



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년07월12일
(11) 등록번호 10-1164418
(24) 등록일자 2012년07월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B26F 3/00 (2006.01) B26F 3/06 (2006.01)
B23K 26/38 (2006.01) H01S 3/10 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-0057009
(22) 출원일자 2010년06월16일
심사청구일자 2010년06월16일
(65) 공개번호 10-2011-0137032
(43) 공개일자 2011년12월22일
(56) 선행기술조사문헌
W02009057558 A1*
KR1020060040278 A
KR1020090064510 A
JP2009166103 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국과학기술원
대전 유성구 구성동 373-1
(72) 발명자
김승우
대전광역시 유성구 대학로 291, 한국과학기술원 (구성동)
김영진
경상남도 창원시 진해구 풍호로 68, 104동 1004호 (풍호동, 풍호동 한림리츠빌)
(74) 대리인
특허법인대한

전체 청구항 수 : 총 2 항

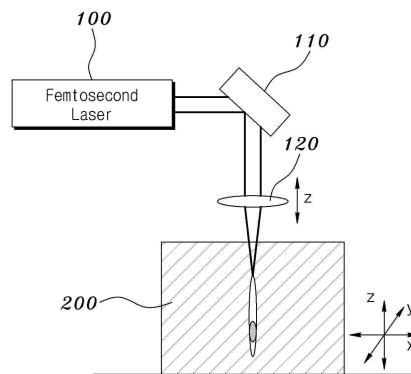
심사관 : 이춘백

(54) 발명의 명칭 펨토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법

(57) 요약

본 발명은 토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법에 관한 것으로, 펨토초 펄스 레이저를 이용한 절단방법에 있어서, 펨토초 펄스 레이저를 가공물에 조사하여 다중광자이온화(Multi-Photon Ionization)를 기반으로 플라즈마 디포커싱(Plasma Defocusing)에 의해 개질영역을 형성시키고, 여기서 형성된 상기 개질영역과 플라즈마 디포커싱 현상에 의한 레이저의 공간적 집속을 방해시켜 상기 펨토초 펄스 레이저의 초점을 가공물 깊이 방향으로 이동시키면서 개질영역을 길어지게 형성하는 것을 특징으로 한다. 이와 같이 구성되는 본 발명은 비선형 초점이동을 통해 기존 필라멘트 기반에서는 가공이 불가능한 얇은 투명재료에 효율적인 절단 및 가공이 가능한 이점이 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김윤석

광주광역시 서구 발산로45번길 10-1 (양동)

유준호

대전광역시 유성구 송강동 송강그린아파트 313동
502호

김승만

인천광역시 남동구 구월2동 현대힐스테이트아파트
1104동 1002호

박상욱

경상남도 김해시 인제로 167, 104동 906호 (어방
동, 대우유토피아아파트)

한승희

대전광역시 동구 용운동 꿈에그린아파트 101동
203호

특허청구의 범위

청구항 1

펄토초 펄스 레이저를 이용한 절단방법에 있어서,

펄토초 펄스 레이저를 가공물에 조사하여 다중광자이온화(Multi-Photon Ionization)를 기반으로 플라즈마 디포커싱(Plasma Defocusing)에 의해 개질영역을 형성시키고, 여기서 형성된 상기 개질영역과 플라즈마 디포커싱 현상에 의한 레이저의 공간적 집속을 방해시켜 상기 펄토초 펄스 레이저의 초점을 가공물 깊이 방향으로 이동시키면서 개질영역을 길어지게 형성하며,

