

(52) CPC특허분류

B23K 26/04 (2013.01)

B23K 26/073 (2013.01)

B23K 26/0876 (2013.01)

(72) 발명자

최원석

대전광역시 유성구 신성로84번길 33-9 (신성동) 정
자빌라 204호

김훈영

대전광역시 유성구 신성로61번길 50 (신성동) 201
호

전진우

대전광역시 유성구 지족북로 60, 205-1304

(56) 선행기술조사문헌

KR1020080113876 A*

KR1020150121334 A*

KR1020130100491 A*

KR1020130072713 A*

JP2004290985 A*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

레이저 가공을 수행하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)에 있어서,

레이저 광원에서 출사되어 가공 대상물(500)에 조사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되며, 렌즈를 포함하여 이루어져 빔의 발산각을 조절하여 상기 가공 대상물(500) 상에 형성되는 가공점을 z축 방향으로 이동시키는 발산각 조절부(110);

상기 발산각 조절부(110)에서 출사된 빔을 통과시키면서 빔 프로파일을 플랫폼 형태로 전환시키는 메인 슬릿부(120);

적어도 하나의 스캐닝미러를 포함하여 이루어져 상기 메인 슬릿부(120)에서 출사된 빔의 광경로를 조절하여 상기 가공 대상물(500) 상에 형성되는 가공점을 x, y 2축 방향으로 이동시키는 스캐너(130);

상기 스캐너(130)에서 출사된 빔의 광경로 상에 순차적으로 이격 배치되는 제1렌즈(141) 및 제2렌즈(142)를 포함하여 이루어져 빔의 경로 및 발산각을 유지하면서 결상 위치를 옮겨주는 릴레이 렌즈(140);

상기 릴레이 렌즈(140)에서 출사된 빔을 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위로 집광하는 대물렌즈(objective lens, 150);

상기 스캐너(130) 및 상기 대물렌즈(150) 사이의 광경로 상에 배치되어, 상기 대물렌즈(150)의 손상을 방지하도록, 상기 스캐너(130)의 움직임에 의해 빔이 광축에 대해 기울어질 경우 상기 대물렌즈(150)로 입사되는 빔의 각도가 기설정된 각도 이상인 부분을 물리적으로 막아 제거함으로써, 상기 대물렌즈(150)로 입사되는 빔의 각도를 제한하는 서브 슬릿부(160);

를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 메인 슬릿부(120)는,

레이저 광원으로부터 진행되어 온 레이저 빔의 일부만을 통과시키는 구멍을 구비하며, 상기 구멍의 크기 및 형상이 변경 가능하도록 형성되는 메인 슬릿(121),

상기 메인 슬릿(121)을 통과하여 온 레이저 빔의 광경로 상에 배치되어 레이저 빔이 상기 가공 대상물(500) 상의 가공 부위에서 디포커싱(defocusing)되도록 레이저 빔을 집속하는 튜브 렌즈(tube lens, 122)

를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 3

제 2항에 있어서, 상기 메인 슬릿부(120)는,

상기 메인 슬릿(121)을 통과하여 온 레이저 빔의 광경로 상에 상기 튜브 렌즈(122)를 배치시킴으로써 빔 프로파일을 플랫폼 형태로 전환하는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 4

제 2항에 있어서, 상기 메인 슬릿(121)은,

상기 구멍의 크기가 가변되는 조리개 형태,

다수 개의 서로 다른 크기 및 형상의 구멍들이 교체 배치되는 교체식 형태,
 상기 조리개 형태 및 상기 교체식 형태가 결합된 형태
 중 선택되는 어느 하나의 형태로 이루어지는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 5

제 1항에 있어서, 상기 발산각 조절부(110)는,
 렌즈(111A),
 상기 렌즈(111A)에 구비되는 진동자(112A)
 를 포함하여 이루어져,
 상기 진동자(112A)가 상기 렌즈(111A)에 진동을 가하여 굴절률을 조절함으로써 빔의 발산각을 조절하는 것을 특
 징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 6

제 1항에 있어서, 상기 발산각 조절부(110)는,
 광경로 상에 고정적으로 배치되는 제1콜리메이터 렌즈(111B),
 상기 광경로 상에 상기 제1콜리메이터 렌즈(111B)와 이격되며 상기 광경로에 나란한 방향으로 이동 가능하게 배
 치되는 제2콜리메이터 렌즈(112B),
 갈바노모터(113B),
 상기 갈바노모터(113B)의 회전 운동을 선형 운동으로 전환하여 상기 제2콜리메이터 렌즈(112B)로 전달하는 운동
 변환부(114B)
 를 포함하여 이루어져,
 상기 제1콜리메이터 렌즈(111B) 및 상기 제2콜리메이터 렌즈(112B) 간 거리를 조절함으로써 빔의 발산각을 조절
 하는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 7

제 1항에 있어서, 상기 발산각 조절부(110)는,
 광경로 상에 고정적으로 배치되는 오목렌즈(111C),
 상기 광경로 상에 상기 오목렌즈(111C)와 이격되며 상기 광경로에 나란한 방향으로 이동 가능하게 배치되는 볼
 륙렌즈(112C),
 압전소자를 이용하여 상기 볼록렌즈(112C)를 이동시키는 PZT 스테이지(113C)
 를 포함하여 이루어져,
 상기 오목렌즈(111C) 및 상기 볼록렌즈(112C) 간 거리를 조절함으로써 빔의 발산각을 조절하는 것을 특징으로
 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 8

제 1항에 있어서, 상기 릴레이 렌즈(140)는,
 상기 제1렌즈(141)의 일측 초점거리, 상기 제1렌즈(141)의 타측 초점거리, 상기 제2렌즈(142)의 일측 초점거리,

상기 제2렌즈(142)의 타측 초점거리가 모두 동일하게 형성되며,
 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 간 이격거리는 상기 초점거리의 2배로 형성되는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 9

제 1항에 있어서, 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는,
 상기 스캐너(130)가 1축 스캐닝미러 2개로 이루어지되,
 1개의 상기 릴레이 렌즈(140)가 상기 스캐너(130)에서 출사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되거나,
 2개의 상기 릴레이 렌즈(140)가 구비되되, 제1릴레이 렌즈(140a)가 상기 스캐너(130) 내 제1스캐닝미러(131) 및 제2스캐닝미러(132) 사이의 광경로 상에 배치되고, 제2릴레이 렌즈(140b)가 상기 스캐너(130)에서 출사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 10

제 1항에 있어서, 상기 릴레이 렌즈(140)는,
 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 각각이 색수차가 보정된 아크로매틱(achromatic) 렌즈 또는 아포크로매틱(apochromatic) 렌즈로 이루어지는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 11

삭제

청구항 12

제 1항에 있어서, 상기 서브 슬릿부(160)는,
 빔의 일부만을 통과시키는 구멍을 구비하는 서브 슬릿(161)
 을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 13

제 1항에 있어서, 상기 서브 슬릿부(160)는,
 상기 스캐너(130) 및 상기 릴레이 렌즈(140) 사이의 광경로 상에 배치되거나,
 상기 릴레이 렌즈(140) 내 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 사이의 광경로 상에 배치되는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 14

제 1항에 있어서, 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는,
 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위 영상을 촬영하는 영상 획득부(170);
 를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 15

제 1항에 있어서, 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는,

상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 분광 스펙트럼을 측정하는 스펙트로미터(180);

를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

청구항 16

제 1항에 있어서, 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는,

상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위에서의 반사 신호 세기를 측정하는 광측정기(190);

를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치에 관한 것이다.

[0002] 최근 IT(Information Technology), NT(Nano Technology), BT(BioTechnology) 등의 산업이 발달하면서, 수십 μ m ~ 수십 mm 크기의 소형 정밀 부품의 수요가 급증하고 있으며, 이를 가공하기 위한 다양한 가공법의 개발과 상용화도 활발히 이루어지고 있다. 이와 같은 정밀 부품의 정밀도는 점차 나노 급까지 내려가고 있으며, 이에 따라 정밀 부품의 제작에 있어 MEMS, NEMS 기술을 이용하는 방법이 확산되고 있다. 기존의 선삭, 밀링, 성형과 같은 기계 가공 방식을 사용할 경우 이러한 정밀 부품에서 요구하는 정밀도를 실현할 수 없는 한계가 발생하는 바, 정밀도 향상을 위한 장비의 초정밀화, 초미세화 기술에 대한 개발 요구가 더욱 높아져 가고 있다. 이러한 기술로서 현재 널리 사용되는 것 중 하나가 레이저 미세 가공 기술로서, 레이저 미세 가공 기술은 전기, 전자, 반도체 또는 디스플레이 산업 등에서 폭넓게 사용되고 있다.

배경 기술

[0003] 레이저 가공 장치는, 레이저를 방출하는 광원 및 레이저 광이 가공 대상으로 조사되도록 광경로를 형성하는 광학계를 포함하여 이루어진다. 이러한 광학계에는 다양한 렌즈, 미러 등의 광학 부품이 포함되는데, 그 중에서도 가공 대상물에 직접 대면하여 광을 조사시키는 대물렌즈는 가장 기본적으로 포함되는 광학 부품이다. 또한 광경로 상에 구비되는 미러를 갈바노모터를 사용하여 정밀하게 회전시킴으로써 가공 대상물 상에 맺힌 초점을 수평 방향으로 2차원 이동시키는 스캐너 역시 레이저 가공 장치에 포함되는 대표적인 광학계이다.

[0004] 대물렌즈를 통해 가공 대상물 상에 초점이 맞춰진 상태에서 가공이 이루어질 때, 일반적으로 레이저 빔 위치는 정지한 상태로 두고 가공 대상물이 놓여 있는 스테이지를 움직임으로써 가공 대상물의 위치를 이동시키도록 이루어지는 경우가 많다. 대물렌즈를 사용하여 가공할 때에는 스폿 사이즈가 매우 작아서 높은 가공 정밀도를 달성할 수 있다는 큰 장점이 있다. 그런데, 예를 들어 가공하고자 하는 형상이 홀과 같은 점 형상인 경우라면 대물렌즈만 사용해서 가공을 수행하여도 높은 정밀도의 가공물을 얻을 수 있게 되겠지만, 가공하고자 하는 형상이 선 형상인 경우 다음과 같은 문제점이 있다. 대물렌즈로 가공 대상물 상에 초점을 맞추어 고정된 상태로 선 형상의 레이저 가공을 실현하기 위해서는, 상술한 바와 같이 가공 대상물이 놓인 스테이지를 2차원적으로 움직여 주어야 한다. 그런데 스테이지 자체의 질량 및 부피가 커서 관성의 작용이 커지는 등의 영향으로 인하여, 고속으로 스테이지를 이동시키면서 정확한 가공을 수행하기에는 물리적으로 한계가 있다.

[0005] 스캐너는 상술한 바와 같이 적어도 하나의 스캐닝미러를 포함하여 이루어진다. 스캐닝미러는 미러의 회전각을 정밀하게 회전각을 조절할 수 있도록 이루어진 장치를 칭하는 것이다. 구체적인 예시로서, 1개의 미러에 MEMS 공정으로 만들어지는 정밀구동 2축 액추에이터를 구비하여 2축 방향 모두에 대해 회전이 가능하도록 이루어질 수도 있고, 또는 1개의 미러에 1개의 갈바노모터를 구비한 세트를 2개 구비하여 2축 방향으로의 조절이 가능하도록 이루어질 수도 있다. 이처럼 스캐닝미러를 포함하여 이루어지는 스캐너는, 스캐닝미러의 고속 회전이 가능

하기 때문에 고속 가공이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 일반적으로 스캐너에 포함되는 렌즈는 그 특성상 낮은 NA를 가지며, 이에 따라 대물렌즈와 비교할 때 상대적으로 가공 정밀도가 떨어진다는 한계가 있다.

[0006] 한편, 일반적으로 레이저는 그 세기의 분포가 종 모양인 가우시안 빔 프로파일을 가지며, 가공 형상 역시 종 모양으로 이루어지게 된다. 그러나 여러 가지 재료의 얇은 박막이 여러층으로 겹쳐있는 재료를 가공하거나, 가공 폭 방향으로 균일한 가공깊이를 얻고 싶을 때, 레이저 세기의 분포가 플랫한 프로파일 형태를 가지는 플랫탑 빔을 많이 사용한다. 이에 따라 가우시안 빔을 플랫탑 빔으로 만들어서 사용하는데, 이를 위해서는 회절광학소자를 설계하거나 특수한 광학계를 설계하여 적용하고 있다. 한 예시로서, 한국특허공개 제2004-0070158호("극초단 펄스 레이저 빔을 이용한 초정밀 직접 패터닝 방법 및 장치", 이하 선행문헌 1)에는 가우시안 형태의 빔을 플랫탑 형태의 빔으로 바꾸기 위하여 사용되는 빔 균질기의 구성이 개시된다. 선행문헌 1에 개시된 빔 균질기는, 빔을 오목렌즈, 분할 및 집광렌즈, 콜리메이터 등이 순차적으로 배열된 광학계로 입사시켜 공간밀도분포를 균질하게 하여 출사시키도록 하고 있다. 종래에 가우시안 빔을 플랫탑 빔으로 만들기 위해서는 바로 선행문헌 1에 개시된 바와 같은 특수한 광학계를 사용하여 왔다.

[0007] 이러한 방식은 물론 가우시안 빔을 플랫탑 빔으로 만들기에 유용하기는 하지만, 상술한 바와 같이 복잡하고 다양하며 상대적으로 고가인 광학 부품들로 이루어지는 광학계를 사용할 경우 초점 이동 등이 용이하지 않으므로, 가공 시 스테이지를 이동시켜야 한다. 이 경우 앞서 대물렌즈를 사용하여 레이저 가공을 할 때 발생하는 문제점, 즉 고속으로 스테이지를 이동시키면서 정확한 가공을 수행하기에는 물리적으로 한계가 있다는 문제점이 동일하게 발생하게 된다.

[0008] 가우시안 빔을 플랫탑 빔으로 만드는 것과 관련하여, 본 출원인에 의하여 출원 및 등록된 한국특허등록 제1582455호("멀티 모달 레이저 가공 장치", 이하 선행문헌 2)에서 단순한 구성을 적용하면서도 다양하게 빔 셰이핑을 실현할 수 있는 기술이 개시되어 있다. 선행문헌 2에 따르면 메인 슬릿을 이용하여 가우시안 빔 또는 플랫탑 빔 양쪽으로의 전환, 빔의 크기 및 형상 조절이 용이하게 이루어질 수 있는 효과를 얻을 수 있다. 그런데, 선행문헌 2에서도 가공 대상물을 스테이지 상에 놓고 스테이지를 움직임으로써 가공 대상물을 이동시키도록 이루어져 있어, 여전히 고속 가공에는 한계가 있다. 따라서 선행문헌 2는 단편적인 점 형상의 가공에는 매우 효율적이나 선 형상을 고정밀 고속 가공을 하기에는 어려움이 있다. 더불어, 선행문헌 2에 의하면 수직 방향의 초점 조절이 용이하지 않아, 3차원적인 형상 가공을 하기에도 어려움이 있다.

