬유의 길이를 따라 음의 기울기 밀도 프로파일을 도입하는 것이 에너지의 더 짧은 파장들로의 전달을 지원할 수 있다. 또한, 음의 기울기 밀도 프로파일에 의해 지원되는 솔리톤 트래핑이 예를 들어 스펙트럼의 UV, DUV, EUV 및/또는 SXR 부분들에서의 더 짧은 파장들에서 광대역 방사선으로의 더 높은 변환 효율에 기여할 수도 있다.

[0093] 앞서 설명된 바와 같이, 예를 들어 음의 밀도 기울기 프로파일을 제공함으로써, 및/또는 섬유 단면의 디자인을 변화시킴으로써 섬유(102) 속성들에 테이퍼를 포함하는 것[예를 들어, 중공 코어(104)의 직경의 불균일한 프로파일]이 더 짧은 파장들에 대한 변환 효율의 증가를 초래할 수 있다. 이는 차례로 테이퍼링된 섬유(102) 속성들이 없는 조립체들과 비교하여, 생성된 파장 범위에 걸쳐 더 동일한 세기 분포(즉, 생성된 광대역 스펙트럼의 증가된 평탄도)를 유도할 수 있다. 또한, 생성된 스펙트럼의 더 짧은 파장 부분에서 증가된 변환 효율은 증가된 전체 변환 효율로 이어질 수 있다.

[0094] 매질(110)은 가스 또는 가스 혼합물을 포함할 수 있다. 매질(110)은 방사선이 섬유 내부의 매질과 상호작용할 때 스펙트럼 확장을 야기 및/또는 가능하게 할 수 있다. 매질(110)은 수소(H<sub>2</sub>)를 포함할 수 있다. 매질(110)은 희가스(예를 들어, 아르곤 Ar, 헬륨 He, 네온 Ne, 크립톤 Kr, 제논 Xe)를 포함할 수 있다. 매질은 분자 가스[예를 들어, 질소(N<sub>2</sub>), 산소(O<sub>2</sub>)]를 포함할 수 있다.

[0095] 섬유(102)는 채밀불가능한 저장부(114) 내부에 제공될 수 있다. 일부 구현들에서, 전체 섬유는 예를 들어 도 7에 도시된 바와 같이 저장부(114) 내부에 제공될 수 있다. 저장부는 매질을 포함하도록 구성될 수 있다. 저장부(114)는 매질의 속성들(예를 들어, 매질의 조성, 매질의 압력)을 제어하는 매질 제어 시스템을 포함할 수 있다. 다른 구현들에서, 섬유(102)의 입력단(106) 및 출력단(108)은 저장부(114)의 분리된 섹션들 내부에, 또는 별도의 저장부들에 제공될 수 있다. 이는 매질의 속성들이 섬유(102)의 입력단(106) 및 출력단(108)에서 별도로 제어되게 할 수 있다. 예를 들어, 입력단(106)에 제공되는 매질(110)의 압력은 섬유(102)의 길이를 따라 불균일한 매질 속성들을 제공하기 위해 출력단(108)에서의 매질(110)의 압력과 상이할 수 있다.

