



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0046105  
(43) 공개일자 2014년04월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B23K 26/36 (2014.01)

(21) 출원번호 10-2012-0111989

(22) 출원일자 2012년10월09일

심사청구일자 2012년10월09일

(71) 출원인

한국기계연구원

대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)

(72) 발명자

노지환

대전 유성구 엑스포로 448, 206동 708호 (전민동, 엑스포아파트)

이제훈

대전 유성구 배울1로 119, 1201동 901호 (용산동, 대덕테크노밸리12단지아파트)

서정

부산 강서구 명지오션시티10로 16, 204동 202호 (명지동, 쿨덤1차량킨타운)

(74) 대리인

팬코리아특허법인

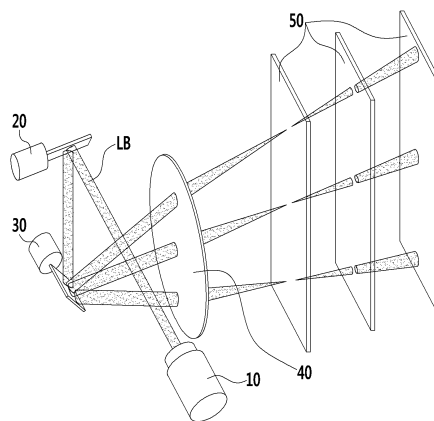
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 레이저 어블레이션을 이용한 금형 표면 마이크로 구조물 형성방법

**(57) 요약**

본 기재의 마이크로 구조물 형성방법은, 레이저 발진기에서 레이저빔을 생성하는 단계, 상기 레이저빔을 스캐너를 지나 렌즈를 통과시켜 포커싱 하는 단계, 상기 금형의 표면을 상기 렌즈의 초점 거리(focal distance)보다 더 큰 작업 거리(working distance)만큼 이격시켜서 단위 면적당 레이저 에너지를 변화시키는 단계, 상기 스캐너를 이용하여 상기 금형의 표면에 대하여 상기 레이저빔을 스캔하면서 상기 금형 표면을 가공하는 단계를 포함하고, 상기 레이저빔의 스캔 영역에 대응되는 상기 금형의 표면에 볼록렌즈 형상의 마이크로 구조물을 형성할 수 있다.

**대표도** - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NK167C

부처명 지식경제부

연구사업명 주요사업

연구과제명 스캐너와 다중빔 레이저 기반 물금형 마이크로 패터닝 장비기술개발 (1/3)

기여율 1/1

주관기관 기계연구원

연구기간 2012.01.01~2012.12.31

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

레이저 발진기에서 레이저빔을 생성하는 단계;

상기 레이저빔을 스캐너를 지나 렌즈를 통과시켜 포커싱 하는 단계;

금형의 표면을 상기 렌즈의 초점 거리(focal distance)보다 더 큰 작업 거리(working distance)만큼 이격시켜서 단위 면적당 레이저 에너지를 변화시키는 단계;

상기 스캐너를 이용하여 상기 금형의 표면에 대하여 상기 레이저빔을 스캔하면서 상기 금형 표면을 가공하는 단계;

를 포함하고,

상기 레이저빔의 스캔 영역에 대응되는 상기 금형의 표면에 볼록렌즈 형상의 마이크로 구조물을 형성하는 마이크로 구조물 형성방법.

### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 금형은 적어도 2 이상의 서로 다른 원소를 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로 구조물 형성방법.

### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 금형 표면을 가공하는 단계는,

상기 레이저빔을 스캔하면서 상기 금형의 일부 원소의 용융을 유도하고,

상기 용융된 부분이 넓게 퍼지면서 상기 레이저빔에 대하여 마스크 역할을 하는 것을 특징으로 하는 마이크로 구조물 형성방법.

### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 레이저 발진기는 펄스 듀레이션이 10 펨토초 내지 1 나노초의 범위에 속하는 레이저빔을 생성하는 것을 특징으로 하는 마이크로 구조물 형성방법.

### 청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 레이저빔을 스캔하는 단계는 공기 중에서 수행되는 것을 특징으로 하는 마이크로 구조물 형성방법.

### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 금형의 표면에 형성되는 마이크로 구조물의 단위 직경은 상기 금형의 표면에 포커스된 레이저빔의 스팟 직경보다 더 작은 것을 특징으로 하는 마이크로 구조물 형성방법.

### 청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 금형 표면을 가공하는 단계는,

상기 스캐너를 이용하여 상기 금형의 표면에 대하여 상기 레이저빔을 일 방향으로 스캔하면서 가공하는 것을 특

징으로 하는 마이크로 구조물 형성방법.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 레이저 어블레이션을 이용하여 마이크로 구조물을 형성하는 방법에 관한 것이다.