상기 펄토초 펄스 레이저는 펄스 당 에너지를 증가시키면서 비선형 초점이동을 통해 가공물의 깊이 방향으로 개질영역을 형성시키고,

상기 개질영역과 플라즈마 디포커싱 영역은 상기 펄토초 레이저 펄스의 펄스폭, 펄스당 에너지, 집광렌즈의 수치구경 및 초점거리의 조정을 통해 제어하는 것을 특징으로 하는 펄토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 개질영역 형성 후에는 투명재료 또는 기관을 기계적, 열적 응력, 초음파 진동 중 어느 하나의 방법을 통해 기관을 절단하는 것을 특징으로 하는 펄토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 펄토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법에 관한 것으로, 펄토초 펄스 레이저의 초점 이동을 통해 가공물의 깊이 방향에 대해 개질영역을 형성함으로써 가공하는 펄토초 펄스 레이저의 비선형 초점 이동을 통한 절단방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 글라스, 실리콘, 세라믹 등의 취성기관을 절단하여 분리시키는 데 사용되는 방법으로는, 스크라이빙(Scribing), 블레이드 다이싱(Blade Dicing), 레이저 절단, 스텔스 다이싱(Stealth Dicing) 및 TLS(Thermal Laser Separation) 등의 절단 방법이 사용되고 있다. 이 중, 스크라이빙과 블레이드 다이싱 방법은 기계적인

절단 방법이고, 스텔스 다이싱과 TLS 방법은 레이저를 이용한 비접촉식 절단 방법이다.

- [0003] 기존 기계적 절단 방법은, 가공 시 다량의 칩을 형성하며 잔류응력 등을 가공물에 남기게 되므로, 100 um 이하의 박막에서는 심각한 파손과 찢어짐을 유발시킨다.
- [0004] 기존 레이저 기반 가공은 열전달을 기반으로 하는 가공공정으로, 이로 인한 Thermal Load가 커 열영향지대(HAZ: Heat Affected Zone)를 형성하므로, 가공물에 금이 가거나 강도를 떨어뜨리는 등의 한계점을 가지며, 가공물의 흡수도에 따라 가공 정도가 달라져 다양한 재료로 이루어진 다층구조를 절단하는데 어려움이 있다.
- [0005] 스텔스 다이싱 방법과 TLS 방법은, 기관을 표면에서 직접 제거하지 않고, 기관 내부에 변형층을 형성하거나 인장 잔류응력을 발생시켜 기관을 절단하므로 절단 과정에서 파편 혹은 입자의 발생을 줄일 수 있다. 하지만 이 역시 열적 공정을 기반으로 하여 열영향지대가 형성되며, 잔류응력 등이 그대로 남아 기관의 특성을 변화시킨다. 또한 TLS의 경우 열을 냉각시키는 냉각제의 별도 클리닝이 요구되는 제한점을 가진다.
- [0006] 레이저를 통해 피가공물을 열적으로 여기시킴으로써, 물질의 상을 변화시켜 가공을 수행한다. 이에 반해, 극초단 펄스 레이저(펄스 폭 10 ps 이하)는 극초단 펄스의 높은 침투출력을 이용하여 피가공물을 플라즈마 상태로 직접 변화시켜 제거하거나 물질의 상태를 변화시키는 것을 기반으로 한다. 또한, 좁은 펄스 폭으로 인해 주변 물질로 열이 전도되기 전에 모든 가공이 수행되므로, 가공 주변 부에 영향을 주지 않는 깨끗하고 정밀한 가공이 가능하다.