- [0096] 밀도 제어 시스템(112)은 저장부(114)의 내부 또는 외부에 제공될 수 있다. 밀도 제어 시스템(112)은 섬유(102)의 길이의 적어도 일부를 따라 섬유(102)의 중공 코어(104) 내부의 매질(110)의 압력 기울기를 제공할 수 있다. 이는 예를 들어 섬유(102)의 입력단(106) 및 출력단(108)에서 상이한 압력을 매질(110)에 제공함으로써 달성될 수 있다. 이는 예를 들어 매질(110)을 형성하는 성분(들)을 공급하기 위해 1 이상의 외부 소스를 사용함으로써 달성될 수 있다. 이 소스들은 섬유의 입력단 및 출력단에서 저장부(114) 내부의 매질(110)의 압력을 제어하기 위해 사용될 수 있다. 하지만, 외부 소스들을 사용하는 것은 외부 소스가 보충/교체되어야 하는 경우에 문제들, 예를 들어 조립체의 다운 시간을 도입할 수 있다.
- [0097] 밀도 제어 시스템(112)은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 온도를 제어하도록 구성되는 온도 제어 시스템을 포함할 수 있다. 온도 제어 시스템은 섬유의 길이를 따라 온도 프로파일을 도입할 수 있으며, 이는 차례로 매질(110)의 밀도에 영향을 미칠 수 있다. 온도 제어 시스템은 섬유(102)의 길이를 따라 복수의 위치들에서 국부적으로 열을 공급하도록 구성되는 복수의 온도 설정 디바이스들(116)을 포함할 수 있다. 온도 제어 시스템(112)은 온도 설정 디바이스들(116) 각각에서의 온도 제어 속성들을 설정하는 1 이상의 프로세서를 포함하거나 이에 연결될 수 있다.
- [0098] 온도 설정 디바이스들(116)은 섬유(102)의 중공 코어(104) 내부의 매질(110)을 국부적으로 가열하기 위해 섬유(102) 부근에서 섬유(102) 외부에 제공될 수 있다. 온도 설정 디바이스들(116)은 섬유(102)를 국부적으로 가열함으로써 중공 코어(104) 내부의 매질(110)을 간접적으로 가열할 수 있다. 대안적으로 또는 추가적으로, 온도 설정 디바이스들(116)은 예를 들어 교류 전기장 또는 전자기장을 사용하여 섬유(102) 자체를 가열하지 않고 매질(110)에 직접 열을 공급할 수 있다. 예시적인 온도 설정 디바이스들은, 예를 들어 저장 가열 요소들, 유전체 가열 요소들, 펄티에 요소들, 팬 냉각기들, 및 액체 냉각기들을 포함한다. 예시적인 온도 제어 시스템은 NL2023533에 설명되어 있으며, 이는 본 명세서에서 인용참조된다.
- [0099] 섬유(102)는 중공 코어 광결정 광섬유(HC-PCF)와 같은 광결정 광섬유(PCF)일 수 있다. 광결정 광섬유(102)를 사용하는 이점은 코어 내부의 강한 방사선 한정이 달성가능하다는 것일 수 있다. 이는 차례로 광대역 방사선을 형성하는 방사선의 스펙트럼 확장에 기여하는 비선형 프로세스들의 효율을 증가시키기 위해 높은 국부적 방사선 세기를 달성할 수 있다. 광결정 광섬유는 섬유(102)의 코어(104) 내부의 강한 한정을 달성하기 위해 광결정을 형성하는 복수의 미세구조체들을 포함할 수 있다. 미세구조체는 중공 코어(104)를 둘러싸는 구조체들의 단일 링을 형성할 수 있다. 미세구조체들은 중공 코어(104)를 둘러싸는 복수의 모세관들을 포함할 수 있다. 예시적인 구현에서, 모세관들의 단일 링이 섬유(102)의 중공 코어(104)를 둘러싼다.
- [0100] 섬유의 중공 코어의 직경이 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 불균일한 일부 구현들에서, 광결정 미세구조체들의 디자인은 또한 변동될 수 있다(예를 들어, 모세관들의 직경 및/또는 벽 두께가 길이를 따라 변함). 다른 구현들에서, 중공 코어의 직경은 변동될 수 있는 한편, 미세구조체들의 크기는 실질적으로 동일하게 유지된다(예를 들어, 모세관들의 직경 및 벽 두께는 실질적으로 일정하게 유지됨). 후자의 경우, 서로에 대한 미세구조체들의 위치는 중공 코어(104)의 변화하는 직경을 수용하기 위해 섬유의 길이를 따라 변할 수 있다.
- [0101] 또한, 섬유 길이의 적어도 일부를 따른 불균일한 직경 프로파일은 광대역 방사선으로의 입력의 변환 효율 및/또는 파장 스펙트럼과 관련된 특성을 제어하는 데 사용될 수 있다. 섬유 내부의 파장 및/또는 변환 효율을 제어하기 위해 불균일한 직경이 제공되는 조립체들에서, 중공 코어(104)를 갖는 섬유 대신에 중실 코어를 갖는 섬유가 조립체의 일부로서 제공될 수 있다.
- [0102] 길이를 따라 코어의 불균일한 직경을 갖는 섬유는 다운-테이퍼 프로파일이라고도 하는 음의 테이퍼를 가질 수 있으며, 즉 코어의 직경은 (입력단으로부터 출력단까지) 섬유의 길이를 따른 방사선의 전파 방향을 따라 감소할 수 있다. 코어 직경은 초기 값을 가질 수 있으며, 최종 값으로 테이퍼링될 수 있다. 초기 코어 직경 값은 20  $\mu\text{m}$  내지 60  $\mu\text{m}$  범위에 있을 수 있으며, 예를 들어 60  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ 일 수 있다. 최종 코어 직경 값은 10  $\mu\text{m}$  내지 50  $\mu\text{m}$  범위에 있을 수 있으며, 예를 들어 50  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ , 20  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$ 일 수 있다. 음의 테이퍼의 경우, 초기 직경 값은 연계된 최종 직경 값보다 높다. 테이퍼는 예를 들어 선형 프로파일 또는 다항식 기반 프로파일을 포함할 수 있다. 코어 직경 테이퍼는 섬유 길이의 전체 또는 일부를 가로질러 도달할 수 있다. 테이퍼 프로파일은 섬유의 총 길이의 0 내지 80 %에서 시작할 수 있다. 테이퍼는 섬유의 총 길이의 20 내지 100 %에서 끝날 수 있으며, 여기서 테이퍼의 시작은 테이퍼의 끝보다 섬유의 입력단에 더 가깝다. 또한, 섬유 내부에서의 방사선의 전파 방향을 따라 직경이 증가하는 업-테이퍼(up-taper) 프로파일이 섬유에 제공되는 것도 가능하다.
- [0103] 섬유의 길이는 관심 파장 범위에 걸쳐 광대역 생성이 일어나기에 충분히 길도록 선택될 수 있다. 섬유(102)의

