



등록특허 10-2332770



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년11월30일  
(11) 등록번호 10-2332770  
(24) 등록일자 2021년11월25일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*H01S 3/00* (2019.01)
- (52) CPC특허분류  
*H01S 3/0057* (2013.01)  
*G02F 1/3501* (2021.01)
- (21) 출원번호 10-2019-7008342
- (22) 출원일자(국제) 2017년08월04일  
심사청구일자 2020년06월16일
- (85) 번역문제출일자 2019년03월22일
- (65) 공개번호 10-2019-0039806
- (43) 공개일자 2019년04월15일
- (86) 국제출원번호 PCT/EP2017/069855
- (87) 국제공개번호 WO 2018/036792  
국제공개일자 2018년03월01일
- (30) 우선권주장  
62/379,639 2016년08월25일 미국(US)  
15/664,176 2017년07월31일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
US20080056642 A1\*  
US20100241107 A1\*  
US20130043376 A1\*
- \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

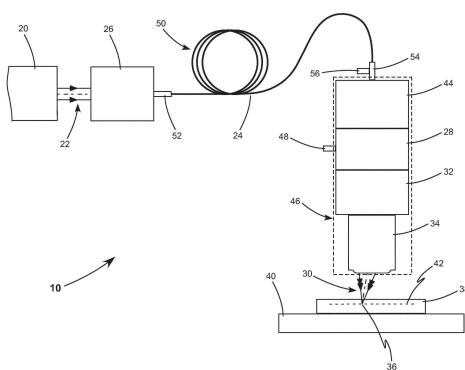
전체 청구항 수 : 총 17 항

심사관 : 홍성의

(54) 발명의 명칭 모듈형 자외선 펄스 레이저 소스

**(57) 요 약**

재료 가공을 위해 자외선(UV) 펄스 레이저 방사선을 생성하는 장치는 적외선(IR) 펄스 레이저 방사선을 제공하는 레이저 소스(20)와 주파수 변환 모듈(28)을 포함한다. 상기 주파수 변환 모듈(28) 내에 위치한 리튬 테트라보레이트( $Li_2B_4O_7$ ) 결정(72)은 비선형 고조파 생성에 의해 IR 펄스 레이저 방사선을 UV 펄스 레이저 방사선으로 변환 한다. 상기 주파수 변환 모듈(28)은 비울 수 있거나 진조한 가스를 포함할 수 있는 밀봉된 인클로저이다. 가요성 광섬유 어셈블리(24)는 레이저 소스로부터의 IR 펄스 레이저 방사선을 주파수 변환 모듈로 전송한다.

**대 표 도**

(52) CPC특허분류

*G02F 1/3505* (2021.01)

*G02F 1/353* (2021.01)

*G02F 1/3551* (2013.01)

*H01S 3/0092* (2013.01)

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

레이저 재료 가공을 위한 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치로서,

100 펨토초 내지 200 피코초의 펄스 지속 기간을 갖는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 생성하는 레이저 소스(20);

밀폐 밀봉된 인클로징된 내부 체적을 갖는 주파수 변환 모듈(28);

상기 레이저 소스(20)로부터 상기 주파수 변환 모듈(28)로 상기 펄스 레이저 방사선(22)의 상기 빔을 전송하도록 배열된 중공 코어 광섬유(24)로서, 상기 중공 코어 광섬유(24)의 상기 중공 코어는 가스를 함유하고 상기 중공 코어 광섬유(24)를 통과하는 상기 펄스 레이저 방사선을 스펙트럼적으로 넓히도록 구성된 상기 중공 코어 광섬유(24);

상기 중공 코어 광섬유(24)로부터 스펙트럼적으로 넓어진 상기 펄스 레이저 방사선을 수신하고 그를 통해 통과한 상기 펄스를 시간적으로(temporally) 압축하도록 구성된 펄스 압축 모듈(44); 및

상기 주파수 변환 모듈(28)의 상기 인클로징된 내부 체적 내에 위치한 제1 비선형 결정(72) 및 제2 비선형 결정(74);