[0009] 이처럼 종래에 널리 사용되어 왔던 방식들의 경우 다들 한계점을 가지고 있다. 이에 따라, 높은 정밀도를 가지면서도 초고속으로 3차원 가공이 가능하며, 또한 플랫탑 빔을 사용하여 균일한 가공이 가능하도록 하는 레이저 가공 장치에 대한 요구가 당업자 사이에서 꾸준히 제기되어 왔다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 1. 한국특허공개 제2004-0070158호("극초단 펄스 레이저 빔을 이용한 초정밀 직접 패터닝 방법 및 장치")
- (특허문헌 0002) 2. 한국특허등록 제1582455호("멀티 모달 레이저 가공 장치")

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 가공용 레이저가 플랫탑 빔 프로파일을 가지며 또한 초고속 초정밀 가공이 가능하도록 하는, 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치를 제공함에 있다. 보다 구체적으로 본 발명의 목적은, 대물렌즈의 장점인 초정밀 가공과 스캐너의 장점인 초고속 가공을 결합함과 동시에, 플랫탑 빔으로 빔 셰이핑을 하며, z축 방향으로 초점위치를 고속으로 이동시킬 수 있도록 하여 3차원 가공을 실현하는, 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 레이저 가공을

수행하는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)에 있어서, 레이저 광원에서 출사되어 가공 대상물(500)에 조사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되며, 렌즈를 포함하여 이루어져 빔의 발산각을 조절하여 상기 가공 대상물(500) 상에 형성되는 가공점을 z축 방향으로 이동시키는 발산각 조절부(110); 상기 발산각 조절부(110)에서 출사된 빔을 통과시키면서 빔 프로파일을 플랫폼 형태로 전환시키는 메인 슬릿부(120); 적어도 하나의 스캐닝미러를 포함하여 이루어져 상기 메인 슬릿부(120)에서 출사된 빔의 광경로를 조절하여 상기 가공 대상물(500) 상에 형성되는 가공점을 x, y 2축 방향으로 이동시키는 스캐너(130); 상기 스캐너(130)에서 출사된 빔의 광경로 상에 순차적으로 이격 배치되는 제1렌즈(141) 및 제2렌즈(142)를 포함하여 이루어져 빔의 경로 및 발산각을 유지하면서 결상 위치를 옮겨주는 릴레이 렌즈(140); 상기 릴레이 렌즈(140)에서 출사된 빔을 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위로 집광하는 대물렌즈(objective lens, 150); 를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0013] 이 때 상기 메인 슬릿부(120)는, 레이저 광원으로부터 진행되어 온 레이저 빔의 일부만을 통과시키는 구멍을 구비하며, 상기 구멍의 크기 및 형상이 변경 가능하도록 형성되는 메인 슬릿(121), 상기 메인 슬릿(121)을 통과하여 온 레이저 빔의 광경로 상에 배치되어 레이저 빔이 상기 가공 대상물(500) 상의 가공 부위에서 디포커싱(defocusing)되도록 레이저 빔을 집속하는 튜브 렌즈(tube lens, 122)를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0014] 또한 이 때 상기 메인 슬릿부(120)는, 상기 메인 슬릿(121)을 통과하여 온 레이저 빔의 광경로 상에 상기 튜브 렌즈(122)를 배치시킴으로써 빔 프로파일을 플랫폼 형태로 전환하도록 이루어질 수 있다.

[0015] 또한 상기 메인 슬릿(121)은, 상기 구멍의 크기가 가변되는 조리개 형태, 다수 개의 서로 다른 크기 및 형상의 구멍들이 교체 배치되는 교체식 형태, 상기 조리개 형태 및 상기 교체식 형태가 결합된 형태 중 선택되는 어느 하나의 형태로 이루어질 수 있다.

[0016] 또한 상기 발산각 조절부(110)는, 렌즈(111A), 상기 렌즈(111A)에 구비되는 진동자(112A)를 포함하여 이루어져, 상기 진동자(112A)가 상기 렌즈(111A)에 진동을 가하여 굴절률을 조절함으로써 빔의 발산각을 조절하도록 이루어질 수 있다.

[0017] 또는 상기 발산각 조절부(110)는, 광경로 상에 고정적으로 배치되는 제1콜리메이터 렌즈(111B), 상기 광경로 상에 상기 제1콜리메이터 렌즈(111B)와 이격되며 상기 광경로에 나란한 방향으로 이동 가능하게 배치되는 제2콜리메이터 렌즈(112B), 갈바노모터(113B), 상기 갈바노모터(113B)의 회전 운동을 선형 운동으로 전환하여 상기 제2콜리메이터 렌즈(112B)로 전달하는 운동 변환부(114B)를 포함하여 이루어져, 상기 제1콜리메이터 렌즈(111B) 및 상기 제2콜리메이터 렌즈(112B) 간 거리를 조절함으로써 빔의 발산각을 조절하도록 이루어질 수 있다.

[0018] 또는 상기 발산각 조절부(110)는, 광경로 상에 고정적으로 배치되는 오목렌즈(111C), 상기 광경로 상에 상기 오목렌즈(111C)와 이격되며 상기 광경로에 나란한 방향으로 이동 가능하게 배치되는 볼록렌즈(112C), 압전소자를 이용하여 상기 볼록렌즈(112C)를 이동시키는 PZT 스테이지(113C)를 포함하여 이루어져, 상기 오목렌즈(111C) 및 상기 볼록렌즈(112C) 간 거리를 조절함으로써 빔의 발산각을 조절하도록 이루어질 수 있다.

[0019] 또한 상기 릴레이 렌즈(140)는, 상기 제1렌즈(141)의 일측 초점거리, 상기 제1렌즈(141)의 타측 초점거리, 상기 제2렌즈(142)의 일측 초점거리, 상기 제2렌즈(142)의 타측 초점거리가 모두 동일하게 형성되며, 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 간 이격거리는 상기 초점거리의 2배로 형성될 수 있다.

[0020] 또한 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상기 스캐너(130)가 1축 스캐닝미러 2개로 이루어지되, 1개의 상기 릴레이 렌즈(140)가 상기 스캐너(130)에서 출사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되거나, 2개의 상기 릴레이 렌즈(140)가 구비되되, 제1릴레이 렌즈(140a)가 상기 스캐너(130) 내 제1스캐닝미러(131) 및 제2스캐닝미러(132) 사이의 광경로 상에 배치되고, 제2릴레이 렌즈(140b)가 상기 스캐너(130)에서 출사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되어 이루어질 수 있다.

[0021] 또한 상기 릴레이 렌즈(140)는, 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 각각이 색수차가 보정된 아크로매틱(achromatic) 렌즈 또는 아포크로매틱(apochromatic) 렌즈로 이루어질 수 있다.

[0022] 또한 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상기 스캐너(130) 및 상기 대물렌즈(150) 사이의 광경로 상에 배치되어, 상기 대물렌즈(150)의 손상을 방지하도록 상기 대물렌즈(150)로 입사되는 빔의 각도를 제한하는 서브 슬릿부(160); 를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

[0023] 이 때 상기 서브 슬릿부(160)는, 빔의 일부만을 통과시키는 구멍을 구비하는 서브 슬릿(161)을 포함하여 이루어질 수 있다.

[0024] 또한 상기 서브 슬릿부(160)는, 상기 스캐너(130) 및 상기 릴레이 렌즈(140) 사이의 광경로 상에 배치되거나,

상기 릴레이 렌즈(140) 내 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 사이의 광경로 상에 배치될 수 있다.

[0025] 또한 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위 영상을 촬영하는 영상 획득부(170); 를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

[0026] 또한 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 분광 스펙트럼을 측정하는 스펙트로미터(180); 를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

[0027] 또한 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위에서의 반사 신호 세기를 측정하는 광측정기(190); 를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명에 의하면, 레이저 가공에 있어서 가공용 레이저가 플랫폼 빔 프로파일을 가지게 함으로써 가공 균일도를 향상함과 동시에, 초정밀 초고속 가공이 가능하도록 하는 큰 효과가 있다. 보다 구체적으로 설명하자면, 본 발명은 대물렌즈의 장점인 초정밀 가공과 스캐너의 장점인 초고속 가공을 결합함으로써 초정밀 초고속 가공을 동시에 실현할 수 있다. 뿐만 아니라 플랫폼 빔으로 빔 셰이핑을 하며, z축 방향으로 초점위치를 고속으로 이동시킬 수 있도록 이루어짐으로써, 3차원적인 초고속 초정밀 레이저 가공을 실현할 수 있는 효과가 있는 것이다.

[0029] 뿐만 아니라 본 발명에 의하면, CCD 카메라 및 스펙트로미터를 사용하여 가공 부위를 관찰함으로써, 가공되고 있는 형상 및 가공되고 있는 물질을 실시간으로 정확하게 판별 가능하도록 하는 큰 효과가 있다. 이에 따라 가공이 수행되고 있는 중 원하는 가공이 올바르게 이루어지고 있는지를 용이하면서도 신속하게 실시간으로 파악할 수 있게 하는 장점이 있으며, 이처럼 가공 상황을 실시간으로 모니터링함으로써 공정 상 및 양산 라인 상의 불량률을 크게 줄일 수 있는 효과가 있다.

[0030] 이처럼 본 발명에 의하면, 초정밀 가공을 초고속으로 실현할 수 있다는 점에서 생산 품질 및 속도를 동시에 향상할 수 있다는 획기적인 효과가 있다. 더불어 상술한 바와 같이 가공 중 실시간 모니터링을 통해 불량률을 줄이는 효과와 연계하여, 결과적으로 레이저 가공에 의한 생산품의 생산 효율 및 경제성을 더욱 향상하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치의 실시예.

도 2는 펄스폭에 따른 가공 시 차이점.

도 3은 레이저의 발산각에 따른 대물렌즈의 초점위치 변화 예시.

도 4는 TAG 렌즈를 이용한 발산각 조절 예시.

도 5는 렌즈 및 갈바노모터의 조합을 이용한 발산각 조절 예시.

도 6은 PZT 스테이지의 이동에 의한 빔의 발산각 조절 예시.

도 7은 메인 슬릿부에 의한 가우시안 빔에서 플랫폼 빔으로의 전환 원리.

도 8은 1축 또는 2축 스캐닝미러의 개략도.

도 9는 4f 시스템 릴레이 렌즈의 개략도.

도 10은 본 발명의 대물렌즈 스캐너의 구성예.

도 11은 1축 스캐닝미러 2개 사용 시 적용되는 릴레이 렌즈 구성예.

도 12는 색수차 보정 렌즈 사용 유무에 따른 초점위치 변화 예시.

도 13은 색수차 보정 렌즈를 사용한 본 발명의 대물렌즈 스캐너의 구성예.

도 14는 서브 슬릿부 위치의 여러 실시예.

도 15는 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치에 의한 가공 결과.

도 16은 종래의 가공 장치 및 본 발명의 가공 장치에 의한 가공 결과 비교.

도 17은 가우시안 빔 및 플랫폼 빔의 가공 결과 비교.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치를 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.

[0033] 도 1은 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치의 실시예를 도시한 것이다. 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는 도 1에 도시된 바와 같이 레이저 광원으로부터 출사되는 레이저 빔을 가공 대상물(500)로 조사하여 가공을 수행하는 장치로서, 발산각 조절부(110), 메인 슬릿부(120), 스캐너(130), 릴레이 렌즈(140), 대물렌즈(150), 제어부(200) 등을 포함하여 이루어질 수 있으며, 보조적으로 서브 슬릿부(160)를 더 포함하여 이루어질 수 있다. 더불어 여기에 영상 획득부(170), 스펙트로미터(180), 광측정부(190)를 더 포함하여 이루어질 수 있다. 이 때 레이저 광원, 대물렌즈(150), 제어부(200) 등과 같은 각각의 부품은 일반적인 레이저 가공 장치에도 포함되는 것으로서, 이들에 대해서 먼저 간략히 설명하면 다음과 같다.

[0034] 레이저 광원은 가공에 사용될 레이저를 발생시키는 장치로서, 가공 대상물(500)이 어떤 물질인가, 또한 가공 요구 조건은 어떠한가 등에 따라 적절한 것이 사용될 수 있다. 일반적으로 현재 상용화되어 레이저 가공에 널리 사용되는 것은 펄스폭이 나노초 수준인 나노초 레이저인데, 나노초 레이저의 경우 가공 속도가 빠르고 안정적이며 파워가 높다는 장점이 있는 반면 가공 부위 주변에서의 열적 변형이 일어나는 문제가 있어 초정밀 가공에 사용되기에는 부족하다는 문제점이 지적되어 오고 있다. 이를 해결하기 위해 펄스폭이 펨토초 또는 그 이하인 초고속 레이저로서 펨토초 레이저, 아토초 레이저, 피코초 레이저 등이 현재 실험실 단계에서 사용되고 있는데, 이러한 초고속 레이저의 경우 비열적 가공이 가능하기 때문에 훨씬 초정밀의 가공이 가능한 대신 아직 가공 속도가 느리고 안정성이 떨어지며 파워가 낮은 등의 해결해야 할 문제가 있어 널리 상용화되어 있지는 않다. 도 2는 펄스폭에 따른 가공 시 차이점을 나타낸 것으로, 나노초 레이저와 펨토초 레이저의 가공 차이를 보여 주고 있다. 펨토초 레이저를 포함하는 극초단 레이저의 장점, 즉 비열적 초정밀 가공이 가능하다는 장점 때문에, 얇은 박막이 여러 층 적층되어 있는 가공 대상물을 가공하는 경우, 정밀한 가공 깊이의 조절이 필요한 경우, 서브 μm 급 가공이 필요한 경우 등에 극초단 레이저의 사용이 확대되어 가고 있다.

[0035] 상기 대물렌즈(objective lens, 150)는 상기 가공 대상물(500)에 직접 대면하는 광학 부품으로서, 즉 광원으로부터 출사된 광이 다양한 광학 부품들로 이루어진 광학계를 거쳐 상기 가공 대상물(500)로 조사되기 직전에 통과하는 부품이 바로 상기 대물렌즈(150)이다. 본 발명에서도 상기 대물렌즈(150)는 레이저 빔을 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위로 집광하는 역할을 하며, 이와 같이 상기 대물렌즈(150)에 의하여 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위에 초점이 맞추어짐으로써 해당 부분에서 가공이 일어나게 된다.

[0036] 상기 제어부(200)는 도 1에 간략히 표시되어 있는 바와 같이 상기 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)에 구비되는 다양한 구동부 또는 측정부들을 제어하는 역할을 한다.

[0037] 본 발명의 가공 장치 특징 및 구성 요약

[0038] 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)의 특징 및 이를 구현하기 위한 구성을 요약하자면 다음과 같다.

