



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0001878
(43) 공개일자 2019년01월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01S 3/00 (2006.01) B23K 26/062 (2014.01)
G02B 19/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01S 3/005 (2013.01)
B23K 26/062 (2015.10)
(21) 출원번호 10-2017-0082085
(22) 출원일자 2017년06월28일
심사청구일자 2017년06월28일

(71) 출원인
광주과학기술원
광주광역시 북구 첨단과기로 123 (오룡동)
(72) 발명자
정창수
광주광역시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과
학기술원 고등광기술연구소
노영철
광주광역시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과
학기술원 고등광기술연구소
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김기문

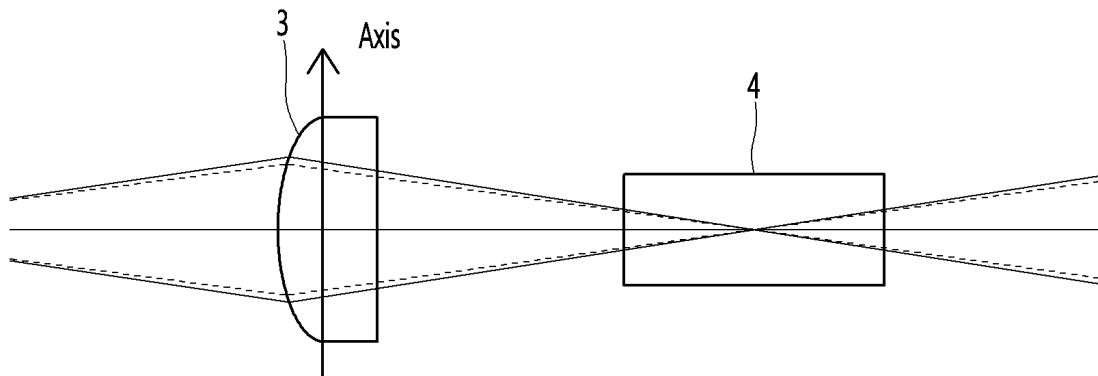
전체 청구항 수 : 총 2 항

(54) 발명의 명칭 레이저 파장변환 장치

(57) 요약

레이저 파장 변환 장치가 개시된다. 본 발명의 일 실시 예에 따른 레이저 파장 변환 장치는 입력되는 적외선(IR) 레이저 빔을 집광시키는 적외선 집광 렌즈, 상기 집광렌즈를 통하여 집광된 상기 적외선 레이저 빔 중 일부를 녹색 빔으로 파장 변환하고, 파장 변환된 녹색 빔과 변환되지 않은 적외선 빔을 출력하는 2차 조화파 발생 장치, 상기 2차 조화파 발생 장치로부터 출력된 적외선 레이저 빔과 녹색 레이저 빔을 색수차 없이 집광시키는 복굴절 물질로 제작된 적외선-녹색광 집광렌즈 및 상기 적외선-녹색광 집광렌즈를 통하여 집광된 상기 적외선 레이저 빔과 상기 녹색 레이저 빔을 결합하여 자외선 레이저 빔을 제공하는 합 주파수 발생 장치가 포함된다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류
G02B 19/0047 (2013.01)

(72) 발명자
신우진
광주광역시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과학기술원 고등광기술연구소

유봉안
광주광역시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과학기술원 고등광기술연구소

이영락

광주광역시 북구 첨단과기로 123(오룡동) 광주과학기술원 고등광기술연구소

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415129564
부처명	산업통상자원부
연구관리전문기관	한국산업기술평가관리원
연구사업명	제조기반산업원천기술개발
연구과제명	고출력 고품질 DPSS UV 레이저 발진기 기술 개발
기 여 율	1/1
주관기관	광주과학기술원
연구기간	2013.06.01 ~ 2014.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

입력되는 적외선(IR) 레이저 빔을 집광시키는 적외선 집광 렌즈;