을 포함하고,

상기 펄스 레이저 방사선(22)의 상기 빔은 열거된 순서대로 상기 중공 코어 광섬유(24), 상기 펄스 압축 모듈(44), 상기 제1 비선형 결정(72) 및 상기 제2 비선형 결정(74)을 통해 전파하고;

상기 제1 비선형 결정(72) 및 상기 제2 비선형 결정(74)은 자외선 펄스 레이저 방사선의 빔을 생성하도록 배열되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

#### 청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 펄스 압축 모듈(44)은 프리즘 쌍 또는 회절격자 쌍을 포함하고, 상기 스펙트럼적으로 넓어진 펄스 레이저 방사선은 상기 프리즘 쌍 또는 상기 회절격자 쌍을 통해 전파하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

#### 청구항 3

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 제2 비선형 결정(74)은 리튬 테트라보레이트로 제조되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

#### 청구항 4

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 중공 코어 광섬유(24)의 상기 중공 코어 내의 가스의 압력은 조절되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

#### 청구항 5

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 빔 스캐너(78) 및 초점 렌즈(34)를 더 포함하고, 상기 빔 스캐너(78)는 상기 자외선 펄스 레이저 방사선의 빔을 인터셉트 및 편향시키도록 배열되고, 상기 초점 렌즈(34)는 상기 자외선 펄스 레이저 방사선의 편향된 빔을 인터셉트하고 상기 자외선 펄스 레이저 방사선의 빔을 워크피스의 초점에 가져오도록 배열되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

#### 청구항 6

제5 항에 있어서, 상기 자외선 펄스 레이저 방사선의 빔은 밀봉된 인클로저(46)에서 상기 주파수 변환 모듈(28)과 상기 초점 렌즈(34) 사이에서 전파하는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 7**

제6 항에 있어서, 상기 밀봉된 인클로저(46)는 비워지는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 8**

제6 항에 있어서, 상기 밀봉된 인클로저(46)는 건조 가스로 퍼지되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 9**

제8 항에 있어서, 상기 건조 가스는 깨끗한 건조한 공기인 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 10**

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 자외선 펄스 레이저 방사선의 빔은 266 나노미터의 파장을 갖는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 11**

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 자외선 펄스 레이저 방사선의 빔은 244 나노미터의 파장을 갖는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 12**

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 주파수 변환 모듈(28)의 상기 인클로징된 내부 체적은 비워지는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 13**

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 주파수 변환 모듈(28)의 인클로징된 내부 체적은 건조 가스로 퍼지되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 14**

제13 항에 있어서, 상기 건조 가스는 깨끗한 건조 공기인 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 15**

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 중공 코어 광섬유(24)는 15 마이크로미터보다 큰 모드 필드 직경을 갖는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 16**

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 광섬유(24)를 나가는 상기 펄스 레이저 방사선(22)은 20 피코초보다 큰 펄스 지속 기간을 가지고, 상기 펄스 압축 모듈(44)은 상기 펄스 레이저 방사선의 상기 펄스 지속 기간을 20 피코초 미만으로 감소시키도록 배열되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 17**

제1 항 또는 제2 항에 있어서, 상기 광섬유(24)를 나가는 상기 펄스 레이저 방사선(22)은 1 피코초보다 큰 펄스 지속 기간을 가지고, 상기 펄스 압축 모듈(44)은 상기 펄스 레이저 방사선의 펄스 지속 기간을 1 피코초 미만으로 감소시키도록 배열되는 것을 특징으로 하는 자외선 펄스 레이저 방사선 생성 장치.

**청구항 18**

작제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

## 청구항 35

## 삭제

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001] (우선권)

본 출원은 2016년 8월 25일자로 출원된 미국 특허출원 제62/379,639호 및 2017년 7월 31일자로 출원된 미국 특허출원 제15/664,176호의 우선권을 주장하며, 그 전체 개시물을 본원에 참고로 인용되어 있다.

[0003] (기술 분야)

본 발명은 일반적으로 자외선(UV) 레이저 방사선의 빔을 생성하는 것에 관한 것이다. 본 발명은 특히, 예를 들어 파장이 약 380 나노미터보다 짧고 펄스 지속 시간이 약 20 피코초 미만인 UV 펄스 레이저 방사선의 빔을 생성하는 것에 관한 것이다.

