



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년12월15일
(11) 등록번호 10-1472682
(24) 등록일자 2014년12월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 1/00 (2006.01) G02B 21/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0087032
(22) 출원일자 2013년07월23일
심사청구일자 2013년07월23일
(56) 선행기술조사문헌
US20080217819 A1
KR1020070086427 A
US20120328240 A1
US20100157437 A1

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
이현
서울특별시 서초구 동광로22길 23 그랑씨엘 방배
302호
최원식
서울특별시 성북구 안암로 145 고려대학교 자연계
캠퍼스 아산이학관 405호
변경재
서울특별시 노원구 월계로45길 21 롯데캐슬루나아
파트 103동 901호
(74) 대리인
이동건, 최웅근

전체 청구항 수 : 총 14 항

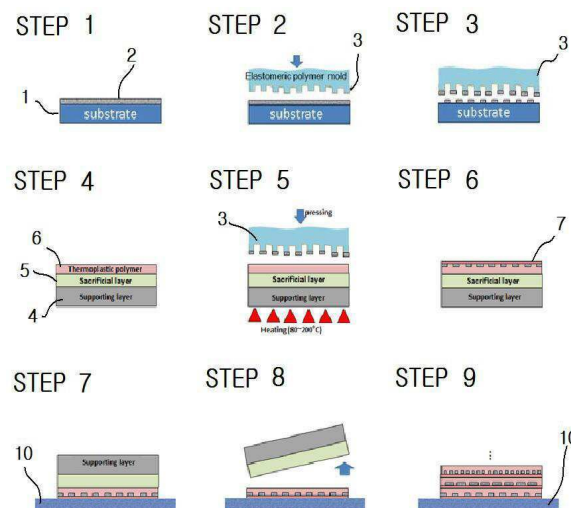
심사관 : 오군규

(54) 발명의 명칭 메타물질 제조 방법, 이에 의해 제조된 메타물질 구조 필름 및 이를 이용한 광학 이미징 시스템

(57) 요약

본 발명은 나노 트랜스퍼 프린팅을 이용한 적층구조의 3차원 메타물질 제조 방법, 이에 의해 제조된 메타물질 구조 필름 및 이를 이용한 광학 이미징 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 나노 트랜스퍼 프린팅 공법을 이용하여 유연하며 용이하게 시편 표면에 부착 및 탈착이 가능한 메타물질 구조 필름을 제조하고 이를 이용하여 기존 광학계로 관찰하지 못하는 초미세 구조를 관찰할 수 있는 메타물질 제조 방법, 이에 의해 제조된 메타물질 구조 필름 및 이를 이용한 광학 이미징 시스템에 관한 것이다.

대표도 - 도4



특허청구의 범위

청구항 1

- (a) 증착층(2) 상에 요철이 형성된 몰드(3)를 접촉시켜 상기 요철의 돌출부 표면 상에 증착층의 일부를 전사하는 단계;
- (b) 지지층(4) 상부에 열가소성 폴리머(thermoplastic polymer)로 형성된 제1 고분자층(6)에 상기 몰드(3)를 핫엠보싱시켜, 상기 제1 고분자층(6)에 상기 증착층의 일부를 삽입하는 단계;
- (c) 상기 증착층의 일부가 삽입된 제1 고분자층(6) 상에, 제1 캡핑층(7)을 코팅하는 단계; 및
- (d) 상기 증착층의 일부가 삽입된 제1 고분자층(6) 및 상기 제1 캡핑층(7)을 시편에 부착시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 메타물질 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계에서,

상기 증착층(2)은 기관(1) 상에 증착되며, 그리고 상기 증착층(2)은 금속, 산화물 및 그래핀 중 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는 메타물질 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 (a) 단계에서,

상기 몰드(3)는 탄성 중합체 몰드(elastomeric mold)인 것을 특징으로 하는,

메타물질 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계는 80 내지 200℃에서 수행되는 것을 특징으로 하는 메타물질 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 (b) 단계에서,

상기 제1 고분자층(6) 및 상기 지지층(supporting layer, 4) 사이에는 희생층(sacrificial layer, 5)이 제공되는 것을 특징으로 하는 메타물질 제조 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

(e) 상기 희생층(5) 및 상기 지지층(4)을 제거하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 메타물질 제조

방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 (e) 단계 후,

상기 (a) 단계 내지 상기 (c) 단계를 추가적으로 수행하여, 증착층의 일부가 삽입된 제2 고분자층 상에 제2 캡핑층을 형성하는 단계; 및

상기 증착층의 일부가 삽입된 제2 고분자층 및 상기 제2 캡핑층을 상기 제1 캡핑층에 부착시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 메타물질 제조 방법.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 메타물질 제조 방법에 의해 제조되는 메타물질 구조 필름.

청구항 9

고분자 및 산화실리콘 중 어느 하나 이상으로 형성되는 매트릭스(21a, 22a, 23a); 및

상기 매트릭스 내에 형성되는 하나 이상의 미세패턴 어레이(21b, 22b, 23b);로 각각 구성되는 적어도 두 개의 유닛셀들(21, 22, 23)을 포함하고,

상기 유닛셀들(21, 22, 23)은 적층되어 위치하며, 그리고 상기 유닛셀들(21, 22, 23) 각각에 포함된 미세패턴 어레이들(21b, 22b, 23b)의 단면적은 하측부로 갈수록 작아지는 것을 특징으로 하는 메타물질 구조 필름.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 미세패턴 어레이들(21b, 22b, 23b) 각각은 금속, 산화물 및 그래핀 중 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는 메타물질 구조 필름.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 미세패턴 어레이들(21b, 22b, 23b) 각각은, 일정한 간격으로 혹은 랜덤하게 상기 매트릭스 내에 삽입되어 위치하는 것을 특징으로 하는 메타물질 구조 필름.