길이는, 예를 들어 10 cm 내지 2 m의 범위 내에 있을 수 있다. 섬유(102)의 길이는 10 cm 내지 40 cm의 범위 내에 있을 수 있다. 또한, 40 cm보다 긴 길이를 갖거나 2 m보다 긴 길이를 갖는 섬유들(102)이 사용될 수 있지만, 원하는 광대역 범위의 방사선 생성을 가능하게 하는 더 짧은 길이를 갖는 섬유를 제공하는 것이 유리할 수 있다.

- [0104] 중공 코어 섬유 조립체(100)에 커플링되는 입력 방사선은 1 이상의 편리한 파장에서 제공될 수 있다. 입력 방사선은, 예를 들어 쉽게 이용가능한 방사선 소스들의 파장에서 제공될 수 있다. 예시적인 입력 방사선 파장들은, 예를 들어 1030 nm, 1550 nm, 및/또는 700 내지 800 nm 범위 내의 파장들을 포함한다.
- [0105] 중공 코어 섬유 조립체 내부에서 생성되는 광대역 방사선은 초연속 방사선을 포함할 수 있다. 초연속 방사선은 파장들의 연속 범위에 걸친 방사선을 포함할 수 있다. 광대역 방사선은 350 nm 내지 3000 nm 범위 내의 파장들을 갖는 방사선을 포함할 수 있다. 광대역 방사선은 350 nm 내지 2000 nm 범위 내의 파장들을 갖는 방사선을 포함할 수 있다. 초연속 방사선은 적어도 350 nm 내지 3000 nm 범위, 예를 들어 350 nm 내지 2000 nm 범위 내의 파장들의 연속 범위를 포함할 수 있다.
- [0106] 추가 실시예들이 아래의 번호가 매겨진 항목들의 리스트에 개시되어 있다:
- [0107] 1. 입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 중공 코어 광결정 광섬유(HC-PCF) 조립체로서,
- [0108] 입력 방사선을 수용하도록 구성되는 입력단으로부터 광대역 방사선을 출력하도록 구성되는 출력단까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어를 갖는 미세구조 섬유 -섬유의 중공 코어는 매질을 포함하도록 구성됨- ; 및
- [0109] 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 원하는 영 분산 파장 프로파일을 확립하기 위해 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 매질의 밀도 프로파일을 제어하도록 구성되는 밀도 제어 시스템을 포함하는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0110] 2. 1 항에 있어서, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 솔리톤 트래핑을 향상시키도록 구성되는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0111] 3. 1 항 또는 2 항에 있어서, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 변조 불안정에 의해 생성되는 광대역 방사선의 파장 범위를 확장하도록 구성되는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0112] 4. 1 항 내지 3 항 중 어느 하나에 있어서, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 입력 방사선을 수용할 때 HC-PCF에 의해 생성되는 분산파들과 솔리톤들 사이의 상호작용을 향상시키도록 구성되는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0113] 5. 1 항 내지 4 항 중 어느 하나에 있어서, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 HC-PCF의 변환 효율을 향상시키도록 구성되는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0114] 6. 1 항 내지 5 항 중 어느 하나에 있어서, 광대역 방사선은 350 내지 2000 nm 사이의 연속 파장 범위를 갖는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0115] 7. 1 항 내지 6 항 중 어느 하나에 있어서, 섬유 길이의 적어도 일부를 따른 밀도 프로파일은 음의 기울기 프로파일인 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0116] 8. 1 항 내지 7 항 중 어느 하나에 있어서, 밀도 제어 시스템은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 온도를 제어하도록 구성되는 온도 제어 시스템을 포함하는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0117] 9. 1 항 내지 8 항 중 어느 하나에 있어서, 밀도 제어 시스템은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 압력을 제어하도록 구성되는 압력 제어 시스템을 포함하는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0118] 10. 1 항 내지 9 항 중 어느 하나에 있어서, 중공 코어의 직경은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 변동되는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0119] 11. 10 항에 있어서, 중공 코어의 직경은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 감소되는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0120] 12. 1 항 내지 11 항 중 어느 하나에 있어서, 매질은 헬륨, 네온, 아르곤, 크립톤, 제논, O<sub>2</sub> 가스, N<sub>2</sub> 가스 중 적어도 하나를 포함하는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0121] 13. 1 항 내지 12 항 중 어느 하나에 있어서, 중공 코어 섬유는 단일 링 광결정 광섬유인 중공 코어 광결정 광