**배경기술**

[0002] 포커스 된 레이저 펄스 에너지가 재료에 조사되었을 때, 재료 표면에서는 재료의 일부분이 녹거나 제거되게 된다. 특히 재료의 어블레이션 쓰레스홀드(threshold) 값보다 큰 에너지가 재료에 조사되었을 때 재료의 일부분이 제거된다. 예를 들어 펄스 듀레이션(pulse duration)이 나노 세컨드 단위의 레이저가 메탈에 조사되었을 때 메탈 표면의 일부분이 제거되고 표면이 거칠어지게 된다. 그러나 펄스 듀레이션이 나노 세컨드인 레이저에서는 열 영향부가 커서 마이크로 사이즈의 구조물을 제작하는 데는 많은 한계가 있었다.

[0003] 최근 들어 펄스 듀레이션이 펨토(femto)나 피코(pico) 세컨드 영역인 울트라 숏(ultra short) 펄스 레이저가 개발됨에 따라 레이저를 이용한 마이크로 프로세싱이 급속도로 발전하고 있다. 울트라 숏 레이저의 짧은 펄스 듀레이션 때문에 열영향부가 줄어든 마이크로 구조물을 제작할 수 있게 되었기 때문이다.

[0004] 울트라 숏 레이저를 포커싱 해서 재료 표면에 조사하면, 재료 표면에는 회절 한계에 의한 포커스된 빔이 조사되게 된다. 그렇게 되면 포커스된 스팟 사이즈 만큼의 마이크로 사이즈의 구멍이 생기게 된다. 이 상태에서 스테이지나 스캐너를 이용하여 시편이나 포커스된 빔을 이동시켜주면 마이크로 그루브가 생성되게 된다. 결국 포커스된 스팟 사이즈보다 작은 마이크로 구멍이나 그루브는 제작이 불가능하다. 더 작은 마이크로 구조물을 제작하기 위해서 레이저 빔의 직경을 크게 하거나, 단파장 레이저를 사용하거나, 포컬 렌스(focal length)가 짧은 렌즈를 사용할 수도 있다. 그러나 포커스된 스팟 사이즈가 줄어들면 그만큼 초점 깊이(depth of focus)도 줄어들기 때문에 가공상 문제가 발생한다. 결국 회절 한계를 극복한 미세 구조물 제작은 불가능하다. 그리고 포커스된 레이저를 사용하여 마이크로 구조물 제작시 마이크로 구조물을 하나하나 포커스된 빔으로 제작해야 하기 때문에, 대면적 마이크로 구조물 제작시 가공시간이 늘어나는 단점을 가지고 있다.

[0005] 이런 단점을 보완하기 위해서 최근 포커스된 스팟 사이즈보다 작은 구조물을 제작하기 위한 연구가 진행 중이다. 특히 울트라 숏 레이저를 사용하여 재료의 어블레이션 쓰레스홀드 부근의 에너지로 재료에 조사하면 재료에서 일종의 주름(ripple)이 발생한다. 보통 사용 레이저 파장에 비례하는 나노급 패턴이 생성된다. 레이저의 편광 방향에 따라 나노급 패턴의 방향의 조절 가능하다. 이 나노급 패턴의 생성 원리는 입사되는 레이저 빔과 스캐터 되는 레이저 빔 사이의 간섭 현상인 것으로 알려져 왔다. 그러나 많은 실험 결과에서 이 간섭 현상으로 설명할 수 없는 나노 패턴들이 생성이 되었다. 결국 쿨롱 폭발(coulomb explosion)을 이용하여 설명하는 연구가 진행 중이지만, 모든 실험 결과를 설명할 만한 생성 원리는 아직 발견되지 못하고 있다. 이 나노 패턴은 가우시안 빔 레이저 빔을 사용하거나 가우시안 빔을 빔 셰이핑 소자를 사용하여 플랫폼(plate top) 형태의 빔을 사용하기 때문에 세장비가 큰 나노 패턴을 제작하는 데는 많은 어려움이 존재한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 상기한 바와 같은 기술적 배경을 바탕으로, 본 발명은 레이저 어블레이션 현상을 이용하여 금형의 표면에 볼록 렌즈 형상의 마이크로 구조물을 형성하는 방법을 제공하고자 한다.

[0007] 상기 마이크로 구조물이 표면에 형성된 금형을 이용하여 사출 성형함으로써 렌즈 형상을 갖는 사출물을 제작할 수 있는 방법을 제공하고자 한다.