- [0007] 극초단 펄스 레이저의 가공에 있어서의 장점은 기존 레이저 가공에서 요구되는 피가공물의 비결정적 결합전자(Defect Electron)에 의존하지 않고, 비선형 광흡수에 의해 가공이 시작 및 진행된다는 점이다. 따라서 가공물에 의존하지 않는 결정적 공정(Deterministic)으로 가공의 제어가 매우 용이하다. 극초단 펄스 앞단의 수십 펨토초에 해당하는 시간 동안 비선형 이온화를 통해 시드 전자(Seed Electron)군이 충분히 생성되고, 이를 통해 가공이 시작 및 진행된다. 따라서 가공 부위의 선택성과 공정의 반복성을 크게 높일 수 있으므로, 실제 응용 분야에 적용에 있어서 매우 유리하다.
- [0008] 극초단 펄스 레이저가 투명재료 가공에 있어서 가지는 장점은, 비선형 광흡수 현상에 의해 초점 부근의 부피에만 가공 및 변화를 집중시킬 수 있고, 가공 정밀도를 높일 수 있으며, 주변 영역에 응력변화를 최소화 할 수 있다.
- [0009] 비선형 광흡수 현상은 피가공 물질의 물성에 의존하지 않으므로 다양한 피가공물의 가공이 가능하며, 특히 서로 다른 다양한 물질들의 조합 및 층으로 구성된 가공물을 단일 레이저로 용이하게 가공할 수 있다.
- [0010] 펨토초 레이저 마이크로 가공 원리는 극초단 레이저 기반 광학 브레이크다운(Optical Breakdown)을 기반으로 하는데, 광 에너지가 물질에 전파되고, 이는 다수의 전자를 이온화 시킨다.
- [0011] 일본 선행 발명에서는 펨토초 레이저의 투명재료 내 필라멘트(Filamentation) 형성 기반의 절단방법을 제안하였다. 이러한 필라멘트 가공의 경우, 100 um 이하의 얇은 초점영역에서 개질 및 플라즈마 형성 영역이 생성되지 못하며, 비선형 초점 이동에 의한 수백 um 이상의 긴 개질영역이 형성되게 된다. 개질영역을 형성하는 과정에서 펨토초 펄스의 에너지가 긴 영역에 분포되므로, 개질을 위해서는 높은 수준의 에너지가 소모되어, 유리 가공의 경우 노출시간이 0.25 분~25분 수준으로 상당히 느린 가공이 수행되게 되며, 또한 느린 렌즈에 의해 자체 집속현상이 약하게 유도되기 때문에 수백 um 깊이에서 필라멘트가 생성되기 시작하고, 그 길이는 수백 um 이상 수준에 해당한다. 이로 인해 100 um 내외의 얇은 두께를 가지는 LED용 사파이어 웨이퍼 및 반도체 웨이퍼 등의 얇은 투명재료의 가공 및 절단에 있어서는 상당히 불리한 특성을 가지는 것으로 보고되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 본 발명은 극초단 펄스 레이저의 비선형 광학 현상을 응용하여, 비선형 초점 이동 및 개질/플라즈마 형성영역의 생성을 통해 얇은 투명재료 기관의 효과적인 절단 및 가공방법을 제공하고자 하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 펨토초 펄스 레이저를 이용한 절단방법에 있어서, 펨토초 펄스