섬유 조립체.

- [0122] 14. 13 항에 있어서, 중공 코어 섬유는 중공 코어를 둘러싸는 모세관들의 단일 링을 포함하는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0123] 15. 1 항 내지 14 항 중 어느 하나에 있어서, 광대역 방사선은 초연속 방사선을 포함하는 중공 코어 광결정 광섬유 조립체.
- [0124] 16. 1 항 내지 15 항 중 어느 하나에 따른 중공 코어 광결정 광섬유 조립체, 및 섬유 내부에서 광대역 방사선을 생성하는 중공 코어 섬유에 펌프 파장의 방사선을 커플링하도록 구성되는 펌프 방사선 소스를 포함하는 광대역 방사선을 출력하는 방사선 소스.
- [0125] 17. 입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 방법으로서,
- [0126] 입력단으로부터 출력단까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어를 갖는 미세구조 섬유를 제공하는 단계 -섬유의 중공 코어는 매질을 포함함- ;
- [0127] 입력단에서 중공 코어 섬유로 입력 방사선을 지향시키는 단계;
- [0128] 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 원하는 영 분산 파장 프로파일을 확립하기 위해 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 매질의 밀도 프로파일을 제어하는 단계; 및
- [0129] 출력단에서 광대역 방사선을 출력하는 단계를 포함하는 방법.
- [0130] 18. 17 항에 있어서, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 솔리톤 트래핑을 향상시키도록 구성되는 방법.
- [0131] 19. 17 항 또는 18 항에 있어서, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 변조 불안정에 의해 생성되는 광대역 방사선의 파장 범위를 확장하도록 구성되는 방법.
- [0132] 20. 17 항 내지 19 항 중 어느 하나에 있어서, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 입력 방사선을 수용할 때 HC-PCF에 의해 생성되는 분산파들과 솔리톤들 사이의 상호작용을 향상시키도록 구성되는 방법.
- [0133] 21. 17 항 내지 20 항 중 어느 하나에 있어서, 원하는 영 분산 파장 프로파일은 HC-PCF의 변환 효율을 향상시키도록 구성되는 방법.
- [0134] 22. 17 항 내지 21 항 중 어느 하나에 있어서, 광대역 방사선은 350 내지 2000 nm 사이의 연속 파장 범위를 갖는 방법.
- [0135] 23. 17 항 내지 22 항 중 어느 하나에 있어서, 섬유 길이의 적어도 일부를 따른 밀도 프로파일은 음의 기울기 프로파일인 방법.
- [0136] 24. 17 항 내지 23 항 중 어느 하나에 있어서, 밀도 프로파일은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 온도를 제어하도록 구성되는 온도 제어 시스템에 의해 제어되는 방법.
- [0137] 25. 17 항 내지 23 항 중 어느 하나에 있어서, 밀도 프로파일은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 압력을 제어하도록 구성되는 압력 제어 시스템에 의해 제어되는 방법.
- [0138] 26. 17 항 내지 25 항 중 어느 하나에 있어서, 중공 코어의 직경은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 변동되는 방법.
- [0139] 27. 26 항에 있어서, 중공 코어의 직경은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 감소되는 방법.
- [0140] 28. 17 항 내지 27 항 중 어느 하나에 있어서, 매질은 헬륨, 네온, 아르곤, 크립톤, 제논, O<sub>2</sub> 가스, N<sub>2</sub> 가스 중 적어도 하나를 포함하는 방법.
- [0141] 29. 17 항에 있어서, 밀도 프로파일을 제어하는 단계는 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 음의 기울기 프로파일을 설정하는 단계를 포함하는 방법.
- [0142] 30. 16 항에 따른 방사선 소스를 포함하는 메트몰로지 구성부.
- [0143] 31. 입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 중공 코어 섬유 조립체로서,
- [0144] 입력 방사선을 수용하도록 구성되는 입력단으로부터 광대역 방사선을 출력하도록 구성되는 출력단까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어를 갖는 섬유 -섬유의 중공 코어는 매질을 포함하도록 구성됨- ; 및