**과제의 해결 수단**

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 구조물 형성방법은, 레이저 발전기에서 레이저빔을 생성하는 단계, 상기 레이저빔을 스캐너를 지나 렌즈를 통과시켜 포커싱 하는 단계, 상기 금형의 표면을 상기 렌즈의 초점 거리(focal distance)보다 더 큰 작업 거리(working distance)만큼 이격시켜서 단위 면적당 레이저 에너지를 변화시키는 단계, 상기 스캐너를 이용하여 상기 금형의 표면에 대하여 상기 레이저빔을 스캔하면서 상기 금형 표면을 가공하는 단계를 포함하고, 상기 레이저빔의 스캔 영역에 대응되는 상기 금형의 표면에 볼록렌즈 형상의 마이크

로 구조물을 형성할 수 있다.

- [0009] 상기 금형은 적어도 2 이상의 서로 다른 원소를 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 금형 표면을 가공하는 단계는, 상기 레이저빔을 스캔하면서 상기 금형의 일부 원소의 용융을 유도하고, 상기 용융된 부분이 넓게 퍼지면서 상기 레이저빔에 대하여 마스크 역할을 할 수 있다.
- [0011] 상기 레이저 발진기는 펄스 듀레이션이 10 펨토초 내지 1 나노초의 범위에 속하는 레이저빔을 생성할 수 있다.
- [0012] 상기 레이저빔을 스캔하는 단계는 공기 중에서 수행될 수 있다.
- [0013] 상기 금형의 표면에 형성되는 마이크로 구조물의 단위 직경은 상기 금형의 표면에 포커스된 레이저빔의 스팟 직경보다 더 작은 것을 특징으로 한다.
- [0014] 상기 금형 표면을 가공하는 단계는, 상기 스캐너를 이용하여 상기 금형의 표면에 대하여 상기 레이저빔을 일 방향으로 스캔하면서 가공할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0015] 상기한 바와 같은 본 발명의 실시예에 따른 마이크로 구조물 형성방법에 의하면, 금형의 표면에 조사되는 레이저의 포커스된 스팟 사이즈보다 작은 마이크로 구조물을 형성할 수 있다.
- [0016] 또한, 금형 표면에 다수의 볼록렌즈 형상의 마이크로 구조물을 형성할 수 있으며, 레이저 가공공정을 실온의 공기 중에서 수행할 수 있으므로, 대면적에 대하여 가공속도를 빠르게 진행할 수 있다.
- [0017] 한편, 상기 볼록렌즈 형상의 마이크로 구조물이 형성된 금형을 이용하여 렌즈 형상을 갖는 사출물을 용이하게 제작할 수 있다.
- [0018] 또한, 다수의 미세한 렌즈 형상을 갖는 사출물을 제작함으로써 초발수 또는 초친수 표면을 갖는 사출물을 얻을 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 구조물 형성방법을 수행할 수 있는 레이저 가공 시스템의 구성도이다.  
 도 2는 레이저 가공 시스템을 이용하여 스캔하는 과정을 도시한 모식도이다.  
 도 3은 레이저 가공 시스템을 이용하여 작업 거리를 달리하여 가공한 금형 표면의 SEM 이미지로, (a)는 작업 거리=121mm에서 가공한 표면이고, (b)는 작업 거리=130mm에서 가공한 표면이며, (c)는 작업 거리=135mm에서 가공한 표면이다.  
 도 4는 레이저 가공 시스템을 이용하여 가공횟수를 달리하여 가공한 금형 표면의 SEM 이미지로, (a)는 스캔 반복횟수=10일 때 가공한 표면 이미지이고, (b)는 (a)를 확대한 이미지이며, (c)는 스캔 반복횟수=15일 때 가공한 표면 이미지이고, (d)는 (c)를 확대한 이미지이며, (e)는 스캔 반복횟수=25일 때 가공한 표면 이미지이고, (f)는 (e)를 확대한 이미지이며, (g)는 스캔 반복횟수=100일 때 가공한 표면 이미지이고, (h)는 (g)를 확대한 이미지이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0020] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 붙였다.
- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 구조물 형성방법을 수행할 수 있는 레이저 가공 시스템의 구성도이다.
- [0022] 상기 레이저 가공 시스템은 레이저빔(LB)을 생성하는 레이저 발진기(10)와, 상기 레이저 발진기(10)로부터 발광된 레이저빔(LB)을 측면 방향으로 반사시켜 각도를 조절하는 반사장치(20)와, 상기 반사장치(20)의 일측에 소정 거리 이격되며 위치하여 미러(mirror)를 이용하여 반사장치(20)에서 반사된 레이저빔(LB)을 스캔하는 스캐너

(30)를 포함한다. 그리고 상기 스캐너(30)에서 반사된 레이저빔(LB)을 집광하여 가공대상물(50)에 조사하는 렌즈(40)를 포함한다.