청구항 12

레이저 장치(210);

상기 레이저 장치(210)로부터 조사되는 빛의 일부를 반사시키는 빔 스플리터(215);

상기 빔 스플리터(215)로부터 반사된 빛을 특정한 패턴을 가지도록 맞춤형 빛 패턴으로 변환하는 파면조절기(SLM; Spatial Light Modulator, 220);

상기 빔 스플리터(215)를 가운데 두고 상기 파면조절기(220)와 마주보도록 배치되고, 상기 맞춤형 빛 패턴이 통과하는 대물 렌즈(230);

상기 대물 렌즈(230)에 마주보도록 배치되며, 상기 대물 렌즈(230)를 통과한 상기 맞춤형 빛 패턴이 조사되도록 관찰 대상 시편 상측에 위치하는 메타물질 구조 필름(100); 및

상기 빔 스플리터(215)를 향하도록 배치되며, 상기 관찰 대상 시편으로부터 발생하는 이미징 정보를 검출하는 검출기(240);를 포함하는 것을 특징으로 하는, 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 이미징 정보는,

상기 관찰 대상 시편의 근접장 및 원거리장 정보를 포함하는 것을 특징으로 하는 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 메타물질 구조 필름(100)은,

고분자 및 산화실리콘 중 어느 하나 이상으로 형성되는 매트릭스; 및

상기 매트릭스 내에 형성되는 하나 이상의 미세패턴 어레이;로 포함하는 적어도 두 개의 유닛셀들을 포함하고,

상기 유닛셀들은 적층되어 위치하며, 그리고 상기 유닛셀들에 각각 포함된 미세패턴 어레이의 단면적은 하측부로 갈수록 작아지는 것을 특징으로 하는, 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 메타물질 제조 방법, 이에 의해 제조된 메타물질 구조 필름 및 이를 이용한 광학 이미징 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, 나노 트랜스퍼 프린팅 공법을 이용하여 유연하며 용이하게 시편 표면에 부착 및 탈착이 가능한 메타물질 구조 필름을 제조하고 이를 이용하여 기존 광학계로 관찰하지 못하는 초미세 구조를 관찰할 수 있는 나노 트랜스퍼 프린팅을 이용한 메타물질 제조 방법, 이에 의해 제조된 메타물질 구조 필름 및 이를 이용한 광학 이미징 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 빛의 굴절을 이용하는 렌즈를 포함하는 종래의 광학 이미징 장치는 빛의 회절 한계로 인한 분해능 한계에 의하여 반파장 이하의 크기를 가지는 초미세 구조에 대해서는 초점을 정확히 맞출 수 없다. 대표적인 광학 이미징 시스템인 광현미경의 경우 빛의 회절 한계로 인하여 200nm 이하의 관찰 대상 및 특정 물질을 육안으로 관찰하기는 불가능한 실정이다.

[0003] 이러한 이유를 구체적으로 살펴보면, 기존의 대물 렌즈로는 초미세 구조의 정보를 지니고 있는 근접장 (near field) 빛을 포집할 수 없고, 오직 원거리장 (far field) 빛을 포집하여 이미징화하기 때문에, 반파장 이하(즉, 200nm 이하)의 거리로 가까이 있는 두 물체를 하나의 물체로 인식할 수 밖에 없게 된다.

[0004] 이러한 근접장 빛은 소멸파(Evanescient wave)의 특성을 가지므로 관찰 대상의 계면 근방 혹은 계면 부근에만 존재하고 관찰 대상으로부터 멀어질수록 급격히 감소하여 소멸하게 된다. 따라서 반파장 이하의 초미세 구조를 육안으로 관찰할 수 있도록 이미징화하기 위해서는 근접장 빛을 증폭시켜서 이를 포집할 수 있는 장치나 기술이 필요한 실정이다.

[0005] 초미세 구조를 이미징하기 위한 종래 기술로서 근접주사광학현미경(Near-field scanning optical microscopy, NSOM)이 사용되고 있다.

- [0006] 구체적으로 살펴보면, 근접주사광학현미경은 파장 이하의 크기(약 100nm)를 가지는 탐침을 관찰 대상에 파장 이하(약 100nm)로 매우 가깝게 근접시키고, X 및 Y 방향으로 주사하여 소멸파의 특성을 가지는 근접장 빛을 탐침으로 포집함으로써 초미세 구조를 이미징할 수 있는 장치이다.
- [0007] 이러한 근접주사광학현미경은 빛의 회절 한계를 극복하여 초미세 구조를 정밀하게 이미징할 수 있다는 장점이 존재하지만, (i) 반면에 미세 탐침의 주사를 이용하기 때문에 측정 속도가 매우 느리고, (ii) 국소면적의 이미징만 가능하다는 한계가 존재하게 된다. 더욱이, (iii) 근접주사광학현미경의 사용 방법이 매우 복잡하고 기존의 광학계와는 전혀 다른 방식이기 때문에 다양한 산업 분야에 활용되지 못한다는 문제점이 존재하였다.
- [0008] 한편, 메타 물질은 금속이나 유전 물질로 설계된 메타 원자(meta atom)의 주기적인 배열로 이루어진 물질로써 초고굴절률 및 음굴절률 등 자연계에서는 존재하지 않는 특성을 가지는 신개념 소재이다.
- [0009] 이러한 메타 물질을 이용하여 굴절률이 10 이상인 물질을 구현하거나 굴절률이 음수인 물질 등을 구현하면 회절 한계에 의하여 성능 향상의 제약이 있는 모든 분야의 기술적 장애를 해결할 수 있다고 여겨져 메타 물질 관련한 다양한 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이다.
- [0010] 특히, 메타 물질을 광학 이미징 시스템에 활용하기 위해서는 메타 물질을 이루는 단위셀이 약 50nm 이하의 수준이 되어야 하는데, 현재의 광식각리소그래피 기술을 이용해서 상술된 크기의 단위셀 형태의 메타 물질을 제작하기에는 매우 어려운 실정이다. 이에 최근에는, 나노 입자 또는 블록 공중합체의 자기조립 현상을 이용하여 미세한 크기의 메타 물질을 제조하기 위한 다양한 연구 결과들이 발표되고 있다.
- [0011] 이러한 메타 물질 관련하여 종래의 연구 결과들을 살펴보면 다음과 같다.
- [0012] 도 1은 종래의 집속이온빔 식각 공정을 사용한 음굴절 메타물질을 개략적으로 도시한 도면이다. 도 1을 구체적으로 살펴보면, 스페인과 영국의 대학 공동연구팀이 집속이온빔 식각 공정을 사용하여 620 nm 파장까지 작동하는 음굴절률 메타 물질을 개발하였고 이를 도시적으로 나타낸 도면이다. 그러나, 이러한 음굴절률 메타 물질은 한 변이 4 마이크로 수준인 소면적에서 144개 정도의 셀 개수만 구현하였다는 점에서 한계가 있다(Physical Review Letters 106, 067402 (2011) 참고).
- [0013] 도 2는 전자빔리소그래피와 층간 증착(layer-by-layer deposition)을 이용한 메타 물질을 도시한 도면이다. 도 2를 구체적으로 살펴보면, 독일의 슈트트가르트 대학교의 헤럴드 자이센(Harald Giessen) 교수팀에서 전자빔리소그래피와 층간 증착을 이용하여 폭 80nm, Y축 길이 380nm, X축 길이 430nm인 U자 모양의 패턴을 600 내지 700nm의 주기로 사각 형태로 배열시켜 40 ~ 240 THz(테라헤르츠) 영역 내에서 구현한 메타 물질을 도시한 도면이다(Nature Materials 7, 31 (2008) 참고).
- [0014] 도 3은 I-형태의 고굴절률 메타물질의 모식도 및 제작된 이중-삼중막의 고굴절률 메타물질의 사진이다. 도 3을 구체적으로 살펴보면, KAIST 민범기 및 신중화 교수팀은 수십마이크론 크기의 메탈 정렬 구조를 통해 테라헤르츠 영역대에서 38.6의 유전율을 갖는 메타 물질을 개발하였고, 이를 도시적으로 나타낸 도면이다(Nature 470, 369 (2011) 참고).
- [0015] 이와 같이, 메타 물질에 관련된 국내외 연구 결과들은 대부분 3년 이내에 발표된 최근 결과임을 볼 때, 아직까지는 국내외 연구들은 메타 물질의 특성을 구현하기 위한 기초 연구 수준에 머물러 있음을 알 수 있다. 구체적으로, 메타 물질의 단순한 구현에 머물러 않고 실제 산업에 있어서 메타물질을 적용하기 위해서는, (i) 저가이며, (ii) 대면적(파장의 수백~수천배)이고, 그리고 (iii) 고생산수율의 나노패터닝 기술의 개발이 반드시 필요한 상황이나, 현재까지는 몇 파장 내의 면적에 수십개의 셀만이 형성된 기초적인 메타 물질에 관련된 연구만이 보고되고 있는 실정이다.
- [0016] 즉 메타 물질을 구현하기 위한 가장 큰 기술적 난제는 2차원, 더 나아가 3차원의 복잡한 메타 물질 구조를 제작하는 것이며, 또한 가시광선 영역에서 메타 물질 특성을 구현하기 위해서는 나노 크기의 셀이 3차원으로 정교하게 제작된 구조가 필요한 실정이다.
- [0017] 그러나, 현재의 리소그래피 기술 및 반도체 공정으로는 상술된 나노 크기의 셀이 3차원적으로 정교하게 제작된