- [0145] 입력 방사선의 광대역 방사선으로의 변환 효율 및/또는 광대역 방사선의 파장 스펙트럼과 관련된 특성에 의존하여 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 매질의 밀도 프로파일을 제어하도록 구성되는 밀도 제어 시스템을 포함하는 중공 코어 섬유 조립체.
- [0146] 32. 31 항에 있어서, 섬유 길이의 적어도 일부를 따른 밀도 프로파일은 음의 기울기 프로파일인 중공 코어 섬유 조립체.
- [0147] 33. 31 항 또는 32 항에 있어서, 밀도 제어 시스템은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 온도를 제어하도록 구성되는 온도 제어 시스템을 포함하는 중공 코어 섬유 조립체.
- [0148] 34. 31 항 내지 33 항 중 어느 하나에 있어서, 중공 코어의 직경은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 변동되는 중공 코어 섬유 조립체.
- [0149] 35. 34 항에 있어서, 중공 코어의 직경은 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 감소되는 중공 코어 섬유 조립체.
- [0150] 36. 31 항 내지 35 항 중 어느 하나에 있어서, 매질은 헬륨, 네온, 아르곤, 크립톤, 제논, O<sub>2</sub> 가스, N<sub>2</sub> 가스 중 적어도 하나를 포함하는 중공 코어 섬유 조립체.
- [0151] 37. 31 항 내지 36 항 중 어느 하나에 있어서, 중공 코어 섬유는 단일 링 광결정 광섬유인 중공 코어 섬유 조립체.
- [0152] 38. 37 항에 있어서, 중공 코어 섬유는 중공 코어를 둘러싸는 모세관들의 단일 링을 포함하는 중공 코어 섬유 조립체.
- [0153] 39. 31 항 내지 38 항 중 어느 하나에 있어서, 광대역 방사선은 초연속 방사선을 포함하는 중공 코어 섬유 조립체.
- [0154] 40. 31 항 내지 39 항 중 어느 하나에 있어서, 광대역 방사선은 350 nm 내지 3000 nm 범위 내의 1 이상의 파장을 포함하는 중공 코어 섬유 조립체.
- [0155] 41. 31 항 내지 40 항 중 어느 하나에 따른 중공 코어 섬유 조립체, 및 섬유 내부에서 광대역 방사선을 생성하는 중공 코어 섬유에 펌프 파장의 방사선을 커플링하도록 구성되는 펌프 방사선 소스를 포함하는 광대역 방사선을 출력하는 방사선 소스.
- [0156] 42. 입력 방사선을 광대역 방사선으로 변환하는 방법으로서,
- [0157] 입력단으로부터 출력단까지 섬유의 길이를 따라 연장되는 중공 코어를 갖는 섬유를 제공하는 단계 -섬유의 중공 코어는 매질을 포함함- ;
- [0158] 입력단에서 중공 코어 섬유로 입력 방사선을 지향시키는 단계;
- [0159] 입력 방사선의 광대역 방사선으로의 변환 효율 및/또는 광대역 방사선의 파장 스펙트럼과 관련된 특성에 의존하여 섬유의 길이의 적어도 일부를 따라 매질의 밀도 프로파일을 제어하는 단계; 및
- [0160] 출력단에서 광대역 방사선을 출력하는 단계를 포함하는 방법.
- [0161] 43. 42 항에 있어서, 밀도 프로파일을 제어하는 단계는 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 음의 기울기 프로파일을 설정하는 단계를 포함하는 방법.
- [0162] 44. 42 항 또는 43 항에 있어서, 밀도 프로파일을 제어하는 단계는 섬유 길이의 적어도 일부를 따라 온도를 제어하는 단계를 포함하는 방법.
- [0163] 45. 41 항에 따른 방사선 소스를 포함하는 메트롤로지 구성부.
- [0164] 본 명세서에서는, IC 제조에 있어서 리소그래피 장치의 특정 사용예에 대하여 언급되지만, 본 명세서에 서술된 리소그래피 장치는 다른 적용예들을 가질 수도 있음을 이해하여야 한다. 가능한 다른 적용예들은 집적 광학 시스템, 자기 도메인 메모리용 안내 및 검출 패턴, 평판 디스플레이(flat-panel display), 액정 디스플레이(LCD), 박막 자기 헤드 등의 제조를 포함한다.
- [0165] 본 명세서에서는, 리소그래피 장치와 관련하여 본 발명의 특정 실시예들에 대하여 언급되지만, 본 발명의 실시예들은 다른 장치에서 사용될 수 있다. 본 발명의 실시예들은 마스크 검사 장치, 메트롤로지 장치, 또는 웨이퍼(또는 다른 기판) 또는 마스크(또는 다른 패턴링 디바이스)와 같은 대상물을 측정 또는 처리하는 여하한 장

치의 일부를 형성할 수 있다. 이들 장치는 일반적으로 리소그래피 툴이라고 칭해질 수 있다. 이러한 리소그래피 툴은 진공 조건 또는 주위(비-진공) 조건을 사용할 수 있다.