- [0023] 상기 레이저빔(LB)을 반사하는 반사장치(20)는 거울, 스테이 렌즈 또는 오브젝티브 렌즈 중 어느 하나를 선택하여 사용할 수 있다. 상기 스캐너(30)는 갈바노 미러 타입 스캐너를 사용할 수 있으며, 상기 렌즈(40)는 에프셰타( $f-\theta$ ) 렌즈를 사용할 수 있다.
- [0024] 상기 가공대상물(50)에 조사되는 레이저빔(LB)의 중첩범위는 설정에 따라 조절할 수 있으며, 상기 렌즈(40)와 가공대상물(50) 사이의 거리에 따라 레이저빔(LB)의 가공 스팟(spot)의 크기가 달라질 수 있고, 이를 변화시킴에 따라 상기 가공대상물(50)의 표면에 형성되는 구조물의 형태와 크기가 달라질 수 있다.
- [0025] 상기 도 1에 도시된 레이저 가공 시스템을 이용하여 본 발명의 일 실시예에 따른 마이크로 구조물 형성방법을 단계적으로 이하에 설명한다.
- [0026] 먼저, 적어도 2 이상의 서로 다른 원소를 포함하는 금형을 가공대상물로 준비한다.
- [0027] 본 실시예에서 금형은 NAK80 몰드 재료를 적용할 수 있다. NAK80은 93 %의 Fe, 3%의 Ni, 3%의 Si, 1.5 %의 Mn, 1%의 Al, 1%의 Cu, 0.15%의 C로 이루어져 있다. 상기 원소들의 레이저에 대한 어블레이션 쓰레스홀드는 서로 다르다. 따라서 재료의 결점보다는 이 재료들의 어블레이션 쓰레스홀드 값이 다른 것으로 인해, 레이저 가공 시 가공 표면에 흠이 생길 수 있다. 이 흠의 프레넬 반사 법칙에 의해 레이저 빔을 반사하여 마이크로 구조물을 생성할 수 있다. 이런 현상이 이루어지다가 재료 내부에 매우 높은 어블레이션 쓰레스홀드 값을 가진 부분이 존재한다면 도 2의 (b)와 같은 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물이 생성될 수 있다. 도 2의 (a)와 (c)는 펄스간 중첩율, 라인간 중첩율, 레이저 플루언스, 스캔 횟수를 달리하여 가공한 표면이다.
- [0028] 다음으로, 레이저 발전기에서 레이저빔을 생성한다.
- [0029] 상기 레이저는 피코초 레이저를 사용할 수 있으며, 피코초 레이저는 다이오드 여기된(diode-pumped), 12ps의 펄스폭을 갖는 모드 잠금(mode-locked) Nd:YVO4 레이저가 사용될 수 있다.
- [0030] 다음으로, 상기 레이저빔을 스캐너를 지나 렌즈를 통과시켜 포커싱 한다.
- [0031] 상기 스캐너(30)는 갈바노 미러 타입 스캐너를 사용할 수 있으며, 상기 렌즈(40)는 에프셰타( $f-\theta$ ) 렌즈를 사용할 수 있다.
- [0032] 다음으로, 가공대상물인 상기 금형의 표면을 상기 렌즈의 초점 거리(focal distance)보다 더 큰 작업 거리(working distance)만큼 이격되게 위치시켜 단위 면적당 레이저 에너지를 변화시킨다. 즉, 금형의 표면을 초점 거리에 위치시켰을 때(렌즈의 초점 거리와 작업 거리를 일치시켰을 때) 가해지는 단위 면적당 레이저 에너지를 기준으로 할 때, 작업 거리를 초점 거리보다 더 크게 하거나 작게 하면 금형의 표면에 가해지는 단위 면적당 레이저 에너지가 달라질 수 있다.
- [0033] 다음으로, 상기 스캐너를 이용하여 상기 금형의 표면에 대하여 상기 레이저빔을 스캔하면서 상기 금형 표면을 가공한다.
- [0034] 이 때, 상기 스캐너를 이용하여 상기 금형의 표면에 대하여 상기 레이저빔을 일 방향으로 스캔하면서 가공할 수 있다. 또한, 상기 레이저빔을 스캔하면서 금형 표면을 가공하는 단계는 공기 중에서 수행될 수 있다. 즉, 진공 상태나 특정 가스 분위기에서 레이저를 조사하지 않아도 원하는 마이크로 구조물을 얻을 수 있다.
- [0035] 상기 금형 표면을 가공하는 단계는, 상기 레이저빔을 스캔하면서 상기 금형의 일부 원소의 용융을 유도하고, 상기 용융된 부분이 넓게 퍼지면서 상기 레이저빔에 대하여 마스크 역할을 하도록 할 수 있다.
- [0036] 즉, 볼록렌즈 형상의 마이크로 구조물의 생성은 일정 재료의 용융(melting) 현상에 의해 유도할 수 있다. 레이저는 일종의 열원으로서 재료의 일부분을 증발 시키는 역할도 하지만 용융(melting) 시키는 역할도 수행한다. 본 실시예에서는 펄스 듀레이션이 12 피코 세컨드의 레이저를 사용하기 때문에 용융되는 부분은 극히 일부뿐이다.
- [0037] 일반적인 철인 경우 전자의 진동이 격자(lattice) 진동으로 전달되는 시간이 10 피코 세컨드 이상이기 때문에 이론적으로는 펄스 듀레이션이 12 피코 세컨드인 레이저로 철을 조사하는 경우에는 대부분의 레이저 에너지는 전자에서 흡수되고, 격자에는 전달이 되지 않는다. 외부 에너지가 격자에 전달되지 않으므로 재료가 용융이 일어나지 않는다. 그러나 이것은 이론적인 것이고 실제 피코 세컨드 레이저를 사용하더라도 일정 부분의 용융된

