(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년07월29일
(11) 등록번호 10-2426820
(24) 등록일자 2022년07월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/14 (2014.01) *B23K 26/06* (2014.01)
B23K 26/073 (2006.01) *G02B 26/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23K 26/14 (2013.01)
B23K 26/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-7000778
(22) 출원일자(국제) 2017년07월06일
심사청구일자 2020년06월30일
(85) 번역문제출일자 2019년01월09일
(65) 공개번호 10-2019-0038798
(43) 공개일자 2019년04월09일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2017/054067
(87) 국제공개번호 WO 2018/007967
국제공개일자 2018년01월11일
(30) 우선권주장
102016000070352 2016년07월06일 이탈리아(IT)
(56) 선행기술조사문헌
US9463529 B2
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 20 항

(73) 특허권자
아디제 에스.피.에이.
이탈리아, 아이-38056 레비코 테르메 (트렌토), 비아 퍼 바르코 11
(72) 발명자
스배티, 마우리지오
이탈리아 38056 레비코 테르메 (트렌토) 비콜로 델 크로세피쏘 36
(74) 대리인
특허법인 무한

심사관 : 임성수

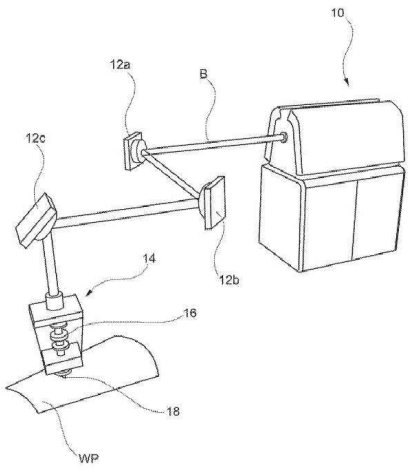
(54) 발명의 명칭 **작업 평면에서 레이저 빔의 횡전력 분포를 제어하는 금속 재료의 레이저 공정 방법 및 상기 방법을 실시하기 위한 머신 및 컴퓨터 프로그램**

(57) 요 약

금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면(working plane)에서 소정의 횡전력 분포(transverse power distribution)를 갖는 포커싱 된(focused) 레이저 빔에 의하여, 특히 상기 재료의 레이저 커팅, 드릴링 또는 용접을 위한 금속 재료의 레이저 공정 방법에 있어서, 레이저 빔 방출 소스을 제공하는 단계; 레이저 빔을 빔 운송 광학 경로

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



(beam transport optical path)를 따라 재료에 근접 배치된 작업 헤드(working head)로 인도하는 단계; 재료에 입사하는 광 전파 축을 따라 레이저 빔을 시준하는(collimating) 단계; 재료의 작업 평면의 영역에 상기 시준된(collimated) 레이저 빔을 포커싱 하는 단계; 및 연속된 작업 영역을 포함하는 금속 재료상의 작업 경로를 따라 상기 포커싱 된 레이저 빔을 전도시키는 단계를 포함하며, 레이저 빔을 형태는, 독립적으로 움직일 수 있는 복수개의 반사 영역을 포함하는 연속적인 곡률을 갖는 반사면을 포함하는 변형 가능한 제어된 표면 반사 소자(surface reflecting element)에 의해 상기 시준된 빔을 반사시키고, 및 금속 재료상에 상기 현재 작업 평면의 영역 및/또는 상기 작업 경로의 현재 방향의 함수에 의하여 상기 금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면에서 상기 빔의 소정의 횡전력 분포를 설정하도록 상기 반사 영역의 배치를 제어하여 형성되는 것이다.

(52) CPC특허분류
B23K 26/073 (2013.01)
G02B 26/0825 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌
US4942588 A
US20100206857 A1
EP1918062 A1
US4202605 A

명 세 서

청구범위

청구항 1

금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면에서 소정의 횡전력 분포를 갖는 포커싱된 레이저 빔에 의한 금속 재료의 레이저 공정 방법에 있어서,

레이저 빔 방출 소스을 제공하는 단계,

상기 방출 소스에 의해 방출된 레이저 빔을 빔 운송 광학 경로를 따라 상기 금속 재료에 근접 배치된 작업 헤드로 인도하는 단계,

금속 재료에 입사하는 광 전파 축을 따라 레이저 빔을 시준하는 단계,

상기 금속 재료의 작업 평면의 영역에 상기 시준된 레이저 빔을 포커싱 하는 단계, 및

연속된 작업 영역을 포함하는 금속 재료상의 작업 경로를 따라 상기 포커싱 된 레이저 빔을 전도시키는 단계

를 포함하고,

상기 방법은,

레이저 빔을 형성(shape)하는 단계

를 포함하고,

상기 레이저 빔을 형성하는 단계는,

독립적으로 움직일 수 있는 복수 개의 반사 영역을 포함하는 연속적인 곡률을 갖는 반사면을 포함하는 변형 가능한 제어된 표면 반사 소자에 의해 상기 시준된 빔을 반사시키는 단계, 및

금속 재료상에 상기 작업 경로의 현재 방향 및 상기 현재 작업 평면의 영역 중 적어도 하나의 함수에 의하여 상기 금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면에서 상기 빔의 소정의 횡전력 분포를 설정하도록 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 단계

를 포함하고,

상기 방법은,

금속 재료의 상기 작업 평면의 영역을 향한 보조 가스의 흐름을 상기 보조 가스 흐름의 축을 따라 전달하는 단계,

보조 가스 흐름의 축을 금속 재료상의 소정의 작업 경로로 상대적으로 이동시키는 단계,

상기 보조 가스 흐름의 축의 현재 이동의 방향 및 현재 위치 중 적어도 하나를 검출하는 단계, 및

보조 가스 흐름의 축 주변 및 상기 흐름의 전달 영역 내의 소정의 주변부에 포함된 금속 재료상의 작업 평면의 영역에서 빔의 상기 소정의 횡전력 분포를 설정하기 위하여 상기 반사 영역의 배치를 제어함으로써,

상기 보조 가스 흐름의 축의 검출된 현재 이동 방향 및 검출된 현재 위치 중 적어도 하나의 함수에 의하여 레이저 빔의 횡전력 분포를 자동으로 제어하는 단계

를 더 포함하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 보조 가스 흐름 축의 검출된 현재 이동 방향 및 현재 위치 중 적어도 하나의 함수에 의하여 상기 레이저

빔의 횡전력 분포의 자동 제어는 소정의 제어 패턴 또는 프로그램을 참조하여 수행되는 방법.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

소정의 직경을 갖는 가우스 형태를 갖는 금속 재료상의 적어도 하나의 작업 평면의 영역에서 상기 빔의 횡전력 분포를 설정하도록 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 단계

를 포함하는 방법

청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,

환형의 금속 재료상의 적어도 하나의 작업 평면의 영역에서 빔의 횡전력 분포를 설정하기 위해 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 단계

를 포함하는 방법

청구항 5

제1항 또는 제2항에 있어서,

소정의 직경의 편평한 프로파일 형상을 갖는 금속 재료상의 적어도 하나의 작업 평면의 영역에서 빔의 횡전력 분포를 설정하도록 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,

소정의 직경을 갖는 가우스 분포 및 가우시안 분포에 대해 외측으로 동심원인 환형 분포를 포함하는 금속 재료상의 적어도 하나의 작업 평면의 영역에서 빔의 횡전력 분포를 설정하기 위해 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 있어서,

소정의 직경을 갖는 가우스 분포 및 가우시안 분포에 대해 외측으로 동심원적인 반-환형 분포를 포함하는 상기 금속 재료상의 적어도 하나의 작업 평면의 영역에서, 빔의 횡전력 분포를 설정하기 위해 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

작업 평면의 영역에서 소정의 직경과 가우시안 분포의 외측으로 동심원적인 반-환형 분포의 외측으로 동심원적

인 분포를 기지는 가우시안 분포를 포함하고 작업 경로의 로컬 방향에 따르는, 빔의 상기 횡전력 분포의 대칭축의 방향을 포함하는 방법.

청구항 9

제1항 또는 제2항에 있어서,

타원 단면의 가우스 형태를 갖는 금속 재료상의 적어도 하나의 작업 평면의 영역에서 빔의 횡전력 분포를 설정하기 위해 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

작업 경로의 로컬 방향에 따르며, 작업 평면의 영역에서 타원형 단면의 가우시안 형태를 갖는 빔의 상기 횡전력 분포의 대칭축의 방향을 포함하는 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 금속 재료상의 소정의 작업 경로를 따라 상기 보조 가스 흐름의 축의 상대적인 이동,

상기 보조 가스 흐름의 축의 현재 이동 방향의 검출 및 현재 위치의 검출 중 적어도 하나, 및

상기 보조 가스 흐름의 축의 검출된 현재 이동 방향 및 상기 검출된 현재 위치 중 적어도 하나의 함수로서 레이저 빔의 전파의 광축의 위치의 자동 조절

을 포함하는 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 보조 가스 흐름의 축의 검출된 현재 이동 방향 및 상기 검출된 현재 위치 중 적어도 하나의 함수로서 상기 레이저 빔의 전파의 광축의 위치의 상기 자동 조절은,

소정의 제어 패턴 또는 프로그램을 참조하여 수행되는 방법.

.

청구항 13

제12항에 있어서,

TEM10 횡방향 전자기 모드에 대응하는 금속 재료상의 적어도 하나의 작업 평면의 영역에서 상기 빔의 전체 횡전력 분포를 설정하기 위하여, 작업 경로의 방향에 대하여 횡방향으로 정렬된 소정의 직경을 갖는 2개의 가우시안 분포의 조합을 포함하는 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 단계

를 포함하며,

상기 2개의 가우시안 분포의 상기 광 전파 축 및 상기 포커싱 면의 상대적 위치는 시간에 따라 상기 작업 경로의 로컬 방향에 따라서, 그리고 다음의 움직임의 조합을 포함하는 규칙에 따라 주기적으로 변화하며;

상기 규칙은,

작업 경로의 로컬 방향을 따른 전체 전력 분포의 무게중심의 진전;

수평 평면상에 프로젝션될 때, 각각의 소정 시간 회전 기하학 중심의 주변의 타원형 회전 궤적에 따른 상기 2개의 가우스 분포 각각의 광축의 움직임 - 각각 작업의 진행 방향에 대한 전체 전력 분포의 중심의 오른쪽에서 시계 방향으로, 작업 진행 방향에 대한 전체 전력 분포의 중심에서 왼쪽에서 시계 반대 방향으로 -;

각각의 소정의 중심 주변의 시간 회전 움직임 동안, 시상면상의 프로젝션에서 평행 사변형 궤적을 따라 역회전하여, 각각의 광 전파 축을 따라 상기 2개의 가우시안 분포의 각각의 포커싱 면 로케이션의 변화; 및

전체 전력 분포의 중심의 이동 방향에 평행한 방향을 따라 각각 우측 및 좌측으로, 상기 2개의 가우시안 분포 각각의 광축의 회전 중심의 진행;

을 포함하는 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 2개의 가우스 분포들 각각의 전파 광축의 상대 위치의 주기적인 변화 및 각각의 전파 광축을 따르는 상기 2개의 가우시안 분포의 포커싱 평면의 로케이션의 주기적 변화는 v/2D의 정수배이고,

v는 전반적인 전력 분포의 중심의 진행 속도이고, D는 레이저 빔의 허리부의 포커싱 스폿의 직경인 방법

청구항 15

제1항 또는 제2항에 있어서,

제어된 표면 반사 소자의 상기 반사 영역의 배치를 제어하는 것은 반사 기준 평면에 대응하는 상기 영역의 움직임의 조합을 제어하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 제어된 표면 반사 소자의 상기 반사 영역의 움직임의 조합을 제어하는 단계는,

상기 반사 소자의 광축에 대한 기울기를 얻기 위하여, 상기 영역의 회전 및 상기 반사 소자의 광축을 따라 상기 영역의 이동 움직임 중 적어도 하나를 제어하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 17

제1항 또는 제2항에 있어서,

대응하는 복수의 움직임 모듈에 의해 복수의 독립적으로 이동 가능한 반사 영역을 포함하는 연속 곡률의 반사면을 갖는 변형 가능한 제어된 반사 소자를 제공 - 중앙 영역 및 상기 중앙 영역에 복수 랭크의 동심인 원형 크라운 섹터를 포함 -하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,

동심 원형 크라운 섹터의 상기 랭크는 6개이고, 원형 크라운 섹터는 각 랭크마다 8 개이고, 원형 크라운 섹터의 높이는 반사면의 외측을 향하는 반경 방향으로 제1 랭크에서 제3 랭크 및 제4 랭크에서 제6랭크로 증가하고, 제4 랭크의 원형 크라운 섹터의 높이는 제1 랭크 및 제2 랭크의 원형 크라운 섹터의 높이의 중간부분인 방법.

청구항 19

금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면에서 소정의 횡전력 분포를 갖는 포커싱 된 레이저 빔에 의한 금속 재료의 레이저 공정 장치에 있어서,

레이저 빔 방출 소스;

상기 방출 소스에 의해 방출된 레이저 빔을 빔 운송 광학 경로를 따라 상기 금속 재료에 근접 배치된 작업 헤드로 인도하는 수단;

금속 재료에 입사하는 광 전파 축을 따라 레이저 빔을 시준하는 광학 수단;

상기 금속 재료의 작업 평면의 영역에 상기 시준된 레이저 빔을 포커싱 하는 광학 수단 - 상기 시준된 레이저 빔의 적어도 상기 포커싱 광학 수단은 상기 금속 재료로부터 제어된 거리에서 상기 작업 헤드에 의해 운반됨 -,

연속된 작업 영역을 포함하는 금속 재료상의 작업 경로를 따라 상기 포커싱 된 레이저 빔을 전도시키도록 적용된, 상기 작업 헤드와 상기 금속 재료 사이의 상호 위치를 조정하는 수단,

시준된 레이저 빔을 반사시키도록 구성된 복수의 독립적으로 움직일 수 있는 반사 영역을 포함하는 연속 곡률의 반사면을 갖는 변형 가능 제어된 반사 소자를 포함하는 레이저 빔을 형성하기 위한 광학 수단 - 상기 반사 영역의 배치는 상기 금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면에서 빔의 소정의 횡전력 분포를 설정하도록 적용됨 -; 및

금속 재료상에 상기 작업 경로의 현재 방향 및 상기 현재 작업 평면의 영역 중 적어도 하나의 함수에 의하여 상기 금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면에서 상기 빔의 소정의 횡전력 분포를 설정하도록 상기 반사 영역의 배치를 제어하도록 구성된 전자 처리 및 제어 수단

을 포함하고,

재료상의 작업 영역을 향하여 보조 가스의 흐름을 안내하도록 되어있는 노즐을 포함하고,

상기 전자 처리 및 제어 수단은,

보조 가스 흐름의 축을 금속 재료상의 소정의 작업 경로로 상대적으로 이동시키고,

상기 보조 가스 흐름의 축의 현재 이동의 방향 및 현재 위치 중 적어도 하나를 검출하고,

상기 보조 가스 흐름의 축의 검출된 현재 이동 방향 및 검출된 현재 위치 중 적어도 하나의 함수에 의하여 레이저 빔의 횡전력 분포를 자동으로 제어하도록

구성되는 장치.

청구항 20

컴퓨터 프로그램이 금속 재료의 레이저 공정을 위한 장치에서 전자 처리 및 제어 수단에 의해 실행될 때, 레이저 빔을 형성하는 방법을 수행하기 위한 하나 이상의 코드 모듈을 포함하는, 컴퓨터 판독가능 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램에 있어서,

상기 장치는

시준된 레이저 빔을 반사 시키도록 구성된 복수의 독립적으로 움직일 수 있는 반사 영역을 포함하는 연속 곡률의 반사면을 갖는 변형 가능 제어된 반사 소자를 포함하는 레이저 빔을 형성하기 위한 광학 수단 - 상기 반사 영역의 배치는 상기 금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면에서 빔의 소정의 횡전력 분포를 설정하도록 적용됨 -; 및

금속 재료상에 상기 작업 경로의 현재 방향 및 상기 현재 작업 평면의 영역 중 적어도 하나의 함수에 의하여 상기 금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면에서 상기 빔의 소정의 횡전력 분포를 설정하도록 상기 반사 영역의 배치를 제어하도록 구성된 전자 처리 및 제어 수단

을 포함하고,

상기 레이저 빔을 형성하는 방법은,

보조 가스 흐름의 축 주변 및 상기 흐름의 전달 영역 내의 소정의 주변부에 포함된 금속 재료상의 작업 평면의 영역에서 빔의 상기 소정의 횡전력 분포를 설정하기 위하여 상기 반사 영역의 배치를 제어함으로써,

상기 작업 평면의 영역을 향해 전달되는 보조 가스 흐름의 축의 검출된 현재 이동 방향 및 검출된 현재 위치 중 적어도 하나의 함수에 의하여 레이저 빔의 횡전력 분포를 자동적으로 제어하는 단계

를 포함하는 컴퓨터 판독가능 기록매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

발명의 설명

기 술 분 야

본 발명은 금속 재료의 레이저 공정에 관한 것이고, 더욱 상세하게는 독립항 제1항의 전제부(preamble)에 기재된 바와 같이 상기 재료의 커팅(cutting), 드릴링(drilling) 또는 용접(welding)을 위한 레이저 공정(laser processing)에 관한 것이다.

다른 측면에 따르면, 본 발명은 레이저 공정 방법을 구현하도록 배치된 금속 재료의 레이저 공정용 장치, 및 상기 프로그램이 전자 처리(electronic processing) 수단에 의해 실행될 때 상기 방법을 구현하기 위한 하나 이상의 코드 모듈을 포함하는 컴퓨터 프로그램에 관한 것이다.

배 경 기 술

다음의 설명 및 청구의 범위에서, "금속 재료(metallic material)"라는 용어는 폐쇄된 단면(closed cross-section)을 가지지 않는 시트(sheet) 또는 연장된 프로파일(elongated profile)과 같은 임의의 금속 소재(metallic workpiece)를 정의하는데 사용된다. 예를 들어 중공 원형(hollow circular), 직사각형 또는 정사각형 형태 또는 개방형 형태, 예를 들어 평평한 단면 또는 L, C, U 등의 형태의 단면이다.

산업용 금속 공정 방법, 특히 금속 시트 및 프로파일의 레이저 공정(laser processing) 방법에서, 레이저는 처리되는 재료와 레이저 빔의 상호 작용 파라미터에 의존하는 다양한 응용을 위한 열 도구로서 사용되며, 구체적으로 재료 및 상호 작용 시간 간격에 대한 레이저 빔의 입사 볼륨당 에너지 밀도에 의존한다.

예를 들어, 장시간(수초 단위로) 낮은 에너지 밀도(표면의 mm^2 당 수십 W 정도)를 시행하면 경화 공정(hardening process)이 달성되고, 높은 에너지 밀도(수십 MW/cm2)를 펨토초 또는 피코초 단위의 시간 동안 시행하면 광 절삭(ablation) 공정이 이루어진다. 에너지 밀도가 증가하거나 작업 시간이 감소하는 중간 범위에서, 이러한 매개 변수를 제어하면 용접, 커팅, 드릴링, 조각 및 마킹 프로세스를 수행할 수 있다.

드릴링 및 커팅 공정을 포함하는 많은 공정(process)에서, 레이저 빔과 재료 사이의 상호 작용이 발생하는 작업 영역(working plane)에 보조 가스 흐름(assist gas flow)이 제공되어야 하며, 용융된 재료의 추진(propulsion)의 기계적 기능 또는 연소 보조의 화학적 기능, 심지어 작업 영역을 둘러싼 환경으로부터 차폐하는 기술적 기능까지도 포함한다.