메타 물질 구조를 실질적으로 구현하기가 매우 어렵다는 문제점이 있다.

- [0018] 또한, 종래의 메타 물질 제작방식은 일반적으로 고가의 노광 장비를 이용하여 무기물 기판에 제작하는 방식을 이루고 있으나 대면적으로 제작하는 데 공정비용 및 기술적으로 한계가 있다는 문제점이 있다.
- [0019] 또한, 초미세 구조를 관찰하기 위해서는 메타 물질 렌즈를 시편에 최대한 밀착시켜 부착해야 하는데 (근접장은 시편으로부터 멀어질수록 급격히 소멸되기 때문에 근접장을 포집하기 위해서는 메타 물질 렌즈를 시편에 사용하는 빛의 파장의 1/3 이하수준으로 매우 근접하게 밀착시켜야 함), 기존의 무기물 기반 기판에 형성한 메타 물질로는 관찰대상 시편에 매우 근접하게 밀착시키는데 어려움이 있었다.
- [0020] 또한, 관찰 대상 시편의 비파괴검사를 위해서는 부착한 메타 물질을 시편에 쉽게 부착하고 또한 시편을 손상시키지 않으면서 제거할 수 있어야 하지만 기존 무기물 기판에 제작된 메타 물질로는 불가능하다는 문제점이 있었다.
- [0021] 또한 일반적인 메타 물질은 금속과 유전체로 이루어진 단위셀이 주기적으로 반복된 형태로 이루어져 있는데, 이러한 구조에서는 근접장과 원거리장이 겹치게 된다. 따라서 원거리장이나 근접장 둘 중 하나를 제대로 활용할 수 없고, 그 결과 초미세구조의 물체를 있는 그대로 정확하게 이미징 할 수 없다는 단점이 존재하였다.
- [0022] 따라서, 본 발명은 이러한 상술된 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명자는 상술된 문제점을 해결하기 위해, 나노 트랜스퍼 프린팅 공법을 이용하여 유연하며 용이하게 시편 표면에 부착 및 탈착이 가능한 메타 물질 구조 필름을 제조하고 이를 이용하여 기존 광학계로 관찰하지 못하는 초미세 구조를 관찰할 수 있는 메타 물질 제조 방법, 이에 의해 제조된 메타물질 구조 필름 및 이를 이용한 광학 이미징 시스템을 발명하기에 이르렀다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0023] (특허문헌 0001) 한국특허공개번호 제2012-0123746호(발명의 명칭 : 메타물질)
- (특허문헌 0002) 한국특허공개번호 제2012-0094418호(발명의 명칭 : 고 굴절률 메타물질)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0024] 본 발명의 목적은, 나노 트랜스퍼 프린팅 공법을 이용하여 유연하며 용이하게 시편 표면에 부착 및 탈착 가능한 메타물질 제조 방법 및 이를 이용하여 제조된 메타물질 구조 필름을 제공하는 것이다.
- [0025] 또한 본 발명의 목적은, 상술된 메타물질 구조 필름을 이용하여 기존 광학계로 관찰하지 못하는 초미세 구조를 관찰할 수 있는 광학 이미징 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

본 발명의 실시예들에 따른 메타 물질 제조 방법은, (a) 증착층(2) 상에 요철이 형성된 몰드(3)를 접촉시켜 상기 요철의 돌출부 표면 상에 증착층의 일부를 전사하는 단계; (b) 지지층(4) 상부에 형성되고 열가소성 폴리머(thermoplastic polymer)로 이루어진 제1 고분자층(6)에 상기 몰드(3)를 핫엠보싱시켜, 상기 제1 고분자층(6)에 상기 증착층의 일부를 삽입하는 단계; (c) 상기 증착층의 일부가 삽입된 제1 고분자층(6) 상에, 제1 캡핑층(7)을 코팅하는 단계; 및 (d) 상기 증착층의 일부가 삽입된 제1 고분자층(6) 및 상기 제1 캡핑층(7)을 시편에 부착시키는 단계;를 포함한다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 (a) 단계에서, 상기 증착층(2)은 기판(1) 상에 증착되며, 그리고 상기 증착층(2)은 금속, 산화물 및 그래핀 중 어느 하나 이상일 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 (a) 단계에서, 상기 몰드(3)는 탄성 중합체 몰드(elastomeric mold)일 수

있다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 (b) 단계는 80 내지 200℃에서 수행될 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 (b) 단계에서, 상기 제1 고분자층(6) 및 상기 지지층(supporting layer, 4) 사이에는 희생층(sacrificial layer, 5)이 제공될 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, (e) 상기 희생층(5) 및 상기 지지층(4)을 제거하는 단계가 추가적으로 수행될 수 있다.