부분이 관찰이 된다. 심지어 펄스 레이저의 경우에는 일정 파워 영역대에서는 용융된 부분이 생긴다. 이 현상은 많은 수의 레이저 펄스가 표면에 조사되면 열축적 현상(heat accumulation)에 의해 용융되는 부분이 생긴다. 그러나 펄스 듀레이션이 나노 초초 레이저보다 피코나 펄스의 레이저가 용융부를 적게 생성하는 것은 많은 실험을 통해 검증이 되었다. 따라서 본 실시예에서 사용된 피코 레이저의 의해서도 일부 원소에 대해서는 용융 현상이 일어난다고 할 수 있다.

- [0038] 상기 일부 원소가 먼저 용융이 된다면 재료의 표면장력(surface tension)에 의해 이 용융 부분은 구형이 될 수 있다. 상기 구형이 된 부분에 레이저가 다시 와서 조사된다면 상기 구형으로 된 부분은 넓게 퍼지면서 레이저에 대해서 마스크 역할을 할 수 있다. 상기 재료는 일단 용융된 상태를 거친 물질이기 때문에 어블레이션 스프레드 홀드 값이 변했을 확률이 존재한다. 특히 용융되면서 재료의 산화(Oxidation)가 이루어졌다면 어블레이션 스프레드 홀드 값은 기존의 재료값 보다 높아지게 된다. 이런 이유에서 이 용융된 재료는 퍼지면서 레이저에 대해서 마스크 역할을 할 수 있다.
- [0039] 만약 이 용융된 파티클이 레이저의 성웨이브 (shock wave) 에 의해 가공면이 아니라 가공이 안된 부분에 안착될 수 있다면 이 이론은 더욱 가능성이 높다. 왜냐하면 이 구형의 파티클이 평면에 놓이게 되고, 이 상태에서 레이저에 조사된다면, 넓게 퍼지면서 레이저에 대해서 마스크 역할을 할 확률이 매우 높기 때문이다. 볼록렌즈 형상의 마이크로 구조물의 표면 거칠기가 작다는 의미는 이 구형 파티클이 레이저에 의해 퍼지면서 표면에 달라붙었다고 예측할 수 있다. 일반적인 레이저와 재료의 상호 작용에서는 표면 거칠기를 이처럼 작게 제작하는 것은 불가능하다. 이 볼록 렌즈 형상의 마이크로 구조물에 계속 레이저가 조사된다면 도 4의 (e), (f) 에서 보는 바와 같이 볼록 렌즈 마이크로 구조물의 일부분이 레이저에 의해서 파괴되는 것을 관측할 수 있다.
- [0040] 이상의 단계를 수행함으로써, 상기 레이저빔의 스캔 영역에 대응되는 상기 금형의 표면에 볼록렌즈 형상의 마이크로 구조물을 형성할 수 있다.
- [0041] 상기 금형의 표면에 형성되는 마이크로 구조물의 단위 직경은 상기 금형의 표면에 포커스된 레이저빔의 스팟 직경보다 더 작게 형성된다.
- [0042] 본 실시예에서 제작된 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물을 사출 성형하면 원하는 플라스틱에 마이크로 렌즈를 제작할 수 있다. 볼록 렌즈 모양이 금형이기 때문에 사출 성형한 플라스틱은 오목 렌즈 모양이 될 것이다. 볼록 렌즈 모양의 플라스틱을 제작하기를 원한다면, 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물 금형을 전해주조 (electroforming) 공정에 의해서 본 금형의 역상에 해당되는 금형을 제작한다. 이 역상의 금형을 이용하여 사출 성형해 내면 마이크로 볼록 렌즈 모양을 원하는 플라스틱 표면 위에 제작할 수 있다.
- [0043] 현재 마이크로 렌즈의 금형 제작을 위해 포토리소그래피(photolithography) 공정과 기계 가공이 사용되고 있다. 포토리소그래피 공정의 경우에는 마이크로 렌즈의 곡면을 제작하기 위해서 많은 단계의 공정이 필요하다. 그 이유는 포토리소그래피 공정에서 볼록 렌즈의 곡률을 가진 표면을 제작한 것이 어렵기 때문이다. 기계 가공의 경우에는 작은 사이즈의 마이크로 렌즈 제작이 불가능하다.
- [0044] 본 실시예에서 제작된 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물은 기존 방법에 비해 간단하고, 저가의 공정으로 마이크로 렌즈 금형을 제작할 수 있다. 특히 마이크로 렌즈 곡면의 거칠기가 작기 때문에 렌즈에서 산란되는 빛을 줄여서 광효율이 높은 마이크로 렌즈 제작이 가능하다. 또한 본 실시예에서 제안된 레이저 공정이 특수한 가스 상황이나 진공에서 제작된 것이 아니라 공기 중에서 제작된 것이기 때문에 대면적에 제작 가능하다. 레이저 가공 특성상 3차원 곡면 표면 위에도 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물 제작이 가능하다. 그리고 본 실시예에서 제작된 마이크로 구조물은 포커스된 스팟 사이즈 보다 작은 마이크로 구조물을 제작하기 때문에 가공 속도를 높일 수 있다. 포커스된 레이저 빔을 사용하는 공정에서는 마이크로 패턴 하나하나를 포커스된 레이저 빔을 사용하여 제작하기 때문에 가공 속도가 느리다. 그러나 본 실시예에서 사용된 방법은 포커스된 스팟 사이즈를 크게 하여도 우리가 원하는 마이크로 구조물을 제작할 수 있다. 포커스된 스팟 사이즈를 크게 할 수 있다는 것은 가공 속도를 높일 수 있다는 의미이다.
- [0045] 물론 단위면적당 에너지를 동일하게 유지하기 위해서, 포커스된 스팟 사이즈가 커지면, 사용하는 레이저의 파워도 커져야 한다. 산업계에 사용되는 레이저의 파워는 계속적으로 증가하고 있다. 따라서 본 실시예에서 제안된 방법은 고속 가공에 적합하다. 그리고 본 실시예에서 제안된 레이저 공정은 다른 기존 방법에 대해서 비해서 건식 공정이고 친환경적인 공정이다.
- [0046] 마이크로 렌즈 금형 이외에도 본 실시예에서 소개된 볼록 렌즈 모양의 마이크로 스트럭처는 초발수 또는 초친수 표면에 적용이 가능하다. 특히 금형 소재이기 때문에 사출 성형을 이용하면 값싼 초발수 또는 초친수 표면을 제