레이저를 가공물에 조사하여 다중광자이온화(Multi-Photon Ionization)를 기반으로 플라즈마 디포커싱(Plasma Defocusing)에 의해 개질영역을 형성시키고, 여기서 형성된 상기 개질영역과 플라즈마 디포커싱 현상에 의한 레이저의 공간적 집속을 방해시켜 상기 펨토초 펄스 레이저의 초점을 가공물 깊이 방향으로 이동시키면서 개질영역을 길어지게 형성하는 것을 특징으로 한다.

- [0014] 또한, 상기 펨토초 펄스 레이저는, 배율 20배 이상, 개구수(NA : Numerical Aperture)가 0.5 이상의 집광렌즈를 사용하여 가공물에 조사함으로써, 다중광자이온화에 따른 플라즈마 디포커싱을 유발시켜 가공물을 가공하는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 상기 펨토초 펄스 레이저는, 펄스 당 에너지를 증가시키면서 비선형 초점이동을 통해 가공물의 깊이 방향으로 개질영역을 형성시키는 것을 특징으로 한다.
- [0016] 또한, 상기 개질영역 형성 후에는 투명재료 또는 기판을 기계적, 열적 응력, 초음파 진동 중 어느 하나의 방법을 통해 기판을 절단하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 상기 펨토초 펄스 레이저는, 펄스 폭 10 ps 이하를 포함하는 레이저에 해당하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 상기 개질영역과 플라즈마 디포커싱 영역은, 상기 펨토초 레이저 펄스의 펄스폭, 펄스당 에너지, 집광렌즈의 수치구경 및 초점거리의 조정을 통해 제어하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 상기 펨토초 펄스 레이저는, 펄스 당 에너지가 가공물에 개질영역 형성을 위한 문턱 에너지 0.1 uJ 이상이 되도록 에너지 값을 가지는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0020] 이와 같이 구성되는 본 발명은 극초단 펨토초 레이저 응용 비선형 초점이동 및 개질/플라즈마 영역을 형성하여, 투명재료의 절단 및 가공 효율을 크게 향상시키는 효과가 있다.
- [0021] 또한, 극초단 펨토초 레이저와 렌즈를 이용한 얇은 영역에서의 초점형성을 기반으로, 기존 필라멘트 기반에서는 가공이 불가능한, 얇은 투명재료의 효율적인 절단 및 가공을 가능하게 하고, 가공재료에 광원이 비스듬히 입사하도록 하여 얇은 두께의 시편을 가공할 시에는 한 번에 가공되는 깊이를 증가시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명에 따라 비선형 광학현상을 이용한 투명재료 내부의 비선형 초점이동 및 개질/플라즈마 영역 형성 시스템을 개략적으로 나타낸 도면,
- 도 2는 본 발명에 따른 펨토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법의 투명재료 내에서의 비선형 광학현상을 나타낸 도면,
- 도 3은 본 발명에 따른 펨토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법에 있어 비선형 초점이동의 형성 원리를 나타낸 도면,
- 도 4는 펨토초 펄스 레이저의 에너지에 따른 비선형 초점이동 및 개질/플라즈마 생성 영역의 형성 원리를 도시한 도면,
- 도 5는 본 발명에 따른 다른 실시예로 극초단 펨토초 펄스 레이저를 비스듬히 입사시킴으로써 비선형 초점이동 및 개질/플라즈마 영역 생성에 의한 가공면이 가공재료에 비스듬히 길게 형성되어 한 번에 가공되는 깊이를 증가시키는 상태를 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 펨토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법의 바람직한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0024] 본 발명에 따른 펨토초 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법은, 펨토초 펄스 레이저를 이용한 절단방법에 있어서, 펨토초 펄스 레이저를 가공물에 조사하여 다중광자이온화(Multi-Photon Ionization)를 기반으로 플라즈마 디포커싱(Plasma Defocusing)에 의해 개질영역을 형성시키고, 여기서 형성된 상기 개질영역과

플라즈마 디포커싱 현상에 의한 레이저의 공간적 집속을 방해시켜 상기 펄스 레이저의 초점을 가공물 깊이 방향으로 이동시키면서 개질영역을 길어지게 형성하는 것을 특징으로 한다.