여기서, 상기 (a) 단계 내지 상기 (c) 단계를 추가적으로 수행하여, 증착층의 일부가 삽입된 제2 고분자층 상에 제2 캡핑층을 형성하는 단계; 및 상기 증착층의 일부가 삽입된 제2 고분자층 및 상기 제2 캡핑층을 상기 제1 캡핑층에 부착시키는 단계가 추가적으로 수행될 수 있다.

본 발명의 실시예들에 따른 메타물질 구조 필름은 고분자 및 산화실리콘 중 어느 하나 이상으로 형성되는 매트릭스(21a, 22a, 23a); 및 상기 매트릭스 내에 형성되는 하나 이상의 미세패턴 어레이(21b, 22b, 23b);로 각각 구성되는 적어도 두 개의 유닛셀들(21, 22, 23)을 포함하고, 상기 유닛셀들(21, 22, 23)은 적층되어 위치하며, 그리고 상기 유닛셀들(21, 22, 23) 각각에 포함된 미세패턴 어레이들(21b, 22b, 23b)의 단면적은 하측부로 갈수록 작아진다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 미세패턴 어레이들(21b, 22b, 23b) 각각은 금속, 산화물 및 그래핀 중 어느 하나 이상일 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 미세패턴 어레이들(21b, 22b, 23b) 각각은, 일정한 간격으로 혹은 랜덤하게 상기 매트릭스 내에 삽입되어 위치할 수 있다.

본 발명의 실시예들에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템은 레이저 장치(210); 상기 레이저 장치(210)로부터 조사되는 빛의 일부를 반사시키는 빔 스플리터(215); 상기 빔 스플리터(215)로부터 반사된 빛을 특정한 패턴을 가지도록 맞춤형 빛 패턴으로 변환하는 파면조절기(SLM; Spatial Light Modulator, 220); 상기 빔 스플리터(215)를 가운데 두고 상기 파면조절기(220)와 마주보도록 배치되고, 상기 맞춤형 빛 패턴이 통과하는 대물 렌즈(230); 상기 대물 렌즈(230)에 마주보도록 배치되며, 상기 대물 렌즈(230)를 통과한 상기 맞춤형 빛 패턴이 조사되도록 관찰 대상 시편 상측에 위치하는 메타물질 구조 필름(100); 및 상기 빔 스플리터(215)를 향하도록 배치되며, 상기 관찰 대상 시편으로부터 발생하는 이미징 정보를 검출하는 검출기(240);를 포함한다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 이미징 정보는, 상기 관찰 대상 시편의 근접장 및 원거리장 정보를 포함할 수 있다.

본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 메타물질 구조 필름(100)은,

고분자 및 산화실리콘 중 어느 하나 이상으로 형성되는 매트릭스; 및 상기 매트릭스 내에 형성되는 하나 이상의 미세패턴 어레이;로 포함하는 적어도 두 개의 유닛셀들을 포함하고, 상기 유닛셀들은 적층되어 위치하며, 그리고 상기 유닛셀들에 각각 포함된 미세패턴 어레이의 단면적은 하측부로 갈수록 작아질 수 있다.

발명의 효과

[0040] 본 발명에 따르면, 나노 트랜스퍼 프린팅 공법을 이용하여 유연하며 용이하게 시편 표면에 부착 및 탈착 가능한 메타물질 구조 필름 제조 방법 및 이를 이용하여 제조된 메타물질 구조 필름을 제공할 수 있다.

[0041] 구체적으로, 기존 기술과 비교하여 보다 간단한 공정과 저비용으로 메타 물질을 제작할 수 있게 된다. 또한 매우 얇은 유기물 기판 위에 메타물질 구조 필름을 형성할 수 있으므로 관찰 대상 시편 위에 매우 근접하게 밀착이 가능하게 되고, 그로 인해 초미세 구조의 근접장을 용이하게 증폭할 수 있다는 효과가 발생한다.

[0042] 또한 본 발명에 따르면, 상술된 메타물질 구조 필름을 이용하여 기존 광학계로 관찰하지 못하는 초미세 구조를 관찰할 수 있는 광학 이미징 시스템을 제공할 수 있게 된다.

[0043] 구체적으로, 메타물질 구조 필름을 이용하는 경우에는, 메타물질 구조 필름이 다양한 격자 구조가 혼재되거나 무질서한 구조가 반복되는 구조로 이루어지기 때문에 넓은 면적에서 근접장을 산란시킬 수 있게 되며, 그로 인해 넓은 영역 대의 빛의 근접장을 증폭할 수 있고 원거리장도 함께 포집할 수 있게 된다.

[0044] 또한 메타물질 구조 필름을 물이나 기타 아세톤과 같은 솔벤트로 쉽게 제거할 수 있으므로 비파괴검사가 가능하

다는 장점도 발생하게 된다. 그로 인해, 제작이 용이하고 일회성으로 사용될 수 있는 새로운 개념의 메타물질 구조 필름을 포함하는 광학 이미징 시스템을 제공할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0045]

도 1은 종래의 집속이온빔 식각 공정을 사용한 음극질 메타물질을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2는 전자빔리소그래피와 층간 증착(layer-by-layer deposition)을 이용한 메타 물질을 도시한 도면이다.

도 3은 I-형태의 고굴절을 메타물질의 모식도 및 제작된 이중-삼중막의 고굴절을 메타물질의 사진이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 제조 방법을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 구체적으로 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름의 단면을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템의 작동 원리 1를 개략적으로 도시한 도면이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템의 작동 원리 2를 개략적으로 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0046]

본 발명에 따른 메타물질 제조 방법, 이에 의해 제조된 메타물질 구조 필름 및 이를 이용한 광학 이미징 시스템의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 기술되어야 할 것이다.

[0047]

메타 물질 렌즈 제조 방법

[0048]

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 제조 방법을 개략적으로 도시한 도면이다. 이하, 도 4를 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 제조 방법을 구체적으로 설명하기로 한다.

[0049]

본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 제조 방법은 (a) 증착층 상에 요철이 형성된 몰드를 접촉시켜 상기 요철의 돌출부 표면 상에 증착층의 일부를 전사시키는 단계; (b) 지지층 상부에 형성되고 열가소성 폴리머로 이루어진 제1 고분자층에 상기 몰드를 핫앰보싱시켜 상기 제1 고분자층에 상기 증착층의 일부를 삽입하는 단계; (c) 상기 증착층의 일부가 삽입된 제1 고분자층 상에 제1 캡핑층을 코팅하는 단계; 및 (d) 상기 증착층의 일부가 삽입된 제1 고분자층 및 상기 제1 캡핑층을 시편에 부착시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0050]

제조 공정에 대하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0051]

(단계 1) 기관(1)을 준비한 다음, 기관(1) 위에 증착층(2)을 증착하는 단계를 수행한다. 여기서, 증착층(2)은 금속, 산화물, 그래핀 중 어느 하나 이상일 수 있으며, 메타 물질을 이루기 위한 기능성 층의 역할을 수행한다.