[0039] 첫째, 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 레이저 빔의 발산각을 조절함으로써 상기 대물렌즈(150)에서 조사되는 빔의 초점, 즉 가공 대상물 상에 형성되는 가공점을 z축 방향으로 이동시켜, 궁극적으로는 초정밀 3차원 가공을 실현할 수 있다. 상기 발산각 조절부(110)가 이러한 기능을 주로 실현하는 장치로서, 다양한 실시예로 실현될 수 있다.(이하 **제1특징** 단락에서 보다 상세히 설명함)

[0040] 둘째, 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 가우시안 형태를 가진 빔 프로파일을 플랫폼 형태로 전환시켜서 레이저 가공을 수행함으로써 가공 균일도 및 품질을 훨씬 향상할 수 있다. 상기 메인 슬릿부(120)가 이러한 기능을 주로 실현하는 장치로서, 상기 메인 슬릿부(120)는 빔 프로파일 형태를 전환함과 동시에 가공 영역의 크기, 형태 등도 변화시켜 가면서 레이저 가공을 수행할 수 있도록 이루어져 다양한 형태의 고품질 가공을 실현한다.(이하 **제2특징** 단락에서 보다 상세히 설명함)

[0041] 셋째, 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 스캐너 및 대물렌즈의 조합을 통해 가공 속도 및

가공 정밀도를 훨씬 향상할 수 있다. 앞서도 설명한 바와 같이, 대물렌즈로 가공 대상물에 레이저 빔을 조사하고 스테이지로 가공 대상물을 이동시키는 구성으로 된 기존의 레이저 가공 장치의 경우, 가공 정밀도는 높지만 스테이지 이동에 한계가 있어 가공 속도가 제한되는 문제가 있었고, 반면 스캐너를 이용하여 가공 대상물 상의 가공점을 2차원적으로 이동시키는 구성으로 된 기존의 레이저 가공 장치의 경우, 가공 속도는 높지만 스캐너에 사용되는 렌즈의 특성상 NA가 낮아 가공 정밀도가 제한되는 문제가 있었다. 본 발명에서는 스캐너(130) 구성과 대물렌즈(150) 구성을 결합함으로써 가공 속도 및 가공 정밀도를 모두 향상하는데, 이 때 단순히 대물렌즈(150) 광경로 상에 스캐너(130)를 배치하는 것이 아니라 그 사이에 릴레이 렌즈(140)를 더 배치함으로써 효과적인 결합이 이루어지도록 한다.(이하 제3특징 단락에서 보다 상세히 설명함)

[0042] 넷째, 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 영상 획득부(170), 스펙트로미터(180), 광측정기(190) 등을 사용하여 실시간 모니터링 및 이를 통한 피드백 제어를 실현함으로써, 가공 품질 등을 훨씬 더 향상할 수 있다.(이하 제4특징 단락에서 보다 상세히 설명함)

[0043] 이와 같이 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는 기존의 레이저 가공 장치와 차별적이고 특징적인 기능을 수행할 수 있으며, 이를 실현하기 위한 다양한 구성들을 포함하고 있다. 이하에서 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)의 각부에 대하여 보다 구체적으로 상세히 설명한다.

[0044] **제1특징 : 빔 발산각을 조절하여 가공점을 z축 방향으로 이동시킴으로써 3차원 초정밀 가공을 실현함**

[0045] 상술한 바와 같은 제1특징을 실현하기 위한 구성이 바로 상기 발산각 조절부(110)이다. 상기 발산각 조절부(110)는, 레이저 광원에서 출사되어 가공 대상물(500)에 조사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되며, 렌즈를 포함하여 이루어져 빔의 발산각을 조절하여 상기 가공 대상물(500) 상에 형성되는 가공점을 z축 방향으로 이동시킨다. 이하에서 상기 발산각 조절부(110)의 기능, 원리, 다양한 실시예에 대하여 보다 상세히 설명한다.

[0046] 앞서 설명한 바와 같이, 기존의 레이저 가공 장치에서처럼 스테이지를 움직여서 3차원 가공을 수행할 경우, 스테이지 자체의 부피 및 질량이 크기 때문에 동적 특성이 나빠져서 가공 속도를 향상시키는 데 제한이 발생한다. 본 발명에서는, (이하 보다 상세히 설명될) 스캐너 및 대물렌즈의 조합을 이용하여 가공점의 2차원(즉 x, y축 방향)적인 고속 이동을 실현하고 있는데, 이 방식으로는 가공점의 z축 방향 이동은 구현할 수 없다. 한편 z축 방향 이동에만이라도 스테이지를 사용하는 해결책을 생각해 볼 수 있으나, 이 경우 역시 스테이지 이동 속도 한계 문제가 그대로 남아 있기 때문에, 2차원적으로는 초고속 초정밀 가공이 가능하여도 3차원적으로는 속도 및 정밀도 향상에 한계가 오게 된다. 본 발명에서는 바로 이러한 문제를 해결하기 위하여, 즉 z축 방향으로 가공점을 빠르고 정밀하게 이동시키기 위하여 레이저 빔의 발산각을 조절한다.

[0047] 도 3은 레이저의 발산각에 따른 대물렌즈의 초점위치 변화 예시를 도시하고 있다. 일반적으로 대물렌즈는 평행광의 레이저가 들어올 때를 산정하여 설계된 것으로, 평행광이 아닌 발산하는 레이저나 수렴하는 레이저가 들어오면 초점위치가 바뀌게 된다. 도 3에 도시된 바와 같이 평행광인 레이저와 비교하였을 때, 수렴하는 레이저의 경우 초점거리가 더 짧아지고, 발산하는 레이저의 경우 초점거리가 더 길어진다. 즉 레이저의 발산각을 조절함으로써 레이저의 초점, 즉 가공이 일어나는 가공점의 위치를 조절할 수 있음을 알 수 있다.

[0048] 레이저의 발산각을 조절하는 방법은, 렌즈에 초음파를 가진하여 렌즈 내부의 굴절률 변화를 통해 발산각을 조절하는 방법, 초점 조절 모듈 또는 오목렌즈와 볼록렌즈의 조합의 빔 익스팬더에서 렌즈 하나의 위치 조절을 이용하는 방법이 있다. 전자는 빠른 발산각 조절이 장점이고, 후자는 조합에 따라 다양한 성능을 구현할 수 있도록 만들 수 있는 것이 장점이다.

[0049] 도 4는 TAG 렌즈를 이용한 발산각 조절 예시로서, 앞서의 설명에서 전자의 방법을 이용하는 것이다. 도 4의 실시예에 따른 상기 발산각 조절부(110)는, 렌즈(111A), 상기 렌즈(111A)에 구비되는 진동자(112A)를 포함하여 이루어져, 도 4(A)에 도시된 바와 같이 상기 진동자(112A)가 상기 렌즈(111A)에 진동을 가하여 굴절률을 조절함으로써 빔의 발산각을 조절한다. 이와 같은 구성이 TAG 렌즈라는 명칭으로 생산되고 있으며, 도 4(B)는 TAG 렌즈로 발산각이 조절되는 예시를 3차원적으로 도시한 것이다. TAG 렌즈는 초음파의 주파수나 세기에 따라 발산각이 바뀌며, 그 속도 또한 매우 빠르기 때문에 본 발명의 발산각 조절부(110)로 사용하기에 적합한 기능을 가지고 있다. 그러나 그 원리상 렌즈 자체를 사용하고자 하는 목적에 맞추어 제작하는 것이 어려운 단점이 있다.

[0050] 도 5는 렌즈 및 갈바노모터의 조합을 이용한 발산각 조절 예시로서, 앞서의 설명에서 후자의 방법 중 초점 조절 모듈을 이용하는 것이다. 도 5의 실시예에 따른 상기 발산각 조절부(110)는, 광경로 상에 고정적으로 배치되는 제1콜리메이터 렌즈(111B), 상기 광경로 상에 상기 제1콜리메이터 렌즈(111B)와 이격되며 상기 광경로에 나란한 방향으로 이동 가능하게 배치되는 제2콜리메이터 렌즈(112B), 갈바노모터(113B), 상기 갈바노모터(113B)의 회전

운동을 선형 운동으로 전환하여 상기 제2콜리메이터 렌즈(112B)로 전달하는 운동 변환부(114B)를 포함하여 이루어져, 상기 제1콜리메이터 렌즈(111B) 및 상기 제2콜리메이터 렌즈(112B) 간 거리를 조절함으로써 빔의 발산각을 조절한다. 도7(A)는 상기 운동 변환부(114B)가 리니어 스케일로 구현되는 경우를 도시하고 있으며, 도 5(B)는 상기 운동 변환부(114B)가 크랭크 형태로 이루어지는 경우를 도시하고 있다. 상기 갈바노모터(113B)의 이동 속도는 280 mm/s 이상이며 위치 정밀도는 5 μ m 수준이기 때문에, 발산각의 정밀, 고속제어에 적합하다는 장점이 있으나, 초음파 방식을 사용하는 도 4의 실시예에 비해서는 느린 편이다.

[0051] 도 6은 PZT 스테이지의 이동에 의한 빔의 발산각 조절 예시로서, 앞서의 설명에서 후자의 방법 중 빔 익스팬더를 이용하는 것이다. 도 6의 실시예에 따른 상기 발산각 조절부(110)는, 광경로 상에 고정적으로 배치되는 오목렌즈(111C), 상기 광경로 상에 상기 오목렌즈(111C)와 이격되며 상기 광경로에 나란한 방향으로 이동 가능하게 배치되는 볼록렌즈(112C), 압전소자를 이용하여 상기 볼록렌즈(112C)를 이동시키는 PZT 스테이지(113C)를 포함하여 이루어져, 상기 오목렌즈(111C) 및 상기 볼록렌즈(112C) 간 거리를 조절함으로써 빔의 발산각을 조절한다. 도 6의 실시예 및 도 5의 실시예는 발산각 제어에 대한 원리는 같으며, 장점 및 단점 또한 유사하다. 다만 도 6의 실시예의 경우 PZT를 이용하는 방식이라 발산각의 보다 정밀한 제어가 가능하며, 또한 초점거리가 짧은 렌즈들을 사용 가능하여 광학계를 더욱 작게 만들 수 있다는 장점을 더 가지고 있다.

[0052] **제2특징 : 빔 프로파일을 플랫폼 형태로 전환하여 균일도가 높은 고품질 가공을 실현함**

[0053] 상술한 바와 같은 제2특징을 실현하기 위한 구성이 바로 상기 메인 슬릿부(120)이다. 상기 메인 슬릿부(120)는, 상기 발산각 조절부(110)에서 출사된 빔을 통과시키면서 빔 프로파일을 플랫폼 형태로 전환시킨다. 이하에서 상기 메인 슬릿부(120)의 기능, 원리, 다양한 실시예에 대하여 보다 상세히 설명한다.

[0054] 일반적인 레이저 가공 장치들에서 가공 시 사용되는 레이저 빔의 프로파일은 대부분 중 모양으로 형성되는 레이저 빔 프로파일을 가지고 있으며, 이를 가우시안 빔 혹은 TEM₀₀빔이라 한다. 이러한 빔 프로파일은 공기 중을 지나거나 여러 광학계를 지나도 그 형태를 유지한다. 즉, 렌즈에 의해 재료 표면에 작게 집속하여도 집속된 빔의 프로파일은 가우시안 형태를 유지하게 된다. 그러나 광학적 회절 한계에 의해 아무리 레이저 빔을 작게 집속하여도 사용하는 레이저의 파장 길이보다 작게 집속하는 것은 어려우며, 재료를 파장 길이보다 작은 폭으로 가공하는 것 또한 어렵다. 이와 같은 가우시안 형태의 프로파일을 가지는 레이저 빔으로 가공을 수행할 경우, 상면에서 볼 때에는 원형 형태를 가지고 측면에서 볼 때에는 (프로파일과 유사하게) 중 모양, 즉 중심 부분이 가장 깊고 가장자리로 갈수록 깊이가 얕아지는 형상의 구멍이 만들어진다.

[0055] 한편 전체적으로 균일한 형태의 플랫폼 프로파일의 경우 측면에서 볼 때 전체적으로 균일한 깊이를 가지는 형상의 구멍을 만들 수 있다. 이러한 플랫폼 빔을 만들 때는 레이저에서 발진된 가우시안 빔의 직경을 광학적인 설계가 이루어진 광학계를 지나면서 원래 직경에 비해 큰 직경을 가지도록 직경을 넓힌다. 이 경우, 상대적으로 높은 에너지 분포를 가지는 부분의 레이저 강도가 가우시안 빔과는 달리 렌즈에 의해 집속되면 집속되기 전의 플랫폼 모양을 유지하기 어렵다. 따라서 원하는 위치에서 플랫폼이 나오도록 하는 광학적인 설계가 필요하다.

[0056] 더불어 앞서 설명한 바와 같이 최근 레이저를 이용한 가공이 응용되는 분야가 매우 넓고 다양해지고 있기 때문에, 레이저 가공 시 그 응용 분야에 따라 원형 가공, 사각 가공 등 가공 형상을 바꾸어야 할 필요가 있으며, 또한 깊이 방향으로 재료가 제거되는 정도도 균일하게 제거할 것인지, 가운데를 주변보다 더 깊게 제거할 것인지가 상황에 따라 다르게 요구될 수 있다. 종래에는 기본적으로 가우시안 빔이 발생하는 레이저 가공 장치가 사용되었으나, 플랫폼 빔이 요구되는 가공 수요가 많아짐에 따라 이를 위한 특별한 광학계가 구비된 레이저 가공 장치가 개발되어 사용되어 왔다. 그런데, 이처럼 종래에는 필요할 때마다 원하는 가공 형상과 빔 프로파일로 가공이 가능하게 하기 위해서는 레이저 가공 장치 자체를 바꾸어야 했기 때문에, 장비 설비에 드는 비용이 지나치게 높아지는 문제가 있었다.

[0057] 본 발명에서는 바로 상기 메인 슬릿부(120)를 이용하여 가우시안 빔을 플랫폼 빔으로 전환하며, 또한 빔의 크기와 형상을 용이하고 자유롭게 변경할 수 있도록 구성된다. 종래에는 플랫폼 빔으로 전환 시 설계가 복잡하고 변경이 어려운 고가의 광학계를 사용하였으나, 본 발명에서는 보다 단순한 광학계를 사용하면서도 다양한 요구에 맞게 쉽게 가공 조건의 변경이 가능함과 동시에 요구에 부합하는 정도의 플랫폼 빔 프로파일을 얻을 수 있도록 하는 구성을 가지는 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치를 제시한다.

[0058] 상기 메인 슬릿부(120)는 도 1에 도시된 실시예에서와 같이 메인 슬릿(121), 튜브 렌즈(tube lens, 122)를 포함하여 이루어질 수 있다. 간략하게는, 상기 메인 슬릿부(120)는, 상기 메인 슬릿(121)을 통과하여 온 레이저 빔의 광경로 상에 상기 튜브 렌즈(122)를 배치시킴으로써 빔 프로파일을 플랫폼 형태로 전환하고, 상기 메인 슬릿

(121)을 통과하여 온 레이저 빔의 광경로 상에서 상기 튜브 렌즈(122)를 제거함으로써 빔 프로파일을 가우시안 형태로 전환하도록 구동될 수 있다. 먼저 각부에 대하여 설명하면 다음과 같다.