금속 재료의 레이저 공정의 분야에서, 레이저 커팅(cutting), 드릴링(drilling) 및 용접(welding)은 동일한 장치에 의해 수행될 수 있는 공정 작업(processing operation)이며, 금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면 9working plane)에서 소정의 횡방향 전력 분포(transverse power distribution)를 갖는 고전력의 포커싱 된 레이저 빔을 발생시키도록 적용되며, 전형적으로 1 내지 10000 kW/mm^2 범위의 전력 밀도를 갖는 레이저 빔, 및 빔 방향 및 재료를 따른 입사 위치를 제어하기 위해 사용되는 장치이다. 재료에 대해 수행되는 서로 다른 유형의 공정의 차이는 실질적으로 사용된 레이저 빔의 전력과 레이저 빔과 처리 대상 물질간의 상호 작용 시간에 기인하게 된다.

종래 기술에 따른 레이저 공정 장치가 도 1 및 도 2에 도시되어 있다.

도 1은 대기중의 레이저 빔의 광학 경로(optical path)를 갖는 CO_2 레이저로 구성된 산업용 공정 장치를 개략적으로 도시하고 있으며, 이는 단일 모드 또는 다중 모드 레이저 빔 B를 방출할 수 있는 CO_2 레이저 발생 장치와 같은 방출 소스(emitting source)(10)를 포함하며, 작업 헤드(working head)로 향하는 빔 전달 광학 경로를 따라 방출 소스로부터 방출된 레이저 빔을 전도(conduct)하도록 적용된 복수개의 반사 미러(12a, 12b 및 12c) - 재료 WP의 근처에 배치되고 도면부호 14에 집합적으로 표시된 - 를 포함한다. 작업 헤드(14)는 일반적으로 포커싱 렌즈(focusing lens)로 구성되는 레이저 빔의 광학 포커싱 시스템(16)을 포함하며, 금속 소재에 입사하는 광의 광축을 따라 레이저 빔을 포커싱 하도록 적용된다. 노즐(nozzle)(18)은 포커싱 렌즈의 다운스트림(downstream)에 배치되고 재료의 작업 평면(working plane)의 영역을 향하는 레이저 빔에 의해 교차(crossing)된다. 노즐은 도시되지 않은 대응 시스템에 의해 주입된 보조 가스(assist gas)의 빔을 재료상의 작업 영역으로 지향시키도록 적용된다. 보조 가스(assist gas)는 작업 공정(working process)의 실행뿐 아니라 얻을 수 있는 공정의 품질을 제어하는데 사용된다. 예를 들어, 보조 가스는 금속과의 발열 반응(exothermic reaction)을 촉진하고, 커팅 속도가 증가되도록 하는 산소, 또는 질소와 같은 불활성 가스를 포함할 수 있으며, 질소 가스는 재료의 융착(fusion)에 기여하지는 않지만 작업 프로파일의 가장자리에서 원하지 않는 산화로부터 재료를 보호하고, 용융된 재료의 튀김(splashes)으로부터 작업 헤드를 보호하며, 작업 헤드의 표면에 생성된 홈(groove)의 측면을 냉각시키며, 열 변형 영역의 팽창을 제한한다.

도 2는 광섬유(fiber optics)를 통해 채널링(channeling)된 레이저 빔이 있는 산업용 공정 장치를 개략적으로 보여준다. 그것은 방출 소스(10)를 포함하는데, 예를 들면 이터븀(ytterbium)으로 도핑된 레이저 파이버(laser fiber) 같은 전송 파이버(transmitting fiber)로 레이저 빔을 입사할 수 있는 레이저 발생 소자 또는 단일 모드 또는 멀티 모드 레이저 빔을 방출하도록 적용된 직하 다이오드 레이저 및 재료 M에 근접하여 배치된 작업 헤드(14)에 방출 소스로부터 방출된 레이저 빔을 전도(conduct)하도록 적용된 파이버 광학 케이블(12d)을 포함한다. 작업 헤드(working head)에서, 방출 노즐(emitting nozzle)(18)을 통과하여 WP 재료상에 전파 입사하는 광축을 따라 배치되고 일반적으로 포커싱 렌즈를 포함하는 광학 포커싱 시스템(16)을 통해 포커싱 되기 전에 발산이 제어된 파이버에서 나오는 레이저 빔은 굴절(dioptric) 시준 시스템(collimating system)(20)에 의해 시준되고(collimated) 반사(catoptric) 시스템(22)에 의해 반사(reflect)된다.

도 3은 종래 기술에 따른 예시적인 작업 헤드(working head(14)를 도시한다. 도 3의 30에서, 관형 채널(tubular channel)은 B로 표시된 레이저 빔이 전송되는 원통형(cylindrical) 또는 원뿔형 단면(conical section)을 갖는 것으로 표현된다. 방출 소스9emitting source)(10)에 의하여 발생되고 광섬유(fiber optics)내 혹은 다중 반사의 공기내 광학 경로의 수단에 의하여 작업 헤드로 전송되는 레이저 빔 B는 프로세싱(processing) 되는 재료상에 입사 방향의 광학 전파축을 편향(deflect)시키는 반사 디플렉터 소자(reflective deflector element)(32)에서 시준된다. 광학 포커싱 시스템(opticlal focusing system)(16)은 반사 디플렉터 소자(reflective deflector element)(32)와 다운스트림(downstream)에 배치된 보호 슬라이드(protected slide)(34) 사이의 중간에 위치하고, 포커싱 시스템을 용융된 재료의 튀김(splash)으로부터 보호한다. 광학 포커싱 시스템(16)은 렌즈의 위치를 빔(X-Y축)의 전파 방향에 횡적으로(transversly) 그리고 빔(Z축)의 전파 방향 내에서 조절하기 위하여, 기계적 조절 메커니즘(38)에 결합된 렌즈 홀더 유닛(lens holder unit)(36)을 포함한다.

작업 헤드에서 레이저 광선이 받는 광학 처리는 도 4와 도 5에 도시 되어있다.

자유 공간(free space) 또는 파이버 내에서 광 전송 경로를 통해 방출 소스 S 로부터 발생된 레이저 빔 B는 소정의 발산으로 작업 헤드에 도달한다. 렌즈 C에 의하여 도 4에 도시된 바와 같이, 광학 시준 시스템(optical collimation system)은 레이저 빔 B을 시준하고, 포커싱 된 레이저 빔을 생성할 수 있고 렌즈 F로 표시되는 다운스트림에 배치된 광학 포커싱 시스템(optical focusing system)으로 향하게 한다. 첫 번째 근사에서, 광학 포커싱 시스템의 다운스트림의 이상적인 레이저 빔, 즉 평행 광선으로 이상적으로(ideally) 평행한(parallel) 레이저 빔은 기하학적 광학의 법칙에 따라 포커싱에 집중(concentrated)된다. 그러나 회절의 물리적 법칙은, 시스템의 다운스트림에 최적의 시준 및 포커싱 구성에서도 레이저 빔이 광학 포커싱 허리부분(waist)에서 유한 포커스 스폿(finite focisinf spot)을 가지고 있음을 나타내다. 이는 도 4에서 빔 B의 포커싱 영역에 대응하는 영역 W로 나타냈다. 일반적으로 산업 공정 용도에서 재료의 작업 평면(working plane)은 빔의 허리부분의 횡단면에 일치한다.

도 5는 통상적으로 시준된 레이저 빔의 전력 밀도(density)의 분포를 도시하는데, 이는 단일 모드 빔의 경우 회

전 대칭(rotational symmetry)을 갖는, 즉 가우시안(gaussian)인데, 즉 빔의 종축(Z 축) 주변 스커트(skirt)를 따라 점차적으로 감소하거나, 멀티 모드 빔의 경우 회전 대칭(rotational symmetry)을 갖는 가우시안 프로파일(Gaussian profile)의 엔벨로프(envelope)로 기술될 수 있다.

첫 번째 근사에서 가우시안(Gaussian)으로 설명될 수 있는 단일 모드 또는 다중 모드 레이저 방사를 사용하는 빔의 사용은 고출력 레이저 응용 분야의 기술적 제어요구사항(control requirement)을 충족한다. 실제로, 이는 전력 분포(power distribution)를 변경하지 않고 자체 전파하는 특성을 가지기 때문에, 원거리 전파 조건(이 경우 기하학적 광학 근사가 사용될 수 있음)에서의 반경 값(radius value) 및 발산 값(divergency value)을 통해 기술될 수 있기 때문에, 가우시안 빔은 몇 가지 파라미터로 쉽게 설명할 수 있으며 방사 소스에서 공정 장치의 헤드까지의 광학 전송 경로를 따른 전파가 쉽게 제어될 수 있다. 기하학적 광학 근사가 더 이상 유효하지 않은 작업 경로를 따른 근거리 장(near field)에서 포커싱 된 빔의 전파 조건에서, 어떠한 경우에도 빔은 각 단면에서 가우시안 분포(Gaussian distribution) 패턴을 유지한다.

반대로, 고차 횡방향(higher order transverse model) 모드를 포함하는 레이저 빔은 비-가우스(non-gaussian) 전력 분포를 갖는다. 전형적으로, 이들 조건은 가우시안 분포로부터 시작하여 빔 형상을 변경시키는 디옵터 시스템(diopto system)(투과형 광학 시스템, 즉 렌즈)을 사용함으로써 얻어진다. 이러한 목적으로 사용되는 광학 시스템의 전형적인 특징은 장치의 광학 구성과 관련하여 "정적(state nature)" 또는 "강성(rigidity)"이다. 실제로, 특정 광학 시스템은 하나의 전력 분포 지오메트리(geometry), 예를 들어 두꺼운 재료에 대한 커팅 작업을 위한 가우시안 분포보다 넓은 전력 분포(여기서 "두꺼운"은 근적외선의 파장, 약 4mm 내지 약 20mm의 두께), 또는 얇은 재료에 대한 빠른 커팅 작업을 위한 가우시안 분포에 비해 좁은 전력 분포("얇은"은 두께가 같거나 작은 4 mm 이상)이고, 이는 장치의 작업 헤드에 미리 설치되며, 광학 헤드 시스템을 교체하지 않으면 전력 분포의 기하학적 구조는 변경될 수 없다.

레이저 빔 전력 분포의 형태가 2개의 소정의 상태들 사이에서 선택될 수 있는 다른 해결책이 당 업계에 공지되어 있으며, 예를 들어, 작업 헤드의 광학 시준 시스템에 입사하는 빔의 유효 직경을 변경함으로써 전송용 섬유(transport fiber)의 코어를 통해 또는 중간(intermediate) 클래딩(cladding)을 통해 소스로부터 작업용 헤드로의 운송을 제어함으로 얻어지거나, 또는 상이한 직경 및 발산각을 갖는 포커싱 대응 빔(focusing corresponding beam)의 다운스트림(downstream)을 생성하는 방식으로 섬유내로 공급하기 전에, BPP((Beam Parameter Product) 즉 포커싱 스폿 반경과 빔의 반 발산 각의 곱 또는 소스에서의 발산을 제어함으로써 얻을 수 있게 된다. 두 경우 모두 장치 자체의 구성으로 인하여 회전 대칭을 깨뜨릴 수 없다.

위에서 언급한 해결책과는 달리, 최근 Fleming Ove Olsen 교수는 회전 대칭(rotational symmetry)의 파손(breakage)이 공정에 이점을 줄 수 있는 커팅(cutting) 공정의 기술 모델을 제안했다. 가우시안 형태(공정(processing)의 진전 방향(advancing direction)에서)의 제1 피크 전력 분포(primary peak power distribution) 뒤쪽에 초승달 형태(crescent-shaped)의 제2 전력 분포(secondary power distribution)를 생성하는 것으로, 커팅의 진전 전단(advancing front)(제1 전력 분포에 의한)과 제1 전력 분포에 의하여 발생된 용융 재료 부분 모두를 조사(irradiate)할 수 있고, 이렇게 생성된 용융 재료의 일부가 커팅 홈(groove)의 가장자리를 따라 하강하는 경향이 있고 빠르게 냉각(제2 전력 분포를 통하여)된다. 이러한 모델은 다른 장치에 의하여 독립적으로 발생되고 제어되는 복수의 컴포넌트 레이저 빔의 조합에 의해 얻어진 전력 분포를 갖는 포괄적인 레이저 빔의 재조합을 위한 복잡하고 부피가 큰 장치를 통해 종래 기술에 따라 구현될 수 있다. 국제 특허 출원 WO2008/052547은 그러한 해결책에 관한 것이다. 이 경우에도 광학 구성 요소의 구조를 크게 변경하지 않고 작업 프로세스 중에 장치를 쉽고 빠르게 재구성할 수 있도록 하는 장치의 구조적 솔루션은 허용되지 않는다.

기본 모드 TEM00(가우시안 빔에 대응함) 보다 높은 차수의 횡 방향 전자기 모드(transverse electromagnetic mode)를 생성하는 방식으로, 차수가 동일한 경우에는 전파하지 않는 단점이 있으나, 레이저 소스 또는 레이저 광 전송 시스템을 제어하는 것이 가능하지만, 일반적으로 가우시안 형상과는 다른 레이저 빔의 횡전력 분포의 형상을 얻을 수도 있고, 가능하게는 회전하는 것 이외의 대칭을 가질 수도 있지만, 이는 잘 정의된 빔의 전파 위치(포커싱 면)에서만 얻어 질 수 있다.

이러한 이유로 인하여 , 레이저 공정 분야에서, 레이저 빔의 전파를 제어하여 가우스(또는 대략 가우시안) 횡단 전력 분포를 갖도록 하고, 레이저 빔의 광 전파 광축과 보조 가스 흐름의 중심 축 사이의 모든 상호 위치를 단시간에 설정할 필요성이 항상 존재한다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

순수한 단일 모드 빔의 경우 빔의 회전 대칭(rotational symmetry) 및 보조 가스 흐름을 중시하는 이 설계 선택은, 각각은 레이저 빔의 전력의 가우시안 분포 및 보조 가스의 유출 노즐의 입구의 원형 단면에 의해 지시되며, 공정(processing)이 따라갈 수 있는 방향과 관련된 각 작업 공정(커팅, 용접 등)의 거동(behavior)의 등방성(isotropy)을 보장한다.

재료상의 작업 경로에 대한 공정(process)의 등방성(isotropy)은 CAD/CAM 시스템에서 소정 경로 및 형상에 따라 전자 처리 수단에 의해 레이저 작업 공정이 제어되는 경우 항상 장점으로 간주된다.

물리적으로 "불평형(unbalanced)"시스템이거나 재료에 레이저 빔과 보조 가스의 입사 지점에서 회전 대칭이 없는 경우, 작업 경로를 제어하는데 있어서 복잡성과 어려움이 발생하거나 공정 결과의 품질이 떨어지는 것으로 널리 알려져 있다.

본 발명의 목적은 작업 속도, 결과의 질 및 공정의 비용-효율면에서 개선된 성능을 갖는 레이저 공정 방법을 제공하는 것이다.

본 발명의 다른 목적은 기존의 장치의 크기를 증가시키지 않으면서 달성 가능한 모든 작동 조건에서 정확한 공정 결과를 얻기 위해 실시간으로 제어 가능한 레이저 공정 방법을 제공하는 것이다.

본 발명에 따르면, 이들 목적은 청구항 제1항에 언급된 특징을 갖는 금속 재료의 레이저 공정 방법을 통해 달성된다.

특정 실시예는 종속항의 목적이며, 그 내용은 본 명세서의 필수 부분으로 이해되어야 한다.

본 발명의 또 다른 목적은 청구 범위에 기재된 금속 재료의 레이저 공정 장치 및 컴퓨터 프로그램을 제공하는 것이다.

요약하면, 본 발명은 레이저 빔의 전력 분포 및 가능하게는 빔의 회전 대칭의 파손이 작업 공정의 속도, 품질 및 비용 효율성면에서 보다 우수한 성능을 허용할 수 있다는 고려로부터 영감을 얻었다.

작업 경로와 관련하여 필요한 곳에 전력 분포(power distribution)가 로컬화(locallized)되거나 확장될 수 있도록 하고, 주 처리에 보조적인 동작을 위해 이용 가능한 레이저 전력의 일부를 이용하기 때문에, 예를 들어, 절삭 또는 드릴링 작업에서 용융된 재료를 가열/유지시키는데, 이는 보조 가스 흐름에 의해 처리되는 재료로부터 상기 재료의 제거를 용이하게 하고 프로파일 및 커팅 표면의 순도가 동일한 수준의 성능을 갖는 가우시안 형태의 전력 분포에 기초한 프로세스에 의해 얻을 수 있는 것보다 높게 된다.

본 발명에 따르면, 전술한 고려 사항을 종래 기술의 시스템에 적용하는 것은 레이저 빔의 실시간 형성을 제어함으로써 공정 레이저 빔의 횡전력 분포의 효율적인 제어를 수행함으로써 달성된다. 레이저 빔의 형상(shape)은 작업 평면상에서 횡전력 분포를 얻기 위해 편리하게 제어된다. 예를 들어, 소정의 직경의 가우시안 형 분포에는 환형(도넛 형) 분포, 소정의 직경(편평한 상부(plat top) 또는 톱 헛(top hut))의 편평한 프로파일 분포, 가우시안 분포와 가우시안 분포에 대해 외측 동심원(externally concentric)인 환형분포(annular distribution)의 동심 중첩(concentric overlapping)에 의해 얻어지는 복소 원형 대칭 분포(complex circular symmetry distribution), 제1 전력 분포 뒤에 가우시안 형태의 제1 피크 전력 분포 및 초승달 모양의 2 차 전력 분포를 포함하는 복소 비대칭 분포(complex asymmetric distribution) - 문헌(FO Olsen, KS Hansen, JS Nielsen, "Multibeam fiber laser cutting", J. Laser Appl., 21권, 133면, 2009년)에 기재된 -, 타원형 단면(elliptical cross-section)을 갖는 난시 분포(astigmatic distribution) 및 이들의 다양한 조합을 포함한다.

또한, 레이저 빔의 형상은 작업 평면에서 복수(예를 들어, 페어(pair))의 공간적으로 상관된(spatially correlated) 가우시안 빔 - 예를 들어, 보조 가스 흐름의 전달 영역내의 주변부에서 시간 변화에 따른 소정의 관계에 따라 결합되고, 가스 흐름의 전달 영역내에서 앞서 기술한 분포의 중심과 관련된 위치 및/또는 상호 위치가 시간적으로 동기화되거나 비동기화 될 수 있는 - 에 대응하는 횡전력 분포를 결정하도록 편리하게 제어될 수 있다.

본 발명은 산업 응용을 위한 고출력 레이저 빔을 형성하기 위하여, 광학 신호(저전력 광학 방사)의 처리를 위한 과학적 응용에서 그것 자체로(per se) 제어된 변형을 갖는 광학 시스템을 사용하는 원리에 기초한다.

레이저 빔 광학 이송 시스템에서 제어 변형 광학 시스템의 용용(application)은 신속하게 수정 가능한 방식으로

얻을 수 있는 레이저 빔 형상의 범위를 확장할 수 있으므로 결과적으로 기계 공정(machine process)의 성능을 향상시키거나 혁신적인 기계 공정을 구현할 수 있다.

유리하게는, 본 발명의 방법은 원래의 광축을 중심으로 레이저 빔의 전력 분포를 형성함으로써 실시간으로 레이저 작업 공정을 제어할 수 있게 하여, 그에 따라 각각의 전력 분포 지오메트리를 위한 특정 광학 시스템을 채택할 필요가 없다. 소정의 공정을 위해 장치를 세팅할 때 작업자의 개입을 통해서만 달성될 수 있는 빔 생성 또는 이송 단계, 즉 작업 헤드로부터 멀리 있는 소정의 빔 파라미터를 제어할 수 있다.

보다 바람직하게는, 본 발명의 방법은 레이저 빔의 횡전력 분포가 빠른 정착 시간을 갖는 복수의 미리 정의된(predefined) 형태에 따라 제어되고, 그러한 제어가 작업 사이클 측면에서 "예비 설정(preparatory setup)"으로서 수행될 뿐만 아니라 재료상의 작업 경로를 따라 레이저 빔의 횡전력 분포를 제어하기 위하여 작업 사이클 동안 실시간으로 구현될 수 있다.