- [0025] 본 발명에 따른 비선형 초점이동을 통한 절단방법은, 가공물에 조사되는 펄스 레이저가 다중광자이온화를 기반으로 플라즈마 디포커싱에 의해 소정의 개질영역을 형성시킨 후 플라즈마 디포커싱에 의해 레이저의 초점을 가공물 깊이 방향으로 이동시키면서 이동방향에 따른 개질영역을 형성시킴으로써 가공물을 절단(가공)하는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 도 1은 본 발명에 따라 비선형 광학현상을 이용한 투명재료 내부의 비선형 초점이동 및 개질/플라즈마 영역 형성 시스템을 개략적으로 나타낸 도면이다. 도시된 바와 같이 비선형 초점이동을 통한 절단방법을 구현하기 위한 시스템으로는 펄스 레이저 소스(100)와, 상기 레이저 소스에서 출사되는 레이저를 반사시키는 미러(110), 상기 미러에서 반사되는 광을 집광시키는 집광렌즈(120)를 포함하여 구성된다. 여기서 상기 펄스 레이저 출사 시스템은, 도 1에서 개략적으로 도시된 바와 같이 펄스 레이저 소스에서 출력되는 펄스 레이저 광을 타겟에 조사하기 위해 미러와 집광렌즈만을 도시하였지만, 레이저 전달 매체는 당업자라면 다양하게 구성할 수 있는 것으로, 여기서 한정되는 것은 아니다.
- [0027] 상기 시스템에 있어, 상기 집광렌즈(120)는 본 발명의 주요 인자으로써, 개구수(NA: Numerical Aperture)가 0.5 수준의 빠른 집광렌즈를 이용하여 레이저를 집광함으로써 가공물(기판, 투명재료)에 조사한다. 또한, 상기 집광렌즈는 배율을 20배 이상을 가지는 것이 바람직하다.
- [0028] 도 2는 본 발명에 따른 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법의 투명재료 내에서의 비선형 광학현상을 나타낸 도면이다. 100은 투명재료 내 펄스 에너지 분포에 의한 비선형 굴절률 변화를 나타내며, 101은 펄스분포, 102는 비선형 굴절률 변화에 의한 플라즈마 디포커싱을 나타낸다.
- [0029] 상기 집광렌즈를 통해 조사된 펄스 레이저에 의해 투명재료가 다중광자흡수를 통해 이온화되어 플라즈마 상태로 변화하게 되면, 이 레이저 빔이 공간적으로 퍼지는 플라즈마 디포커싱을 유발하게 된다. 이를 상세히 설명하면, 투명재료 내부의 3 ~ 30 μm 내외의 얇은 깊이에 집광을 하게 되면, 초점까지 도달하는 과정에서 높은 펄스 당 에너지에 의해 개질영역이 생성되기 시작하고 전파가 계속 진행되면서 펄스 에너지가 임계값을 넘어서면 플라즈마 디포커싱 현상이 발생한다. 이러한 개질영역과 플라즈마 디포커싱은 레이저의 집속을 방해하는 효과를 유발한다. 첫 번째 초점영역에서 개질영역이 형성되고 플라즈마 디포커싱 현상이 발생 후 펄스 당 에너지가 증가할수록 이러한 개질영역 및 플라즈마 디포커싱에 의한 레이저의 공간적 집속의 방해에 의해 초점거리가 점점 깊어지는 비선형 초점이동 현상이 일어나게 된다. 또한 펄스 당 에너지가 증가할수록 개질영역 및 플라즈마 디포커싱 현상이 시작되는 영역은 점점 얇아지게 된다. 따라서, 펄스 당 에너지가 증가할수록 개질영역 및 플라즈마 생성 영역이 점점 길어지게 되고, 투명재료 내의 비선형 초점이동(깊은 방향)과 개질 및 플라즈마 생성(얇은 방향)은 수십~ 백 μm 내외의 길이영역으로 확장되는 것이다.
- [0030] 도 3은 본 발명에 따른 펄스 레이저의 비선형 초점이동을 통한 절단방법에 있어 비선형 초점이동의 형성 원리를 나타낸 도면이다. 이를 참조하면 집광렌즈를 통해 출사된 광이 투명재료 내 비선형 굴절률 변화에 의한 플라즈마 디포커싱(201)으로 옴몰렌즈 효과에 의해 집광된다. 여기서 형성된 소정의 개질영역과 플라즈마 상태는 상기 레이저 초점의 집속을 방해하고 레이저의 공간적 집속의 방해로 인하여 초점거리가 점점 깊어지게 된다. 따라서 옴몰렌즈 효과가 연속적으로 진행되고 이에 따라 깊이방향으로 개질영역이 길게 형성되는 것이다.
- [0031] 극초단 펄스 레이저를 얇은 깊이에서 집광하기 시작하므로, 수 ~ 수십 μm 내외에서 개질 및 플라즈마 생성영역이 시작되며, 이후 비선형 초점이동의 깊이 방향으로의 이동에 의해 국소영역에서 강한 개질 및 제거 영역이 생성된다. 비선형 초점 이동 시 펄스 당 에너지가 높을수록 긴 개질영역이 형성되게 되고, 비선형 초점이동에 있어서 필요한 문턱 에너지는 약 0.1 μJ 내외이다. 이는 투명재료의 가공 및 절단에 있어 100 μm 내외의 얇은 두께를 가지는 재료의 절단 및 가공을 가능하게 하며, 펄스 에너지 및 집광조건을 이용하여 재료의 깊이 에 맞게 제거영역을 최적화함으로써 절단 및 가공의 생산성을 크게 향상시킬 수 있다.
- [0032] 따라서, 본 발명에서는 강한 비선형 광학현상을 이용하여 비선형 초점 이동을 통한 개질영역과 플라즈마 영역을 생성시키고, 특히, 투명재료 내에서 다중광자이온화와 플라즈마 디포커싱을 통해 비선형 초점 이동으로 개질영역을 깊이방향으로 형성시킴으로써 가공성을 향상시킬 수 있다.
- [0033] 도 4는 펄스 레이저의 에너지에 따른 비선형 초점이동 및 개질/플라즈마 생성 영역의 형성 원리를 도시한 도면이다. 도시된 바와 같이 비선형 초점 이동을 통해 긴 개질영역을 가공물의 두께에 따라 다양하게 형