- [0059] 상기 메인 슬릿(121)은 레이저 광원으로부터 진행되어 온 레이저 빔의 일부만을 통과시키는 구멍을 구비하며, 상기 구멍의 크기 및 형상이 변경 가능하도록 형성된다. 원래의 레이저 빔은 일반적으로 원형 형태에 상대적으로 큰 직경을 가지고 있으나, 그 중 일부만을 통과시키는 구멍이 구비된 슬릿이 배치됨으로써 사각 형태 등과 같은 다양하게 원하는 형태로 빔 형상을 바꾸어 줄 수 있다. 또한 구멍이 작은 슬릿을 사용하거나 구멍이 큰 슬릿을 사용함으로써 빔 크기도 원하는 대로 조절할 수 있다.
- [0060] 이처럼 상기 메인 슬릿(121)은 다양한 빔 형상을 요구 조건에 맞게 원하는 대로 바꿀 수 있도록 구멍 크기 및 형상이 가변되도록 형성된다. 구체적으로는, 이러한 상기 메인 슬릿(121)의 구멍 가변 구조는, 상기 구멍의 크기가 가변되는 조리개 형태, 다수 개의 서로 다른 크기 및 형상의 구멍들이 교체 배치되는 교체식 형태, 상기 조리개 형태 및 상기 교체식 형태가 결합된 형태 등으로 실현될 수 있다.
- [0061] 더불어 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 메인 슬릿(121)에 조명을 부가할 수 있도록, 상기 발산각 조절부(110) 및 상기 메인 슬릿(121) 사이의 레이저 빔 광경로 상에 메인 슬릿용 빔 스플리터(125)가 구비되고, 상기 메인 슬릿용 빔 스플리터(125)에 의해 상기 메인 슬릿(121) 상으로 조명을 비추어 주는 메인 슬릿용 조명부(illuminator, 126)가 더 구비될 수 있다.
- [0062] 상기 튜브 렌즈(tube lens, 122)는 상기 메인 슬릿(121)을 통과하여 온 레이저 빔의 광경로 상에 배치되어, 레이저 빔이 상기 가공 대상물(500) 상의 가공 부위에서 디포커싱(defocusing)되도록 레이저 빔을 집중하는 역할을 한다.
- [0063] 도 7은 위와 같이 설명된 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치의 모드 전환기에서의 프로파일 모드 전환 예시를 도시하고 있다. 상기 튜브 렌즈(122)가 없을 경우, 즉 도 7(B)에 도시된 바와 같은 경우에는 상기 대물렌즈(150)에 의하여 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위에 초점이 맞추어져서 일반적인 가우시안 빔의 레이저 가공과 같은 가공이 일어난다. 도 7(B)의 가공 부위에서의 프로파일(도 7(B)b)을 보면, 원래의 레이저 빔에서의 프로파일(도 7(B)a)에 상응하는 형태이되 훨씬 압축된 형상의 종 모양이 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 상태에서 이루어지는 가공은 일반적인 레이저 가공 장치에서 수행되는 가공, 즉 가우시안 빔을 이용한 레이저 가공이 된다. 가우시안 빔을 이용한 레이저 가공은, 가공 깊이가 중심부에서 깊고 가장자리로 갈수록 얕아지는 형태의 가공 형상이 요구되는 경우, 가공 형상의 단면 형상이 그다지 중요하지 않은 홀 가공을 하는 경우, 높은 정밀도보다는 강한 인텐시티로 빠르게 가공이 이루어지는 것이 요구되는 경우 등에 유리하게 적용될 수 있으나, 앞서도 설명한 바와 같이 초정밀 가공을 수행하는 데에는 적합하지 않다.
- [0064] 한편 이렇게 대물렌즈(150)에 의하여 초점이 맞추어진 상태에서 도 7(A)에 도시된 바와 같이 상기 튜브 렌즈(122)를 광경로 중간에 배치시키게 되면, 레이저 빔이 상기 튜브 렌즈(122)를 통과하면서 더 집중되기 때문에 초점은 상기 대물렌즈(150)와 상기 가공 대상물(500) 사이의 어느 위치에 형성되며, 정작 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위에서는 초점 이탈, 즉 디포커싱(defocusing)이 일어나게 된다. 초점 부분에서의 프로파일(도 7(A)b)은 (슬릿에 의하여 종 모양의 프로파일 양쪽 끝단이 일부 잘려 있다는 점을 빼면) 가우시안 빔 가공 모드에서의 초점 부분에서의 프로파일(도 7(B)b)과 유사한 형태를 보인다. 한편 가공 대상물(500)의 가공 부위에서는 디포커싱에 의하여 인텐시티가 좀더 넓은 범위에 배분되어 분포되며, 따라서 가공 부위에서의 프로파일(도 7(A)c)은 중심 부분이 약간 볼록하나 전반적으로 평평한 형태로 나타난다.
- [0065] 이러한 프로파일이 엄밀히 말하면 완전한 플랫폼 형태인 것은 아니지만, 가우시안 빔과 비교하여 볼 때 대략적으로 플랫폼이라고 할 수 있다. 원래 가우시안 프로파일은 말하자면 종 모양으로 되어 있는 것으로, 중심에 가까워질수록 기울기가 수평에 가깝고 가장자리로 갈수록 기울기가 급격해지는 형태이다. 이러한 가우시안 프로파일이 슬릿에 의하여 양쪽 끝단이 일부 잘라내지고, 상술한 바와 같이 레이저 빔이 가공 부위에서 디포커싱되도록 함으로써 인텐시티가 가공 부위 면적 전체에 걸쳐 분포되면서, 원래의 가우시안 형태에 비해서는 훨씬 균일도가 높은 형태가 되는 것으로, 대략적인 플랫폼이라고 할 수 있는 수준이 되는 것이다.
- [0066] 이처럼 디포커싱에 의하여 도 7(A)c와 같이 대략적인 플랫폼 프로파일을 가지는 레이저 빔이 가공 대상물(500)의 가공 부위 상에 조사됨으로써, 결과적으로 가공 깊이가 균일하게 나타나는 형상을 보다 용이하게 가공할 수 있다. 실질적으로 기존에 복잡한 광학 부품들을 사용하여 만들어지는 플랫폼 빔이라 할지라도 완벽한 플랫폼 형태를 보이는 것은 아니며, 본 발명에서와 같은 대략적인 플랫폼 형태로도 현재 요구에 맞는 수준의 가공 깊이 균일도를 훌륭히 달성할 수 있다.

- [0067] 다시 한 번 정리하자면 다음과 같다. 본 발명에서는, 대물렌즈(150)에 의하여 원래 가공 부위에서 초점이 맞추어지도록 되어 있는 상태에서, 광경로 상에 튜브 렌즈(122)를 더 배치시킴으로써 대물렌즈(150)와 가공 부위 사이의 어느 위치에 초점이 맺히도록 하고, 가공 부위에서는 디포커싱이 일어나도록 유도한다. 이 때 레이저 빔은 메인 슬릿(121)을 통과해 오는 과정에서 프로파일 양쪽 끝단의 급격하게 인텐시티가 줄어드는 부분은 이미 제거된 상태이며, 상술한 바와 같이 대물렌즈(150)와 튜브 렌즈(122)에 의하여 가공 부위에서 디포커싱됨으로써 인텐시티 분포가 보통의 가우시안 빔에 비해 훨씬 플랫폼하게 형성되어, 대략적으로 플랫폼 프로파일을 형성하게 된다. 이러한 레이저 빔으로 가공을 수행했을 경우, 기존의 플랫폼 빔으로 가공을 수행했을 경우에 상응하는 수준의 가공 깊이 균일도를 달성할 수 있다. 즉 본 발명의 장치에서 대물렌즈(150) 및 튜브 렌즈(122)를 함께 사용하여 디포커싱을 해 주는 경우는 플랫폼 모드가 되는 것으로, 앞서 설명한 바와 같이 가공 부위에서 가공 면적 전체에 걸쳐 가공 깊이가 균일하게 이루어질 것이 요구되는 경우에 있어 매우 유리하게 적용될 수 있다.
- [0068] **제3특징 : 스캐너와 대물렌즈를 결합하여 고정밀 가공을 수행함과 동시에 x, y 2차원 고속 이동을 실현함**
- [0069] 상술한 바와 같은 제3특징을 실현하기 위한 구성이 바로 상기 스캐너(130), 상기 릴레이 렌즈(140), 상기 대물렌즈(150)이다. 이하에서 상기 스캐너(130), 상기 릴레이 렌즈(140), 상기 대물렌즈(150) 각각 또는 그 조합의 기능, 원리, 다양한 실시예에 대하여 보다 상세히 설명한다.
- [0070] 상기 스캐너(130)는, 상기 메인 슬릿부(120)에서 출사된 빔의 광경로를 조절하여 상기 가공 대상물(500) 상에 형성되는 가공점을 x, y 2축 방향으로 이동시키는 역할을 한다. 이를 위해 상기 스캐너(130)는 적어도 하나의 스캐닝미러를 포함하여 이루어진다. 스캐닝미러란 앞서 설명한 바와 같이 갈바노모터 등과 같이 정밀 구동이 가능한 액추에이터에 미러를 결합한 것으로, 미러의 회전 각도를 정밀하게 조절할 수 있다.
- [0071] 도 8은 1축 또는 2축 스캐닝미러의 개략도를 도시하고 있다. 도 8(A)은 1축 스캐닝미러 2개(131)(132)를 사용하여, 즉 미러 회전이 1축 방향으로만 가능한 스캐닝미러 2개를 사용함으로써 가공점의 2축 방향 이동을 실현하도록 이루어지는 예시를 나타내고 있다. 1축 스캐닝미러는 예시적으로 1개의 미러에 1개의 갈바노모터를 구비한 형태로 만들어질 수 있는데, 1축 스캐닝미러 2개를 사용하는 경우 미러의 형상이 자유롭고 고성능의 갈바노모터를 사용할 수 있어서 보다 고속의 가공이 가능하다는 장점이 있다. 다만 이 경우 상기 릴레이 렌즈(140)의 초점 위치에 스캐닝미러를 정확히 위치시킬 수 없어 약간의 수차가 발생한다.
- [0072] 한편 도 8(B)은 2축 스캐닝미러 1개, 즉 미러 회전이 2축 방향으로 가능한 스캐닝미러 1개를 사용함으로써 가공점의 2축 방향 이동을 실현하도록 이루어지는 예시를 나타내고 있다. 2축 스캐닝미러는 예시적으로 1개의 미러에 MEMS 공정으로 만들어지는 정밀구동 2축 액추에이터를 구비한 형태로 만들어질 수 있는데, 2축 스캐닝미러 1개를 사용하는 경우에는 상기 릴레이 렌즈(140)의 초점 위치에 정확히 스캐닝미러를 위치할 수 있으나, 2축 스캐닝미러의 특성상 조절 가능한 각도나 속도, 코팅 등의 제약이 발생한다.
- [0073] 상기 대물렌즈(150)는, 상기 릴레이 렌즈(140)에서 출사된 빔을 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위로 집광하여 실질적인 가공을 수행한다. 즉 레이저 가공 장치 내에서 레이저 광원으로부터 다양한 광학 부품들로 이루어지는 광학계를 통과하여 가공되어 온 레이저 빔이 상기 가공 대상물(500)에 조사되기 직전에 최종적으로 통과되는 것이 바로 상기 대물렌즈(150)이다.
- [0074] 기존의 레이저 가공 장치의 경우 레이저 광이 대물렌즈로 입사되기 전 어떠한 형태로 이루어지든 크게 상관없이 없고, 대물렌즈 초점이 가공 대상물 상에 맞기만 하면 무방하였다. 그러나 본 발명의 경우 앞서 설명한 바와 같이 상기 발산각 조절부(110)로 가공점의 z축 위치를, 상기 스캐너(130)로 가공점의 x, y축 위치를 조절하며, 또한 상기 메인 슬릿부(120)를 사용하여 빔 셰이핑도 한다. 이와 같이 여러 부품들에 의해 가공점의 위치 및 형태가 조절되기 때문에, 단순히 상기 스캐너(130)에서 출사되는 빔의 광경로 상에 상기 대물렌즈(150)를 배치하기만 할 경우, 상기 스캐너(130)에 포함된 스캐닝미러에 의해 빔이 이동하는 경로가 달라진다. 이에 따라 발산각 조절량, 스캐너 회전량, 빔 셰이핑 정도 등과 실제 가공점의 위치 및 크기 등의 연관관계를 도출하는 데에 상당히 많은 계산량이 소요된다. 즉 제어를 위한 계산 부하를 줄이고 가공점의 위치 및 크기 등을 원하는 대로 용이하게 제어하기 위해서는 상기 메인 슬릿(121)의 이미지가 그대로 상기 대물렌즈(150)로 옮겨지도록 하는 것이 바람직하다. 이와 같이 하기 위해서 구비되는 것이 바로 상기 릴레이 렌즈(140)이다.
- [0075] 상기 릴레이 렌즈(140)는, 상기 스캐너(130)에서 출사된 빔의 광경로 상에 순차적으로 이격 배치되는 제1렌즈(141) 및 제2렌즈(142)를 포함하여 이루어져 빔의 경로 및 발산각을 유지하면서 결상 위치를 옮겨주는 역할을 한다. 즉 상기 릴레이 렌즈(140)는 빔의 경로나 발산각 등이 바뀌지 않으면서 이미지를 연속으로 옮겨 주기만 하는 기능을 가지는 광학계이다. 이처럼 상기 릴레이 렌즈(140)는 상기 메인 슬릿(121)의 이미지가 그대로 상기

대물렌즈(150)로 옮겨지도록 해 주기 때문에, 상기 발산각 조절부(110) 및 상기 메인 슬릿부(120)를 조절하여 가공된 빔 형상이 상기 대물렌즈(150)로 옮겨지는 과정에서 더 일어나는 변형이 최소화되며, 결과적으로 제어를 위한 불필요한 계산량이 발생하는 것을 줄일 수 있다. 또한 상기 릴레이 렌즈(140)는, 이미지를 유지하면서 광경로의 필요 간격(여러 광학 부품들을 배치하기 위하여 필수적으로 필요한 공간을 위한 간격)을 확보할 수 있게 해 주는 역할도 한다.

[0076] 이와 같은 상기 릴레이 렌즈(140)는, 도 9에 도시되어 있는 바와 같은 4f 시스템으로 이루어지는 것이 바람직하다. 즉 상기 제1렌즈(141)의 일측 초점거리, 상기 제1렌즈(141)의 타측 초점거리, 상기 제2렌즈(142)의 일측 초점거리, 상기 제2렌즈(142)의 타측 초점거리가 모두 동일하게 형성되며, 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 간 이격거리는 상기 초점거리의 2배로 형성되는 것이다. 도 9에 표시된 점선은 모두 초점면을 나타내는 것이다.