바꾸어 말하면, 본 발명의 방법은 레이저 빔의 소정의 횡 방향 분포 전략이 작업 공정 중에 자동으로 설정되고 개발(developed) - 예를 들어 작업 경로(working path)(공정의 진전 방향)의 현재 방향에 대해 특정(certain) 특정의 방향 및 소정의 위치에서 자유 표면에 대한 재료의 소정의 작업 평면에서의 레이저 빔의 횡전력 분포를 순간적으로 제어함으로써 - 될 수 있게 된다.

또한 본 발명의 방법은 작업 처리동안 레이저 빔의 횡전력 분포를 위한 가변 수정 전략은 자동적으로 설정이 가능하다. 예를 들어, 소정의 작업 경로를 따라 재료상에 작업 영역의 공간적 위치에 의존하거나, 또는 이러한 경로의 순간적인 방향, 예를 들면 처리되는 재료의 두께와 같은 함수로 나타난다. 두께가 두꺼운 경우, 예를 들어 4㎜ 이상인 경우, 공정의 기술적 요구는 넓은 홈을 생성하여 용융된 물질을 쉽게 제거할 수 있게 하고, 용융된 물질 자체의 높은 점도를 유지함으로써 유착을 없애거나 감소시킨다. 결과적으로, 가우시안 빔으로 얻을 수 있는 것과 비교하여 거칠기가 감소된 까끌까끌한 부분(burr)이 없는 커팅을 제공한다. 그러한 빔의 비대칭분포는, 예를 들어, 빔이 가우시안 중심 요소와 진전 방향(advancing direction) 뒤쪽의 초승달 모양의 포넌트로 구성될 요소로 구성되는 경우, 통상적으로 고정되지 않은(by its nature typically not fixed) 특성에 의해, 커팅 경로의 순간적인(instantaneous) 방향에 따라 재료의 표면에 대하여 회전되어질 필요성과 공정을 개선할 필요성을 만족시키게 된다. 소정 시간 전계 관계에 따라 결합된 2개의 빔을 사용하는 경우에, 본 발명은 물질에 입사하는 면 및 재료 자체의 두께의 깊이 모두에서 그 위치를 제어하여, 공정이 소정 경로를 따라 진행하는 동안(즉, 전체 광 전력 분포가 커팅의 전단 에지를 따르는 동안) 고주파에서 순간적으로 재료의 볼륨(volume)에 조사(illuminate)하도록 한다. 이 경우에도, 홈(groove)으로부터 방출된 용융 볼륨(molten volume)의 감소된 점도가 얻어진다.

금속 재료상의 작업 평면의 영역에서 상기 빔의 횡전력 분포의 제어는 본 발명에 따라 상기 흐름의 전달 영역을 한정하는 보조 가스 흐름의 축(axis)의 소정의 인접부에서 구현된다. 본 발명의 제어 방법의 볼륨(volume) 측정 필드를 나타내는 보조 가스 흐름의 전달 영역은 작업 헤드의 노즐의 "영향을 받는 볼륨(volume)"로 식별되며, 노즐은 전형적으로 노즐입구의 직경이 1㎜ 내지 3.5㎜이고, 6㎜ 내지 20㎜의 높이를 갖는 절두 원추(truncated cone)형의 전형적인 치수를 가지고, 1 내지 3㎜만큼 증가된 노즐 입구의 직경과 동일한 직경을 갖는 작은 베이스(minor base)(노즐에서), 및 그 특징적인 치수는 절두 원추(frustoconical) 볼륨의 높이와 생성 선로의 경사(inclination of the generating line)각의 함수로서 전형적으로는 15도 내지 30도 사이의 메인 베이스(main base)를 가진다. 적절하게, 노즐의 볼륨(volume)은 가능한 한 작으며, 공정될 표면의 오목부(concavities) 내에서 작동할 수 있도록 가능한 가장 얇은 외관을 갖는다.

유리하게는, 본 발명의 방법에 의해 수행되는 자동 제어는 100 Hz와 10 kHz 사이의 동작 주파수로 실시간으로 수행될 수 있다.

본 발명의 방법을 수행하도록 적용된 제어 시스템은 작업 헤드 상에 통합될 수 있기 때문에, 즉 레이저 빔의 생성 및 작업 헤드로의 운반으로부터 독립적이기 때문에 종래 기술의 시스템과 유리하게 구별된다.

더욱이, 특정 처리를 위해 기계를 세팅 또는 시운전하기 위한 공지된 해결책과 달리, 레이저 빔의 횡전력 분포는 특정 광학 장치를 대체하기 위해 작업자에 의하여 수동 개입을 통해 조정될 수 있거나, 또는 횡 전력 분포 본 발명의 방법은 작업 경로를 따라 빔의 위치의 함수로서 레이저 빔의 횡전력 분포를 실시간으로 효과적으로 제어할 수 있게 하여, 작업 경로를 따라 미리 결정된 위치에서 발생하는 프로그램 된 작업 조건에 따라 정확한 방식으로 레이저 빔의 횡전력 분포를 수정할 수 있다. 한정적이지 않은 예로서, 이러한 프로그래밍 된 처리 조건은 보조 가스 흐름의 축의 현재의 이동 방향 및/또는 재료상의 작업 경로의 현재의 방향 및/또는 소정의 작업

경로에 따른 현재 작업 위치(또는 더 일반적으로 현재 작업 평면의 영역) 뿐만 아니라 특정 작업 위치에서 예상되는 공정 유형(예를 들어, 드릴링(drilling) 간 전환, 커팅 시도 및 커팅 공정)을 포함한다.

재료의 드릴링 공정에서, 본 발명의 방법은 실시간으로 제어 가능하게 하여 공정을 개선한다. 예를 들어 작업 공정을 수행하는데, 적어도 작업 물질상의 소정의 고정된 위치에서 소정의 일련의 제1 협폭 빔 펄스의 조사를 포함하는 제1 스테이지, 및 용융된 물질의 방출을 허용하도록 팽창 직경을 갖는 소정 작업 경로를 따라 진행하는 레이저 빔의 조사를 포함하는 제2 단계를 수행한다.

드릴링 공정의 또 다른 실시예에 따르면, 다음의 단계를 연속적으로 수행하는데, 제1 단계에서, 동작 재료(working material) 상에 미리 결정된 드릴링 좌표(coordinate)에 협소한 빔 펄스들의 소정의 제1 시리즈(series)를 조사(irradiate)하는 단계 - 진행축의 중심이 보조 가스 흐름에 영향을 받은 볼륨의 중심에 위치함 -, 및 제2 단계에서, 드릴링이 수행되는 동안 용융된 재료를 "스크램블링(scrambling)" 하도록 적용된, 상기 소정의 드릴링 좌표로 동심 원형(circular) 또는 나선형(spiral) 이동에 따라 레이저 빔의 조사(연속적 혹은 펄스형)하는 단계를 포함한다.

재료의 커팅 공정에서, 본 발명의 방법은 실시간으로 제어가능하고 보다 효과적으로 공정을 개선할 수 있게 하기 위하여, 예를 들어, 개선을 위해서 다음의 일련의 처리 동작을 수행하는데, 이 동작은,

- 커팅되는 재료의 국부적인 두께 또는 필요한 특수 커팅 작업(예를 들어, 연속 홈(continuous groove) 커팅 또는 경사진 모서리가 있는 사각형(bevel)에 따라 빔 지름 수정; 및/또는

- 가우시안(Gaussian) 분포와 비교하여 절삭 홈의 중심과 그 측면 모두에 조사된 레이저 빔의 전력의 비율을 감소시키기 위하여, 플랫 프로파일 모드(flat profile mode)에 유리하게 빔 전력 분포의 상황에 따른 수정(contextual modification) - 그렇지 않으면 불필요하게 가열되어 측방향 전도에 의한 에너지의 분산이 발생하여 저온 용융 물질이 생성되고, 이는 홈을 빠져나오기 전에 재증착(redeposited) 되어 까끌까끌한 부분(burrs)을 생성함 -; 및/또는

- 축 방향으로 로컬화된 가우시안 분포와 중첩 가능하고 고리형 모드(annular type mode)에 유리한 빔 전력 분포의 상황에 따른 수정 - 까끌까끌한 부분(burrs)을 제거하도록 용융 재료의 끝단(tail)의 온도를 증가시키도록 적용됨 -; 및/또는

- 회전 대칭 및 커팅 방향에서 앞서 기술된 각 형태의 분포의 파손(breakage), 및 다른 방향과 홈(groove)으로부터 재료를 배출시키는 방향에서의 대응하는 절단(truncation); 및/또는

- 커팅 방향을 따라 순간적으로 지향된 타원형 빔(elliptical beam)에 의해, 회전 대칭(rotational symmetry)과 처리의 진행 방향에서 전력 분포에 대한 강조점(empasis)의 파손(breakage)을 포함한다.

바람직하게는, 본 발명은 레이저 빔의 상이한 횡전력 분포를 달성하는 것 이외에, 프로세스의 2개의 다른 치수(dimension)인 깊이 및 시간을 제어하는 능력을 고려한다.

사실, 위에서 설명한 횡전력 분포는, 사용된 광학 포커싱 시스템에 의존하는 빔의 전파 방향(양호한 포커싱 평면 주변의 빔의 잔해(caustics))을 따라 일관성 간격(coherence interval)(또는 "두께")을 가지는, 잘 정의된 포커싱 평면에서만 얻을 수 있다. 본 발명의 기술적 해결책은 포커싱 면의 위치가 원하는 전력 분포를 설정하는 빔의 전파 방향을 따라 제어될 수 있으며, 재료의 표면에 대한 작업 평면의 깊이는 온라인으로 수정할 수 있는 추가 공정 파라미터이다. 이러한 특징은 재료의 작업 프로세스를 제어할 때 3차원의 유연성(flexibility)이 허용되기 때문에 적합하다. 이는 공지 기술 시스템과 상이하고, 재료에 대해 작업 헤드 전체를 움직이지 않고는 조절될 수 없으며, 통상적으로 하나의 포커싱 위치를 갖는 갈바노메트릭 거울(galvanometric mirrors)을 갖는 스캐너 시스템을 포함한다.

더욱이, 공간에서의 빔의 분포 및 위치를 빠르게 제어함으로써, 즉 프로세스의 통상의 상호 작용시간에 대응하는 것보다 큰 주파수에서, 줄어든 시간내에 빔 전력 분포의 시퀀스를 단순히 제어함으로써, 레이저 빔과 임의의 형태의 재료 사이의 상호 작용의 겉보기 볼륨(apparent volume)을 정의하는 것이 가능하다. 엔벨로프(envelope)는 상기 겉보기 볼륨을 구성한다.

본 발명의 다른 특징 및 이점은, 첨부된 도면을 참조하여 제한적이지 않은 실시예로서 다음의 상세한 설명에서 보다 상세하게 기술될 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1 및 도 2는 종래 기술에 따른 레이저 공정용 장치의 예이다.

도 3은 종래 기술에 따른 레이저 장치의 작업 헤드 구조의 일례를 도시한 도면이다.

도 4 및 도 5는 종래 기술에 따른 금속 재료의 산업용 공정에 적용하기 위한 레이저 빔의 형상의 개략도이다.

도 6은 본 발명의 방법을 수행하도록 구성된 작업 헤드 내의 레이저 빔의 광학 경로의 개략도이다.

도 7은 본 발명의 방법의 구현을 위해 광학 빔을 형성하기 위해 제어된 표면 반사 소자의 개략도이다.

도 8은 본 발명에 따른 처리 방법을 수행하기에 적합한 레이저 공정 장치의 제어 전자 기기의 블록도이다.

도 9는 빔의 강도의 3차원 표현 및 횡 방향의 포커싱 평면에서의 빔의 강도의 분포의 2차원 표현에 의해 각각 가우시안 형 횡전력 분포를 나타내는 그래프이다.

도 10a는 빔의 세기의 3차원 표현 및 횡 방향 포커싱 면에서의 빔의 세기의 분포의 2차원 표현을 각각 이용하여 편평한 프로파일 횡 방향 분포를 도시한 그래프이다.

도 10b는도 10a의 횡전력 분포를 생성하도록 적용된 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 나타내는 그래프이다.

도 10c는 작업 평면상에 평탄한 프로파일을 갖는 동일한 빔의 전파 방향을 따라 빔의 강도 분포(2 차원 표현)의 변화(evolution)를 나타내는 그래프이다.

도 11a는 빔의 세기의 3차원 표현 및 횡 방향 포커싱 면에서의 빔의 세기의 분포의 2차원 표현에 의해 각각 실제 환형 프로파일을 갖는 횡전력 분포를 나타내는 그래프이다.

도 11b는도 11a의 횡전력 분포를 발생시키도록 적용된, 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 나타내는 그래프이다.

도 11c는 작업 평면에서 환형 프로파일을 갖는 동일한 빔의 전파 방향을 따라(2 차원 표현으로) 빔 분포 강도의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 12a는 빔의 입사각에 대해 45° 로 기울어진 반사 소자를 이용하여 얻을 수 있는 환형 횡전력 분포를 나타내는 그래프로서, 빔의 세기의 3차원 표현 및 횡 방향 포커싱 평면에서의 빔 강도의 분포이다.

도 12b는 도 12a의 횡전력 분포를 생성하도록 적용된 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 3차원 형상을 나타내는 그래프이다.

도 13a는 가우시안 분포 및 외부가 가우시안 분포에 동심원인 환형 분포의 동심 중첩에 의해 얻어지는 원형 대칭 프로파일을 갖는 횡전력 분포를 각각, 빔의 세기의 3차원 표현 및 횡 방향 포커싱 평면에서의 빔의 세기 분포의 차원 표현이다.

도 13b는 도 13a의 횡전력 분포를 생성하도록 적용된 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 나타내는 그래프이다.

도 13c는 동일한 빔의 전파 방향을 따라 빔의 강도 분포(2 차원 표현)의 전개를 도시하는 그래프로서, 도 13a에 기술된 유형의 프로파일(또한 가우시안 환형으로 기술됨)을 갖는 작업 평면이다.

도 14a는 빔의 세기의 3 차원 표현 및 횡 방향 포커싱 면에서의 빔의 세기 분포의 2 차원 표현에 의해 각각 타원형 프로파일을 갖는 횡 방향 전력 분포를 도시하는 그래프이다.

도 14b는 도 14a의 횡력 분포를 생성하도록 적용된 변형 가능하고 제어된 표면 반사 요소의 3 차원 형상을 나타내는 그래프이다.

도 14c는 작업 평면상에 타원형 프로파일을 갖는 동일한 빔의 전파 방향을 따라(2 차원 표현으로) 빔의 세기 분포의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 15a는 빔의 강도의 3차원 표현 및 횡 방향 포커싱 면에서의 빔의 강도 분포의 2차원 표현에 의해 각각 올슨(Olsen)에 의해 기술된 바와 같은 횡전력 분포를 나타내는 그래프이다.

도 15b는 도 15a의 횡전력 분포를 발생시키도록 적용된, 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 나타내는 그래프이다.

도 15c는 동일한 빔의 전파 방향을 따라 빔의 강도 분포(2 차원 표현)의 변화를 나타낸 그래프이며, 이는 작업 평면상에서 올슨(Olsen)에 의해 설명된 프로파일을 갖는다.

도 16 및 도 17은 본 발명의 방법에 따른 처리예를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 18은 광학 빔을 형성하기 위한 제어된 표면 반사 소자의 예시적인 실시예다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

도 1 내지 도 5는 선행 기술을 참조하여 앞에서 설명되었고, 이들의 내용은 본 발명의 교시에 따른 작업 공정을 수행하기 위해 제어되는 처리 장치의 제조에 공통적인 것으로 언급된다.

본 발명에 따른 금속 재료의 레이저 공정을 위한 기계의 작업 헤드에서의 레이저 빔의 광 경로가도 6에 도시되어 있다.

도 6의 광학 시스템은 레이저 빔 B의 입력 장치(100) - 예를 들어, 레이저 빔 B가 소정의 발산(divergence)으로 나타나는 자유 공간내의 광 경로를 따라 방출 소스에 의해 전파된 광의 광섬유 케이블 또는 광 픽업 시스템의 단부 - 를 포함한다.

입력 장치(100)의 다운스트림(downstream)에서, 시준 렌즈(collimating lens)(통상적으로 레이저 커팅 기계의 작업 헤드용 시준 렌즈는 50㎜ 내지 150㎜의 포커싱 길이를 가짐)와 같은 광 시준 시스템(optical collimating system)(120)이 배치되고, 시준된 레이저 빔이 광학 포커싱 시스템(optical focusing system)(140) - 예를 들어, 포커싱 렌즈(일반적으로 레이저 커팅장치의 작업 헤드용 포커싱 렌즈는 100㎜ ~ 250㎜의 포커싱 길이를 가지며, 레이저 용접의 경우에는 포커싱 길이가 400㎜에 도달할 수 있음) - 으로 전달되는 다운스트림은 스크린 또는 보호 유리(160)를 통해 작업 평면(Ð) 상에 상기 빔을 포커싱 하도록 배치된다.

광 시준 시스템(120)와 포커싱 광학계(140) 사이의 광로 중에는, 광빔 형성 수단(180)이 개재되어 있다.

특히, 도 6에 도시된 레이저 빔의 광학 경로의 도식화를 참조하면, 본 발명은 레이저 빔을 형성하기 위한 광학 수단(180)의 제작 및 레이저의 횡전력 분포를 달성하기 위한 상기 수단의 제어에 관한 것이다 상기 재료의 소정의 작업 평면 상에 제어된 방식으로 빔을 조사하는 단계를 포함한다. 도면에서, 레이저 빔을 형성하기 위한 광학 수단(180)은 빔의 전파 방향에 대하여 그 자신의 대칭축에 45° 로 배치되는 예시적인 실시예로 도시된다.

이를 위해, 레이저 빔을 형성하기 위한 광학 수단(180)은 독립적으로 움직일 수 있는 복수의 반사 영역을 포함하는 제어면을 갖는 변형 가능한(deformable) 반사 소자(200)로 제작된다. 도 7에 도시된 바와 같이, 휴지 상태(rest state)에서, 기준 반사 평면(reference reflective plane) 상에 놓여있는 반사 표면(reflective surface)을 정의한다. 상기 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자(200)는 연속적인 박막형(foil) 미러를 제공하며, 그 반사면은 휴지 상태에 적용된 기준 평면 반사 표면에서 3차원적으로 변경 가능하다. 상기 변형 가능하고 제어된 표면 반사 요소(200)는 복수의 반사 영역을 포함하는 연속적인 곡률(continuous curvature)을 갖는 반사면을 가지며, 반사 영역 반사면에는 도면에 도시된 200a, 200b, ... 및 200b에 대응하여 복수의 동작 모듈이 뒷면에 결합되고, 레이저 빔의 파장에 따라 반사율이 높은 코팅(적어도 99%)을 사용하고 동시에 높은 광전력을 사용함으로써 적절하게 처리될(treated) 수 있으며, 접촉 홀더에 장착되고 직접적으로 물 배관을 이용하여 냉각된다. 움직임 모듈(movement module)은 연속 곡률 반사면에 필수적이며 독립적으로 움직일 수 있다. 연속 곡률을 갖는 반사면의 반사 영역은 그 사이에 에지가 없으며, 즉 전체 반사 표면은 모든 방향으로 연속적인 로컬 변위를(local deviation) 갖는다. 상기 복수의 움직임 모듈(200a, 200b)의 움직임은, 휴지 상태에서 적용된 기준 평면 반사면에 대하여 전방 또는 후방 움직임 또는 휴지 상태에 적용된 기준 평면 반사면에 대하여 평행한 축 주변의 대응하는 반사 영역의 회전 움직임과 같은 또는 심지어 이들의 조합과 같은, 대응 반사 영역의 이동을 포함한다. 반사면의 변형, 즉 움직임 모듈(200a, 200b)의 움직임은 바람직하게는 공지된 압전 기술에 의해 동작되며, 이는 움직임 모듈의 이동 및 반사 영역의 결과적인 위치를 제어할 수 있게 하며, 즉 다른 모듈과는 독립적으로 미리 결정된 자유도에 따라 각 모듈의 이동 및/또는 회전에 의한 움직임의 조합에 따라 결정된 위치의 보정이며, 전형적으로는 +/- 40㎛ 정도의 이동 거리에서 Zernike 다항식의 조합에 의해 정의된 연속 곡률 표면의 근사를 구할 수 있으며, 이를 통해(적어도 이론적으로 그리고 원하는 목적에 따라 실제로는 충분히 근사적으로) 레이저 빔의 광 전파 축의 위치 조정 또는 보다 일반적으로는 레이저 빔의 횡전력 분포의 제어를 적용하는 것이 바람직하다.