작 할 수 있다.

- [0047] [실험예]
- [0048] 먼저, 도 1에 도시한 레이저 가공 시스템을 이용하여 작업 거리를 달리하여 가공하였으며, 그 결과로 얻은 금형 표면의 SEM 이미지를 도 3에 나타내었다.
- [0049] 도 3은 레이저 가공 시스템을 이용하여 작업 거리를 달리하여 가공한 금형 표면의 SEM 이미지로, (a)는 작업 거리=121mm에서 가공한 표면이고, (b)는 작업 거리=130mm에서 가공한 표면이며, (c)는 작업 거리=135mm에서 가공한 표면이다.
- [0050] 갈바노 미러에서 반사된 빔은 에프셰타 렌즈를 거쳐서 시편에 포커싱이 된다. 여러 가지 가공 조건에서 실험하기 위해서 포커스 되는 지점뿐만 아니라 포커스가 아닌 지점에도 시편을 놓아서 실험을 수행하였다. 에프셰타 렌즈에 입사되는 빔의 반경이 1mm, 레이저 파장이 532nm, 에프셰타 렌즈의 이펙티브 포컬 렌즈가 89.7mm, 피코세컨드 레이저의  $M^2$  은 1.3 이기 때문에 포커스된, 광학 스팟 사이즈 (최대 인텐시티 값의  $1/e^2$ ) 는 대략  $40\mu\text{m}$  이다. 시편의 위치와 에프셰타 렌즈 사이 거리가 97mm 인 경우에는 포커스된 스팟 직경은  $40\mu\text{m}$  이다. 그러나 만약 시편의 위치와 에프셰타 렌즈 사이 거리가 102mm 라면 포커스된 스팟 직경은  $125.1\mu\text{m}$  이다. 만약 시편의 위치와 에프셰타 렌즈 사이 거리가 107mm 이라면 포커스된 스팟 직경은  $240.4\mu\text{m}$  이다. 다시 말해 시편을 스팟 사이즈가 가장 작은 지점에서 각각 5mm 와 10mm 벗어난 지점에 시편을 두고 레이저를 조사하였다. 레이저 평균 파워는 3.5W 이고 반복률(repetition rate) 은 50 KHz 였다. 스캔 스피드는 183mm/sec, 스캔 반복 횟수는 5회로 동일하게 조사하였다. 스캔 방향은 크로스 패턴을 사용하지 않고, 한 방향만 사용하였다. 사용된 레이저 파장은 532nm 였고 레이저의 펄스 듀레이션은 12 피코세컨드였다. 동일한 가공 조건을 사용하였지만 시편의 위치가 변하였으므로 재료에 도달되는 에너지인 플루언스 값이나 인텐시티 값이 모두 달라졌다. 도 3의 (a) 에서의 플루언스는  $55.704 [\text{J}/\text{cm}^2]$ , 인텐시티는  $464.4 [\text{GW}/\text{cm}^2]$ , 도 3의 (b) 에서의 플루언스는  $5.694 [\text{J}/\text{cm}^2]$ , 인텐시티는  $47.4 [\text{GW}/\text{cm}^2]$ , 도 3의 (c) 에서의 플루언스는  $1.547 [\text{J}/\text{cm}^2]$ , 인텐시티는  $12.9 [\text{GW}/\text{cm}^2]$  였다. 그리고 포커스된 스팟 사이즈가 도 3의 (a) 에서는  $40\mu\text{m}$ , (b) 에서는  $125\mu\text{m}$ , (c) 에서는  $240\mu\text{m}$  였기 때문에 펄스간 중첩율이 모두 달라진다. 이때 펄스간 중첩율은 레이저 스캔시에 펄스와 펄스 사이에 중첩된 면적을 의미한다. 도 3의 (a) 의 펄스 중첩율은 90.8%, (b) 의 펄스 중첩율은 97.0%, (c) 의 중첩율은 98.4% 였다. 플루언스와 중첩율을 달라지면서 우리는 가공 표면에서 여러 가지 마이크로 패턴과 나노 패턴을 발견하였다.