[0077] 도 10은 이와 같이, 스캐너 - 릴레이 렌즈 - 대물렌즈가 순차 배열되어 이루어지는 본 발명의 대물렌즈 스캐너의 구성예를 도시하고 있다. 도시된 바와 같이 먼저 상기 메인 슬릿(121)의 이미지가 상기 튜브 렌즈(122)에 의하여 (스캐닝미러로 이루어지는) 상기 스캐너(130)로 옮겨지고, 이 이미지가 다시 두 개의 렌즈들로 이루어지는 상기 릴레이 렌즈(140)에 의하여 상기 대물렌즈(150)까지 옮겨지게 된다. 보다 명확하게는, 상기 릴레이 렌즈(140)에서 옮겨진 이미지는 상기 대물렌즈(150)의 후방 초점면(back focal plane)에 맞춰지게 된다.

[0078] 상기 스캐너(130)에 포함된 스캐닝미러가 회전함에 따라 레이저 빔이 상기 대물렌즈(150)의 광축에 대해 각도를 형성하면서 입사되게 되는데, 이를 통해 상기 대물렌즈(150)의 초점(즉 가공점)을 2차원적으로 이동할 수 있는 하나 이 과정에서 이미지의 왜곡이 일어나는 것을 완전히 피할 수는 없다. 그러나 상술한 바와 같이 상기 릴레이 렌즈(140)를 사용함으로써 이러한 이미지의 왜곡을 훨씬 줄일 수 있으며, 이 때 상기 튜브 렌즈(122)와 상기 릴레이 렌즈(140)가 구면수차가 최대한 없게 한다든가, 렌즈의 직경을 키워 렌즈의 중심부만 이용하여 구면수차를 최소화하는 등의 방법을 도입하여 이미지의 왜곡을 더욱 최소화할 수 있다.

[0079] 한편, 도 1의 실시예나 도 8(A)의 실시예에 보이는 바와 같이 상기 스캐너(130)는 1축 스캐닝미러 2개를 포함하여 이루어지는 것이 일반적이다. 이러한 경우 상기 릴레이 렌즈(140)는 도 1의 실시예나 도 10의 실시예에 보이는 바와 같이 1개만 구비될 수도 있고, 또는 2개가 구비될 수도 있다. 도 11은 1축 스캐닝미러 2개 사용 시 적용되는 릴레이 렌즈 구성예를 도시하고 있는데, 도 11(A)는 1개의 상기 릴레이 렌즈(140)가 상기 스캐너(130)에서 출사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되는 예시를 도시하고 있다. 이 경우 이미지의 왜곡이 일부 발생하기는 하지만 광학계를 단순화시킬 수 있으며 저렴하게 구성할 수 있다는 장점이 있다. 반면 도 11(B)는 2개의 상기 릴레이 렌즈(140)가 구비되며, 제1릴레이 렌즈(140a)가 상기 스캐너(130) 내 제1스캐닝미러(131) 및 제2스캐닝미러(132) 사이의 광경로 상에 배치되고, 제2릴레이 렌즈(140b)가 상기 스캐너(130)에서 출사되는 레이저 빔의 광경로 상에 배치되는 예시를 도시하고 있다. 이 경우 광학계 부피가 커지고 구성비용이 증가하는 대신, 상기 메인 슬릿(121)의 이미지를 최대한 왜곡 없이 상기 대물렌즈(150)까지 전달할 수 있다. 즉 이미지 왜곡의 최소화와 광학계 부피 및 비용 절감의 두 가지 측면을 고려하여, 도 11(A), (B)의 예시 중에서 사용자가 자신의 목적에 적합한 구성을 적절히 선택할 수 있다.

[0080] 한편, 앞서 극초단 레이저가 재료 가공 시 파장에 무관하다고 설명하기는 하였으나, 파장에 대한 흡수율을 포함한 기초적인 반응성에서의 차이는 존재한다. 또한 가공 경향성 또한 같은 극초단 레이저라 하여도 파장에 따라 분명한 차이가 있다. 따라서 레이저 가공 장치가 UV부터 IR까지 넓은 범위의 파장을 지원하도록 할 필요가 있다. 이를 위해 광학 부품의 코팅이나 색수차에 대한 보정, UV 파장에서 광학계의 투과율, 손상 여부 등 다양한 부분을 고려하여 넓은 범위의 파장에 대응 할 수 있도록 설계에 반영해야 한다.

[0081] 도 12는 색수차 보정 렌즈 사용 유무에 따른 초점위치 변화 예시를 도시한 것으로, 도 12로부터 색수차를 보정하지 않은 렌즈와 보정한 렌즈의 백색광원에 대한 집속성능의 차이를 명확히 확인할 수 있다. 일반적으로 색수차를 잡을 때는 렌즈에 다른 유리로 만들어진 렌즈를 덧대어 만들게 되는데, 즉 첫 번째 렌즈에 의해 파장에 따라 초점 위치가 바뀌어도 두 번째 렌즈로 보상을 하는 개념이다.

[0082] 도 13은 색수차 보정 렌즈를 사용한 본 발명의 대물렌즈 스캐너의 구성예를 도시한 것이다. 즉 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 각각이 색수차가 보정된 아크로매틱(achromatic) 렌즈 또는 아포크로매틱(apochromatic) 렌즈로 이루어지게 하는 것이다. 아크로매틱 렌즈란 초점거리나 렌즈 직경 등은 똑같지만 파장이 달라도 초점 위치는 동일하게 만들어진 렌즈를 말하는 것이며, 아포크로매틱 렌즈도 아크로매틱 렌즈보다 색수차 보정범위가 더 넓은 렌즈를 말하는 것이다. 도 13에는 릴레이 렌즈만 아크로매틱 렌즈로 이루어지는 예를 들었지만, 튜브렌즈를 비롯하여 대물렌즈를 제외한 장비에 들어가는 모든 '렌즈'는 아크로매틱 렌즈 또는 아포

크로매틱 렌즈를 사용하게 할 수 있다.

[0083] 한편 상술한 바와 같이 레이저 빔이 (스캐닝미러를 포함하여 이루어지는) 상기 스캐너(130) 및 상기 릴레이 렌즈(140)를 통해 상기 대물렌즈(150)로 들어오는 과정에서, 스캐닝미러가 회전함에 따라 상기 대물렌즈(150)의 광축으로 정확하게 들어오지 않고 광축에 대해 각도를 가지고 들어올 수 있다. 일반적으로 대물렌즈는 특성상 광축에 대하여 레이저 빔이 들어올 수 있는 각도가 2.5° 로 제한된다. 보다 상세히 설명하자면, 일반 비전용 백색광원의 경우 제한되는 각도 범위는 5° 가량 되지만, 레이저의 경우 2.5° 가 넘으면 레이저 빔이 렌즈 가장자리로 지나가면서 손상이 발생할 우려가 있어 백색광원보다 훨씬 작은 각도인 2.5° 로 제한되는 것이다. 그런데 본 발명과 같은 장치를 구성하였을 때, 리니어 리볼버에 의하여 다양한 배율의 대물렌즈가 교체되어 가면서 사용되고, 또한 스캐닝미러에 의해 빔이 지나가는 경로나 각도가 변하는 상황에서, 대물렌즈에 입사되는 빔의 각도가 2.5° 이상이 될 수 있다. 이는 대물렌즈의 수명을 줄이는 요인이 되기 때문에 이러한 현상이 발생하는 것을 방지해야 할 필요가 있지만, 소프트웨어 상으로 제한하기에는 경우의 수가 너무나 많아 어렵고 또한 직관적으로 어디까지 가공이 되는지를 알기 어렵다.

[0084] 상기 서브 슬릿부(160)는 바로 이러한 문제를 해결하기 위해 구비되는 것이다. 앞서의 상기 메인 슬릿부(120)는 빔 프로파일을 플랫탑 형태로 전환하고 또한 가공점의 형상이나 크기를 조절하기 위한 목적으로 구비되는 것이었다. 반면 상기 보조 슬릿부(160)는, 상술한 바와 같이 상기 대물렌즈(150)에 특정 각도 이상의 빔이 들어오는 것을 막기 위해 구비되는 것이다. 즉 상기 서브 슬릿부(160)는, 상기 스캐너(130) 및 상기 대물렌즈(150) 사이의 광경로 상에 배치되어, 상기 대물렌즈(150)의 손상을 방지하도록 상기 대물렌즈(150)로 입사되는 빔의 각도를 제한하는 역할을 한다.

[0085] 이를 위하여 상기 서브 슬릿부(160)는, 빔의 일부만을 통과시키는 구멍을 구비하는 서브 슬릿(161)을 포함하여 이루어진다. 상기 서브 슬릿(161)은 상술한 바와 같이 일정 각도 이상의 빔을 물리적으로 막아 버림으로써 사용자의 부주의 등에 의하여 상기 대물렌즈(150)가 손상될 가능성을 원천적으로 차단한다.

[0086] 상기 서브 슬릿부(160)에는 또한, 상기 서브 슬릿(161)으로 들어오는 레이저 빔 광경로 상에 서브 슬릿용 빔 스플리터(165)가 구비되고, 상기 서브 슬릿용 빔 스플리터(165)에 의해 상기 서브 슬릿(161) 상으로 조명을 비추어 주는 서브 슬릿용 조명부(illuminator, 166)가 더 구비될 수 있다. 이렇게 상기 서브 슬릿부(160)에 조명이 구비됨으로써, 이 슬릿의 조명에 의해 비전으로 가공이 가능한 영역이 표시되어 사용자 편의성을 높일 수 있다. 상기 서브 슬릿부(160)는, 도 13(A)에 도시된 바와 같이 상기 릴레이 렌즈(140) 내 상기 제1렌즈(141) 및 상기 제2렌즈(142) 사이의 광경로 상에 배치될 수도 있고, 또는 도 13(B)에 도시된 바와 같이 상기 스캐너(130) 및 상기 릴레이 렌즈(140) 사이의 광경로 상에 배치될 수도 있다.

[0087] **제4특징 : 실시간 모니터링을 위한 다양한 보조 구성**

[0088] 더불어 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위 영상을 촬영하는 영상 획득부(170)를 더 포함하여 이루어질 수 있다. 상기 영상 획득부(170)로 반사빔을 보내 줄 수 있도록, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에는 영상 획득부용 빔 스플리터(175)가 구비되게 한다. 이와 같이 영상 획득부(170)를 더 구비함으로써, 가공 부위의 영상을 직접 실시간으로 확인하면서 원하는 대로 올바르게 가공이 이루어지고 있는지를 직관적으로 판단할 수 있다.

[0089] 이처럼 영상을 획득할 경우 영상을 보다 선명하게 얻을 수 있도록, 상기 영상 획득부(170)에 조명을 부가할 수 있는 구성이 더 구비될 수 있다. 즉 도 1에 도시된 바와 같이, 상기 영상 획득부용 빔 스플리터(175)를 통해 상기 영상 획득부(170) 상으로 조명을 비추어 주는 영상 획득부용 조명부(illuminator, 166)가 더 구비될 수 있다. 더불어 더욱 선명한 영상을 얻기 위해서, 상기 영상 획득부(170)로 입사되는 레이저 빔 광경로 상의 전방에 배치되는 자동 초점 조절부(auto focusing module, 167)가 더 구비될 수도 있다.

[0090] 또한 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 분광 스펙트럼을 측정하는 스펙트로미터(180)를 더 포함하여 이루어질 수 있다. 상기 스펙트로미터(180)로 반사빔을 보내 줄 수 있도록, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에는 스펙트로미터용 빔 스플리터(185)가 구비되게 한다. 이와 같이 스펙트로미터(180)를 더 구비함으로써, 현재 가공되고 있는 물질이 무엇인지를 정확하게 실시간으로 파악할 수 있으며, 이에 따라 역시 가공이 원하는 대로 올바르게 진행되고 있는지를 실시간으로 모니터링할 수 있다.

[0091] 또한 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에서 상기 가공 대상물(500)로부터 반사되어 온 레이저 빔을 입사받아, 상기 가공 대상물(500)의 가공 부위에서의 반사 신호 세기를 측정하는 광측정기(190)를 더 포함하여 이루어질 수 있다. 상기 광측정기(190)로 반사빔을 보내 줄 수 있도록, 상기 릴레이 렌즈(140) 및 상기 대물렌즈(150) 사이에는 광측정기용 빔 스플리터(195)가 구비되게 한다. 이와 같이 광측정기(190)를 더 구비함으로써, 현재 가공되고 있는 물질에서 반사되는 광의 세기를 측정하여, 반사도를 이용하여 가공되고 있는 물질이 무엇인지를 파악하거나 또는 가공 대상물의 평탄도를 측정함으로써 가공 상태를 파악하는 등의 실시간 파악을 통하여, 역시 가공이 원하는 대로 올바르게 진행되고 있는지를 실시간으로 모니터링할 수 있다.

[0092] 레이저 가공 시에 가공 장치에 가공 변수를 입력하고 가공을 실행하면, 이상적으로는 입력한 그대로의 가공이 이루어질 것이다. 그러나 실제 현장에서는 여러 가지 요인에 의해 입력한 대로 재료에 레이저가 집속되지 않는 경우가 많다. 레이저는 다양한 원인에 의해 서로 다른 펄스의 특성이 다를 수 있으며, 특히 24시간 365일 계속 가동되는 산업의 양산 라인에서는 장비 각부의 온도, 진동 등에 따른 각부의 정렬 상태 변동, 장비 노후화 등과 같은 요인이 무시할 수 없을 정도로 큰 오차를 불러올 수 있다. 즉 산업 양산 라인에서는 가공 조건의 균일성, 안정성 등이 크게 중요한데, 상술한 바와 같이 레이저 내부를 이루는 부품의 수명과 가공시스템을 이루는 부품의 수명에 따라 레이저의 특성이 변할 수 있기 때문에, 레이저에 대한 특성을 실시간으로 모니터링하는 것이 크게 중요하다.

[0093] 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치(100)는, 상술한 바와 같이 다양한 방식으로 실시간 모니터링이 이루어지게 한다. 이에 따라 본 발명의 장치를 사용하면, 실시간으로 레이저의 최초 출력, 모든 광학계를 통과한 후 재료에 집속되는 레이저의 출력, 레이저의 파장, 펄스폭, 빔 프로파일 등의 측정이 가능하며, 이러한 모든 측정치는 로그 파일에 기록되고 측정치가 레이저 가공변수에 피드백되어 내부 또는 외부 환경에 의한 변화가 있어도 입력한 가공 변수대로 레이저 특성이 유지되도록 할 수 있다. 이러한 실시간 레이저 모니터링 장치를 통해 재료로 집속되는 레이저의 특성을 알 수 있고, 원하는 값이 되도록 조절할 수 있으며, 더 나아가 가공 품질 관리, 레이저 상태 관리, 가공 장치 상태 관리 등이 가능하다.

[0094] **실제 가공 실험 결과**

[0095] 도 15 내지 도 17에 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치를 이용한 ITO, AgNW/CNT에 대해 초고속, 초정밀 가공 실험 결과 사진을 나타내었다.

[0096] 도 15에는 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치를 이용하여 ITO에 대해 고속 스캐닝 가공 실험을 한 결과를 나타내었다. 가공변수는 1027 nm, 100 kHz, 124.1 uJ, 2~4 um 선폭, 1~2 m/s이며, 각 그림에 따라 변수는 다르다. 상기 실험은 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치를 사용하여 슬릿을 이용한 선폭 조절과 고속 스캐닝가공을 테스트하기 위한 것으로서, 도 15로부터 이러한 다양한 선폭 조절 및 고속 가공이 훌륭하게 실현되고 있음을 확인할 수 있다.