도 7은 도 6의 다이어그램에 도시된 바와 같이, 타원형 프로파일을 갖으며 후방에 움직임 모듈을 갖는, 시준된 레이저 빔의 입사각이 45° 로 적용된, 반사 소자(200)의 바람직한 실시예를 도시한다. 그러한 실시예는 단지

예시적이고 본 발명의 구현에 제한되지 않는 것으로 이해되어야 한다. 다른 바람직한 실시예에서 시준된 레이저 빔의 입사는 휴지 상태에서 소자(200)의 표면에 수직 또는 거의 수직이며, 반사 소자(200)의 프로파일은 원형 프로파일이다.

타원형 프로파일을 갖는 반사 소자의 실시예에서, 광 시준 시스템(120)에 의해 얻을 수 있는 거울상에 입사하는 레이저 빔의 최대 횡 방향 크기에 대응하는 장축이 38㎜이고 단축이 27㎜이다.

구체적으로, 바람직한 실시예에서, 상기 변형 가능(deformable)하고 제어된(controlled) 표면 반사 소자(surface reflective element)(200)는 대응하는 복수의 움직임 모듈들(movement modules)에 의해 독립적으로 움직임이 가능한 복수의 반사 영역들과 중앙 영역(central area) 및 상기 중앙 영역과 동심인(concentric) 복수의 원형 크라운 섹터(circular crown sector)을 을 포함한다. 현재 바람직한 실시예에서, 동심 원형 크라운 섹터의 상기 랭크는 6개이고, 원형 크라운 섹터는 각 랭크마다 8 개이고, 원형 크라운 섹터의 높이는 반사면의 외측을 향하는 반경 방향으로 제1 랭크에서 제3 랭크 및 제4 랭크에서 제6랭크로 증가하고, 제4 랭크의 원형 크라운 섹터의 높이는 제1 랭크 및 제2 랭크의 원형 크라운 섹터의 높이의 중간부분인(intermediate)이다. 바람직하게는, 설계된 반사 소자(200)의 제어 구조를 단순화하기 위해, 주변 원형 고리를 형성하는 복수의 원형 섹터는 고정될 수 있고, 내부 원형 크라운 부분의 랭크들만이 41로 제한된 전체 엑추에이터(actuator)를 구동하는 방식으로 움직이게 된다.

일반적으로, 선택되는 반사 영역의 수에 따른 반사 소자상에 입사하는 레이저 빔의 횡전력 분포의 경향의 시뮬레이션 절차를 통해, 원형 섹터의 열의 개수, 즉 원형 크라운 섹터의 수 및 원형 크라운 섹터의 높이는 레이저 빔의 소정의 바람직한 횡전력 분포를 얻는데 필요한 반사면 형상에 따라 결정된다. 실제로, 소자(200)의 반사면의 제어된 변형가능성(deformability)은 레이저 빔의 위상(phase)에 작용함으로써, 포커싱 평면상에 레이저 빔의 강도(intensity)의 제어된 변화(variation)를 포함한다. 현재 바람직한 실시예에서, 반사 소자(200)의 표면의 변형은 제르 니케(zernike polynomials)의 다항식들의 조합에 따르는 반사 표면 결정 방식으로 제어된다. 따라서, 반사 소자(200)의 반사 영역의 움직임 의해 제어되는 위상 변화에 따라 포커싱 평면 상에 레이저 빔의 강도의 분포는 수학적 계산 방법을 사용하여 유리하게 시뮬레이션 될 수 있다.

도 7에 도시된 반사 소자(200)의 표면의 세분(subdivision)의 - 반사 영역의 이동 모듈의 기하학에 대응 - 기하학적 구조는 빔 형성에서 큰 자유도를 갖는 상이한 형태의 횡전력 분포를 얻기 위한 시뮬레이션 절차를 통해 본 발명자들에 의해 결정되었으며, 심지어 그의 회전 대칭성의 유지와 관련되지 않는다. 그렇지 않으면, 가우스 분포에 엄격하게 관련된 어플리케이션의 경우, 전력 분포의 형상의 변화는 필요하지 않고, 광 전파 축에 대한 그 변위 만이 변화되며, 예를 들어 동등한 간격의 랭크(rank)와 같은, 즉 원형 크라운 섹터의 높이가 섹터의 모든 랭크에서 동일한, 보다 간단한 형상을 사용할 수 있다. 빔 전력 분포의 회전 대칭이 유지되어야 하는 경우, 방사형(radially)으로 독립적인 원형 크라운(circular crown)의 형태로 복수의 반사 영역 및 각각의 움직임 모듈을 제공하는 것이 가능하다.

도 8은 본 발명의 방법을 실시하기 위한 금속 재료의 레이저 공정용 장치의 전자 제어 시스템의 회로도이다.

이 시스템은 ECU에 집합적으로 도시된 전자 처리(electronic processing) 및 제어 수단을 포함하며, 이는 장치의 보드상의 단일 처리 유닛에 통합되거나 분산된 형태로 구현될 수 있으며, 따라서 장치의 상이한 부분에 배치된 처리 모듈(processing module), 예를 들어 작업 헤드를 포함한다.

전자 처리 및 제어 수단 ECU와 관련된 메모리 수단 M은, 예를 들어 작업 헤드 및/또는 처리되는 재료에 대한 이동 명령의 형태로 소정의 작업 경로(working path)를 포함하고, 소정의 처리 패턴 또는 프로그램 및 광 빔의 전력 분포, 빔의 전력 강도, 및 작업 경로의 함수로서의 레이저 빔 활성화 시간을 나타내는 물리적처리 파라미터를 저장한다.

전자 처리 및 제어 수단 ECU는 작업 경로를 획득하고 상기 경로를 따라 프로세싱 레이저 빔의 적용을 제어하기 위해 메모리 수단 M을 액세스하도록 배치된다. 소정의 작업 경로를 따라 레이저 빔을 적용하는 제어는 소정의 작업 영역을 참조하여 소정의 작업 영역을 향한 레이저 빔의 소정의 전력 분포의 방사선의 제어 및 보조 가스 흐름의 전달의 제어를 포함한다. 즉 메모리 수단으로부터 획득된 작업 경로 정보 및 작업 파라미터에 따라 처리 패턴 또는 프로그램을 생성한다.

센서 수단 SENS는 공정 헤드와 처리되는 재료 사이의 상호 위치 및 이러한 위치의 시간에 따른 변화를 실시간으로 검출하기 위해 장치의 보드에 배치된다.

전자 처리 및 제어 수단 ECU는 센서 헤드로부터 작업 헤드와 시간 경과에 따라 처리되는 재료 사이의 상호 위치

를 나타내는 신호, 즉 현재 작업 평면의 면적 및/또는 시간 경과에 따른 작업 경로의 현재 방향의 변화를 센서 수단 SENS 로부터 수신하도록 배치된다.

제1 커맨드 신호 CMD_1을 알려진 액추에이터 수단의 어셈블리에 방출하도록 배치된, 전자 처리 및 제어 수단 ECU는 처리(processing)의 기계적 파라미터를 제어하기 위한 제1 제어 모듈 CM1을 포함하며, 알려진 액추에이터 수단의 어셈블리는 장치의 특정 실시예에서 허용된 자유도에 따라 작업 헤드를 이동시키는 액추에이터 수단과 상기 작업 헤드의 위치로 공정 대상물을 이동시키는 액츄에이터 수단을 포함하고, 이때 작업 헤드의 노즐에서 처리되는 재료상에 프로그램된 작업 경로를 제공하기 위해 작업 헤드를 이동시키기 위해 액추에이터 수단과 협력하도록 되어있다. 이들 액츄에이터 수단은 당 업계에 공지되어 있기 때문에 상세한 설명은 생략한다.

보조 가스 흐름 전달 수단에 두번째 명령 신호 CMD_2를 방출하기 위해 배치된 전자 처리 및 제어수단 ECU는 처리의 물리적 파라미터를 제어하기 위한 제2 제어모듈 CM2과 레이저 빔을 발생시키고 전송하기 위한 제어 수단을 포함한다.

제3 명령 신호 CMD_3을 광빔 형성 수단의 변형 가능한 제어된 표면 반사 소자(200)에 방출하도록 배치된 전자 처리 및 제어 수단 ECU는 광학 처리 파라미터를 제어하기 위한 제3 제어 모듈 CM3를 포함하며, 상기 소자의 독립적으로 움직임 가능한 반사 영역의 움직임 모듈이 구현되며, 즉 그것들의 상호 공간적 변위(반사 소자의 광축을 따라 이동 또는 상대적으로 기울어진)를 제어한다.

명령 신호 CMD_3는 획득될 레이저 빔의 소정 형상에 따라 본 발명의 방법의 구현을 위한 제어모델 또는 프로그램의 명령을 갖는 하나 이상의 코드 모듈을 포함하는 컴퓨터 프로그램에 의해 처리되며, 즉 레이저 빔의 소정의 횡전력 분포를 설정하고 결과적으로 레이저 빔의 광 전파 축의 소정의 위치를 설정하기 위해, 금속 재료의 적어도 하나의 작업 평면의 영역에서 재료에 입사하는 광 전파 축을 따른 순간 처리 조건의 함수로서, 예를 들어 두꺼운 재료의 커팅 또는 드릴링을 위한 재료의 표면인 작업 평면 또는 상기 재료의 두께에서 깊이가 변하는 평면으로, 즉 전형적으로 포커싱 된 빔의 레일리 길이(reyleigh length)의 1.5배(전형적으로, 4mm보다 크고 30mm까지의 두께)의 두께를 갖게 된다. 상기 레이저 빔의 소정의 횡전력 분포를 상기 보조 가스 흐름의 축의 소정의 인접부내 및 상기 순간 작업 조건에 따라 상기 흐름의 전달 영역 내에서 설정하기 위하여, 전술한(aforementioned) 명령 신호 CMD_3는 또한 컴퓨터 프로그램에 의해 처리되며, 즉 현재의 작업 평면의 영역 및/또는 금속 재료상의 작업 경로의 현재 방향을 결정한다.

따라서, 전자 처리 및 제어 수단 ECU는 금속 재료상의 소정의 작업 경로를 따라 보조 가스 흐름의 축의 상대적 이동을 제어하기 위하여 보조 가스 흐름의 축의 현재 이동 방향 및 현재 위치를 검출하기 위하여, 그리고 레이저 빔의 광 전파 축의 위치를 자동으로 조절하거나 보조 가스 흐름의 축의 이동의 현재 위치 및/또는 검출된 현재 방향에 따라 레이저 빔의 횡전력 분포를 자동으로 제어하기 위하여 배치된다.

작업 평면에 대응하는 전파 방향을 가로지르는 단면에서 가우시안 프로파일을 갖는 레이저 빔의 통상적인 전력 분포는 도 9에 도시되고, 상부 그래프는 빔의 정규화 된 강도의 3차원 표현이며, 하부 그래프는 60미크론 정도의 작업 평면 영역상에 포커싱 스폿 반경을 갖는 통상적인 빔에 대한 포커싱 평면에서의 빔의 세기 분포의 2차원 표현이다.

본 발명의 방법의 일 실시예에 따르면, 변형 가능한 제어된 표면 반사 소자의 반사 영역의 배치는 소정의 직경의 가우시안 프로파일을 갖는 금속 재료상의 작업 평면의 영역에서 상기 빔의 횡전력 분포를 설정하도록 구현된다. 이러한 반사 영역의 배치는 변형 가능한 반사 요소에 구형 표면부 - 즉 거의 수직 입사의 경우 기준 평면에 대해 볼록(convex) 또는 오목(concave)부 및 45도 입사의 경우 타원형 연신율(elliptically elongation) 원환체 표면부 - 가 형성되도록 허용된다. 이 조건에서 빔은 발산의 변화(최소한 임에도 불구하고)가 진행된다. 재료의 다른 작업 평면간에 포커싱 위치를 이동할 필요가 있는 경우나 또는 재료 자체의 표면에서 입사 광선의 직경을 넓히거나 좁히는 경우에 결과적으로 빔의 횡전력 분포가 적용된다.

본 발명의 방법의 또 다른 실시예에 따르면, 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 반사 영역의 배치는, 소정의 직경의 편평한 프로파일(편평한 상부 또는 상부 헛(hut))을 가지는 금속 재료상의 작업 평면의 영역에서 빔의 횡전력 분포를 설정하도록 구현된다. 도 10에 편평한 프로파일의 전력 분포가 도시되어 있다. 상부 그래프는 정규화 된 빔 세기의 3 차원 표현이며, 하부 그래프는 120 미크론 정도의 작업 평면 영역상에 포커싱 스폿 반경을 갖는 통상적인 빔에 대한 포커싱 면에서의 빔의 세기 분포의 2 차원 표현이다. 도 10b의 그래프는 변형 가능하고 제어된 표면 반사 요소의 표면의 3차원 형상을 도시하며, 그래프의 축은 스케일링 되지 않으며, 수직

축은(㎜로 표시한 수평축과는 반대 방향으로) 프로필을 더 잘 볼 수 있다. 이동 가능한 반사 영역의 이동 모듈의 최대 이동 거리는 0.5미크론 정도이다. 전파 방향에 따라 빔의 세기 분포의 변화가 도 10c의 그래프에 도시되며, 여기서 전력 분포에서의 변화는 작업 평면(수직 축 z를 따라 좌표 0으로 표시됨)과는 상이한 깊이(depth)에서 시뮬레이션 된다. 특히 전력 분포의 변화는 작업 평면의 아래쪽 3㎜에서 위쪽 3㎜ 사이의 깊이 범위에서 1㎜ 단위로 시뮬레이션 되었다.

본 발명의 방법의 또 다른 실시예에 따르면, 소정의 직경(도넛 형)의 환형 프로파일(annular profile)을 갖는 금속 재료상의 작업 평면의 영역에서 상기 빔의 횡전력 분포를 설정하도록 적용된, 상기 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 반사 영역에 대한 배지가 구현된다. 환형 프로파일(annular profile) 전력 분포는 도 11a에 도시되어 있으며, 여기서 위쪽 그래프는 정규화된 빔 강도의 3차원 표현이고, 하부 그래프는 작업 평면 영역상에서 180 미크론 정도의 외부 반경 및 40 미크론 정도의 내부 반경을 가지는 포커싱 스폿 크기를 갖는 통상적인 빔에 대한 포커싱 평면 내의 빔 세기 분포의 2차원 표현이다. 도 11b의 그래프는 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 도시하며, 그래프의 축은 스케일링되지 않았으며, 세로축은 프로파일을 더 잘 볼 수 있도록 미크론(㎜로 표시한 가로 축과 반대방향으로)으로 표시된다. 움직임이 가능한 반사 영역의 움직임 모듈의 최대 움직임 거리는 5미크론 정도이다. 이상적인 환형 프로파일을 달성하기 위해, 유한 치수(finite dimension)를 갖는 반사 소자의 중앙 영역의 존재로 인해 가능하지 않은 꼭지점에서 각도를 갖는 원뿔 표면을 형성하도록 반사 소자를 변조할 필요가 있다. 결과적으로, 실제 윤곽은 유사한 표면의 정의에의 해 달성될 수 있지만 물리적으로 실현 가능한 꼭지점(vertex)에서 경사진 프로파일을 사용하여 달성될 수 있다. 어쨌든, 원뿔 표면(conical surface)의 근사는 스폿의 중심에 분산된 에너지의 양과 관련된 빔의 전력 분포를 과도하게 악화시키지 않는다. 전파 방향을 따른 빔의 세기 분포의 변화는 도 11c의 그래프에 의해 도시되고, 여기서 전력 분포의 변화는 작업 평면(수직축 z를 따라 좌표 0으로 표시됨)으로부터 상이한 깊이에서 시뮬레이션 된다. 특히, 전력 분포의 변화는 작업 평면의 위쪽 10㎜에서 아래쪽 50㎜ 사이의 깊이 범위에서 10㎜ 단위로 시뮬레이션 됐다.

도 12a 및 도 12b는 반사 소자가 시준된 빔의 입사 방향에 대해 45도로 배치되는 경우에, 각각 환형 프로필(도넛 형) 및 변형 가능한 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 나타낸다. 움직임이 가능한 반사 영역의 움직임 모듈의 초대 움직임 거리는 6미크론 정도이다.

본 발명의 방법의 다른 실시예에 따르면, 가우신안 프로파일의 외측으로 환형 프로파일과 겹치는 소정의 직경의 가우시안 프로파일을 갖는 금속 재료상의 작업 평면의 영역에서 상기 빔의 횡전력 분포를 설정하도록 변형 가능한 제어된 표면 반사 소자의 반사 영역의 배치가 구현된다. 전술한 프로파일에 따른 전력 분포가도 13a에 도시되어 있으며, 여기서 상부 그래프는 정규화된 빔 세기의 3차원 표현이고, 하부 그래프는 작업 평면 영역상의 130미크론 정도의 포커싱 스폿 크기를 갖는 전형적인 빔에 대한 포커싱 평면에서의 빔의 세기 분포의 2차원 표현이고, 여기서 중심 프로파일의 전력은 빔의 전체 전력의 25%이다. 도 13b의 그래프는 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 도시하며, 그래프의 축은 스케일링 되지 않으며, 세로축은 프로파일을 더 잘 볼 수 있도록 미크론(㎜로 표시한 가로 축과 반대방으로)으로 표시된다. 이동 가능한 반사 영역의 움직임 모듈의 최대 이동 거리는 5미크론 정도이다. 반사 소자의 중앙 평탄 영역의 직경의 함수로서, 중심 프로파일과 주위 환상 프로파일 사이에 빔의 전체 전력을 할당하는데 있어서, 상이한 프로파일을 생성하는 것이 가능하다. 전파 방향을 따라 빔의 세기 분포의 변화(evolution)가 전력 분포의 변화가 eh 13ㅊ에 도시되어 있으며, 여기서 전력 분포의 변화는 작업 평면(수직 축 z를 따라 좌표 0으로 표시됨)으로부터 상이한 깊이에서 시뮬레이션 된다. 특히, 작업 평면과 작업 평면의 아래쪽 60㎜ 사이의 깊이 범위에서 10㎜ 단위로 전력 분포의 변화를 시뮬레이션 하였다.

도시된 그래프로부터 명확하게, 편평한(편평한 상부) 또는 환형(도넛 형) 프로파일 또는 가우시안 환형(Gaussian-annular) 조합으로 횡전력 분포를 얻기 위해 가우시안 분포의 수정과 관련된 애플리케이션의 경우, 원형 대칭을 유지하며 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자(200)는 방사상으로 독립적인 원형 크라운(radially independent circular crown))의 형태로 독립적으로 움직일 수 있는 복수의 반사 영역을 포함할 수 있다.