## 배경기술

레이저 재료 가공(processing)은 폭 넓은 범위의 재료의 절단, 천공, 마킹 및 스크라이빙에 점점 더 많이 사용되고 있다. 전통적인 기계 가공은 표면이 거칠고 마이크로 균열과 같은 원하지 않는 결함을 생성하여, 가공된 재료를 열화 및 약화시킨다. 펄스 레이저 방사선의 포커싱된 빔을 사용하는 레이저 재료 가공은 원치 않는 결함의 형성을 최소화하면서 보다 고품질의 엣지 및 벽을 갖는 더 정확한 절단 및 구멍을 생성한다. 과학 연구 및 제조의 진보는 더 높은 가공 속도 및 향상된 정밀도를 요구하면서 재료의 증가하는 범위의 레이저 재료 가공으로 이어지고 있다.

고체 상태 이득 매체를 사용하는 고 파워 레이저 소스는 전형적으로 약 750 나노미터(nm)보다 긴 파장의 적외선 (IR) 파장을 갖는 기본 레이저 방사선을 생성한다. IR 레이저 방사선은 비선형 광학 결정에서 고조파 생성에 의해 가시광선 및 자외선(UV) 레이저 방사선으로 변환된다. 단파장 레이저 방사선은 더 작은 구멍을 천공하고, 미세한 마크를 만들고, 더 긴 파장의 방사선보다 더 미세한 피쳐를 스크라이브할 수 있다. 따라서 UV 레이저 방사선은 많은 유형의 재료를 가공하는 데 바람직하다. 그러나 UV 레이저 방사선은 광학기기, 특히 주변의 산소 및 습기에도 노출되는 광학기기를 열화시킨다. 고조파 생성 결정 및 모든 빔 성형 또는 빔 전달 광학기기는 이러한 손상에 취약하다.

특정한 레이저 소스는 약 100 펨토초(fs)보다 크고 약 20 피코초(ps) 미만의 펄스 지속 시간을 갖는 펄스와 같은 펨토초 또는 피코초 펄스 지속 기간을 갖는 펄스를 포함하는 펄스 레이저 방사선의 빔을 생성한다. 임계 강도 이상의 포커싱된 펄스 레이저 방사선은 주변 재료의 과도한 가열로 인한 원하지 않는 부수적 손상을 최소화하면서 절삭에 의해 워크피스로부터 재료를 제거한다. 대부분의 재료는 IR 기본 파장보다 UV 파장에서 더 낮은 절삭 임계 값을 갖는다. 따라서 UV 펄스 레이저 방사선을 사용하면 고속으로 더 높은 품질의 가공이 가능하다.

오늘날 다수의 광전자 장치는 복합 구조를 가지고 있다. 발광 다이오드, 광전지 및 터치 스크린은 상이한 재료의 층으로 중첩된 기판을 포함한다. 중첩 층은 도핑된 반도체 층, 금속 박막, 박막 중합체 막, 및 짧은 도전성 산화물 박막을 포함할 수 있다. 박막 층은 대개 구조 위에 증착되고, 그런 다음 재료를 제거하여 패터닝된다. UV 펄스 레이저 방사선의 포커싱된 빔은 층 재료의 절삭 임계 값 사이의 차이와 결합된 단(short)파장 레이저 방사선에 의해 제공된 공간 선택성을 이용하여, 하부 재료를 손상시키지 않고 박막을 선택적으로 제거할 수 있다.

피처는 재료를 통해 3차원으로 레이저 방사선의 포커싱된 빔을 이동시켜 상기 재료로 제작되거나 박막 층으로 패터닝된다. 선형 병진 이동(translation) 스테이지는 워크피스를 지지하고 포커싱된 빔을 통해 3차원으로 최대 제어 스캔 속도까지 워크피스를 병진이동시킨다. 최첨단 검류계(galvanometer) 작동 모터를 사용하여 초점이 맞지 않은 빔을 편향시키고 워크피스를 통해 측방향으로 접속된 빔을 병진 이동시켜 보다 높은 측면 스캔 속도에 액세스할 수 있다.