[0097] 도 16에는 선행문헌 2에 따른 멀티 모달 레이저 가공 장치와의 차이점을 설명하기 위한 실험 결과이다. 도 16(A)는 멀티 모달 레이저 가공 장치를 사용한 실험 결과로서, 슬릿을 이용한 사각 플랫폼 빔 셰이핑 기능을 통하여 점 가공을 수행한 실험 결과를 볼 수 있다. 상기 멀티 모달 레이저 가공 장치는 스테이지를 통하여 가공하는 장비로서 도 16(A)에 보이는 바와 같이 점 가공은 우수하게 수행할 수 있으나, 스테이지의 특성상 고속 가공에는 적합하지 않다. 한편 도 16(B)는 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치를 사용한 실험 결과로서, 슬릿을 이용한 사각 플랫폼 빔 셰이핑 기능과 스캐닝미러를 이용한 고속 가공 기능을 동시에 구현하였다. 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치는 스테이지로는 구현할 수 없는 속도인 3 m/s까지 고속 가공이 가능하며, 스캐닝미러의 구성에 따라 더욱 빨라질 수 있다.

[0098] 도 17에는 본 발명의 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치의 플랫폼 빔 프로파일과 일반적인 가우시안 빔의 가공성 차이를 나타낸 사진이다. 도 17(A)에 도시된 바와 같이 가우시안 빔은 가장자리로 갈수록 세기가 약해져, 가공 영역 - 비가공 영역 사이에 가공이 일부 이루어지기는 하다 제대로 되는 구간이 상당히 넓게 존재하는 것을 확인할 수 있다. 즉 구체적인 예를 들자면, 가우시안 빔을 사용할 경우, 다층 박막의 선택적 가공 시에는 재료 제거가 불완전하게 이루어짐으로써 위, 아래 박막의 통전이 발생할 수 있고, 얇고 좁은 선 가공을 통해 구역을 두 부분으로 나누는 가공 시에는 전기적 절연이 이루어지지 않는 등의 문제가 발생할 수 있다. 더욱이 가우시안 빔을 사용할 경우 다층 박막 가공 시 빔 가운데 부분의 높은 에너지로 인해 가공하고자 하는 박막 아래의 기관이나 아래층 박막에 손상을 줄 가능성이 많다. 반면 도 17(B)에 도시된 바와 같이 플랫폼 빔은 중간과 가장자리의 에너지가 균일하여 제대로 가공되지 않은 영역이 매우 좁게 나타남을 알 수 있다. 즉 플랫폼 빔을

사용할 경우 가우시안 빔을 사용할 때 발생할 수 있었던, 앞서 설명한 바와 같은 다양한 문제들이 원천적으로 제거되어, 즉 가공 균일도 및 품질이 극대화될 수 있음을 확인할 수 있다.

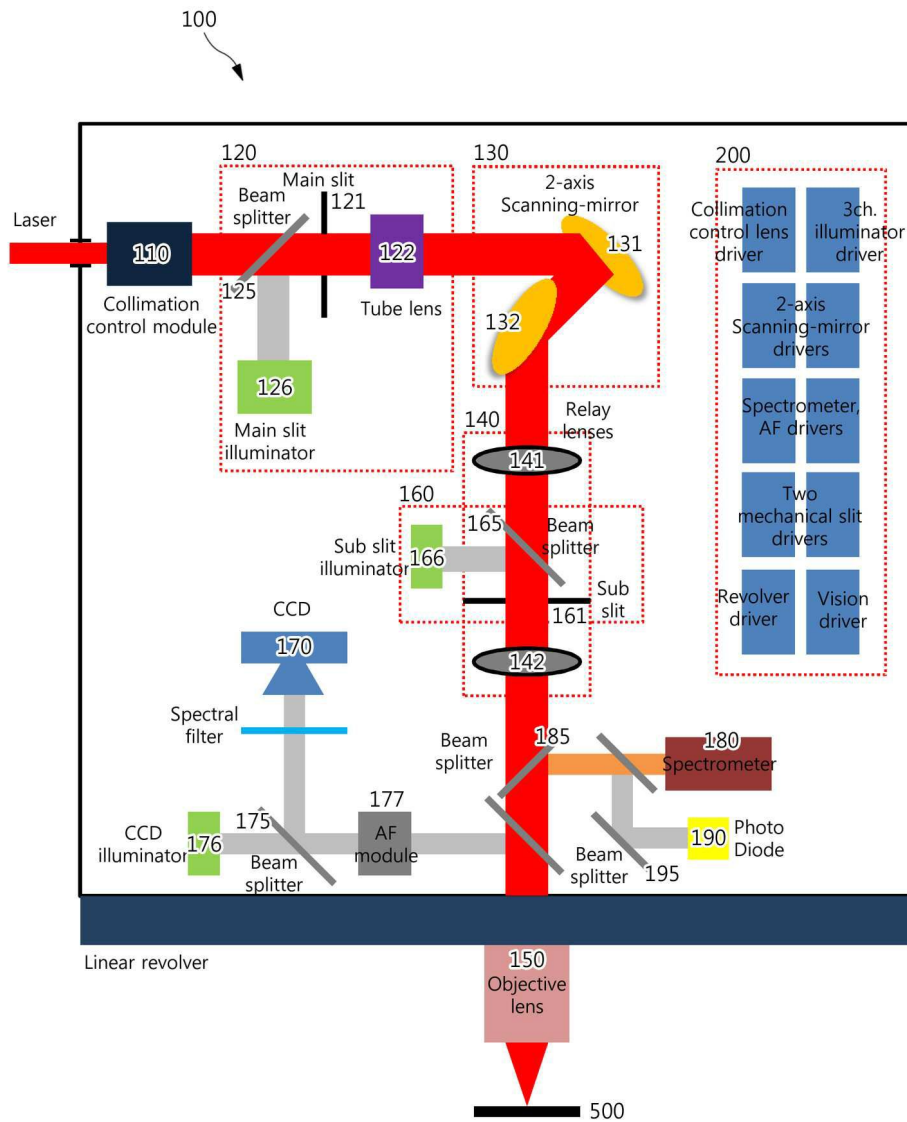
[0099] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

부호의 설명

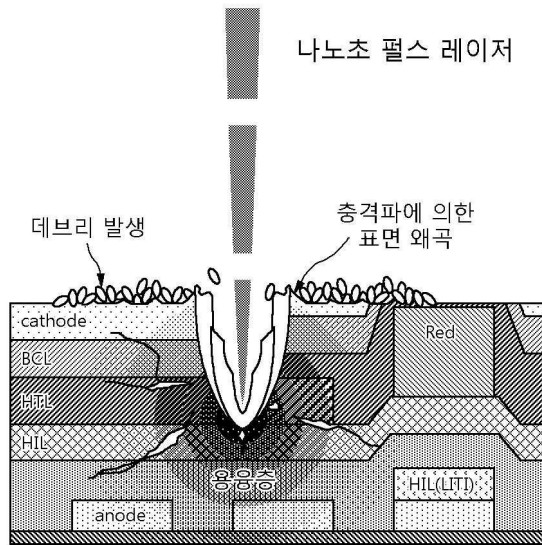
- [0100]
- 100: (본 발명의) 3차원 고속 정밀 레이저 가공 장치
 - 110: 발산각 조절부
 - 111A: 렌즈
 - 111B: 제1콜리메이터 렌즈
 - 111C: 오목렌즈
 - 111C: PZT 스테이지
 - 120: 메인 슬릿부
 - 121: 메인 슬릿
 - 125: 메인 슬릿용 빔 스플리터
 - 130: 스캐너
 - 131: 제1갈바노모터
 - 140: 릴레이 렌즈
 - 141: 제1렌즈
 - 160: 대물렌즈
 - 160: 서브 슬릿부
 - 165: 서브 슬릿용 빔 스플리터
 - 170: 영상 획득부
 - 176: 영상 획득부용 조명부
 - 180: 스펙트로미터
 - 190: 광측정부
 - 200: 제어부
 - 112A: 진동자
 - 112B: 제2콜리메이터 렌즈
 - 114B: 운동 변환부
 - 112C: 볼록렌즈
 - 122: 튜브 렌즈
 - 126: 메인 슬릿용 조명부
 - 132: 제2갈바노모터
 - 142: 제2렌즈
 - 161: 서브 슬릿
 - 166: 서브 슬릿용 조명부
 - 175: 영상 획득부용 빔 스플리터
 - 177: 자동 초점 조절부
 - 185: 스펙트로미터용 빔 스플리터
 - 195: 광측정부용 빔 스플리터
 - 500: 가공 대상물

도면

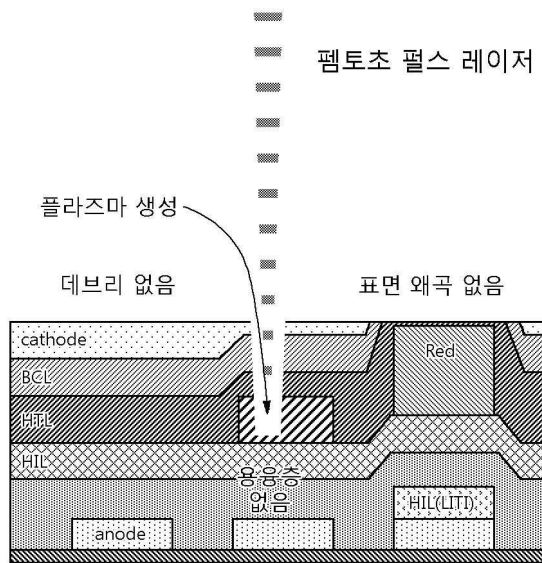
도면1



도면2

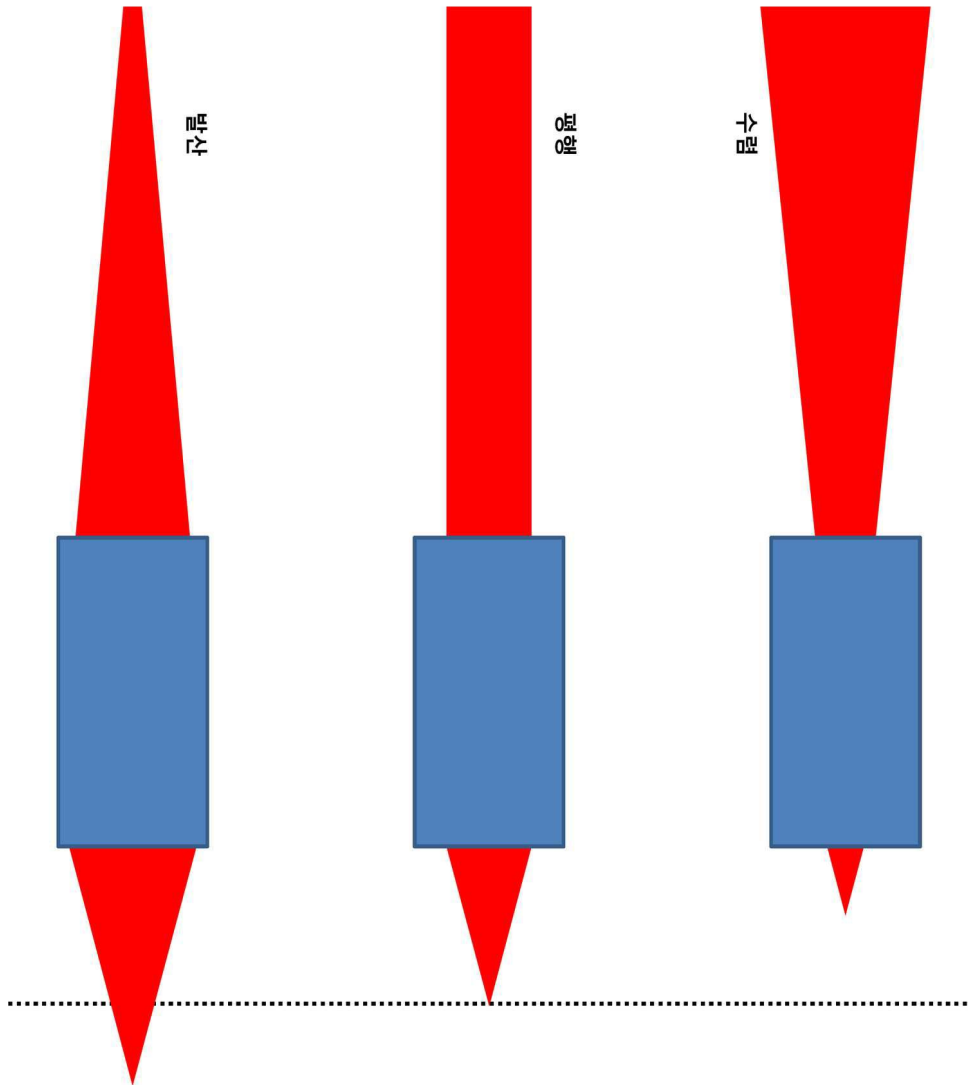


(A)

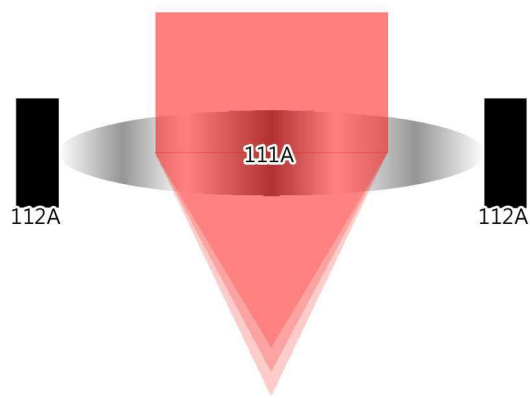
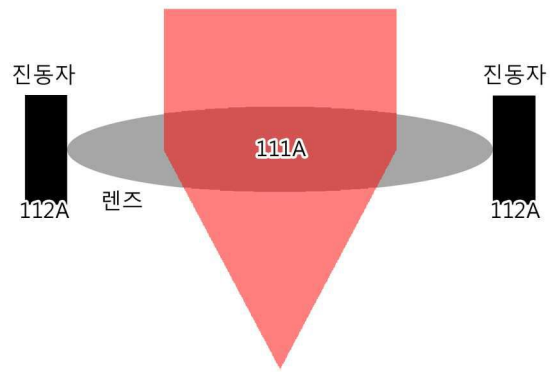


(B)