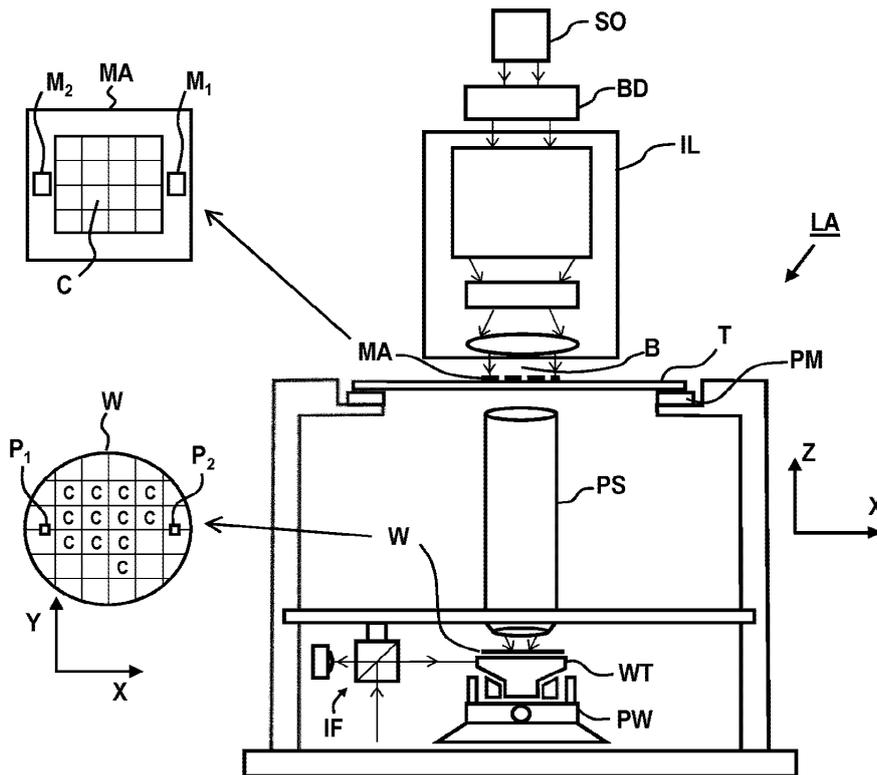
[0166] 이상, 광학 리소그래피와 관련하여 본 발명의 실시예들의 특정 사용예를 언급하였지만, 본 발명은 본 명세서가 허용한다면 광학 리소그래피로 제한되지 않고 다른 적용예들, 예를 들어 임프린트 리소그래피에 사용될 수 있음을 이해할 것이다.

[0167] 이상 본 발명의 특정 실시예들이 설명되었지만, 본 발명은 설명된 것과 다르게 실시될 수 있음을 이해할 것이다. 상기 서술내용은 예시를 위한 것이지, 제한하려는 것이 아니다. 따라서, 당업자라면 아래에 설명되는 청구항들의 범위를 벗어나지 않고 서술된 본 발명에 대한 변형예가 행해질 수도 있음을 이해할 것이다.