## 발명의 내용

## 해결하려는 과제

[0010]

UV 펄스들의 포커싱된 빔을 생성하고 포커싱된 빔을 워크피스에 정확하게 전달할 수 있는 레이저 재료 가공 장치가 필요하다. 레이저 재료 가공 장치는 UV 레이저 방사선에 의한 광학 손상에 내성이 있어야 한다. 바람직하게는, 펄스는 넓은 범위의 재료를 절삭하기에 충분한 에너지를 가지며, 펄스 에너지는 복합 구조물에서 박막을 선택적으로 절삭하기 위해 제어 가능하다.

## 과제의 해결 수단

[0011]

일 양태에서, 본 발명에 따른 UV 펄스 레이저 방사선 생성 장치는 펄스 레이저 방사선의 빔을 생성하는 레이저 소스를 포함한다. 상기 펄스 레이저 방사선은 약 100 펨토초와 약 200 피코초 사이의 펄스 지속 기간을 갖는다. 주파수 변환 모듈이 제공된다. 상기 주파수 변환 모듈은 밀폐 밀봉된 인클로징된 내부 체적을 가진다. 상기 레이저 소스로부터 상기 주파수 변환 모듈로 상기 펄스 레이저 방사선의 빔을 전송하도록 광 섬유가 제공되고 배열된다. 리튬 테트라보레이트(lithium tetraborate) 결정은 상기 주파수 변환 모듈의 상기 인클로징된 내부 체적 내에 위치한다. 상기 리튬 테트라보레이트 결정은 펄스 레이저 방사선의 빔을 인터셉트하고 이로부터 UV 펄스 레이저 방사선의 빔을 생성하도록 배열된다.

## 도면의 간단한 설명

[0012]

본 명세서에 통합되어 명세서의 일부를 구성하는 첨부 도면은 본 발명의 바람직한 실시 예를 개략적으로 도시하고, 상기한 일반적인 설명 및 하기에 주어진 바람직한 실시 예의 상세한 설명과 함께, 본 발명의 원리를 설명하도록 기능한다.

도 1은 본 발명에 따라, 레이저 소스, 섬유 결합 모듈, 광섬유, 주파수 변환 모듈, 빔 스캐닝 모듈, 초점 렌즈 및 워크피스를 포함하는 UV 펄스 레이저 방사선 생성 장치의 바람직한 일 실시 예를 개략적으로 도시한다.

도 2는 도 1의 UV 펄스 레이저 방사선 생성 장치의 부가적인 세부 사항을 부분적으로 단면으로 개략적으로 도시한다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013]

도면을 참조하면, 유사한 도면 부호는 유사한 참조 번호로 표시되고, 도 1은 본 발명에 따른 자외선(UV) 펄스 레이저 방사선 생성 장치의 하나의 바람직한 실시 예(10)를 개략적으로 도시한다. 장치(10)는 약 100 펨토초(fs)와 200 피코초(ps) 사이의 펄스 지속 기간을 갖는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 생성하는 레이저 소스(20)를 포함한다. 펄스 레이저 방사선의 빔(22)은 레이저 소스(20)의 기본 파장인 적외선(IR) 파장을 가진다. 예를 들어, 이터븀(Yb<sup>3+</sup>) 도핑된 이득 섬유는 약 976 나노미터(nm) 또는 약 1030nm에서의 레이저 방사선을 생성한다. 네오디뮴(Nd<sup>3+</sup>) 도핑된 이득 결정은 약 1064nm에서 레이저 방사선을 생성한다. 펄스 레이저 방사선(22)의 빔은 레이저 소스(20)에 도시되거나 통합된 개별모듈일 수 있는 섬유 커플링 모듈(26)에 의해 광섬유(24)에 결합된다.

[0014]

광섬유(24)는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 비선형 고조파 생성에 의해 UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔으로 변환시키는 주파수 변환 모듈(28)로 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 전송한다. UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔은 기본 파장의 1/4 또는 1/5인 UV 파장을 갖는다. 예시적인 기본 파장 976nm에 대해, 제4 고조파 파장은 244nm이고, 제5 고조파 파장은 195nm이다. 예시적인 기본 파장 1064nm에 대해, 제4 고조파 파장은 266nm이고 제5 고조파 파장은 213nm이다.