본발명의 방법의 다른 실시예에 따르면, 타원형 단면(elliptical section)의 가우시안 프로파일을 갖는 작업 평면의 영역에서 상기 빔의 횡전력 분포를 설정하도록 적용된, 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 반사 영역의 배치가, 바람직하게는 작업평면의 로컬 방향에 따라 배치된 작업 평면의 영역에서 대칭축을 가지도록, 예를 들어 작업 경로의 진행방향으로 향하도록 구현된다. 가우시안 타원형 프로파일을 갖는 전력 분포가도 14a에 도시되어 있으며, 상부 그래프는 정규화된 빔 강도의 3차원 표현이며, 하부 그래프는 전형적인 빔(단일 모드)에 대한 포커싱 평면에서의 빔의 세기 분포의 2차원 표현으로 각각 50미크론 및 85미크론 정도의 작업 평면 영역상

의 포커싱 스폿 축을 가진다. 도 14b의 그래프는 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 도시하며, 상기 그래프의 축은 스케일링 되지 않으며, 수직 축은 더 나은 프로파일의 뷰를 위해(mm로 표현된 수평축에 반대방향으로) 미크론으로 표시된다. 움직임 가능한 반사 영역의 움직임 모듈의 최대 이동 거리는 10미크론 정도이다. 전파 방향을 따라 빔의 세기 분포의 변화가 도 14c의 그래프에 도시되어 있으며, 여기서 전력 분포의 변화는 작업 평면(수직 축 z를 따라 좌표 0으로 표시됨)과 다른 깊이에서 시뮬레이션 된다. 특히 전력 분포의 변화는 5mm 단위로 작업 평면보다 20mm 위쪽에서 20mm 아래쪽의 깊이 범위에서 시뮬레이션 되었다.

본 발명의 방법의 다른 실시예에 따르면, 올슨(Olsen)에 의해 기술된 것 같은 프로파일을 갖는, 즉 가우시안 형태의 제1 전력 피크의 분포 및 제1 전력 분포의 후방에 있는 초승달 모양의 제2 전력 분포를 포함하는 비대칭 복소 프로파일(asymmetry complex profile), 금속 재료상의 작업 평면의 영역에서 빔의 횡전력 분포를 설정하도록 적용된, 바람직하게는 작업 평면의 영역에서 대칭축을 가지며 작업 경로의 로컬 방향에 따라, 예들 들어 작업 경로의 진행 방향을 향하도록, 변형 가능하고 제어된 표면 반사 요소의 반사 영역의 배치가 구현된다. 전술한 프로파일에 따른 전력 분포는 도 15a에 도시되어 있으며, 작업 평면 영역상에 통상적으로 120미크론 정도의 포커싱 스폿 크기를 갖는 빔에 대하여, 상부 그래프는 정규화된 빔 강도의 3차원 표현이며, 하부 그래프는 포커싱 평면에서의 빔의 강도 분포의 2차원 표현이며, 여기서 제1 프로파일의 전력은 빔의 전체 전력의 30 % 정도이다. 도 15b의 그래프는 변형 가능하고 제어된 표면 반사 소자의 표면의 3차원 형상을 도시하며, 그래프의 축은 스케일링 되지 않았으며, 세로축은 더 나은 프로파일 뷰를 나타내기 위해(mm로 표현한 수평축에 반대방향으로) 미크론으로 표시된다. 움직임이 가능한 반사 영역의 움직임 모듈의 최대 이동 거리는 4미크론 정도이다. 반사 소자는 비방사상 대칭(non-radially symmetry)인 반사 영역의 배치에 의해 변형된다. 도우넛 가우시안형 분포(dounut-gaussian-type distribution)를 발생시키는 변형과 기준면에 대하여 경사면을 재구성하는 배치 사이의 중첩과 같은 배치를 기술하는 것이 가능하다. 반사 영역의 분포의 대칭에 있어서의 파손의 크기에 따라서, 제1 중심 프로파일과 주변 제2 프로파일 사이에서 빔의 전체 전력을 할당하는 경우에 상이한 프로파일을 생성하는 것이 가능하다. 전파 방향을 따른 빔의 세기 분포의 변화가 도 15c의 그래프에 도시되며, 여기서 분포 강도의 변화는 작업 평면(수직 축 z를 따라 좌표 0으로 표시됨)과 다른 깊이에서 시뮬레이션 된다. 특히, 전력 분포의 변화는 작업 평면과 작업 평면의 아래쪽 60mm 사이의 깊이 범위에서 10 밀리미터 단위로 시뮬레이션 되었다.

도 15c에 도시 된 바와 같이, 올슨(Olsen)에 의해 기술된 전력 분포는 가우시안 제1 전력 분포 및 초승달 모양의 제2 전력 분포를 동시에 수행하고 제어할 수 있는 가능성을 특징으로 하며, 그 할당은 빔의 광축을 따른 전파의 함수, 즉 작업 평면의 깊이를 나타낸다. 예를 들어, 상기 제1 가우스 전력 분포는 조사(illumination)가 요구되는 상기 물질의 표면상의 작업 평면 상에 퍼져서 상기 그루브 내의 상기 진전 전단(advanced front)이 가열되게 하고, 가우시안(Gaussian)의 경우 레이저 빔의 조사 부족으로 점진적으로 냉각되어 홈의 벽에 부착될 수 있는 경우, 같은 홈으로 나오는 용융재료의 끝부분(tail)을 조사할 필요가 있을 때 초승달 모양의 제2 전력 분포는 재료의 볼륨내의 작업 평면에 퍼지게 하여 전력 분포를 제어함으로써, 재료에 대한 3차원 공정의 실시간 제어(real-time control)를 유리하게 할 수 있다.

본 발명의 방법에 따른 처리예가 도 16에 도시되어 있으며, 특히 재료 M 내의 직사각형 리세스(recess) R의 커팅 작업에 관한 것이다.

도면에서 프로그래밍 된 작업 경로는 T로 표시되어 있다. 작업 경로는 드릴링 영역 H, 접근 또는 연결 프로파일 C 및 커팅 프로파일 P를 포함하며, 예를 들어 연속한 직선 구간과 닫힌 직선을 형성하는 곡선 연결 구간이 포함된다.

레이저 커팅 장치는 현재 처리 단계에 따라 재료에 입사하는 레이저 빔의 전력 분포를 변화시킴으로써 중단 없는 프로세싱을 수행하도록 프로그래밍 된다.

드릴링 영역 H에서 가능한 가장 작은 포커싱 스폿을 갖는 가우시안 형태의 빔의 첫번째(first) 횡전력 분포를 설정하고, 재료의 용이한 유동(easy flow) 및 적절한 웨이브프론트(wavefront) 조사를 동시에 진행하면서, 용융된 재료의 압출(extrusion)을 위한 드릴링을 넓히기 위해 넓은 가우시안 유형으로부터 평평한 상부 및 도넛 형으로의 두번째(second) 횡전력 분포를 설정하고, 드릴링이 완료되면 빔이 접근 또는 연결 프로파일 A를 통과하기 시작하도록, 레이저 빔 형성 수단의 반사 영역의 배치의 작동(actuation)이 제어된다.

가우시안-초승달-모양(gaussian-crescent-shaped)의 조합에 의해 얻어진 비대칭 형 빔의 세번째(third) 횡전력 분포는 커팅 프로파일 C에서 사용되며, 커팅 프로파일의 직선 섹션 및 곡선 섹션의 연속되는 작업 경로의 로컬 방향에 따라 방향이 정해지게 된다. 어떤 날카로운 엣지 경로 수정에서, 보조 가스와 용융 재료의 배출 방향의 변화를 용이하게 하기 위하여, 예를 들어 타원형 전력 분포를 통하여, 움직임을 로컬적(locally)으로 정지함과

같이 횡전력 분포는 속도값을 또한 고려한다.

도 17은 본 발명의 방법에 따른 처리예를 도시하며, 특히 전체적으로 도시되지 않은 소정의 경로를 따라 수행되는 커팅 공정 중에 적용가능한 전력 분포의 변화의 시간 연속성은 천체적으로 도시되어 있지 않고, 다만 이동 방향과 의미를 화살표 F로 표시하여 도면에 도시하였다.

레이저 커팅 장치는 도 17a, 도 17b 및 도 17c의 도면을 참조하여 아래 기술된 법칙에 따라 시간에 걸쳐 그리고 주기적으로 재료에 입사하는 레이저 빔의 전력 분포를 변화시킴으로써 중단없이 작업을 수행하도록 프로그램 되며, 여기서 작업 헤드와 재료 사이의 상대적인 이동에 후속하여 소정 경로를 따라 연속적으로 이동하는 공정 영역 A의 상부, 배면 및 측면도가 각각 도시된다.

레이저 빔의 광축 위치 주변에 외접하고(circumscribed), 공정 대상물에 대한 보조 가스 흐름의 전달 영역에 포함되는 S1, ..., S4는 공정 재료상의 레이저 빔의 입사점을 나타내며, 여기서 전체 작업 영역 A가 공통영역이다. 일반적으로 커팅 및/또는 드릴링 작업시 다음을 참고해야 하며, 두께가 4㎜에서 30㎜ 인 탄소강, 두께가 4㎜에서 25㎜ 인 스테인레스 강, 두께가 4㎜에서 15㎜ 인 알루미늄 합금, 및 두께가 4㎜에서 30㎜ 인 탄소강, 두께가 4㎜에서 12㎜ 인 구리 및 황동, 이때 보조 가스 흐름의 전달 영역의 일반적인 크기는 1.8㎜에서 4㎜이다.

작업 영역 A의 제어된 전력 분포는 작업 경로의 방향에 대해 횡 방향으로 정렬된 2개의 개별 가우스 빔의 조합으로 얻어지며, 따라서 횡전자기 모드(transverse electromagnetic mode) TEM10으로 설명될 수 있다.

도 18에 도시된 바와 같이, 이 분포는 레이저 빔 형성 수단의 반사 소자(200)를 반사 소자의 축(직경)을 따라 그리고 중앙 영역을 통해 결합된 2개의 반원 소자(semi-element)(200', 200")로 분할하여, 레이저 빔의 전파 공간을 향하는 오목한 2면체(concave dihedral)(0.1-0.3도 정도)을 형성한다. 반사 소자의 2개의 반원 소자(semi-element)의 접합 직경은 움직임 모듈의 배치에 의해 식별된 임의의 직경일 수 있음을 이해해야 한다. 각각의 반사성 반원 소자(semi-element)(200', 200")는 가우스 횡전력 분포를 생성하도록(원래의 빔을 분리함으로써) 되어 있고, 각각의 움직임 모듈은 반원 소자(semi-element)의 소정의 일반적인 경사 운동을 하도록 제어되고, 각각의 휴지 상태에서는 바람직하게 서로 동기적으로(synchronously) 서로를 미러링 하여 작업 재료에 대한 레이저 빔 스폿의 공간적 변위(spatial displacement)를 결정한다.

2개의 가우시안 빔의 각각의 광 전파 축의 상대 위치는 도면에 도시된 공간 법칙에 따라 시간에 따라 변한다. 작업 영역에서 두 빔의 움직임은 작업 경로의 로컬 방향에 동기되고 일련의 작업 평면에서 발생한다. 도 17a, 도 17b 및 도 17c를 참조하여 다음의 동작들을 조합함으로써 설명될 수 있다.

1) 전반적인 전력 분포의 중심은 작업 경로 F의 로컬 방향을 따라서 시간에 따라 진행하며, 보조 가스 흐름의 전달 축과 일치하거나 또는 작업 경로의 진행 방향보다 앞선 위치의 보조 가스 흐름의 전달 축으로부터 노즐 입구의 반경을 초과하지 않는 거리에 위치한다.

2) 도 17a의 수평면상의 프로젝션(projection)에서, 2개의 가우스 빔 각각의 광축은 각각의 기하학적인 시간 회전의 중심 주위의 타원형 궤도에 따라 로컬적(locally)으로 이동하고, 각각 공정의 진전(advanced) 방향에 대한 전체적인 전력 분포의 무게 중심의 우측에서 각각 시계 방향으로, 공정의 진전(advanced) 방향에 대한 전체적인 전력 분포의 무게 중심의 왼쪽에서 반 시계 방향으로, 각 변화의 중심으로부터의 거리 - 단일 빔의 허리부에서의 포커싱 스폿의 반경의 0.3배에서 2배 사이의 거리 - 에 위치한다.

3) 각각의 소정의 중심 주변의 시간 회전 움직임(time revolution movement) 동안, 도 17c의 프로젝션 시상면(sagittal plan)상의 평행 사변형 경로를 따라 역회전하여(retrograde revolution), 각각의 광 전파 축을 따라 상기 2개의 가우시안 분포의 각각의 포커싱 면(focusing plane)의 로케이션(location)이 변화하며, 이는 도 17b에 도시된 정면 평면 프로젝션에서 2개의 가우시안 빔 각각의 광축의 변화를 결정한다.

4) 2개의 가우시안 빔 각각의 광축의 회전 중심은 전체 전력 분포의 중심의 이동 방향에 평행한 방향을 따라 시간에 따라 진행하며, 앞면(front plane) 및 시상면(sagittal plan)상의 프로젝션에서 정현파(sinusoidal) 패턴에 따라 각각 오른쪽과 왼쪽 방향으로 전체적인 변화를 결정한다.

이전(previous) 단계1~4에서 설명한 이동은 그림에서 방향선으로 표시된다. S1은 작업 경로 F에 따라 로컬적으로 더 진전된 위치에 있는 재료의 표면상의 각 가우스 빔의 포커싱 스폿을 가리킨다. 각각의 소정의 시간 회전(time revolution)의 기하학적 중심(geometric barycenter) 주변의 회전 운동(revolution movement) 동안, S2 '및 S2 "는 재료 볼륨의 제1 중간 깊이 및 작업경로 F에 대하여 위치 S1과 비교하여 후퇴된 제1 중간 위치에서

가우시안 빔의 개별적인 포커싱 스폿(focusing spot)을 나타낸다. 각각의 소정의 시간 회전(time revolution)의 기하학적 중심(geometric barycenter) 주변의 회전 운동(revolution movement) 동안, S3'및 S3"는 재료 볼륨의 최대 깊이 및 작업경로 F에 대하여 위치 S2' 및 위치 S2''과 비교하여 더 후퇴되고 위치 S1에 비교하여 후퇴된 제2의 중간 후퇴 위치에서 가우시안 빔의 개별적인 포커싱 스폿(focusing spot)을 나타낸다. 각각의 소정의 시간 회전(time revolution)의 기하학적 중심(geometric barycenter) 주변의 회전 운동(revolution movement) 동안, S4는 재료 볼륨의 제2 중간 깊이 및 작업경로 F에 대하여 위치 S1과 비교하여 후퇴된 제3 중간 위치에서 가우시안 빔의 개별적인 포커싱 스폿(focusing spot)을 나타낸다.

이러한 처리는, 예를 들어 1000 내지 2000 ㎜/분 사이의 소정 작업 경로를 따라 전형적인 이송 속도로 질소 분위기에서 10 ㎜ 두께의 강판을 커팅하기 위해 수행된다. 적어도 500Hz, 바람직하게는 1kHz, 보다 일반적으로는 v/2D의 정수배인 빔 전력 분포의 주기 제어 주파수. 여기서, v는 전체 전력 분포의 중심의 진행 속도이고, D는 미크론 단위로 표시되는 레이저 빔 포커싱 스폿의 허리에서의 직경이며, 얻어지게 될 가우시안 빔 페어(Gaussian beam pair)의 빠른 로컬 변위(local displacement)에 의하여 생성된 구조화된 상호 작용 볼륨이 얻어질 수 있다. 두 빔은 위치 S1의 재료 표면에서 만나 커팅의 전단 모서리에 최대한의 에너지를 제공한 이후, 두께 아래로 향하여 재료의 끝부분(tail)에 에너지를 제공하여 용융액이 배출되도록 한다.

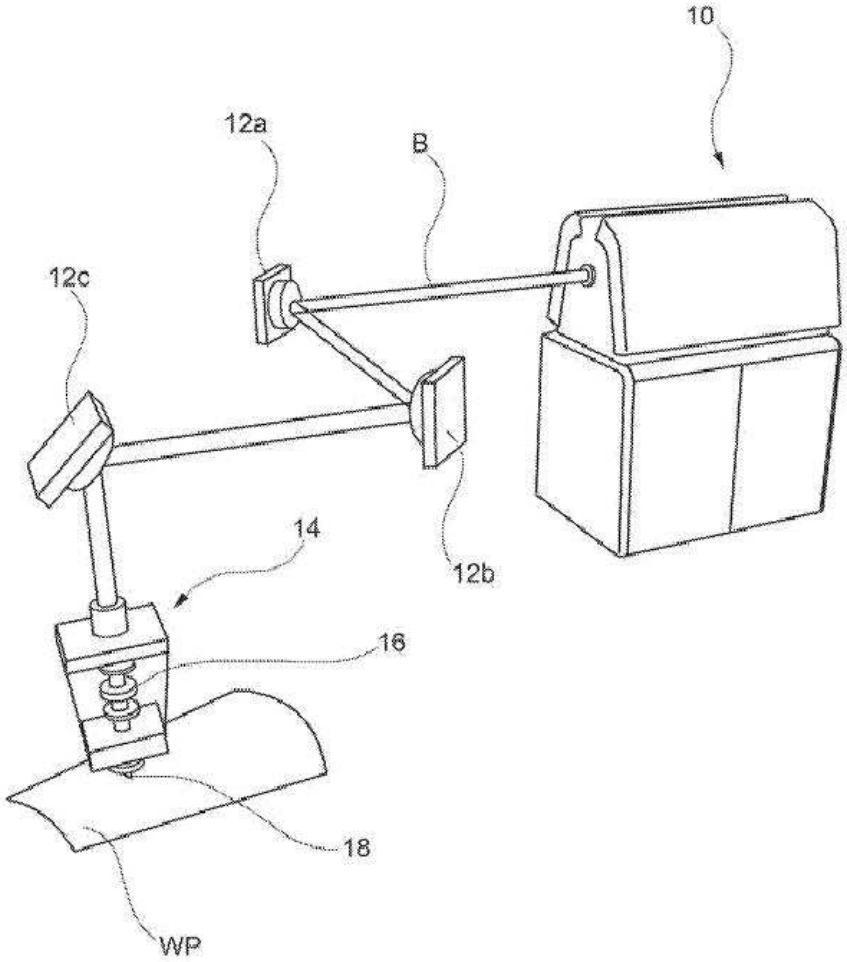
바람직하게는, 이 처리 방법은 원칙적으로 재료 자체의 자체-방출력(self-extraction force)을 증가시키도록 진전 전단(advancing front)에 커팅력(cutting effort)을 유지 또는 증가시키도록 하여, 결과적으로 보조 가스의 필요성을 감소시킨다.

전술한 예시적인 실시예에서 가우시안 전력 분포에 대한 언급이, 각각의 반원-소자 또는 각각의 같거나 다른 소자 및 각 빔의 미러 반사 혹은 그렇지 않은 다른 이동체(movements)에 의해 생성된, 레이저 빔의 다른 유형의 전력 분포로 확장될 수 있다는 것으로 이해된다.

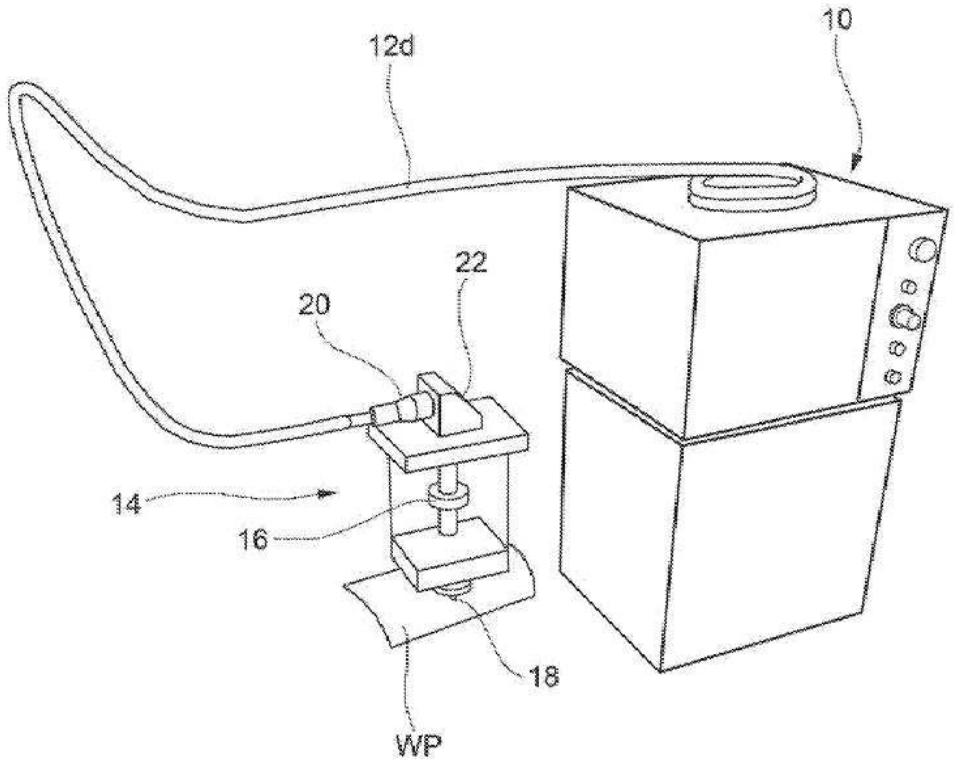
당연히, 본 발명의 원리를 변경하지 않고, 실시예 및 구현의 세부 사항은 순전히 비제한적인 예로서 설명되고 도시된 것에 관해 광범위하게 변화될 수 있으며, 첨부된 청구 범위에 의해 정의된 본 발명의 보호 범위를 벗어나지 않는다.