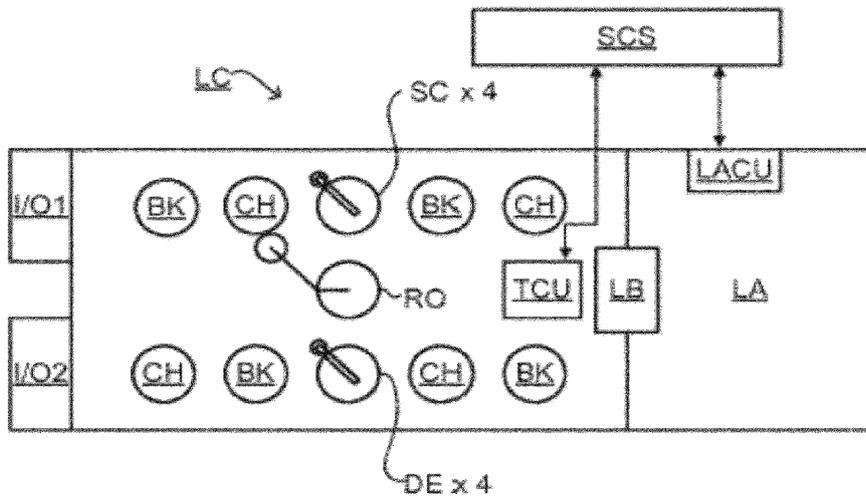
[0168] "메트롤로지 장치/툴/시스템" 또는 "검사 장치/툴/시스템"이 특히 언급되지만, 이러한 용어들은 동일하거나 유사한 타입들의 툴들, 장치들 또는 시스템들을 지칭할 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 일 실시예를 포함하는 검사 또는 메트롤로지 장치는 기관 또는 웨이퍼 상의 구조체들의 특성들을 결정하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 일 실시예를 포함하는 검사 장치 또는 메트롤로지 장치는 기관의 결함들, 또는 기관 또는 웨이퍼 상의 구조체들의 결함들을 검출하는 데 사용될 수 있다. 이러한 실시예에서, 기관 상의 구조체의 관심 특성은 구조체의 결함들, 구조체의 특정 부분의 부재, 또는 기관 또는 웨이퍼 상의 원치 않는 구조체의 존재와 관련될 수 있다.