- [0051] 도 4는 레이저 가공 시스템을 이용하여 가공횟수를 달리하여 가공한 금형 표면의 SEM 이미지로, (a)는 스캔 반복횟수=10일 때 가공한 표면이고, (c)는 스캔 반복횟수=15일 때 가공한 표면이며, (e)는 스캔 반복횟수=25일 때 가공한 표면이며, (g)는 스캔 반복횟수=100일 때 가공한 표면이다.
- [0052] 도 4는 도 3의 (b) 조건에서 스캔 반복 횟수를 늘려 가면서 가공한 결과의 SEM 사진이다. 도 4의 (a)는 스캔 반복횟수=10 일 때, (c)은 스캔 반복횟수=15 일 때, (e)는 스캔 반복횟수=25 일 때, (g)은 스캔 반복횟수=100 일 때 가공한 금형 표면의 SEM 사진을 보여 주고 있다. (b) (d) (f) (h) 은 각각의 (a) (c) (e) (g) 을 확대한 샘플 사진이다.
- [0053] 도 4의 (a) 에서는 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물이 도 3의 (b) 보다 많아졌음을 알 수 있다. 볼록 렌즈 마이크로 구조물이 많아질수록 그만큼 나노 리플 패턴 면적을 줄어들었다. 그리고 도 4의 (b) 에서 볼 수 있듯이 볼록 렌즈 마이크로 구조물의 윗부분에 나노 리플 패턴 모양이 나오기도 하였다. 대부분의 마이크로 구조물은 나노 리플을 가지고 있지 않고, 거칠기가 작은 표면을 가지고 있었다. 도 4의 (c) (d) (e) (f) 에서 보는 바와 같이 스캔 횟수가 많아질수록 마이크로 스트럭처의 개수는 많아졌고, 그만큼 나노 리플 면적을 줄어들었다. 스캔 횟수가 많아질수록 나노 패턴이 생기는 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물의 수가 증가하였고 거칠기가 작은 표면을 가지는 볼록렌즈 모양의 마이크로 구조물은 줄어들었다. 도 4의 (g)는 스캔 횟수를 100회 한 것으로 기존의 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물은 없어지고 새로운 모양의 마이크로 구조물들이 생성되었다. 도 4의 (a) 에서 (f) 까지는 지름이  $50\mu\text{m}$  정도의 볼록 렌즈 모양의 마이크로 구조물이 생성되었지만 도 4의 (g), (h) 에서는 전혀 다른 모양의 지름이  $100\mu\text{m}$  정도의 마이크로 구조물이 생성되었다. 그리고 도 4의 (a) (c) (e) 에서 생성되었던 나노 리플 패턴은 도 4의 (g) 에서는 거의 발견되지 않았다. 그러나 마이크로 구조물 사이에 간혹 나노리플 패턴이 관찰되었다. 도 4의 (h) 은 (g) 에서 나노 리플 패턴이 있는 구간을 찾아 확대하여 관측한 SEM 이미지이다.
- [0054] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되는 것이 아니고 특허청구