도면

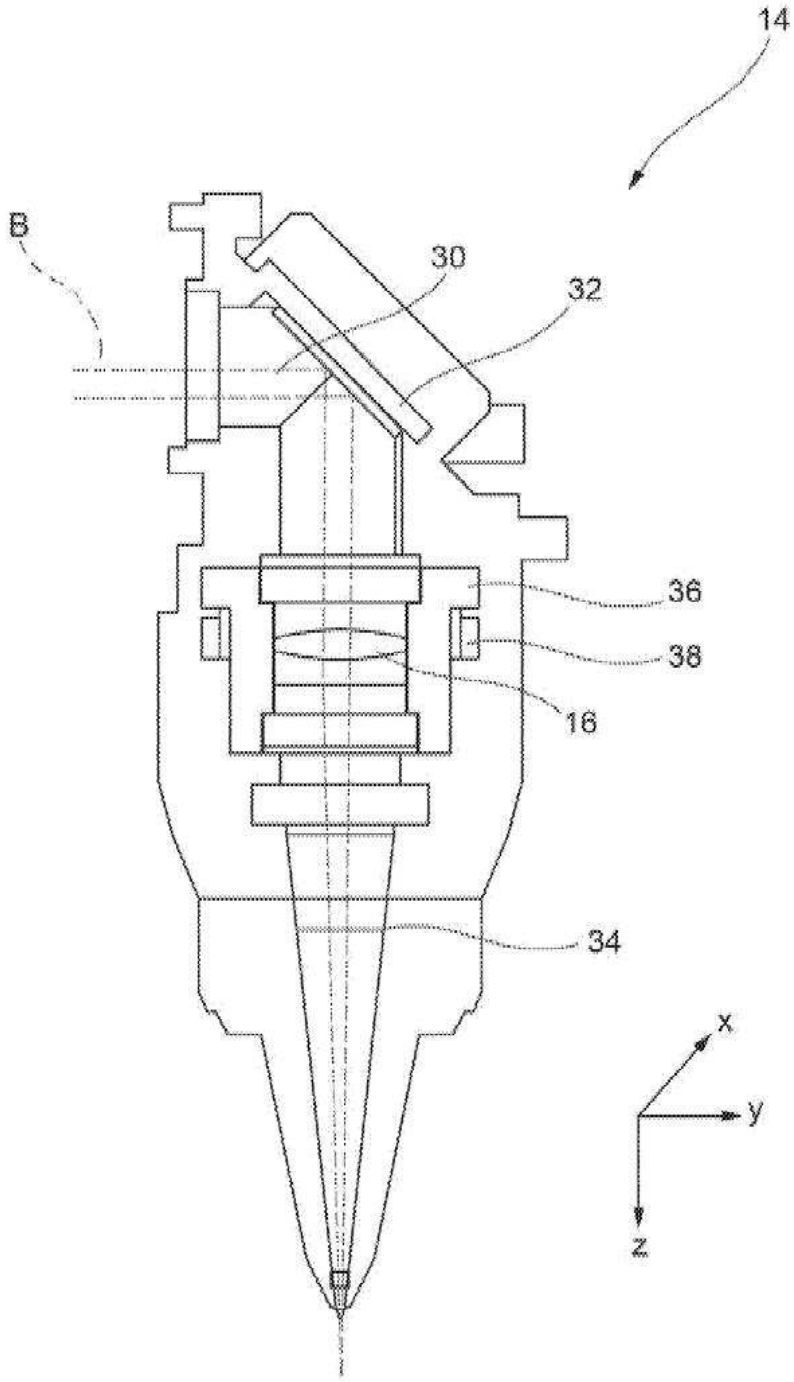
도면1



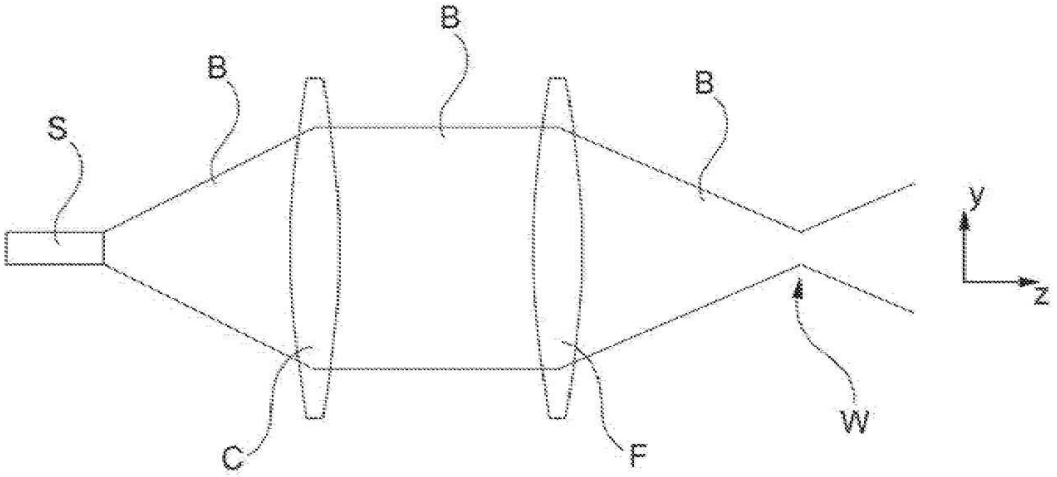
도면2



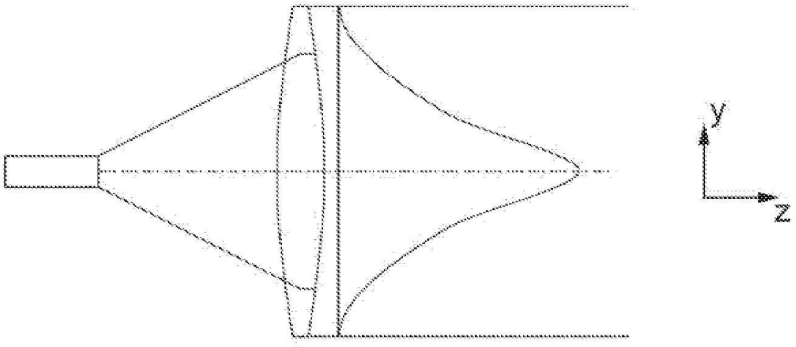
도면3



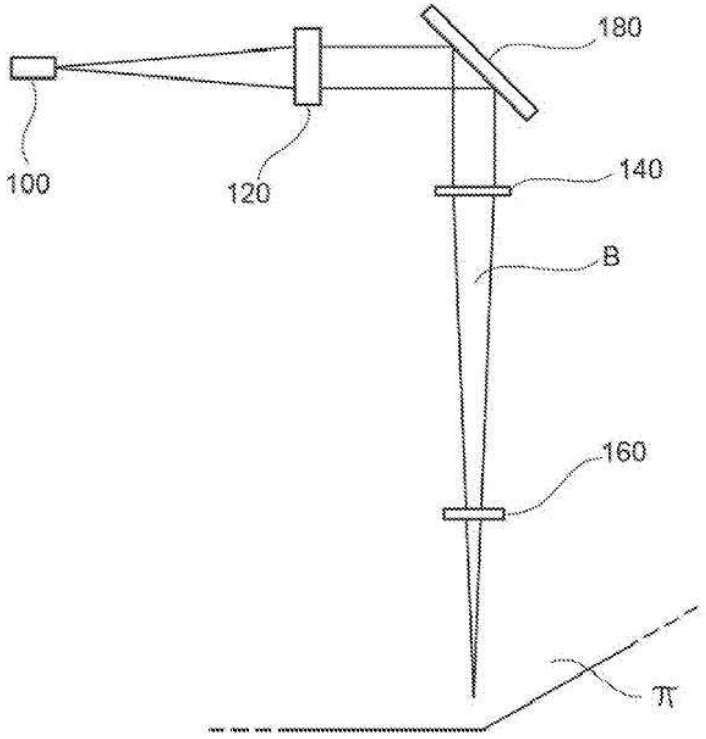
도면4



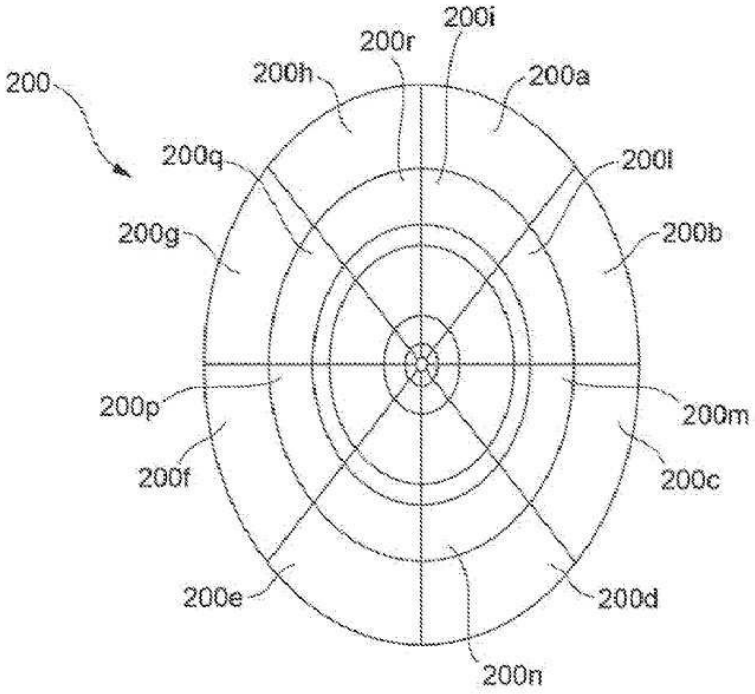
도면5



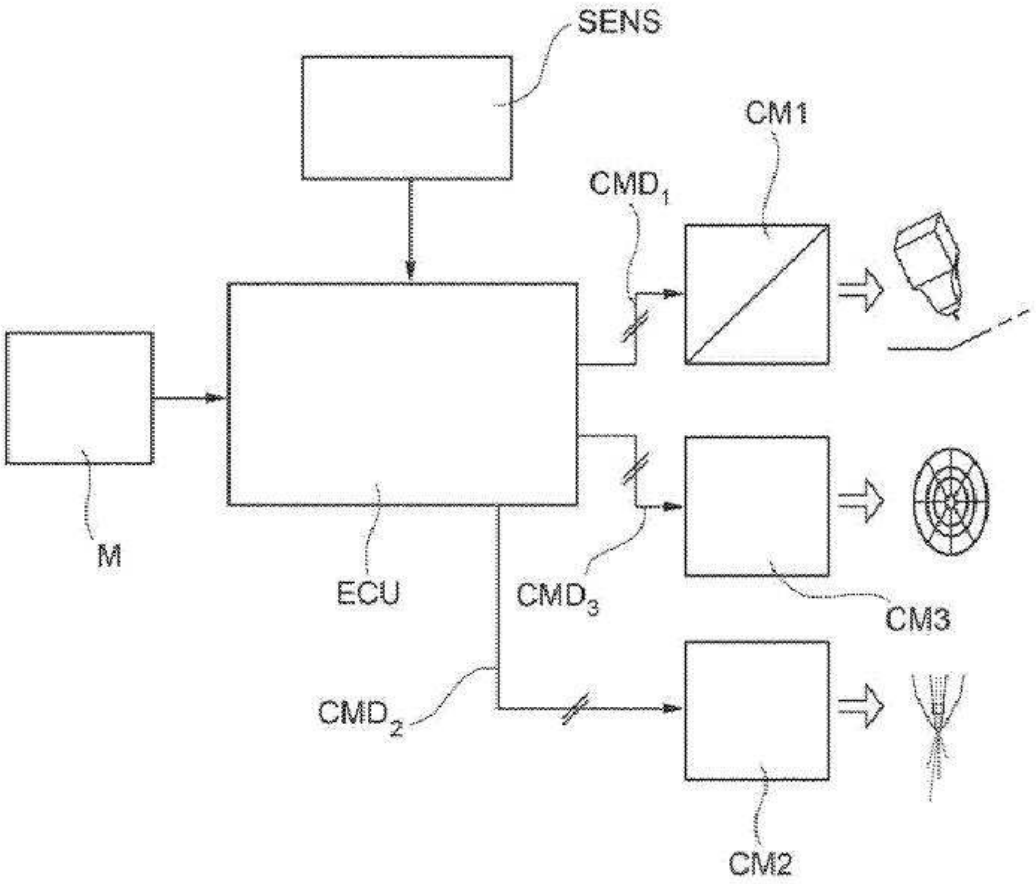
도면6


180
100
120
140
B
160
π

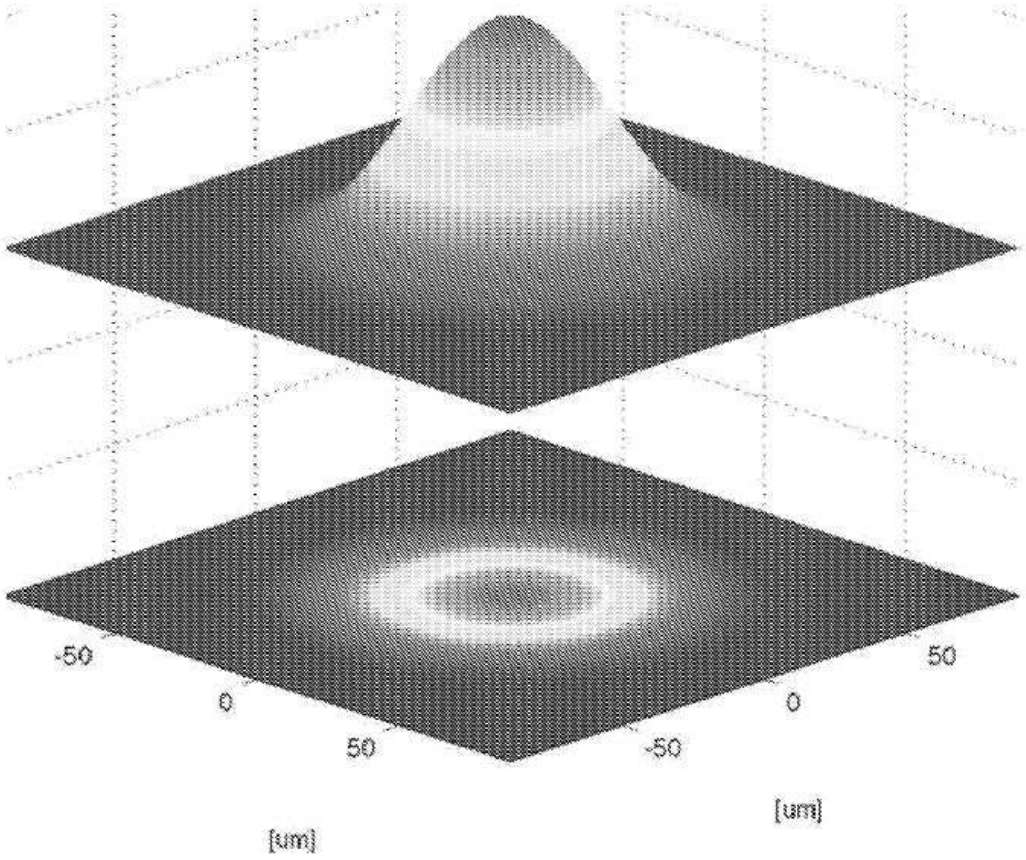
도면7


200
200i
200r
200h
200a
200q
200l
200g
200b
200p
200m
200f
200c
200e
200d
200n

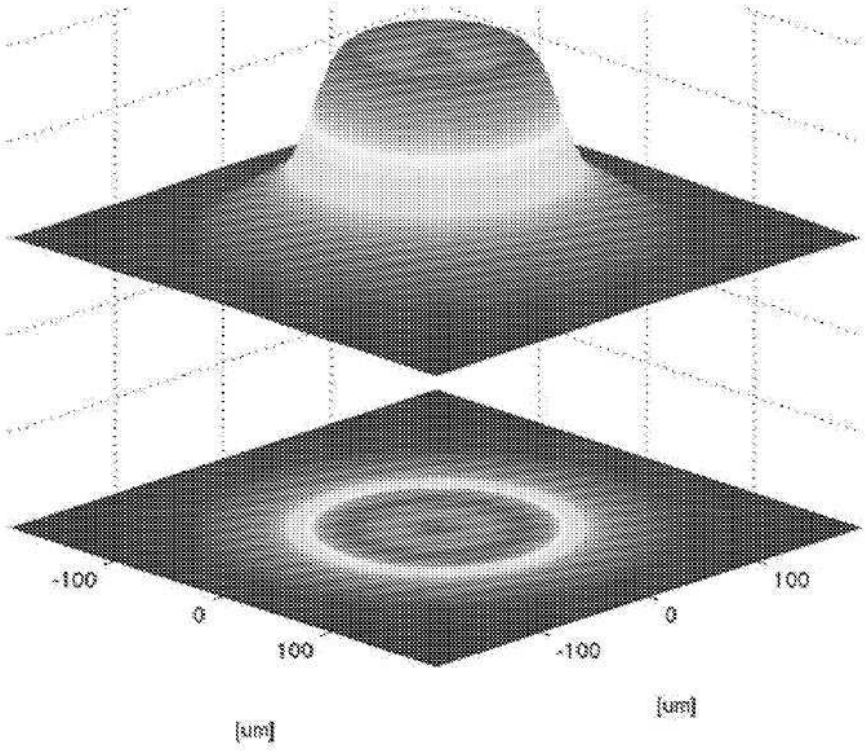