상기 집광렌즈를 통하여 집광된 상기 적외선 레이저 빔 중 일부를 녹색 빔으로 파장 변환하고, 파장 변환된 녹색 빔과 변환되지 않은 적외선 빔을 출력하는 2차 조화파 발생 장치;

상기 2차 조화파 발생 장치로부터 출력된 적외선 레이저 빔과 녹색 레이저 빔을 색수차 없이 집광시키는 복굴절 물질로 제작된 적외선-녹색광 집광렌즈;

및 상기 적외선-녹색광 집광렌즈를 통하여 집광된 상기 적외선 레이저 빔과 상기 녹색 레이저 빔을 결합하여 자외선 레이저 빔을 제공하는 합 주파수 발생 장치가 포함되고,

상기 적외선-녹색광 집광렌즈의 재질은 상기 2차 조화파 발생 장치를 구성하는 물질과 같은 레이저 파장변환 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 2차 조화파 발생 장치와 상기 적외선-녹색광 집광렌즈가 결합되어 상기 2차 조화파 발생 장치가 볼록한 출력면을 갖는 레이저 파장변환 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 레이저 파장변환 장치에 관한 것이다. 더 상세하게는, 레이저를 파장변환하여 정밀가공에 사용할 수 있도록 하는 레이저 파장변환 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 정밀 고속가공을 수행하는 방법으로서 자외선 레이저 가공방법이 알려져 있다. 상기 자외선 레이저 광원을 얻는 방법으로서, 적외선 레이저 빔을 파장 변환하는 방법이 사용될 수 있다.

[0003] 적외선 레이저 광원을 자외선 레이저 광원으로 변환하는 방법은 이하와 같다. 먼저, 적외선 레이저 빔을 2차 조화파 발생장치(Second Harmonic Generator : SHG)를 통하여 적외선 레이저 빔의 일부를 녹색 레이저 빔으로 파장변환시킨다. 상기 2차 조화파 발생장치로는 비선형 광학물질이 사용될 수 있다. 예를 들어, 리튬 트리보레이트(lithium triborate : LBO)가 사용될 수 있다. 2차 조화파 발생장치에서 발생하는 녹색 레이저 빔과 남아있는 적외선 레이저 빔을 합 주파수 발생장치(Sum Frequency Generator : SFG)를 통하여 결합시켜서 자외선 레이저 빔을 만들어 낸다. 상기 합 주파수 발생장치로는 비선형 광학물질이 사용될 수 있다. 예를 들어, 리튬 트리보레이트(lithium triborate : LBO)가 사용될 수 있다. 상기 2차 조화파 발생장치에 사용되는 리튬 트리보레이트와 합 주파수 발생장치에 사용되는 리튬 트리보레이트는 결정 축 방향이 완전히 다르고 일반적으로 작동 온도도 다르다.

[0004] 한편, 정밀 고속가공을 수행하기 위해서는 고반복률/고출력/고품질의 자외선 레이저 광원이 요구된다. 그런데, 적외선 레이저 빔을 파장변환하여 자외선 레이저 빔을 만들어 낼 때에는, 적외선 레이저 빔의 고반복율 특성 때문에 펄스 에너지와 첨두출력(peak power)이 낮기 때문에, 파장변환효율을 높이기 위하여 레이저 빔을 최대한 작게 집광하여 빔의 크기를 축소시키는 것이 바람직하다.

[0005] 그러나, 레이저 빔의 크기가 축소되면, 집광렌즈의 색수차 문제가 심각해진다. 적외선 빔과 녹색 빔, 두 빔을 자외선 발생 물질로 집광할 때, 집광 렌즈의 색 수차로 말미암아 보통은 두 빔의 초점이 일치하지 않게 된다. 이렇게 되면 빔들의 상호작용이 약해져서 자외선으로의 변환 효율이 낮아질 수 있고, 이러한 현상은 집광 빔이

작을수록 더 심해진다.