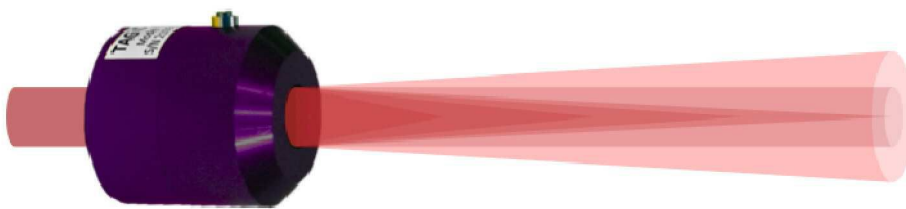
도면3



도면4

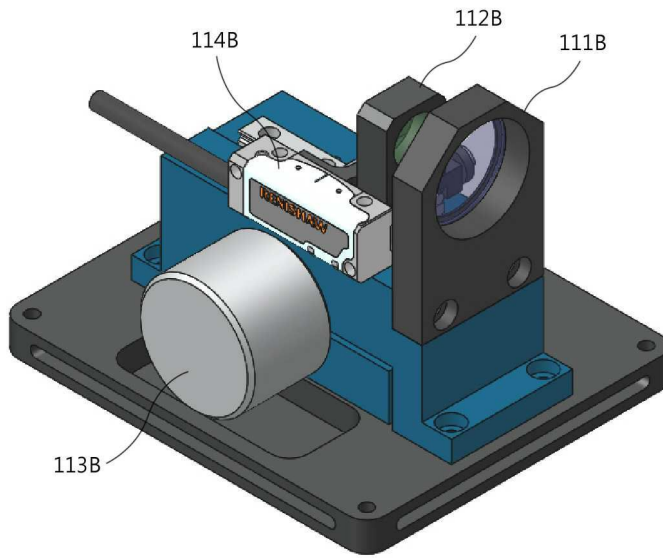


(A)

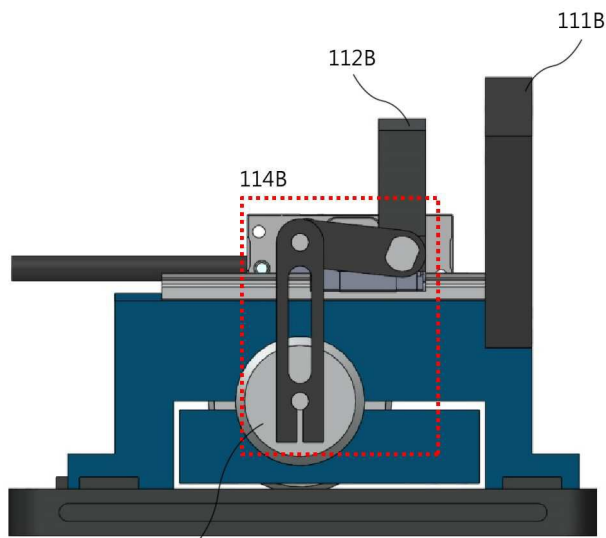


(B)

도면5

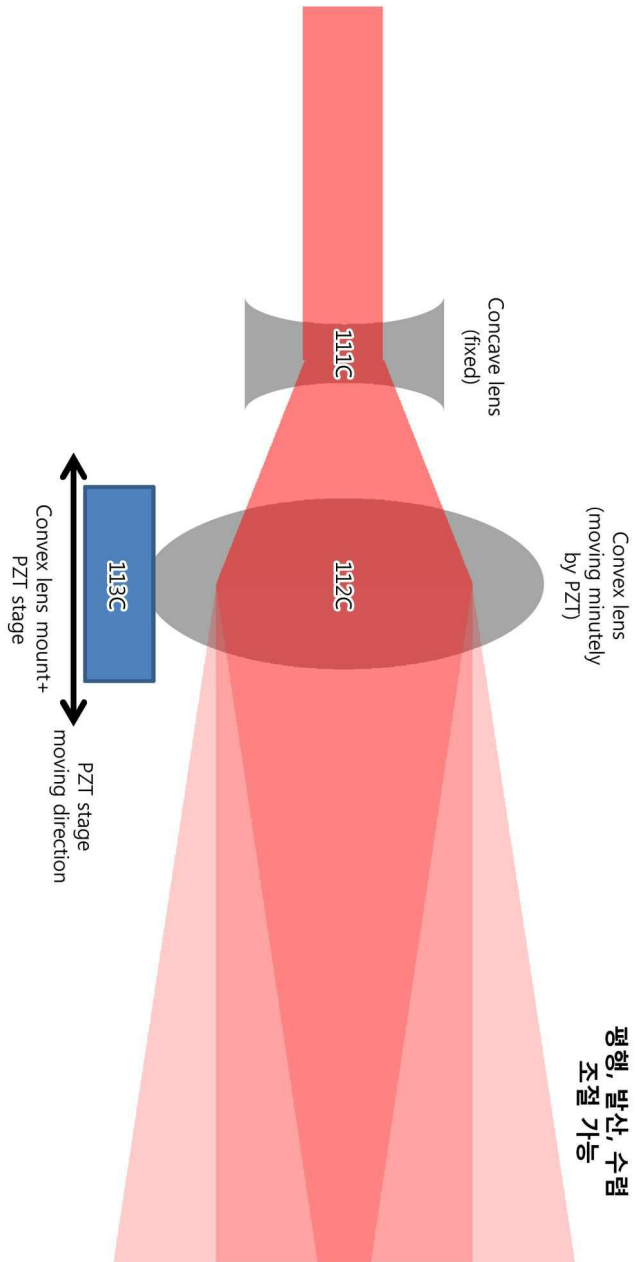


(A)

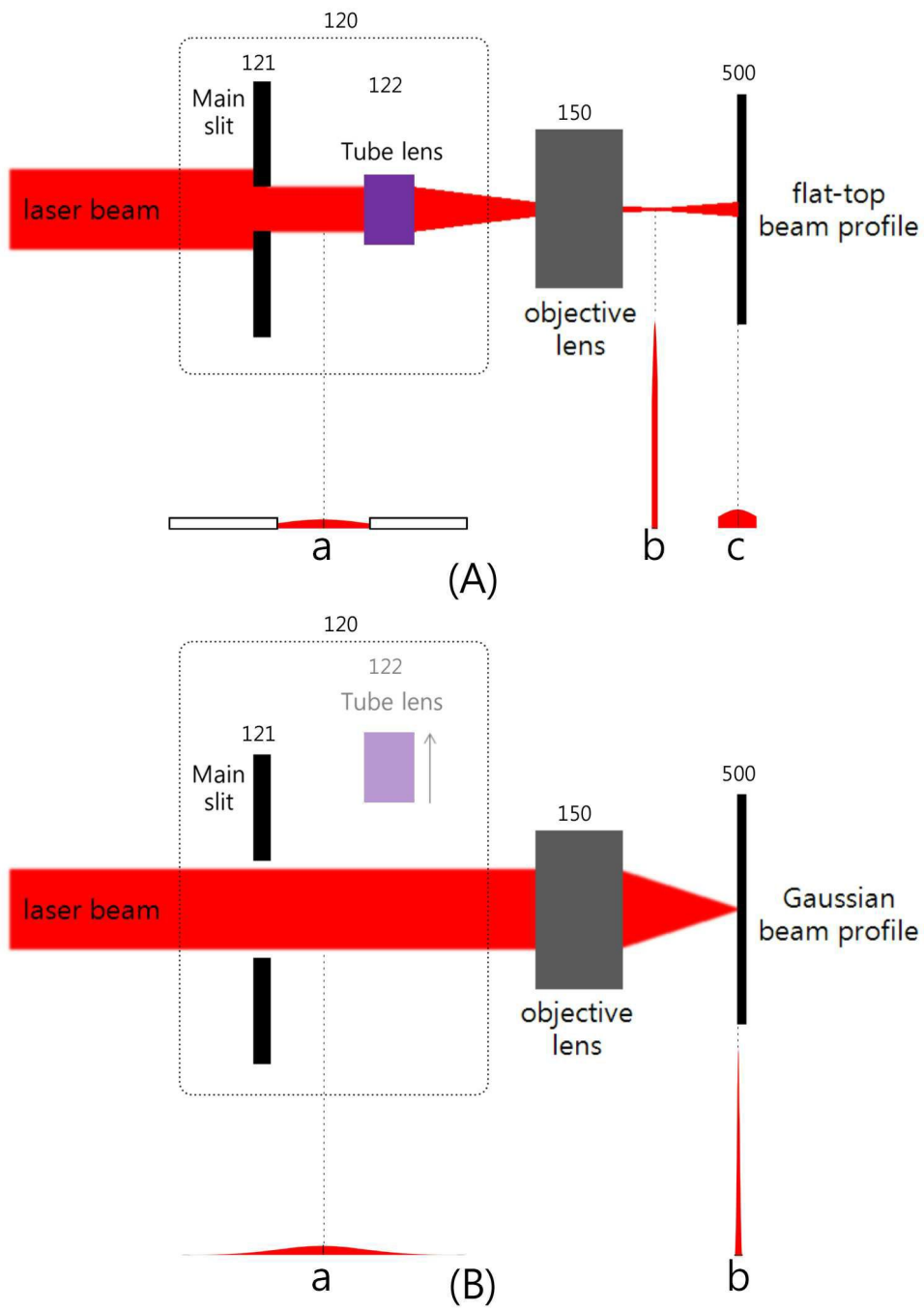


(B)

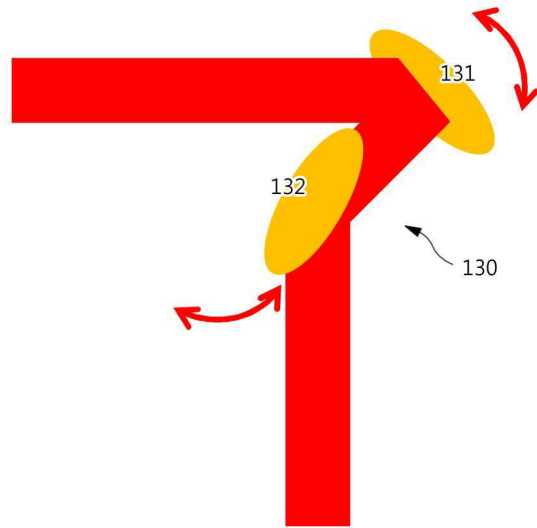
도면6



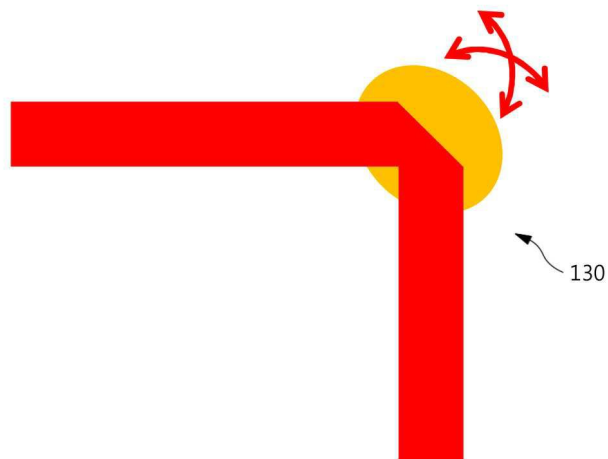
도면7



도면8

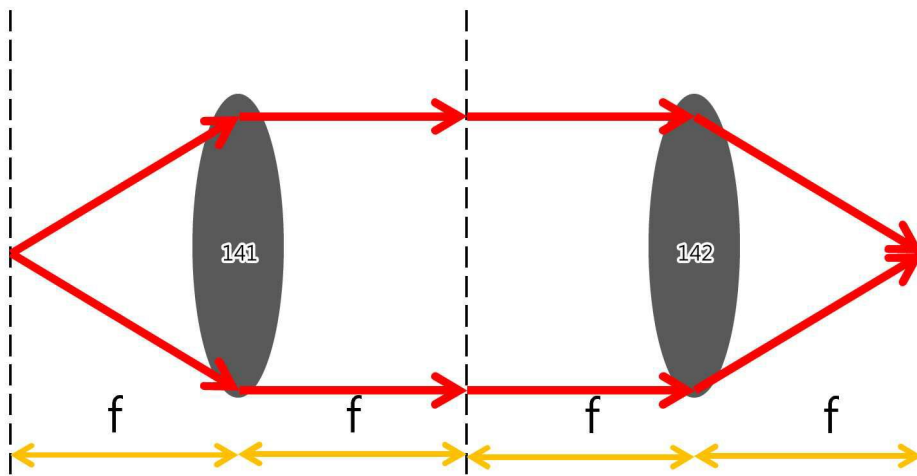
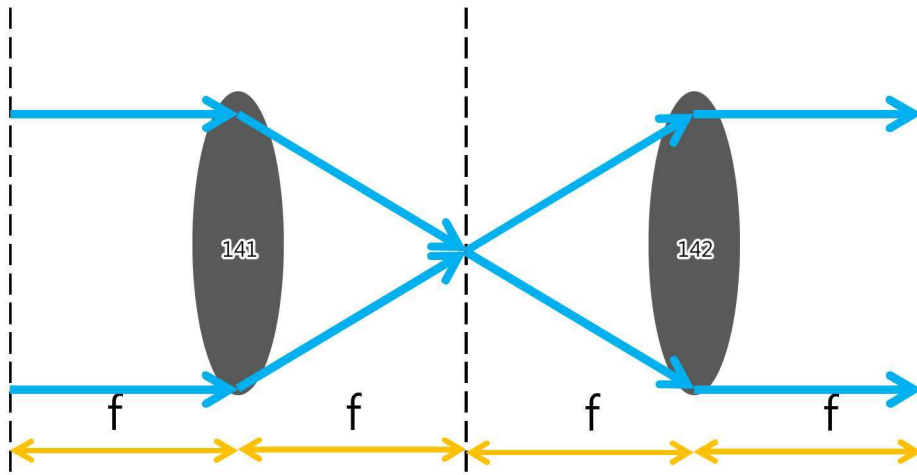


(A)

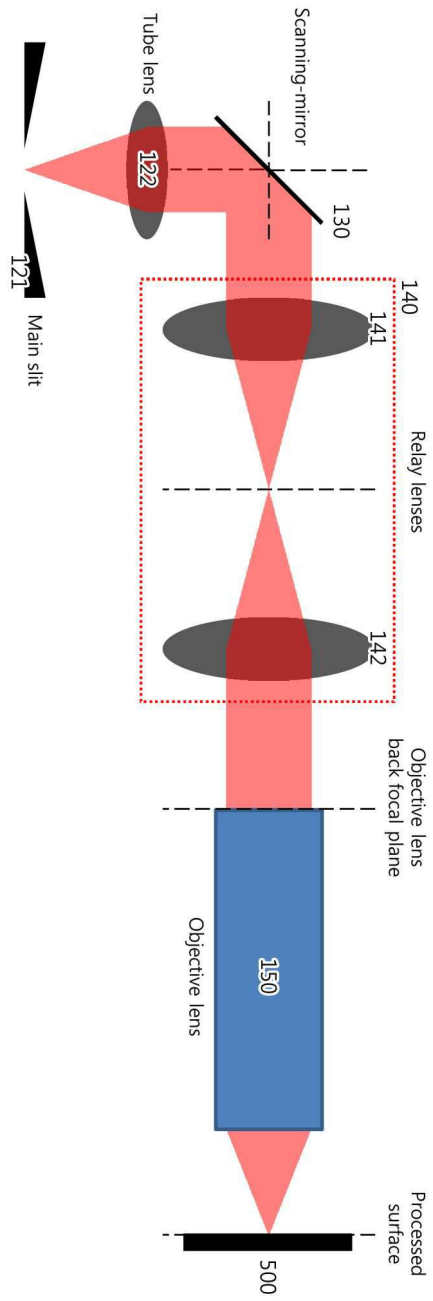


(B)