도면8



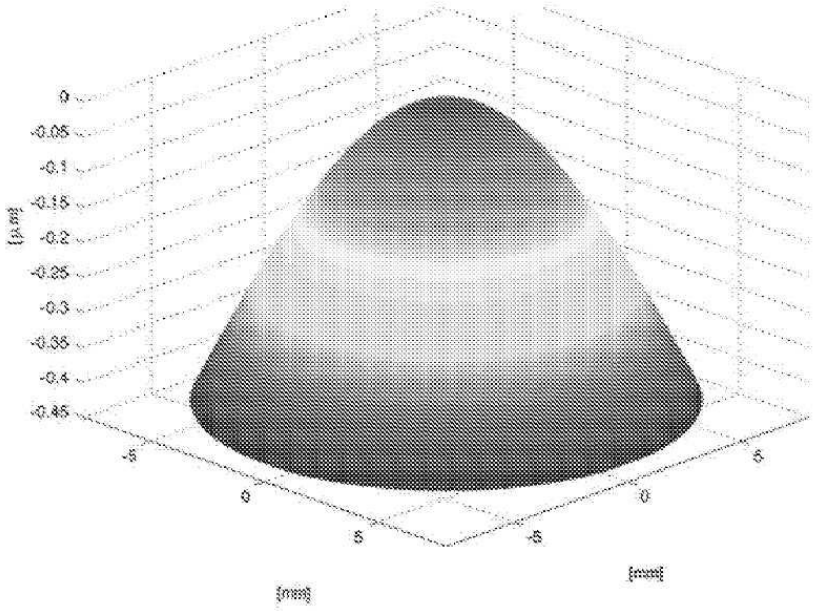
도면9



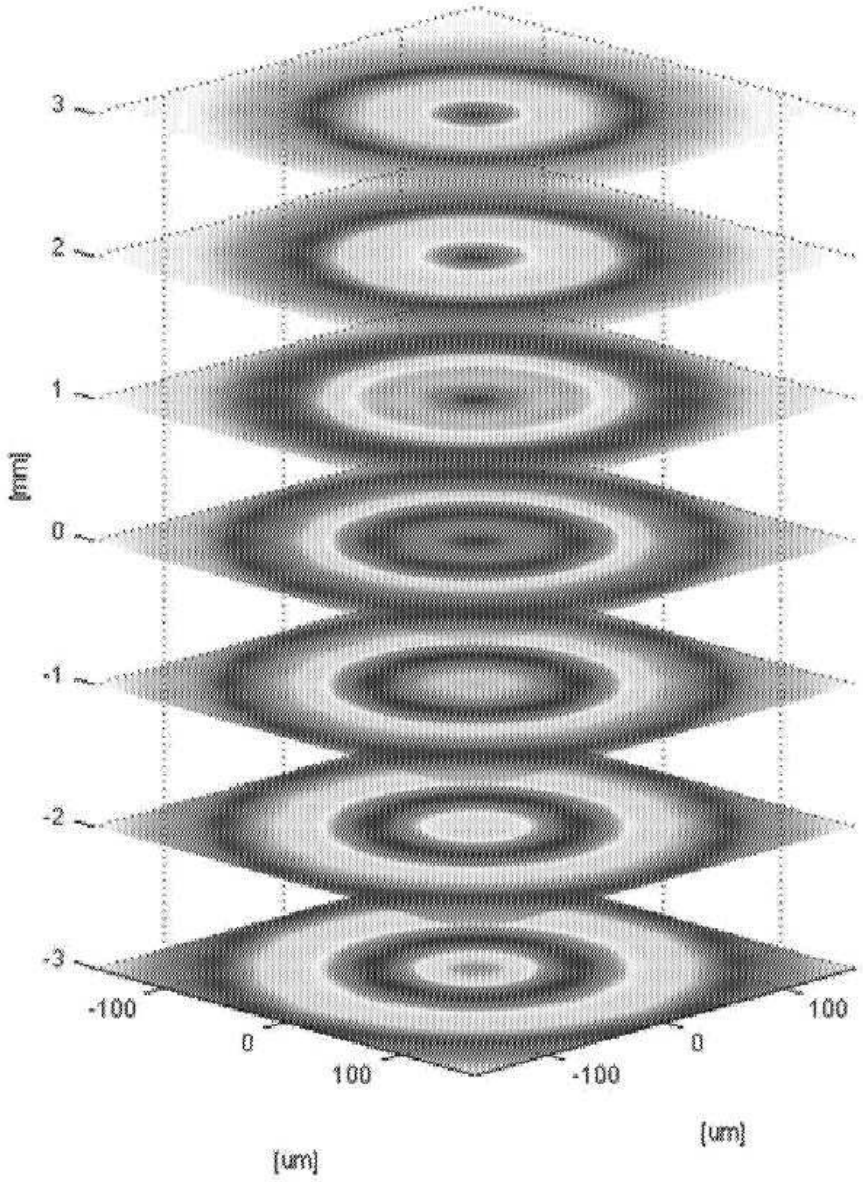
도면10a



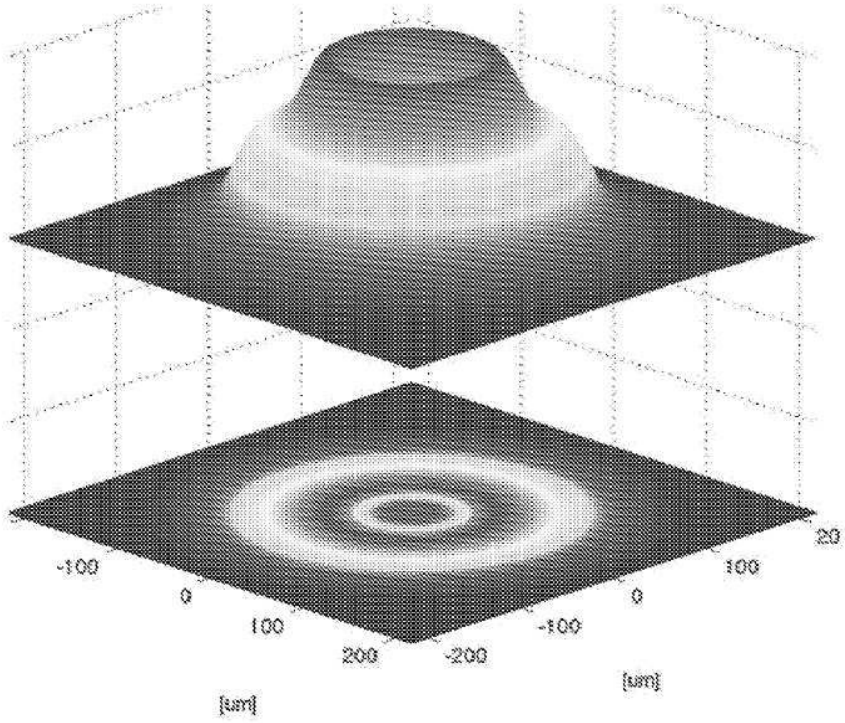
도면10b



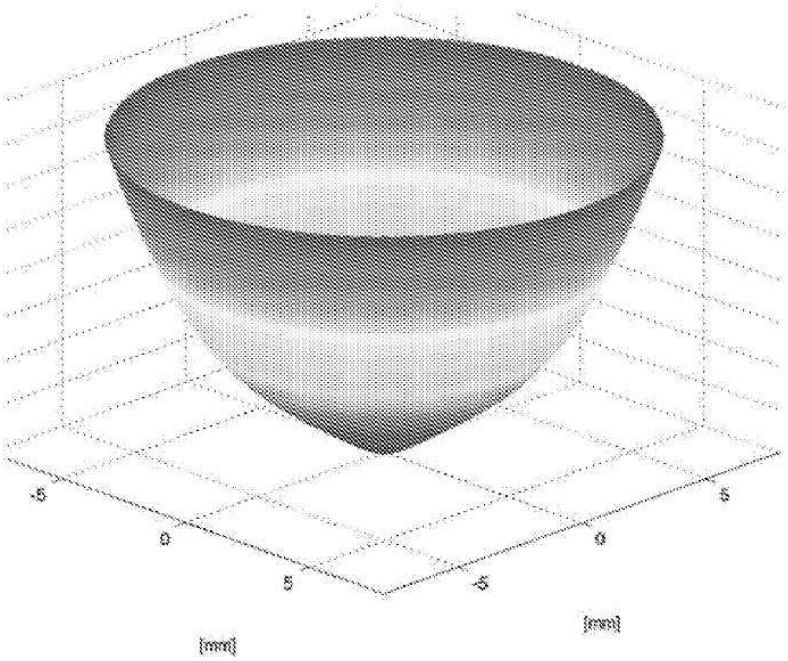
도면10c



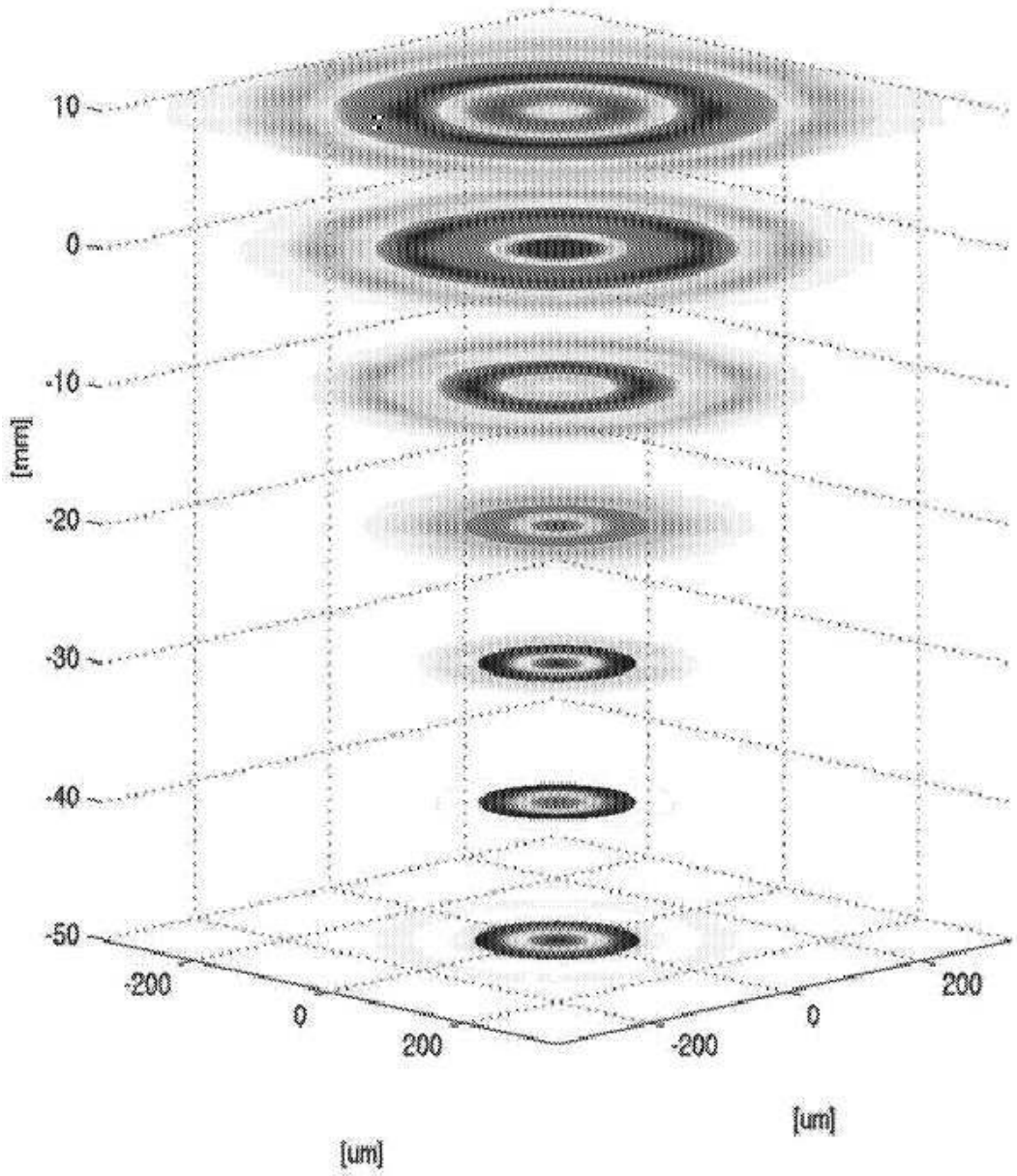
도면11a



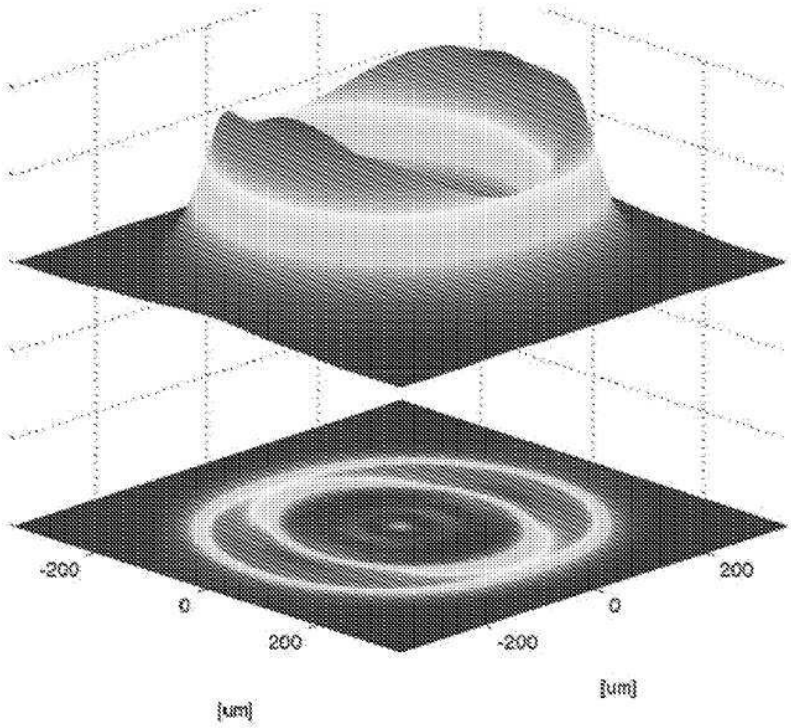
도면11b



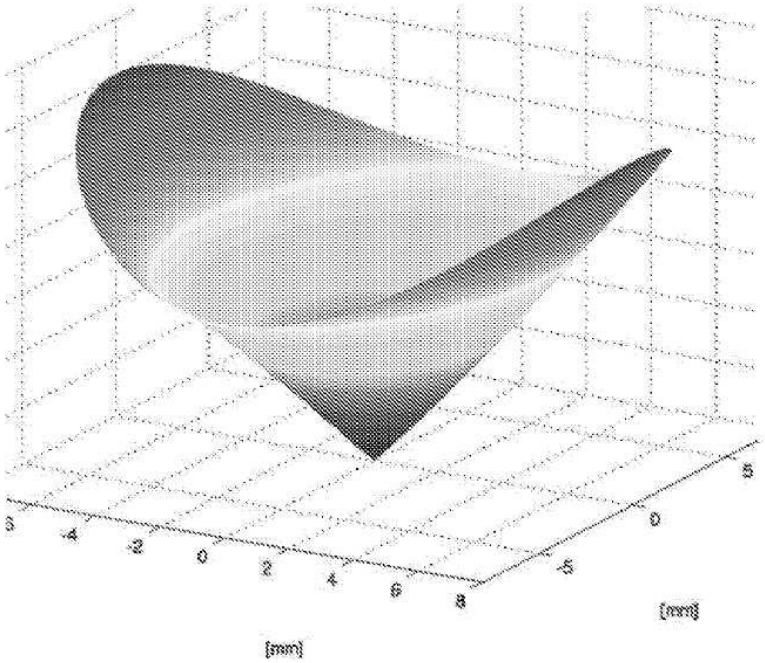
도면11c



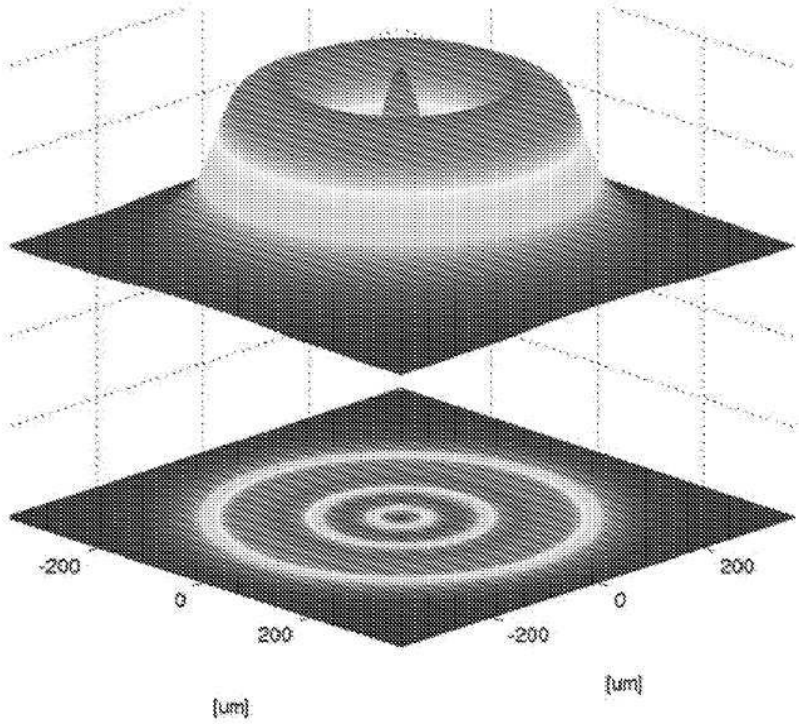
도면12a



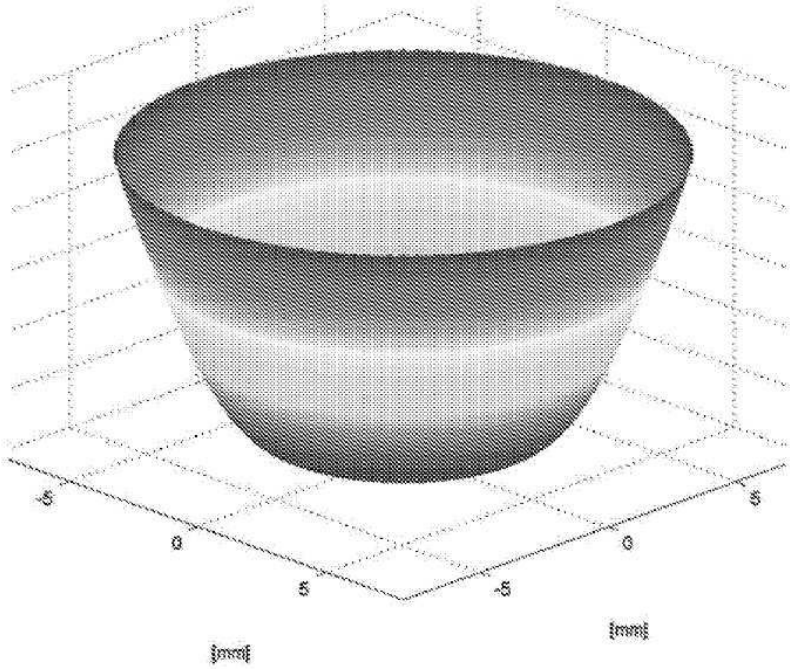
도면12b