[0052]

이때, 증착층(2)을 기관(1) 상에 증착하는 방법은 전자빔증착법 (E-beam evaporation), 스퍼터링법 (sputtering), 나노입자 코팅 및 화학기상증착법(chemical vapor deposition) 등 다양하게 수행될 수 있음을 유의한다.

[0053]

(단계 2) 증착층(2) 표면에 요철이 형성된 몰드(3)를 접촉시키는 단계를 수행한다. 여기서, 몰드(3)는 탄성 중합체 몰드(elastomeric mold)인 것이 바람직하다.

[0054]

이때, 몰드(3)의 표면에는 증착층(2)과의 결합을 유도하기 위해서 자기조립단분자 코팅(self assembled monolayer coating), 자외선-오존(UV-ozone) 처리, 플라즈마 처리(plasma treatment) 및 기타 접착층 코팅 중 어느 하나 이상의 단계가 추가될 수 있음을 유의한다.

- [0055] 또한, 상기 단계는 몰드(3)와 증착층(2)과의 결합을 보다 효과적으로 진행하기 위해, 약 50 내지 200℃의 열을 가하며 몰드(3)의 표면에 증착층(2)을 접촉시킬 수 있음을 유의한다.
- [0056] **(단계 3)** 상기 단계 2에서 접촉된 몰드(3)를 분리함으로써 몰드(3)의 요철부 표면 상에 증착층(2)의 일부를 전사시키는 단계를 수행한다.
- [0057] **(단계 4)** 지지층(supporting layer)(4) 상에 물이나 기타 솔벤트로 제거 가능한 희생층(sacrificial layer)(5)을 코팅한 후 그 상부에 얇은 열가소성 폴리머층(thermoplastic polymer layer)(6)을 형성하는 단계를 수행한다.
- [0058] 여기서, 희생층(5)은 물이나 기타 아세톤과 같은 솔벤트에 제거가 용이한 고분자를 사용하며, 물에 제거될 수 있는 수용성 고분자(예를 들어, PVA, 폴리비닐 알코올 등)인 것이 바람직하다.
- [0059] 한편, 단계 4의 경우는 반드시 단계 3 후에 수행되는 것이 아니며 단계 1 전에 수행될 수도 있음을 유의한다.
- [0060] **(단계 5)** 증착층(2)의 일부가 전사되어 있는 몰드(3)를 열가소성 폴리머로 이루어진 제1 고분자층(6)/희생층(5)/지지층(4)으로 형성되어 있는 기판에 핫엠보싱하여 제1 고분자층(6)에 증착층(2)의 일부를 삽입하는 단계를 수행한다. 이때, 단계 5가 효과적으로 수행될 수 있도록 약 80 내지 200℃의 열을 가하는 것이 바람직하다.
- [0061] **(단계 6)** 핫엠보싱 공정 후에 관찰 대상 시편과의 접착력 향상 및 이후 적층 공정의 용이성을 위해서 약 100 nm 이하 두께를 가지는 얇은 제1 캡핑층(capping layer)(7)을 상기 증착층(2)의 일부가 삽입된 제1 고분자층(6) 상에 코팅하는 단계를 수행한다.
- [0062] **(단계 7)** 제1 캡핑층(7) 및 상기 증착층의 일부가 삽입된 제1 고분자층(6)을 관찰 대상 시편(10)에 부착시키는 단계를 수행한다. 이때, 제1 캡핑층(7)만을 관찰 대상 시편(10)에 부착하는 것이 아니라 제1 캡핑층(7) 하층에 위치하는 증착층(2)의 일부가 삽입된 제1 고분자층(6), 희생층(5) 및 지지층(4)을 함께 부착하게 됨을 유의한다.
- [0063] **(단계 8)** 관찰 대상 시편(10)에 부착된 제1 캡핑층(7) 상층에 위치한 희생층(5) 및 지지층(4)을 물이나 기타 솔벤트를 이용하여 제거하는 단계를 수행한다. 이러한 단계에 의하여 관찰 대상 시편(10) 상층에 고분자 필름 기반의 메타 물질을 형성할 수 있게 된다.
- [0064] **(단계 9)** 상술된 공정을 반복함으로써 다양한 패턴 구조를 가지는 적층 구조를 메타 물질을 구현하는 단계를 수행한다.
- [0065] 이러한 방법에 의하면, 유연한 고분자 재질의 필름으로 구성되는 메타물질 구조 필름을 형성할 수 있으며 이러한 고분자 메타 물질 구조 필름을 관찰 대상 시료에 용이하게 부착시킬 수 있게 된다. 또한 나노 트랜스포 공정으로 다층 구조의 메타물질 구조 필름을 용이하게 제조할 수 있게 된다.
- [0066] **메타물질 구조 필름**
- [0067] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 구체적으로 도시한 도면이다. 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름의 단면을 개략적으로 도시한 도면이다. 이하, 도 5 및 도 6을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름(100)을 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0068] 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름(100)은 상술된 메타물질 제조 방법에 의해 제조되는 것을 특징으로 한다.
- [0069] 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름(100)은 고분자 및 산화실리콘 중 어느 하나 이상으로 형성되는 매트릭스(21a, 22a, 23a); 매트릭스(21a, 22a, 23a) 내에 형성되는 하나 이상의 미세패턴 어레이(21b, 22b, 23b);로 구성되는 적어도 두 개의 유닛셀들(21, 22, 23)을 포함한다.
- [0070] 여기서, 매트릭스(21a, 22a, 23a)는 상술된 메타물질 제조 방법에 기재된 제1 고분자층(6)에 해당하는 구성 요소로서 고분자뿐만 아니라 산화실리콘으로 이루어질 수도 있음을 유의한다.
- [0071] 그리고 미세패턴 어레이(21b, 22b, 23b)는 상술된 메타물질 제조 방법에 기재된 증착층(2)의 일부에 해당하는 구성 요소로서 금속, 산화물, 그래핀 중 어느 하나 이상일 수 있다.
- [0072] 또한, 이러한 미세패턴 어레이(21b, 22b, 23b)는 일정한 간격으로 혹은 랜덤하게 매트릭스(21a, 22a, 23a) 내에

삽입되어 위치하는 것이 바람직하다.