[0015]

주파수 변환 모듈(28)은 UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔을 편향시키는 빔 스캐닝 모듈(32)에 부착된다. 빔 스캐닝 모듈(32)은 UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔을 워크피스(38)에서의 초점 위치(36)로 포커싱하는 초점 렌즈(34)에 부착된다. 워크피스(38)는 병진 스테이지(40)에 의해 지지 및 위치된다. 초점 렌즈(34) 및 병진 스테이지(40)는 워크피스(38)에 대한 초점 위치(36)의 종 방향 변위를 제어한다. 빔 스캐닝 모듈(32) 및 병진 스테이지(40)는 초점 위치(36)의 측방향 변위를 제어한다.

[0016]

초점 렌즈(34)는 바람직하게는 "F-쎄타 대물렌즈"이다. F-쎄타 대물렌즈는 빔 스캐닝 모듈(32)에 의한 UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔의 각도 변위를 평평한 초점 평면(42)에서 초점 위치(36)의 비례적인 측 방향 변위로 변환한다. 평평한 초점 평면(42)은 초점 렌즈(34)로부터 고정된 거리에 위치된다. F-쎄타 대물렌즈는 예를 들어,

뉴저지의 뉴턴의 Thorlabs로부터 상업적으로 입수 가능하다.

[0017] 선택적 펄스 압축 모듈(44)은 광섬유(24)와 주파수 변환 모듈(28) 사이에 위치한다. 선택적 펄스 압축 모듈(44)은 광섬유(24)로부터 나오는 레이저 방사선(22)의 빔의 펄스 지속 기간이 약 20ps보다 큰 경우 장치(10)에 포함되고, 바람직하게는 펄스 지속 시간이 약 1ps보다 를 경우 포함된다. 선택적인 펄스 압축 모듈(44)은 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 약 20ps 미만, 바람직하게는 약 1ps 미만의 펄스 지속 기간으로 시간적으로 (temporally) 압축한다. 최소 액세스 가능 펄스 지속 시간은 광섬유(24)로부터 나오는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔의 스펙트럼 대역폭에 의해 제한된다. 압축된 펄스 지속 시간은 비선형 고조파 생성을 최적화하거나 레이저 재료 가공 애플리케이션의 요구를 충족시키도록 선택될 수 있다.

[0018] 선택적 펄스 압축 모듈(44), 주파수 변환 모듈(28), 빔 스캐닝 모듈(32) 및 초점 렌즈(34)는 함께 밀봉된 인클로저(46)(도면에서 점선으로 표시됨)를 형성한다. 적어도 하나의 퍼지 포트(48)는 밀봉된 인클로저(46)를 비우거나 건조 가스로 밀봉된 인클로저(46)를 퍼징하는 수단을 제공한다. 예를 들어, 밀봉된 인클로저(46)는 건조 질소 또는 깨끗한 건조 공기로 퍼징될 수 있다. 진공을 생성하거나 퍼지 가스를 공급하는 수단의 상세한 설명은 본 발명의 원리를 이해하기 위해 필수적인 것은 아니며, 따라서 여기에 제시되지 않는다.

[0019] 광섬유(24)는 입력 커넥터(52), 출력 커넥터(54), 가스 포트(56) 및 광섬유(24)를 둘러싸는 보호 도관(도시되지 않음)을 더 포함하는 광섬유 조립체(50)에서의 메인 엘리먼트이다. 광섬유(24) 및 보호 도관은 가요성이며, 이는 밀봉된 인클로저(46)가 레이저 소스(20) 및 섬유 결합 모듈(26)에 독립적으로 위치 및 배향되도록 할 수 있다. 광섬유 조립체(50)는 입력 커넥터(52)를 이용하여 섬유 결합 모듈(26)에 부착되거나 그로부터 탈착될 수 있다. 출력 커넥터(54)는 광섬유 조립체(50)를 주파수 변환 모듈(28) 또는 선택적 펄스 압축 모듈(44)에 부착한다.