성시킬 수 있다. 펄스 에너지를 증가시킬수록 긴 개질영역을 형성시켜 가공물 조건(ex. 가공물의 두께)에 따라 선택적인 가공이 가능하다.

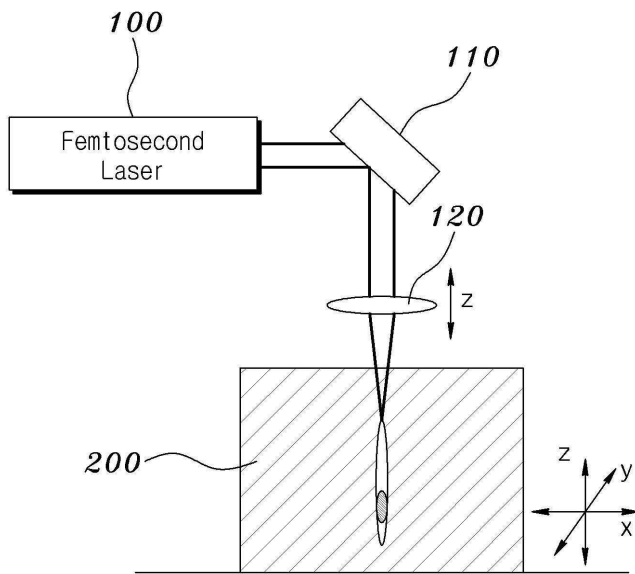
- [0034] 도 5는 본 발명에 따른 다른 실시예로 극초단 펨토초 펄스 레이저를 비선형히 입사시킴으로써 비선형 초점이동 및 개질/플라즈마 영역 생성에 의한 가공면이 가공재료에 비스듬히 길게 형성되어 한 번에 가공되는 깊이를 증가시키는 상태를 도시한 도면이다. 펨토초 레이저를 가공물에 대해 비스듬히 조사하면 비스듬한 방향으로 개질영역을 형성시킬 수 있다.
- [0035] 한편, 본 발명에서는 펨토초 펄스 폭, 펄스당 에너지, 집광렌즈의 수치구경 및 초점거리의 조절을 통해 개질 영역의 깊이나 길이와 같은 가공 조건을 제어할 수 있는 것이다.
- [0036] 또한, 본 발명에서는 ps(피코초) 이하의 레이저 펄스폭을 포함하여 구성할 수 있는데, 펨토초 영역을 포함하는 피코초 이하의 레이저 펄스와 10^{10} 이상의 광세기를 가지는 영역에서는 다중광자이온화와 플라즈마 디포커싱 메커니즘으로 가공물을 가공한다.
- [0037] 따라서, 본 발명에 따르면, 펨토초 레이저의 비선형 초점이동 및 개질/플라즈마 영역을 형성하여 투명 재료의 절단 및 가공 효율을 향상시킬 수 있고, 기존의 필라멘트 기반에서 가공이 불가능한 얇은 투명재료의 효율적인 절단 및 가공이 가능한 이점이 있다.
- [0038] 이상, 본 발명의 원리를 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 그와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용으로 한정되는 것이 아니다. 오히려, 첨부된 청구범위의 사상 및 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대한 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변경 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