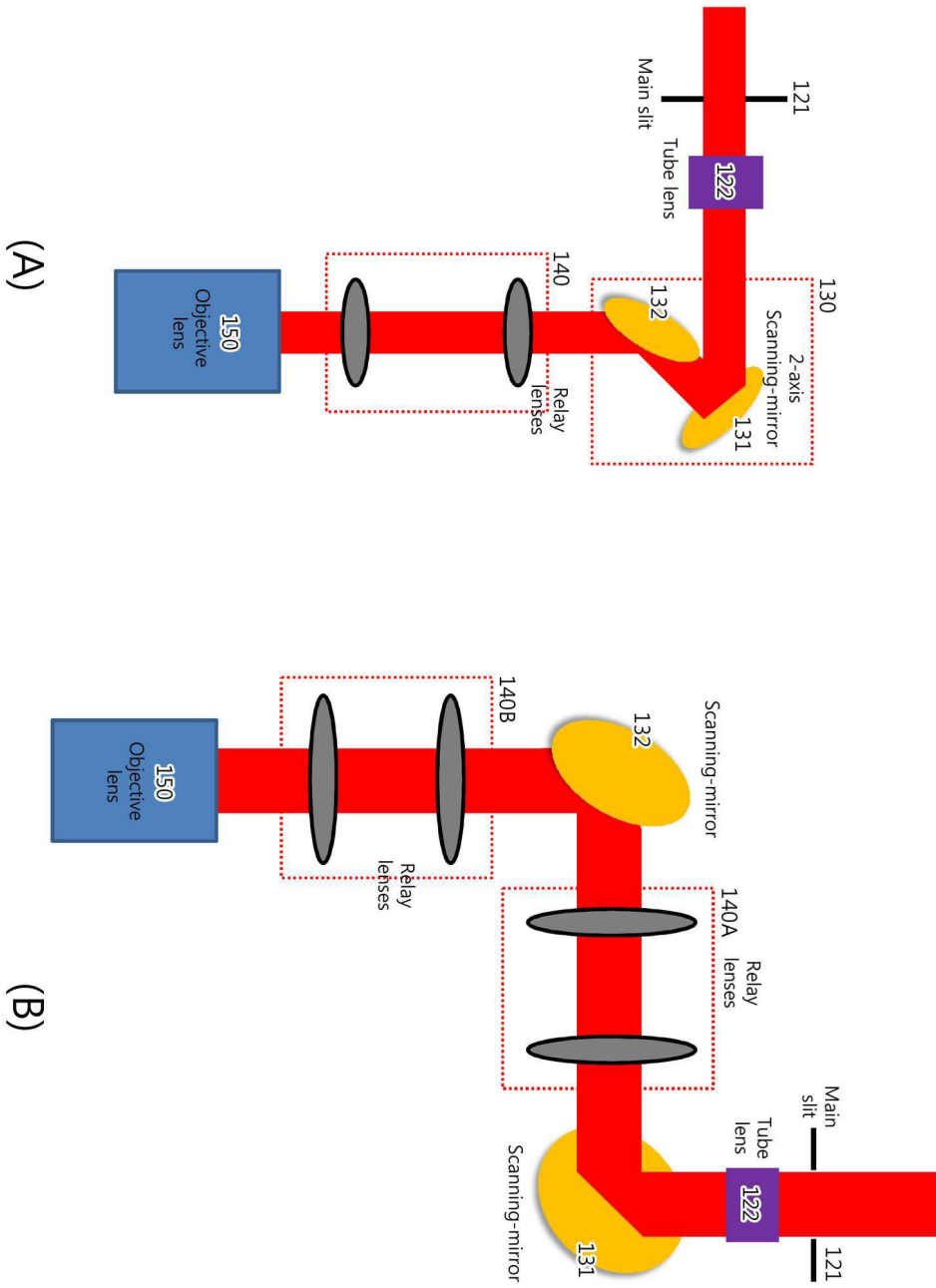
도면9



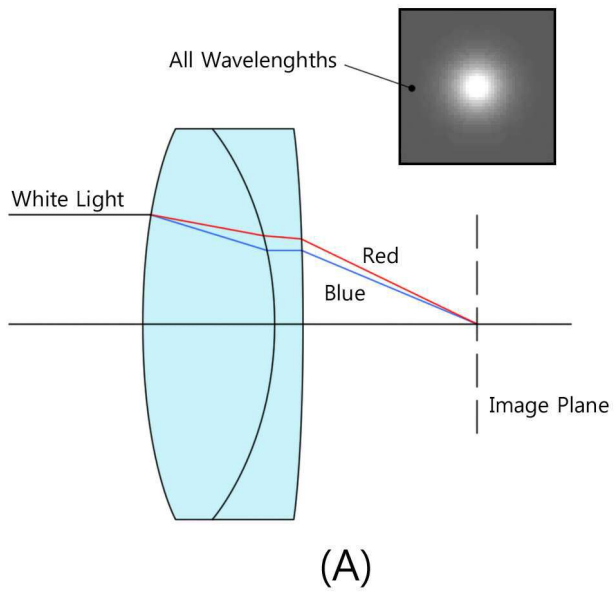
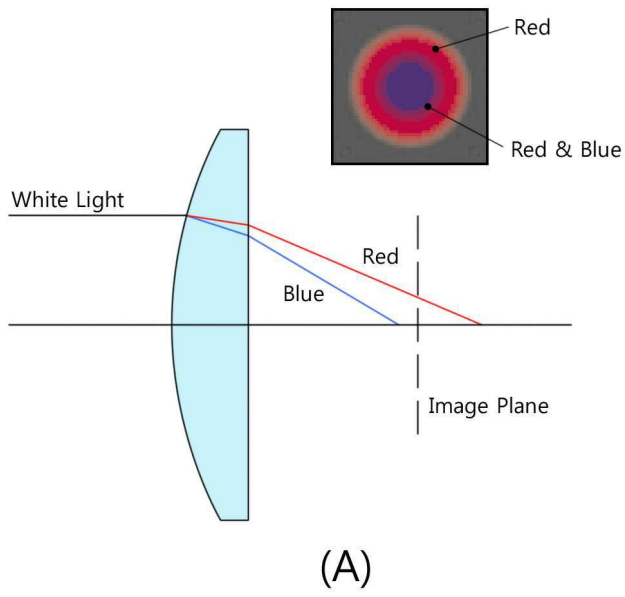
도면10



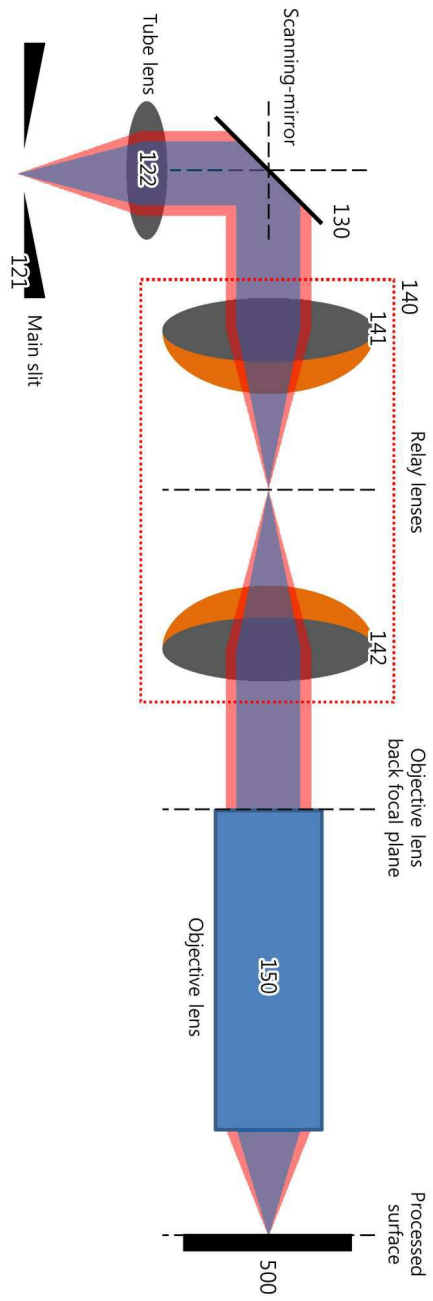
도면11



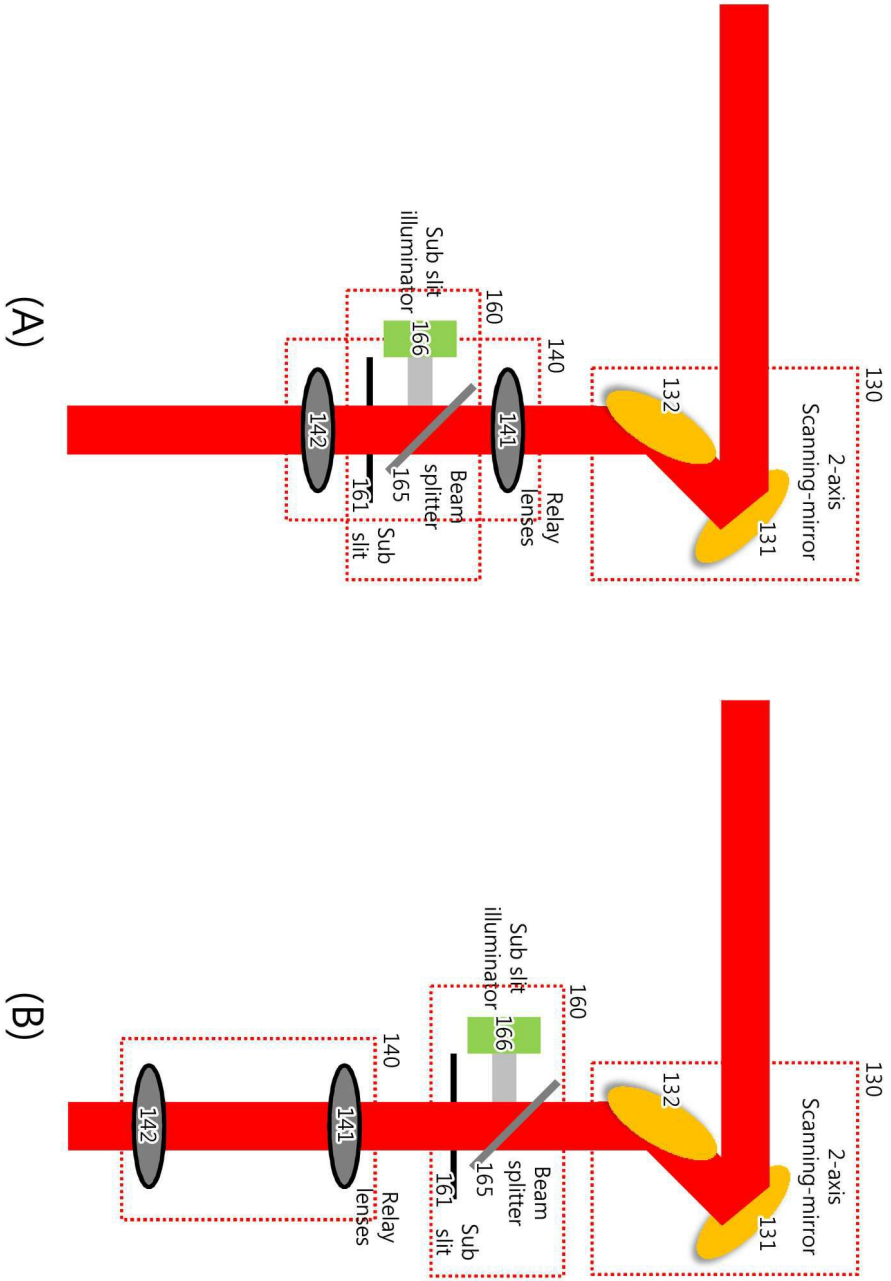
도면12



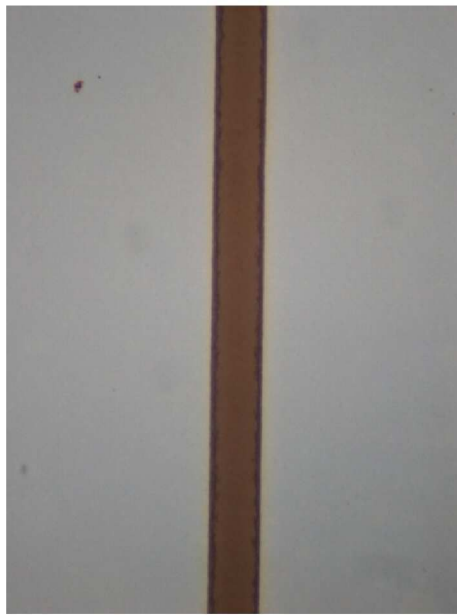
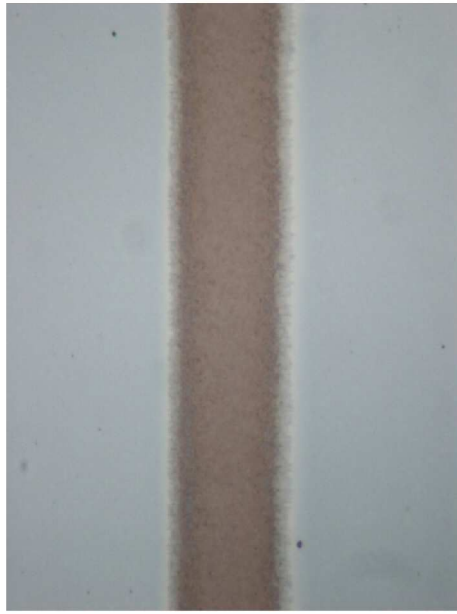
도면13



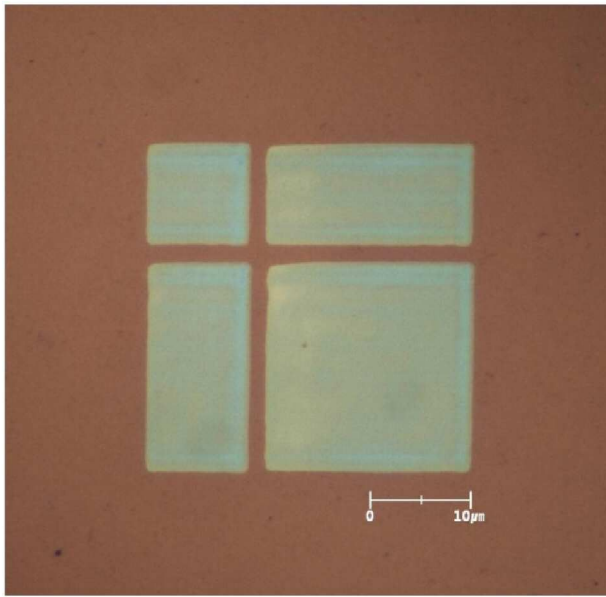
도면14



도면15



도면16



(A)



(B)

도면17