[0006] 이러한 문제를 개선하는 종래 방법으로서, 렌즈를 사용하지 않고 오목거울을 사용하는 방법이 개시되어 있다(비특허문헌참조). 그러나, 구면거울인 경우에는 비점수차(astigmatism)가 문제가 되어 초점이 일치하지 않는 문제가 발생하고, 광 정렬이 복잡해지는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 레이저 파장변환 장치: 대한민국 제 10-1573748호 (2015)

비특허문헌

[0008] (비특허문헌 0001) High efficiency generation of 355nm radiation by extra-cavity frequency conversion: Optics Communications 283 (2010) 3497-3499

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기한 배경에서 제안되는 것으로서, 색수차로 말미암아 자외선 레이저 빔의 변환효율과 빔 품질이 저하되는 문제를 개선할 수 있는 레이저 파장변환 장치를 제안한다. 이로써, 자외선 레이저 빔으로의 파장변환 효율을 향상시킬 수 있고, 고 품질의 자외선 레이저 빔을 얻을 수 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 실시 예에 따른 레이저 파장 변환 장치는 입력되는 적외선(IR) 레이저 빔을 집광시키는 적외선 집광 렌즈, 상기 적외선 집광렌즈를 통하여 집광된 상기 적외선 레이저 빔 중 일부를 녹색 빔으로 파장 변환하고, 파장 변환된 녹색 빔과 변환되지 않은 적외선 빔을 출력하는 2차 조화파 발생 장치, 상기 2차 조화파 발생 장치로부터 출력된 적외선 레이저 빔과 녹색 레이저 빔을 색수차 없이 집광시키는 복굴절 물질로 제작된 적외선-녹색광 집광렌즈 및 상기 적외선-녹색광 집광렌즈를 통하여 집광된 상기 적외선 레이저 빔과 상기 녹색 레이저 빔을 결합하여 자외선 레이저 빔을 제공하는 합 주파수 발생 장치가 포함된다.

발명의 효과

[0011] 본 발명에 따르면 색수차로 말미암아 자외선 레이저 빔의 변환효율과 빔 품질이 저하되는 문제를 개선할 수 있다. 이로써, 정밀 고속가공을 위해서 요구되는 고출력 고품질 자외선 레이저 빔을 제공할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 적외선 집광 렌즈, 2차 조화파 발생 장치, 적외선-녹색광 집광렌즈 및 합 주파수 발생 장치로 구성되는 레이저 파장 변환 장치를 나타내는 도면.

도 2는 일반적인 복굴절 렌즈를 이용한 적외선 및 녹색 빔 집광을 나타내는 도면.

도 3은 수직 결정축 복굴절 렌즈를 이용한 적외선 및 녹색 빔 집광을 나타내는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 구체적인 실시예를 상세하게 설명한다. 다만, 본 발명의 사상은 이하에 제시되는 실시예에 제한되지 아니하며, 본 발명을 이해하는 당업자는 동일한 사상의 범위 내에 포함되는 다른 실시예를 구성요소의 부가, 변경, 삭제, 및 추가 등에 의해서 용이하게 제안할 수 있을 것이다. 그러나 그 또한 본 발명의 사상에 포함된다고 할 것이다. 도면은 과장적이고, 간단하게 표시되어 있을 수 있고, 설명에 직접 필요 없는 부품은 삭제되어 표시될 수 있다.

[0014] 도 1은 적외선 레이저 빔을 자외선 레이저 빔으로 파장 변환하는 레이저 파장 변환 장치를 나타내는 도면이다. 도 1의 레이저 파장 변환 장치는 적외선 레이저 빔을 집광시키는 적외선 집광 렌즈(1), 상기 적외선 집광렌즈를 통하여 집광된 상기 적외선 레이저 빔 중 일부를 녹색 빔으로 파장 변환하고, 파장 변환된 녹색 빔과 변환되지 않은 적외선 빔을 출력하는 2차 조화파 발생 장치(2), 상기 2차 조화파 발생 장치로부터 출력된 적외선 레이저 빔과 녹색 레이저 빔을 집광시키는 적외선-녹색광 집광렌즈(3) 및 상기 적외선-녹색광 집광렌즈를 통하여 집광된 상기 적외선 레이저 빔과 상기 녹색 레이저 빔을 결합하여 자외선 레이저 빔을 제공하는 합 주파수 발생 장치(4)로 구성된다.