[0073] 이러한 유닛셀들(21, 22, 23)은 적층되어 위치하며, 그리고 상기 유닛셀들(21, 22, 23)에 포함된 미세패턴 어레이의 단면적은 하측부로 갈수록 작아지는 것을 특징으로 한다. 이러한 이유는 관찰 대상인 미세 구조의 근접장을 효과적으로 증폭하기 위해서 미세한 층이 관찰 대상 시편에 가깝게 위치하도록 하는 것이다.

[0074] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름은 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이, 다수의 크기 및 모양의 격자를 구비하는 미세패턴 어레이(21b, 22b, 23b)를 포함하는 하나 이상의 유닛셀(21, 22, 23)은 적층되어 있는 구조일 수 있다. 이때, 적어도 두 개의 유닛셀들(21, 22, 23)의 크기는 10 nm 내지 수 마이크로톤의 범위를 가질 수 있다.

[0075] 이러한 구조의 메타물질 구조 필름은 넓은 영역 대의 빛을 산란시킬 수 있게 되며, 그로 인해 넓은 영역 대 빛의 근접장 및 원거리장 정보를 모두 획득할 수 있게 된다.

[0076] 또한 도시되지는 않았지만, 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 메타물질 구조 필름은 무질서한 구조나 패턴이 일정 면적 내에 형성되어 있고 이 무질서한 구조가 형성되어 있는 부분이 규칙적으로 반복되어 있는 구조를 생각할 수도 있음을 유의한다. 이러한 구조 역시 넓은 영역대 빛을 산란시킬 수 있으며, 넓은 영역대 빛의 근접장 및 원거리장 정보를 획득할 수 있다는 효과가 발생한다.

[0077] 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템

[0078] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템(200)을 개략적으로 도시한 도면이다. 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템(200)의 작동 원리 1를 개략적으로 도시한 도면이다. 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템(200)의 작동 원리 2를 개략적으로 도시한 도면이다.

[0079] 이하, 도 7 내지 도 9를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템(200)을 구체적으로 설명하기로 한다.

[0080] 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템(200)은 레이저 장치(210), 파면조절기(spatial light modulator, SLM)(220), 대물 렌즈(230), 메타물질 구조 필름(100) 및 검출기(240)를 포함할 수 있다. 또한, 빔 스플리터(Beam splitter)(215) 및 광학 렌즈(225)를 더 포함할 수 있다.

[0081] 레이저 장치(210)는 원하는 종류의 빛을 조사하는 역할을 수행하며, He-Ne 레이저 장치가 사용될 수 있다. 여기서, 빛의 파장은 한정될 필요는 없으며, 다른 파장의 레이저도 사용 가능함을 유의한다(단계 1).

[0082] 레이저 장치(210)로부터 조사된 빛은 빔 스플리터(215)를 통하여 일부가 반사되어 파면조절기(220)로 유입되게 된다(단계 2).

[0083] 파면조절기(220)는 레이저 장치(210)로부터 조사된 빛을 특정한 패턴을 가지도록 맞춤형 빛 패턴(①, ②, ③, ...)으로 변환하는 역할을 수행한다(단계 3). 그리고 이러한 변환된 맞춤형 빛 패턴은 광학 렌즈(225) 및 대물 렌즈(230)를 통과하게 된다(단계 4 및 단계 5).

[0084] 대물 렌즈(230)를 통과한 빛은 관찰 대상 시편(10)의 상측에 위치한 메타물질 구조 필름(100)을 통하여 관찰 대상 시편(10)에 조사되게 된다(단계 6). 이때, 메타물질 구조 필름(100)은 관찰 대상 시편(10)의 근접장을 증폭하는 역할을 수행하게 된다. 그리고 대물 렌즈(230)는 관찰 대상 시편(10)의 근접장 및 원거리장의 정보를 가지는 새로운 빛을 포집하게 된다(단계 7).

[0085] 그리고 검출기(240)는 관찰 대상 시편(10)으로부터 발생하는 이미징 정보(①", ②", ③", ...)를 검출함으로써 미세 구조를 이미징화하게 된다(단계 8, 9, 10). 여기서 이미징 정보는 관찰 대상 시편(10)의 근접장 및 원거리장의 정보를 모두 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0086] 이러한 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템(200)은 다수의 맞춤형 빛 패턴(①, ②, ③, ...)을 메타물질 구조 필름(100)을 통해서 관찰 대상 시편(10)에 조사함으로써 메타물질 구조 필름(100)으로부터 산란되어 나오는 근접장 및 원거리장 빛(①", ②", ③", ...)을 포집하고 검출기(240)로 전달하여 초미세구조의 정확한 이미징을 구현하는 것이다.

[0087] 즉, 맞춤형 빛 패턴(①, ②, ③, ...)과 메타물질 구조 필름(100)으로부터 검출되는 근접장 및 원거리장 이미징

정보(①", ②", ③", ...)는 하나의 쌍이 되고, 이러한 여러쌍의 이미징 정보를 분석함으로써 초미세구조의 정확한 이미징을 할 수 있게 된다.

[0088] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템(200)의 작용 원리를 살펴보면 다음과 같다.

[0089] 도 8을 참조하면, 메타 물질 구조 필름(100)을 미리 제작하고 맞춤형 빛 패턴(①, ②, ③, ...)을 메타 물질 구조 필름(100)으로 조사하게 되면 기존 렌즈에서 포커싱(focusing) 할 수 없는 근접장 빛을 포커싱할 수 있게 된다.

[0090] 구체적으로 살펴보면, 메타 물질 구조 필름(100)은 상술된 바와 같이, 미세 패턴 어레이가 다수 형성되어 있는 구조이기 때문에 통상적인 빛을 조사하면 메타 물질 구조 필름(100) 내에서 무수한 빛의 산란이 일어나므로 원하는 형태의 포커싱을 얻을 수 없게 된다. 그러나, 파면조절기 등의 장치를 통해서 특정하게 패턴닝된 빛을 메타물질 구조 필름(100)에 조사하면 이를 통해서 특정한 위치에 빛을 포커싱할 수 있게 된다. 즉, 여기서 핵심이 되는 사항은, 맞춤형 빛 패턴(①, ②, ③, ...)과 메타물질 구조 필름(100)을 통해서 구현되는 근접장 및 원거리장 포커싱 정보(①', ②', ③', ...)를 각각 쌍으로 매칭(①-①', ②-②', ③-③', ...) 하여 분석하는 것임을 유의한다.