부호의 설명

- [0039] 100 : 펨토초 레이저 소스
- 110 : 미러
- 120 : 집광렌즈
- 200 : 가공물
- 201 : 레이저 초점
- 202 : 개질 및 플라즈마 영역

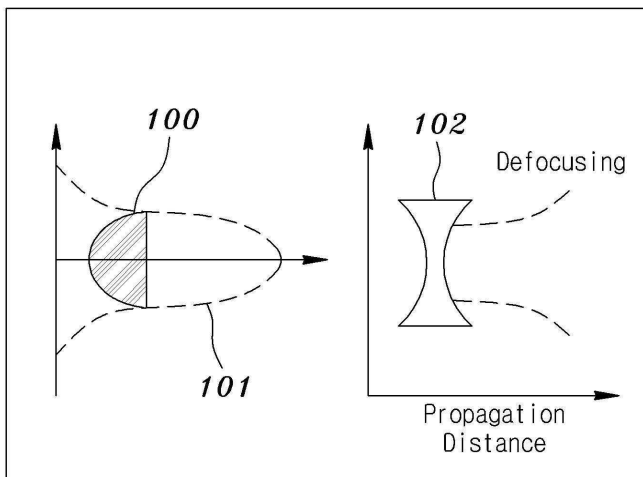
도면

도면1

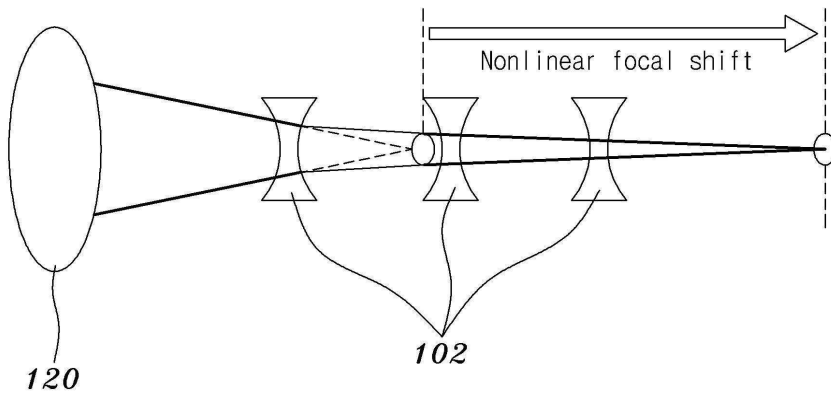


도면2

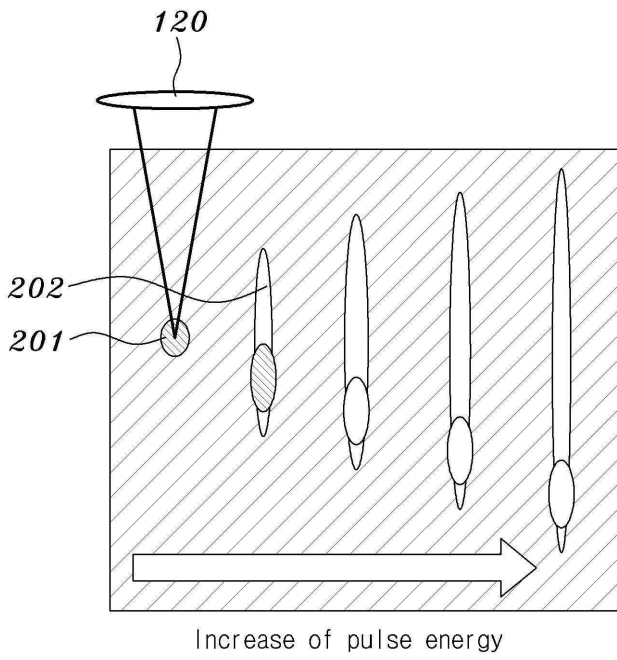
Multi-Photon Ionization & Plasma Defocusing



도면3



도면4



도면5