[0015] 상기 2차 조화파 발생장치(2)로 비선형 광학 물질이 사용될 수 있다. 예를 들어, type I 편광 형태와 논-크리티컬 위상 정합(Non-critical phase matching, NCPM) 형태를 갖는 리튬 트리보레이트(lithium triborate : LBO)가 사용될 수 있다. 여기서 type I 편광 형태는 2차 조화파 발생이나 합주파수 발생과 같은 비선형 광학 현상에서 상호작용하는 두 하위 주파수 빔의 편광 방향이 같은 경우를 말하고, NCPM이란 비선형 광학 현상에서 위크오프 현상이 없는 위상 정합을 말한다. 위크오프 현상이 없기 때문에 파장변환 효율이 높고 파장변환으로 생성되는 빔의 품질이 우수하다는 장점이 있다. 1064 nm 파장의 적외선 빔을 532 nm 파장의 녹색 빔으로 파장변환하는 2차 조화파 발생 용 type I 리튬 트리보레이트는 약 150°C에서 NCPM이 가능하다.

[0016] 상기 합 주파수 발생 장치(4)로 비선형 광학 물질이 사용될 수 있다. 예를 들어, 적외선 빔과 녹색 빔의 편광 방향이 서로 수직한 type II 편광 형태와 크리티컬 위상 정합(Critical phase matching, CPM) 형태를 갖는 리튬 트리보레이트(lithium triborate : LBO)가 사용될 수 있다. 여기서 type II 편광 형태는 비선형 광학 현상에서 상호작용하는 두 하위 주파수 빔의 편광 방향이 서로 수직한 경우를 말하고, CPM이란 비선형 광학 현상에서 위크오프 현상이 존재하는 위상 정합을 말한다.

[0017] 상기 적외선 집광 렌즈(1)와 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)는 각각 상기 2차 조화파 발생장치(2)와 상기 합 주파수 발생 장치(4)의 파장변환 효율을 높이기 위해 각각의 입력 빔을 집광시키는 기능을 한다. 상기 적외선 집광 렌즈(1)와 달리 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)는 파장이 다른 두 빔을 집광시키기 때문에 두 빔의 초점 거리가 불일치하는 색수차 현상이 존재할 수 있다. 이러한 색수차 현상은 파장변환 효율과 생성되는 빔의 품질을 저하시킬 수 있다.

[0018] 색수차는, 파장이 다른 적외선 레이저 빔과 녹색 레이저 빔에 대하여 집광렌즈의 굴절률이 다르기 때문에 생긴다. 그러나, 두 빔의 편광 방향이 서로 수직하면, 적당한 복굴절 물질을 선택하여 색수차 없는 렌즈를 만들 수 있다. 이를 위하여 실시예에서는 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)로 복굴절 물질을 사용할 수 있다. 복굴절 물질 중에서 이상 굴절률(extraordinary refractive index, n_e)이 정상 굴절률(ordinary refractive index, n_o)보다 큰 양성 복굴절 물질로 집광렌즈를 제작하는 경우에는, 단파장인 녹색 레이저 빔이 정상파가 되고 장파장인 적외선 레이저 빔이 이상파가 되도록 해야, 두 빔의 굴절률을 같게 할 수 있다. 거꾸로, 이상 굴절률이 정상 굴절률보다 작은 음성 복굴절 물질로 집광렌즈를 제작하는 경우에는, 단파장인 녹색 레이저 빔이 이상파가 되고 장파장인 적외선 레이저 빔이 정상파가 되도록 해야, 두 빔의 굴절률을 같게 할 수 있다. 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)의 복굴절 물질로는 불화 마그네슘(Magnesium fluoride : MgF_2)을 사용할 수 있다. 실시예에서 사용하는 불화 마그네슘(Magnesium fluoride : MgF_2) 결정은 양성 복굴절 물질로서 1064nm 및 532nm의 파장에 대한 굴절률이 표 1과 같다. 표 1에서 n_o 는 정상 굴절률, n_e 는 이상 굴절률을 의미한다.