[0020] 광섬유(24)는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔이 전파되는 중공 코어 및 상대적으로 큰 모드 필드 직경(MFD)을 갖는다. 광섬유(24)는 바람직하게는 "카고메(Kagome)" 구조를 갖는 광(photonics) 결정 광섬유(PCF)이다. 카고메 PCF는 클래딩 모드와 코어 모드를 위상 미스매칭하는 클래딩 구조 및 클래딩 크기를 가진다. 특히, 클래딩 구조는 기본 파장에서 횡단 공진을 갖지 않는다. 그에 의해, 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 전파하는 것은 중공 코어 내에 한정된다. 광섬유(24)의 MFD는 바람직하게는 약 15 마이크로미터( $\mu\text{m}$ )보다 크며, 가장 바람직하게는 약 40 $\mu\text{m}$ 이다. 카고메 PCF는 프랑스 리모주의 GLOphotonics SAS로부터 상업적으로 입수 가능하며, 미국 특허 제 8,306,379호에 더 기술되어있다.

[0021] 광섬유(24)의 중공 코어는 흡수로 인한 전송 손실을 최소화하도록 비워질 수 있다. 대안적으로, 중공 코어는 비선형 자기 위상 변조(SPM)에 의해 펄스 레이저 방사선(22)의 빔의 스펙트럼 확장을 야기하는 가스를 포함할 수 있다. 광섬유 조립체(50)는 밀폐 밀봉되고 가스 포트(56)를 통해 비워지거나 가스로 채워진다. 가스 포트(56)는 출력 커넥터(54)에 도시되어 있지만, 가스 포트는 본 발명의 취지와 범위를 벗어나지 않고 입력 커넥터(52) 내에 위치될 수 있다. 가스는 바람직하게는 깨끗한 건조 공기(CDA)이고 바람직하게는 약 10 바 미만의 압력을 갖는다. 중공 코어 섬유의 스펙트럼 확대량은 주로 가스 압력을 조절함으로써 제어된다.

[0022] 예를 들어, 40 $\mu\text{m}$ 의 MFD를 갖는 3.5 미터(m)의 긴 카고메 PCF는 IR 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 스펙트럼적으로 넓히도록 선택된다. 각각의 IR 펄스는 약 90 마이크로 줄( $\mu\text{J}$ )의 에너지 및 약 9ps의 지속 시간을 가진다. 카고메 PCF에는 약 2.5 바의 압력에서 CDA를 포함한다. IR 펄스는 입력 커넥터(52)로 들어가는 약 0.3nm에서 출력 커넥터(54)로부터 나오는 약 2.5nm까지 스펙트럼적으로 넓어진다. 추가적인 스펙트럼 대역폭은 선택적인 펄스 압축 모듈(44)이 IR 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 더 짧은 최소 펄스 지속 시간으로 압축하도록 할 수 있다. 예시적인 2.5 nm IR 펄스는 약 9ps에서 약 780fs로 압축될 수 있다. 스트레처를 통한 전송 효율은 약 95%이고 압축기를 통한 전송 효율은 약 75%이다.

[0023] 도 2는 도 1의 UV 펄스 레이저 방사선 생성 장치(10)의 추가적인 상세를 개략적으로 도시한다. 섬유 결합 모듈(26)은 빔 포인팅 튜너(60), 빔 감쇠기(62), 및 섬유 결합 렌즈(64)를 포함한다. 빔 포인팅 튜너(60)는 섬유 결합 렌즈(64)에 입사하는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔의 정확한 조준맞춤(boresight) 정렬을 제어한다. 빔 포인팅 튜너(60) 및 섬유 결합 렌즈(64)는 최적의 효율로 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 광섬유(24)에 결합시키도록 위치 및 배열된다. 빔 감쇠기(62)는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔의 펄스 에너지를 감소시켜서 광섬유(24) 내의 SPM을 조절하여, 출력 커넥터(54)로부터 나오는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔의 스펙트럼 대역폭을 더 제어한다.