범위와 발명의 상세한 설명 및 첨부한 도면의 범위 안에서 여러 가지로 변형하여 실시하는 것이 가능하고 이 또한 본 발명의 범위에 속하는 것은 당연하다.

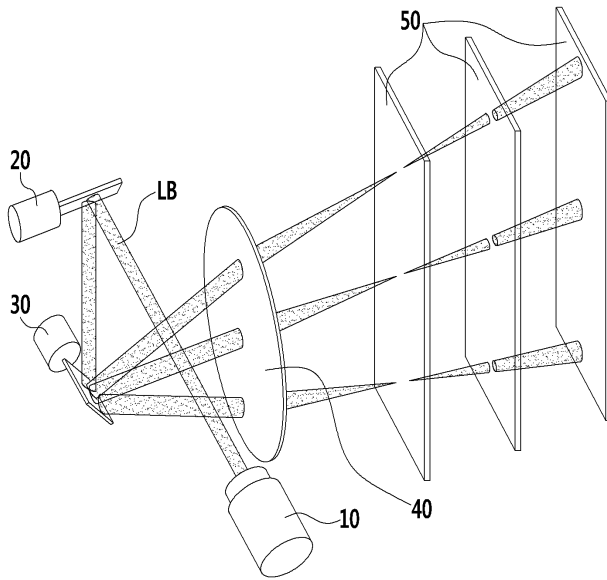
**부호의 설명**

[0055]

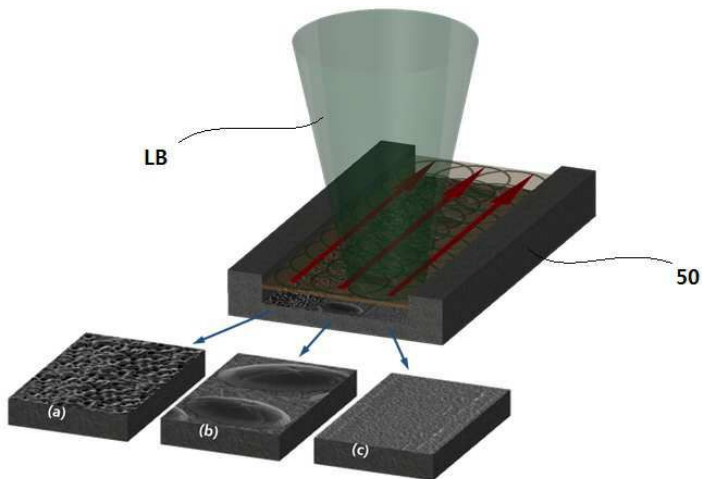
- |              |           |
|--------------|-----------|
| 10 : 레이저 발진기 | 20 : 반사장치 |
| 30 : 스캐너     | 40 : 렌즈   |
| 50 : 가공대상물   |           |

**도면**

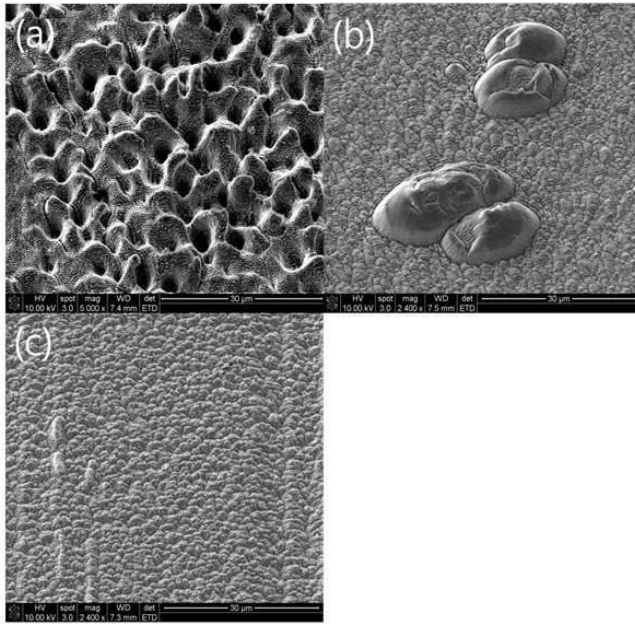
**도면1**



**도면2**



도면3



도면4