[0091] 도 9를 참조하면, 맞춤형 빛 패턴(①, ②, ③, ...)을 기존 광학 렌즈(225)와 메타물질 구조 필름(100)을 통하여 미세 구조를 가지는 관찰 대상 시편(10)에 조사하면

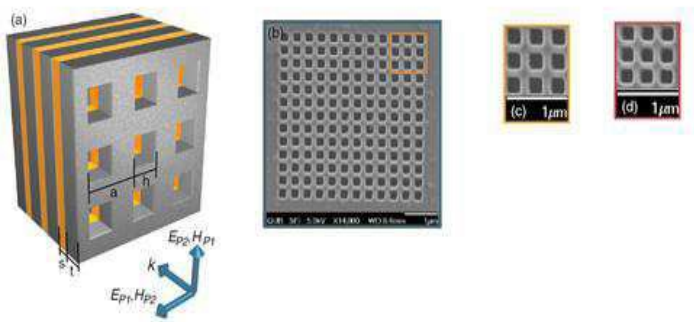
[0092] 메타물질 구조 필름(100)에 의하여 근접장 및 원거리장 초점(①', ②', ③', ...)이 관찰 대상 시편(10)에 맺히게 되며 이렇게 얻어진 초점 정보는 메타물질 구조 필름(100)에 의하여 증폭되고 전달되어 근접장과 원거리장이 모두 포함된 이미징 정보(①", ②", ③", ...)를 얻을 수 있게 된다. 그리고 맞춤형 빛 패턴을 많이 조사할수록 미세 구조를 가지는 관찰 대상 시편(10)의 더 많은 이미징 정보를 얻을 수 있으므로 보다 정확한 이미징을 할 수 있게 된다.

[0093] 이상과 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 메타물질 구조 필름을 이용한 광학 이미징 시스템(200)에 의하면, 메타물질 구조 필름(100)이 다양한 격자 구조가 혼재되거나 무질서한 구조가 반복되는 구조로 이루어지기 때문에 넓은 면적에서 근접장을 산란시킬 수 있게 되며, 그로 인해 넓은 영역 대의 빛의 근접장을 증폭할 수 있고 원거리장도 함께 포집할 수 있게 된다. 또한 메타물질 구조 필름(100)을 물이나 기타 아세톤과 같은 솔벤트로 쉽게 제거할 수 있으므로 비파괴검사가 가능하다는 장점도 발생하게 된다. 그로 인해, 제작이 용이하고 일회성으로 사용될 수 있는 새로운 개념의 메타물질 구조 필름을 포함하는 광학 이미징 시스템을 제공할 수 있게 된다.

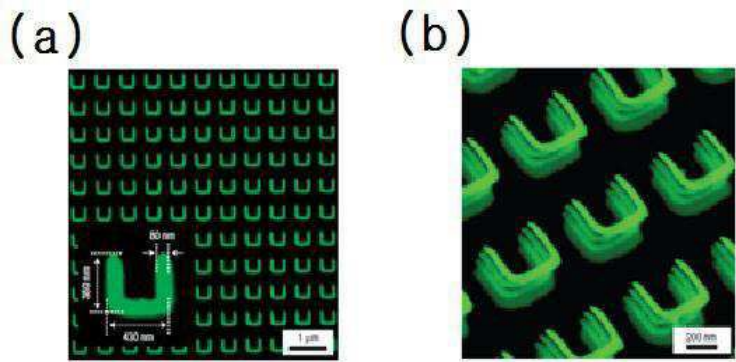
[0094] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시 예를 참조하여 설명하였지만, 당업계에서 통상의 지식을 가진 자라면 이하의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역을 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