[0024] 선택적 펄스 압축 모듈(44)은 시준 렌즈(66), 빔 감쇠기(68) 및 펄스 압축기(70)를 포함한다. 시준 렌즈(66)는

출력 커넥터(54)로부터 빔이 나온 후에 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 시준하도록 위치 및 배열된다. 빔 감쇠기(68)는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔의 펄스 에너지를 감소시켜 UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔의 펄스 에너지를 조절한다. 펄스 압축기(70)는 상술한 바와 같이 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 시간적으로 압축한다. 펄스 레이저 방사선의 빔을 시간적으로 압축하는 수단은 당 업계에 공지되어있다. 예를 들어, 펄스 레이저 방사선의 스펙트럼적으로 넓은 빔은 프리즘 쌍 또는 회절격자 쌍과 같은 분산 매체를 통해 전파하도록 배열된다. 펄스 에너지를 감쇠시키고 펄스 레이저 방사선의 빔을 시간적으로 압축하는 수단에 대한 상세한 설명은 본 발명의 원리를 이해하기 위해 필수적이지 않으며, 따라서 여기에 제시되지 않는다. 선택적인 펄스 압축 모듈(44)이 없는 경우, 본 발명의 취지 및 범위를 벗어나지 않으면서, 시준 렌즈(66) 및 빔 감쇠기(68)가 주파수 변환 모듈(28)에 포함될 수 있다.

[0025] 주파수 변환 모듈(28)은 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔으로 변환하기 위한 비선형 결정(72) 및 비선형 결정(74)을 포함한다. 제4 또는 제5 고조파 파장의 비선형 고조파 생성은 일반적으로 2개 또는 3개의 결정이 필요하다. 복수의 잠재적인 변환 조합이 이용 가능하다. 예를 들어, 일 실시 예에서, 비선형 결정(72)은 기본 파장을 제2 고조파 파장으로 변환하고 비선형 결정(74)은 제2 고조파 파장을 제4 고조파 파장으로 변환한다. 또 다른 조합에서, 비선형 결정(72)은 기본 파장을 제3 고조파 파장으로 변환하고 비선형 결정(74)은 기본 파장 및 제3 고조파 파장을 제4 고조파 파장으로 변환한다.

[0026] 비선형 결정(72)에 적합한 재료는 리튬 트리보레이트( $\text{LiB}_3\text{O}_5$ ) 또는 베타 바륨 보레이트( $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ )를 포함한다. 비선형 결정(74)은 바람직하게는 리튬 테트라보레이트( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )로 제조된다. 각각의 비선형 결정은 바람직하게는 펄스 레이저 방사선(22)의 빔의 허리에 위치한다. 비선형 고조파 생성의 효율은 펄스 레이저 방사선(22)의 빔을 더 작은 허리 직경으로 포커싱함으로써 개선되어, 비선형 결정 내에 펄스 레이저 방사선의 빔(22)의 강도를 증가시킨다.

[0027] 예시적인 변환 조합 및 상기 예시적인 펄스 지속 기간에 대해, 레이저 소스(20)는 바람직하게는 적어도 50W의 기본 파워를 생성하고, 비선형 결정(72)은 바람직하게는 적어도 30W의 제2 고조파 파워를 생성하고, 비선형 결정(74)은 바람직하게는 적어도 5W의 제4 고조파 파워를 생성한다. 레이저 소스(20)는 가장 바람직하게는 적어도 80W의 기본 파장 파워를 생성하고, 비선형 결정(72)은 가장 바람직하게는 적어도 50W의 제2 고조파 파장 파워를 생성하고, 비선형 결정(74)은 가장 바람직하게는 적어도 10W의 제4 고조파 파워를 생성한다.