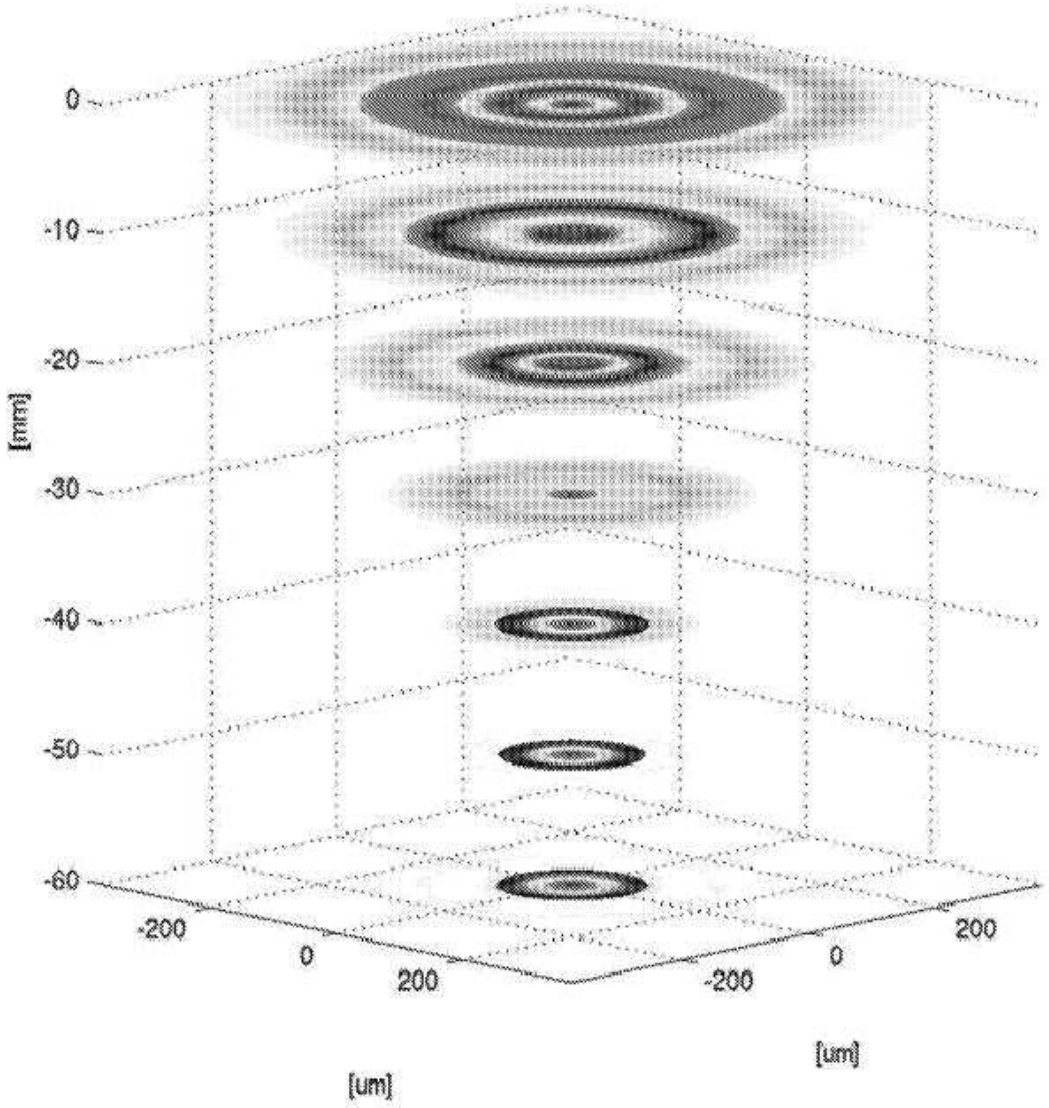
도면13a



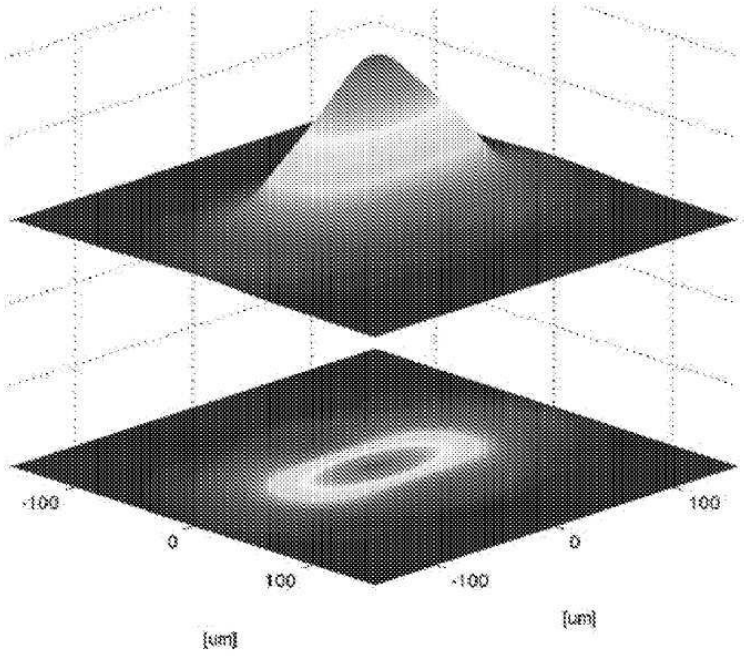
도면13b



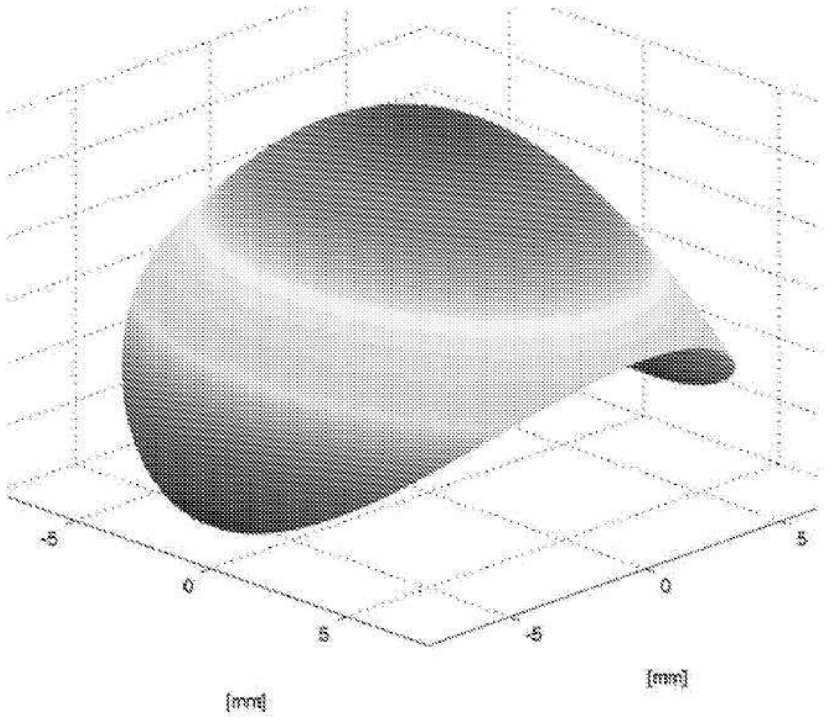
도면13c



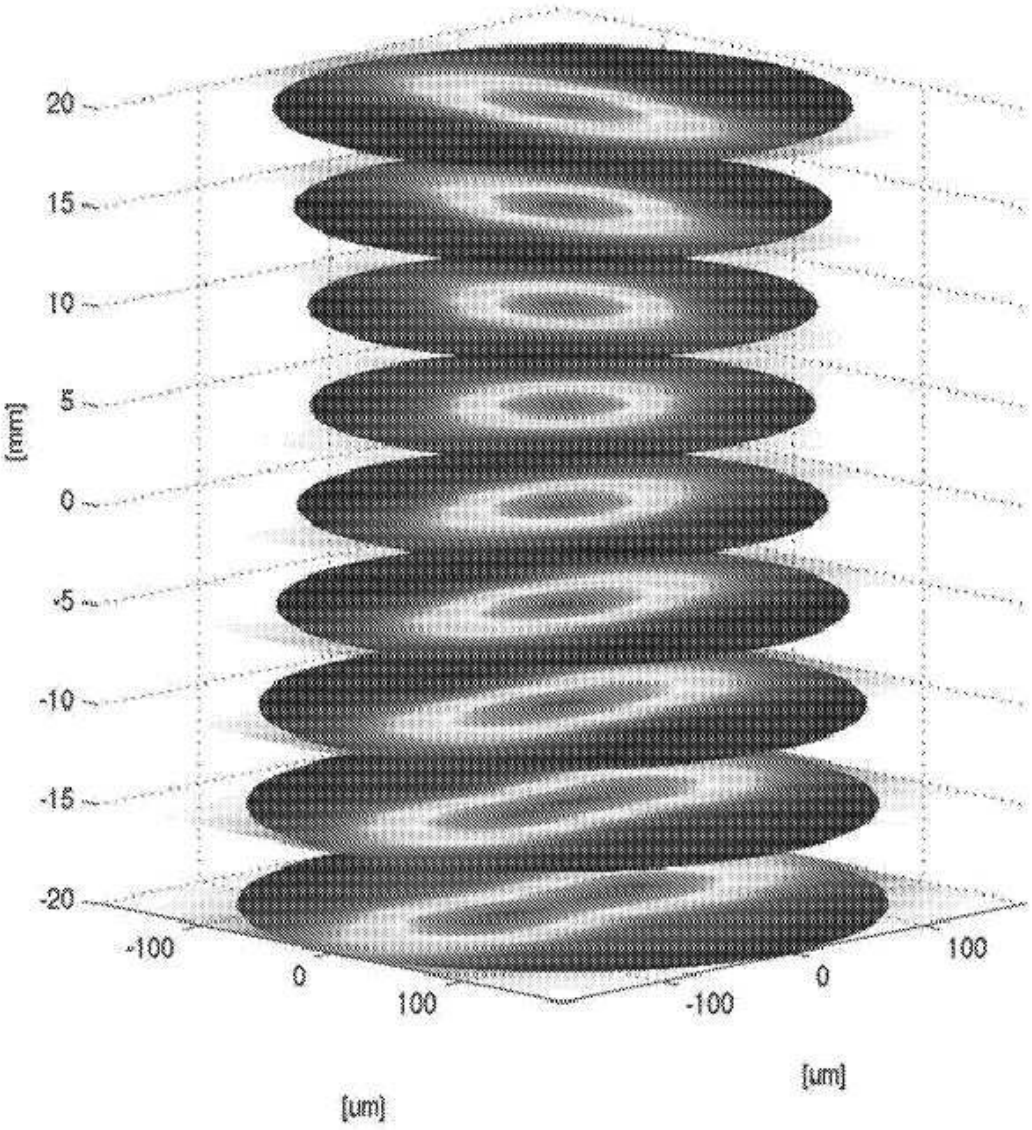
도면14a



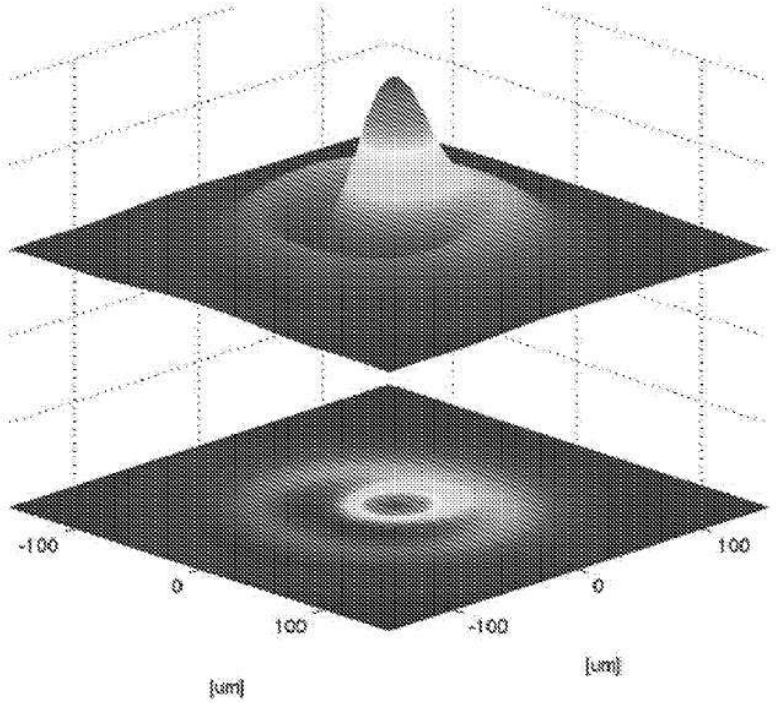
도면14b



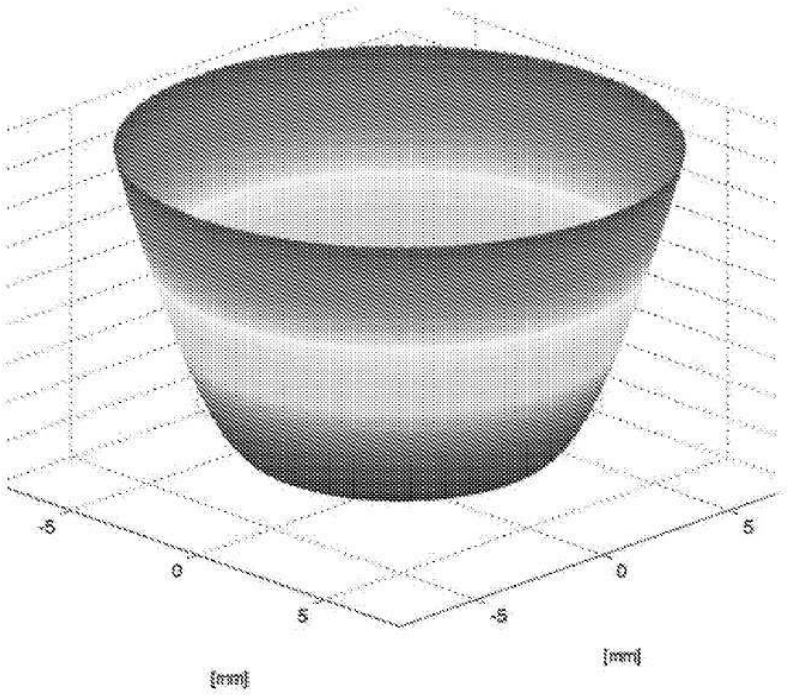
도면14c



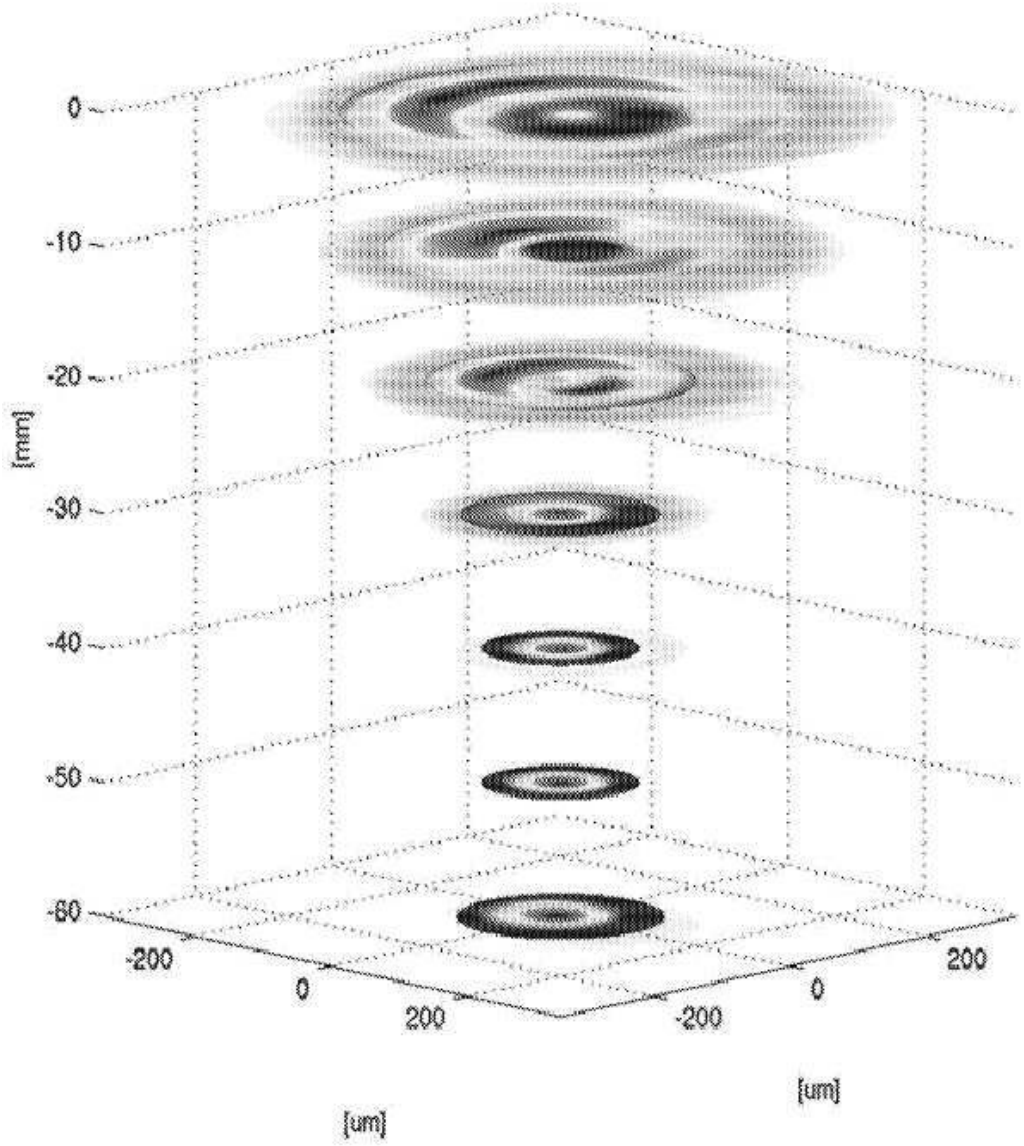
도면15a



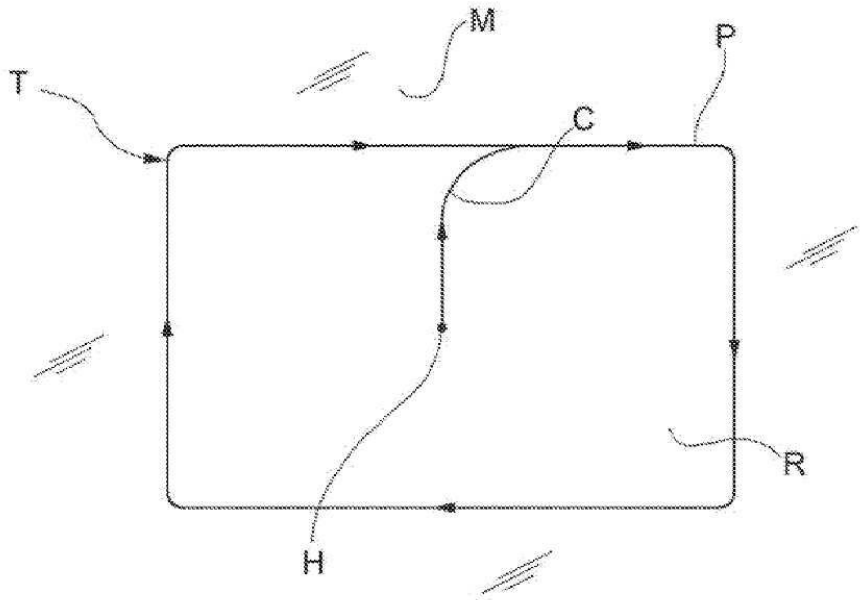
도면15b



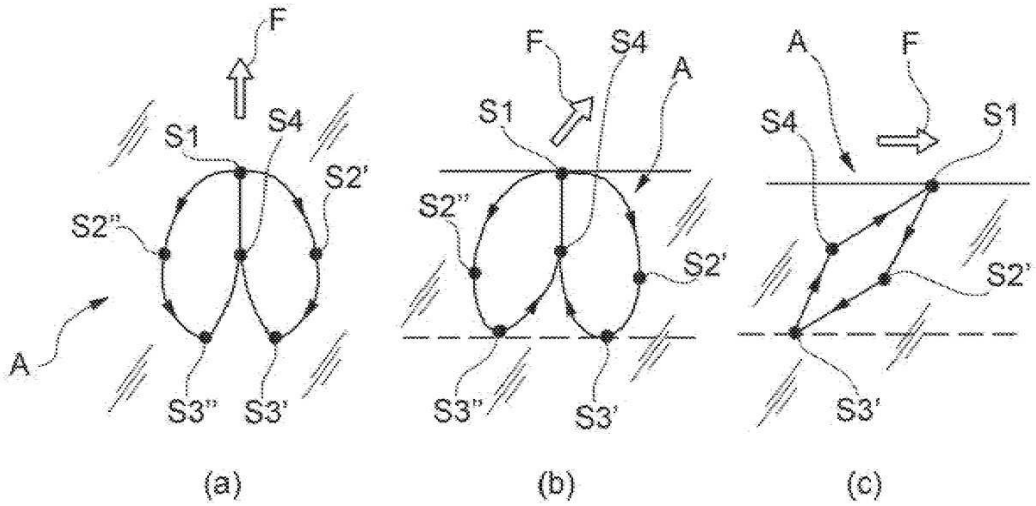
도면15c



도면16



도면17



도면18