도면

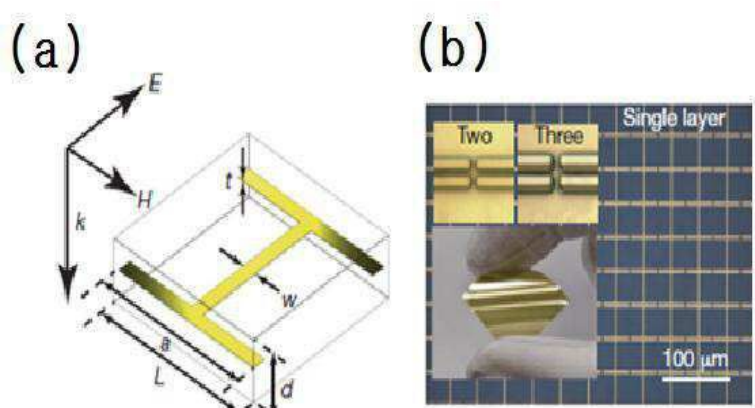
도면1



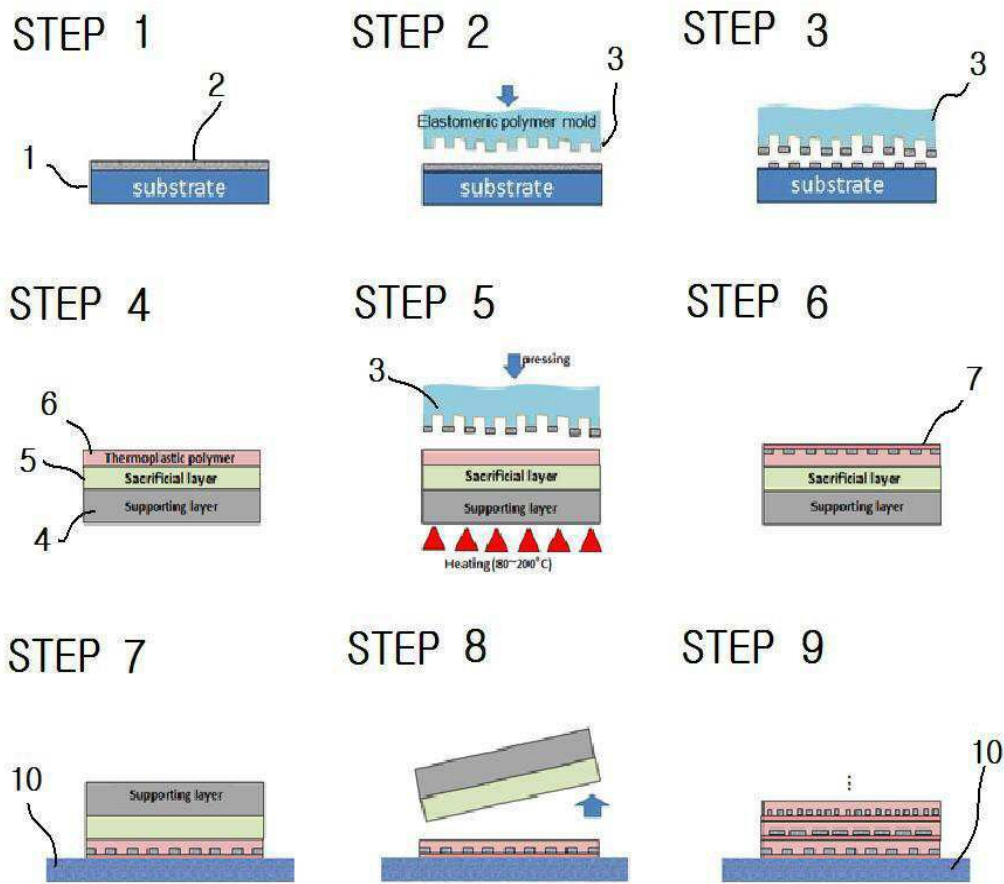
도면2



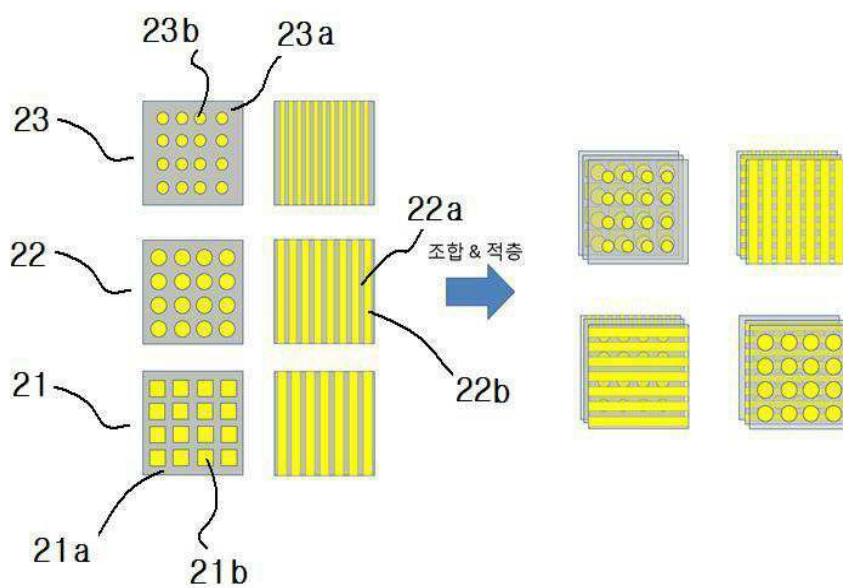
도면3



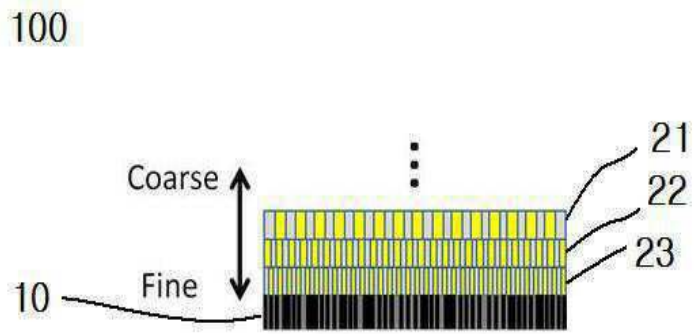
도면4



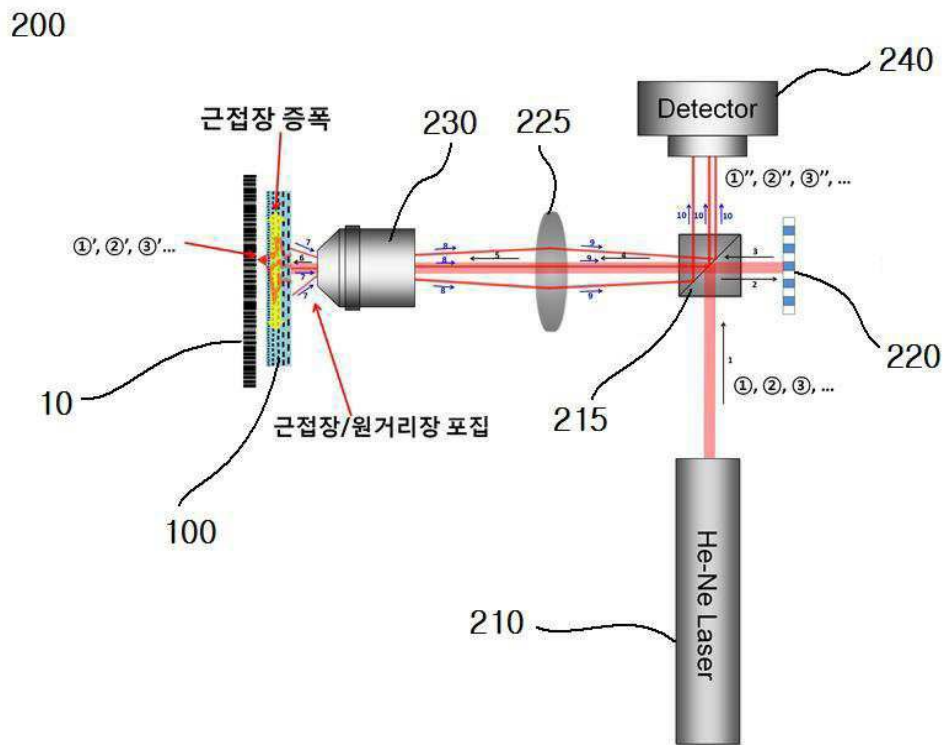
도면5



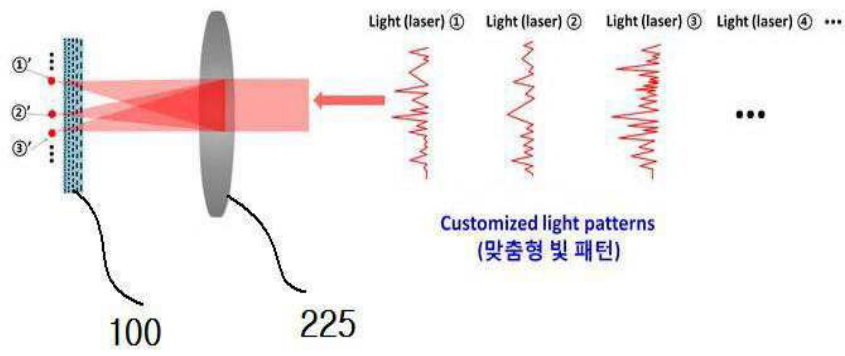
도면6



도면7



도면8



도면9