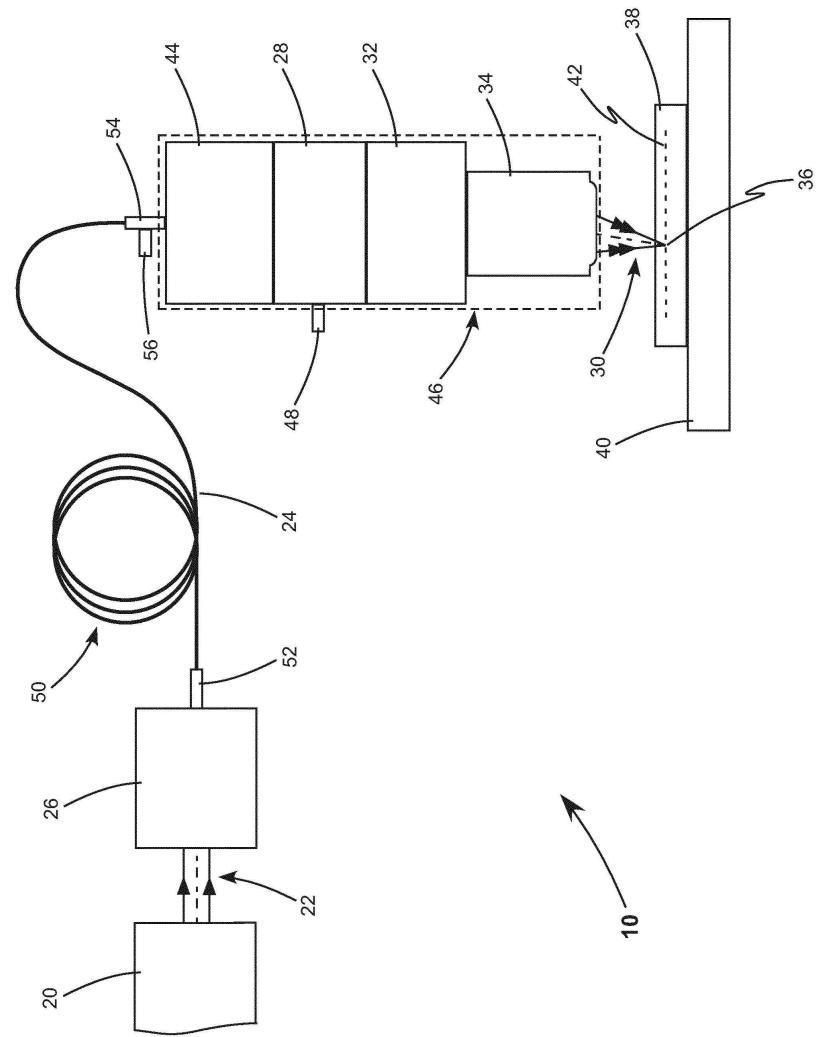
[0028] 빔 스캐닝 모듈(32)은 빔 확장기(76) 및 빔 스캐너(78)를 포함한다. 빔 확장기(76)는 빔 스캐너(78) 및 초점 렌즈(34)에 입사하는 UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔의 직경을 제어한다. UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔의 직경은 일반적으로 레이저 재료 가공 애플리케이션의 초점 요건에 따라 선택된다. 빔 스캐너(78)는 바람직하게는 검류계 작동 미러를 이용하여 UV 펄스 레이저 방사선(30)의 빔을 편향시킨다. 검류계 스캐너는 예를 들어 독일의 푸크하임의 Scanlab AG로부터 상업적으로 입수 가능하다.

[0029] 주파수 변환 모듈(28)에 위치되고 모든 모듈이 유체 연결되는 하나의 공통 퍼지 포트(48)를 갖는 밀봉된 인클로저(46)가 도 1 및 도 2에 도시된다. 퍼지 포트는 밀봉된 인클로저(46)의 임의의 모듈들에 위치될 수 있다. 대안적으로, 밀봉된 인클로저(46)를 포함하는 모듈들 중 임의의 하나는 본 발명의 취지 및 범위를 벗어나지 않고 개별적으로 인클로징되고 전용 퍼지 포트를 가질 수 있다. 모듈을 둘러싸기 위해, 레이저 방사선의 빔을 모듈 안팎으로 전송하는 출입구 창이 포함된다. 개별적으로 인클로징된 모듈을 갖는 장치가 개별 모듈이 대체되는 경우, 서비스 중 오염을 최소화하기 위해 바람직하다.

[0030] 본 발명은 바람직한 실시 예 및 다른 실시 예와 관련하여 위에서 설명되었다. 그러나, 본 발명은 여기에 기술되고 묘사된 실시 예들에 한정되지 않는다. 오히려, 본 발명은 여기에 첨부된 청구 범위에 의해서만 제한된다.

## 도면

## 도면1



도면2