표 1

파장	n_o	n_e
1064nm	1.373193	1.384779
532nm	1.378925	1.390790

[0020] 우선, 상기 불화 마그네슘은 양성 복굴절 물질이므로, 녹색 빔이 정상파가 되고 적외선 빔이 이상파가 되어야 한다. 녹색 빔은 정상파이므로 정상 굴절률 값인 $n_o(532 \text{ nm}) (=1.378925)$ 을 굴절률로 갖는다. 적외선 빔은 이상파이므로 이상파 굴절률인 $n_e(\theta, 1064 \text{ nm})$ 을 굴절률로 갖는데, 이상파 굴절률 $n_e(\theta)$ 는 수학적 1과 같이 정상 굴절률, 이상 굴절률, 파수 벡터 각도로 표현된다.

수학식 1

$$\frac{1}{n_e^2(\theta)} = \frac{\cos^2\theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2\theta}{n_e^2}$$

[0021]

[0022]

여기서, n_o 와 n_e 는 정상 굴절률과 이상 굴절률이고, θ 는 결정 광축에 대한 파수 벡터의 각도이다. 수학식 1로부터, 파수 벡터가 90° 인 이상파의 굴절률은 이상 굴절률과 같음을, 즉 ' $n_e(90^\circ) = n_e$ '임을 알 수 있다.

[0023]

수학식 1과 표 1을 참고하면, 적외선 빔의 실제 굴절률은 녹색 빔의 굴절률과 같기 위해서는, 즉 ' $n_e(\theta, 1064 \text{ nm}) = n_o(532 \text{ nm})$ '의 관계가 성립하기 위해서는, 파수 벡터 방향, θ 가 44.9° 이어야 함을 알 수 있다. 이로부터, 불화 마그네슘(MgF_2) 결정으로 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)를 가공하는 경우에는 두께 방향이 결정 광축으로부터 44.9° 인 방향이 되도록 가공해야 함을 알 수 있다.

[0024]

그러나 정상파와 달리 이상파는 복굴절 물질 내부에서 워크오프 현상을 겪기 때문에, 복굴절 물질을 통과하면서 정상파와 이상파는 점점 분리된다.

[0025]

도 2는 일반적인 복굴절 렌즈를 이용한 적외선 및 녹색 빔 집광을 나타내는 도면이다. 워크오프 현상 때문에 일반적인 복굴절 물질로 제작된 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)를 통과한 뒤에 두 빔은 진행 방향에 수직한 방향으로 서로 분리된다. 이러한 두 빔의 진행 수직 방향 빔 분리 현상 또한 파장변환 효율과 생성되는 빔의 품질을 저하시킨다. 상기 진행 수직 방향 빔 분리 문제를 감소시키는 방법으로 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)의 두께를 충분히 짧게 하여 두 빔의 분리 간격을 빔 지름 보다 훨씬 작게 하는 방법을 생각할 수 있다. 또 문제를 완전히 해결하는 방법으로 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)에서 존재하는 워크오프를 보상하는 소자를 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3) 바로 뒤에 두는 방법을 생각할 수 있다. 상기 두 방법은 "레이저 파장변환 장치: 대한민국 제 10-1573748호 (2015)"의 발명에 자세히 기술되어 있다.