도면

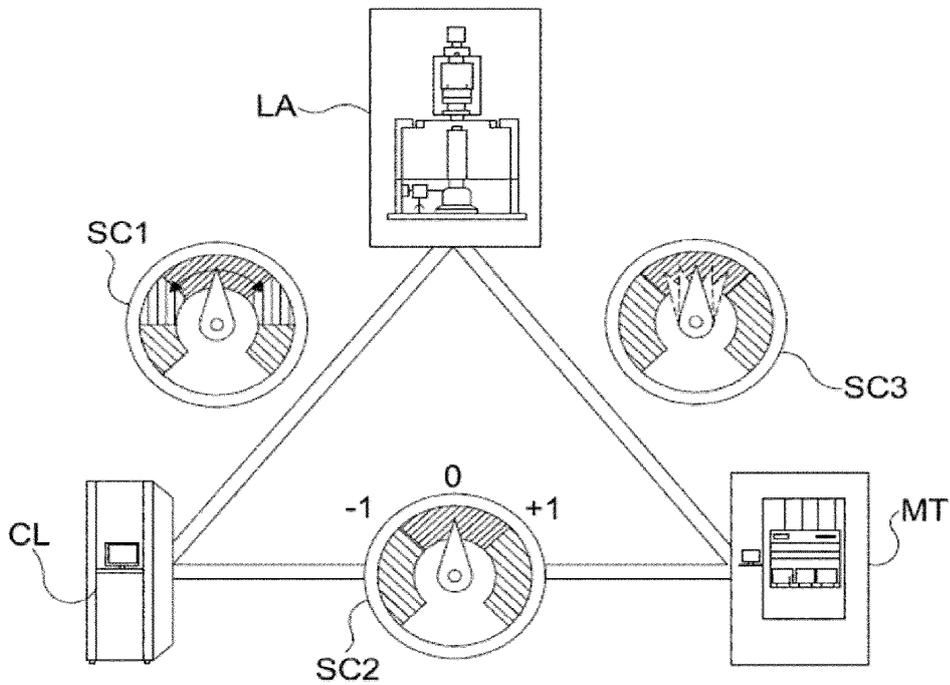
도면1



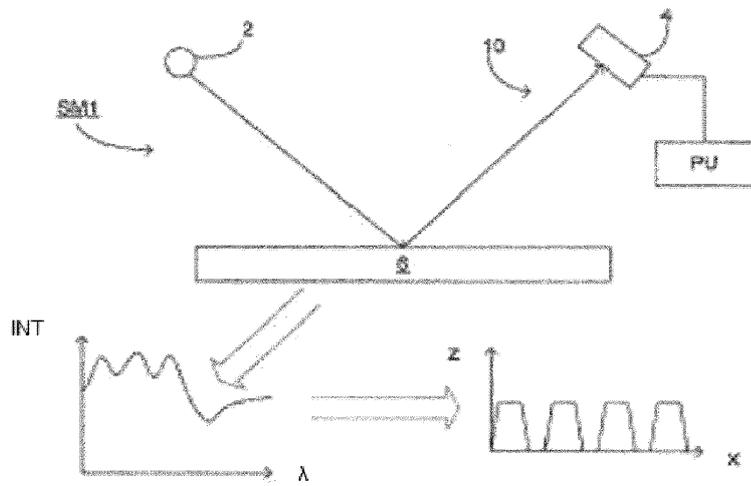
도면2



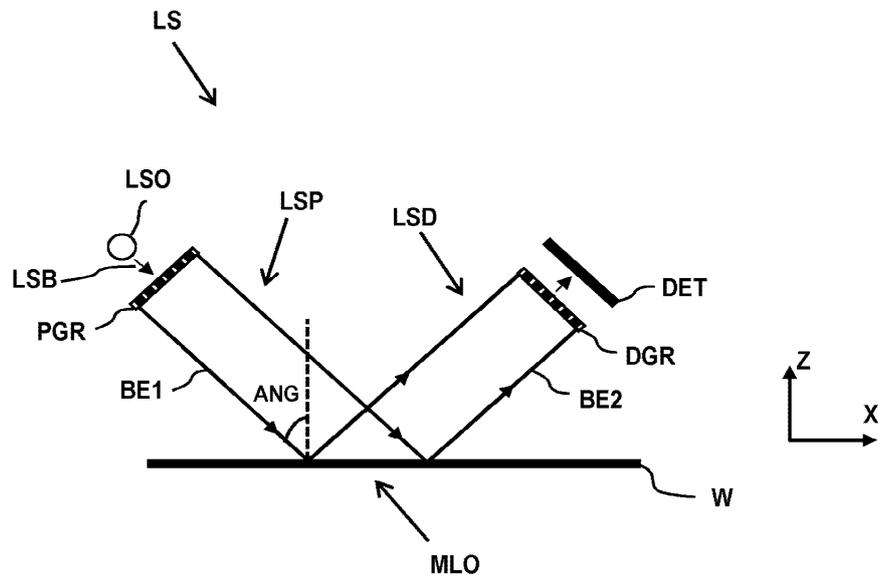
도면3



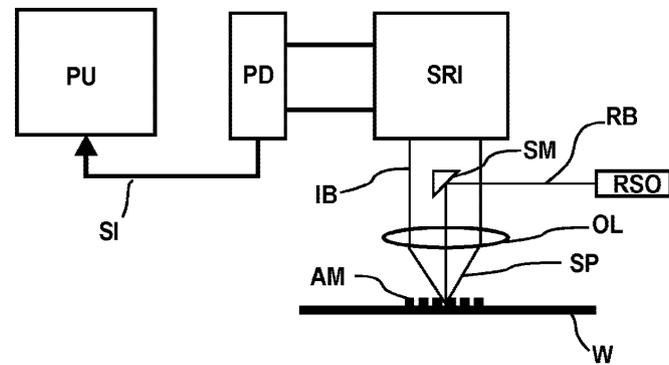
도면4



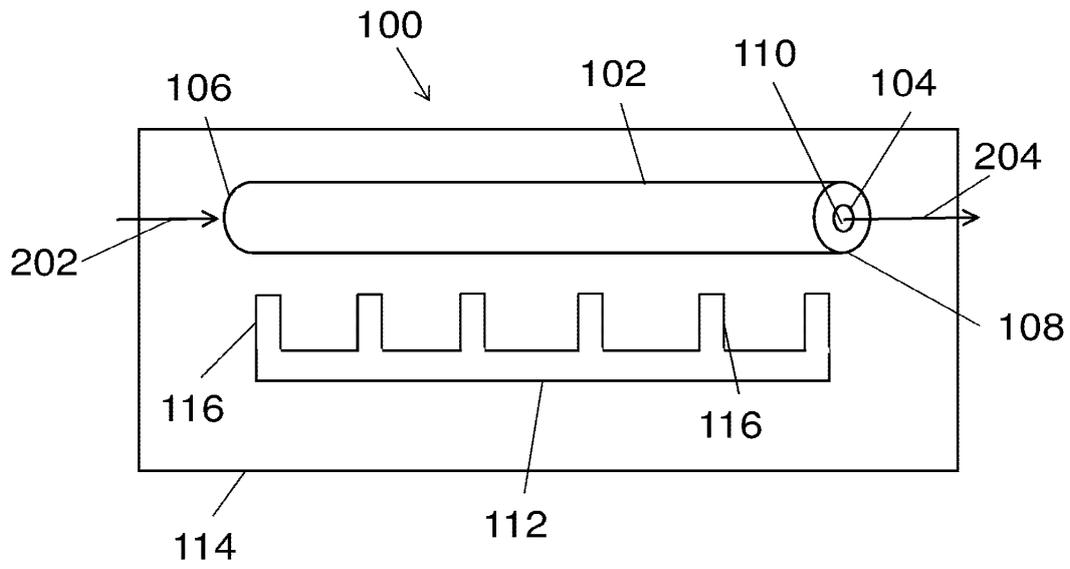
도면5



도면6



도면7



도면8