[0026]

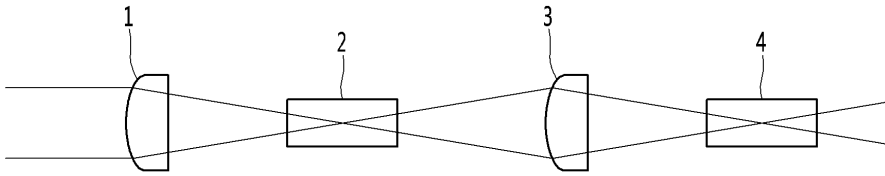
도 3은 수직 결정축 복굴절 렌즈를 이용한 적외선 및 녹색 빔 집광을 나타내는 도면이다. 상기 진행 수직 방향 빔 분리 현상의 원인은 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)에서 존재하는 이상파의 워크오프 현상인데, 워크오프는 빔이 결정 광축에 수직하게 진행할 때는 사라지는 현상이다. 그래서 결정 광축에 수직한 방향으로 진행하며 편광 방향이 서로 수직한 적외선 빔과 녹색 빔에 대한 굴절률이 같은 복굴절 물질이 존재한다면, 이 복굴절 물질로 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)를 제작하여 색수차 현상과 진행 수직 방향 빔 분리 현상을 모두 방지할 수 있다. 수학적으로 표현하여 ' $n_o(1064 \text{ nm}) = n_e(532 \text{ nm})$ '의 관계나 ' $n_e(1064 \text{ nm}) = n_o(532 \text{ nm})$ '의 관계가 성립하는 복굴절 물질을 이용하면, 색수차 현상과 진행 수직 방향 빔 분리 현상이 없는 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)를 제작할 수 있다. ' $n_o(1064 \text{ nm}) = n_e(532 \text{ nm})$ '의 관계는 물질 내부에서 적외선 빔이 정상파이고 녹색 빔이 이상파인 경우에 해당되고, ' $n_e(1064 \text{ nm}) = n_o(532 \text{ nm})$ '의 관계는 반대로 물질 내부에서 적외선 빔이 이상파이고 녹색 빔이 정상파인 경우에 해당된다.

[0027]

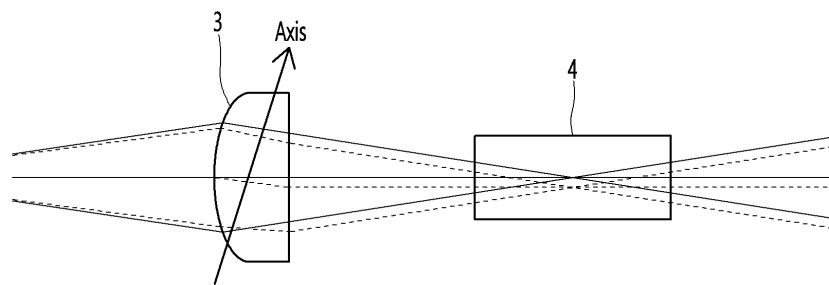
상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)의 제작 물질로 상기 2차 조화파 발생 장치에 사용하는 type I 편광 형태와 NCPM 형태를 갖는 리튬 트리보레이트(lithium triborate : LBO)가 사용될 수 있다. 상기 type I, NCPM 리튬 트리보레이트는 NCPM 온도인 약 $150\pm 5^\circ\text{C}$ 에서 ' $n_o(1064 \text{ nm}) = n_e(532 \text{ nm})$ '의 관계가 성립한다. 상기 2차 조화파 발생 장치(2)와 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)에 모두 type I, NCPM 리튬 트리보레이트를 사용하는 경우, 상기 조화파 발생 장치(2)의 출력면을 평면이 아닌 볼록면으로 가공하는 방식으로 상기 2차 조화파 발생 장치(2)와 상기 적외선-녹색광 집광렌즈(3)를 결합할 수 있다.

도면

도면1



도면2



도면3

