(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년10월11일
(11) 등록번호 10-2587958
(24) 등록일자 2023년10월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 1/00 (2022.01) *H01L 21/02* (2006.01)
H01L 21/28 (2006.01) *H01L 29/06* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 1/002 (2013.01)
H01L 21/02351 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0015694
(22) 출원일자 2017년02월03일
심사청구일자 2022년02월03일
(65) 공개번호 10-2018-0090613
(43) 공개일자 2018년08월13일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020170011945 A*
US20100091224 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
(72) 발명자
이정엽
경기도 용인시 수지구 신봉2로 26, 117동 402호 (신봉동, 신봉마을엘지자이1차아파트)
이창승
경기도 용인시 처인구 원삼면 맹리로 192, 2호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
리앤목특허법인

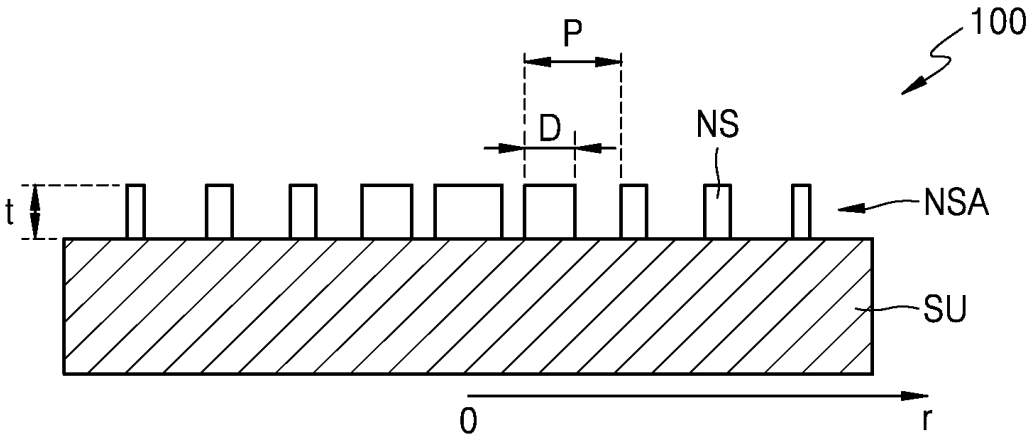
전체 청구항 수 : 총 20 항 심사관 : 남배인

(54) 발명의 명칭 **메타 광학 소자 및 그 제조 방법**

(57) 요 약

메타 광학 소자와 그 제조 방법이 개시된다. 개시된 메타 광학 소자는 나노 구조체를 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체로 형성한 300nm~1000nm 대역에서 적용가능한 메타 광학 소자이다. 개시된 제조 방법은 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체의 증착, 산화 방지층 형성 후의 후열처리에 의한 결정화, 산화방지층 제거 후의 패터닝에 의하여 메타 광학 소자를 제조한다. 이에 따라, 가시광 및 근적외선 영역에서 적용 가능한 메타 광학 소자의 구현이 가능하다. 또한, 저비용의 공정에 의하여 나노 구조체 형성을 위한 단일층 구조의 나노 물질층의 구현이 가능하다..

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H01L 21/02631 (2013.01)
H01L 21/28264 (2013.01)
H01L 29/0665 (2013.01)

(72) 발명자
김용성
경기도 수원시 영통구 도청로 65, 5403동 1604호 (이의동, 자연앤 힐스테이트)
김재관
경기도 화성시 영통로27번길 53, 202동 304호 (반월동)
송병권
서울특별시 송파구 오금로32길 14, 112동 804호 (송파동, 송파삼성래미안아파트)
송상훈
경기도 화성시 동탄숲속로 96, 854동 1301호 (능동, 숲속마을모아미래도1단지아파트)
양기연
경기도 성남시 분당구 중앙공원로 54, 228동 609호 (서현동, 시범단지우성아파트)

명 세 서

청구범위

청구항 1

지지층;

상기 지지층 상에 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체로 형성되는 복수의 나노 구조체를 포함하는 나노구조 어레이;를 포함하며,

상기 나노구조 어레이는 적층된 둘 이상의 상기 복수의 나노 구조체를 포함하며,

상기 복수의 나노 구조체는 그 위치에 따라 입사광의 위상을 소정 규칙으로 변화시키는 형상 치수 분포를 형성하도록 배열되며, 상기 형상 치수의 값들은 상기 입사광의 파장보다 작으며,

상기 입사광의 파장은 300nm~1000nm인 메타 광학 소자.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 입사광의 파장은 400nm~750nm인 메타 광학 소자.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 복수의 나노 구조체는 AlN, GaN, GaP, AlAs, AlSb 중 하나의 물질로 형성된 메타 광학 소자.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 복수의 나노 구조체는 원기둥 또는 다각 기둥 형상 또는 스트라이프 형상을 가지는 메타 광학 소자.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 복수의 나노 구조체의 굴절률은 상기 지지층의 굴절률보다 큰 메타 광학 소자.

청구항 6

제2항에 있어서,

상기 복수의 나노 구조체를 덮으며 상기 나노 구조체와 다른 굴절률을 가지는 커버층;을 더 포함하는 메타 광학 소자.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 커버층의 굴절률은 상기 지지층의 굴절률과 같은 메타 광학 소자.

청구항 8

기판을 준비하는 단계;

상기 기판 상에 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체를 증착하여 나노 물질층을 형성하는 단계;

상기 나노 물질층 상에 산화 방지층을 형성하는 단계;

상기 나노 물질층을 후열처리하여 상기 나노 물질층을 결정화하는 단계;

상기 산화 방지층을 제거하는 단계;

결정화된 상기 나노 물질층을 패터닝하여 복수의 나노 구조체를 형성하는 단계;를 포함하는 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 나노 물질층은 AlN, GaN, GaP, AlAs, AlSb 중 하나의 물질로 형성된 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 나노 물질층을 형성하는 단계는, 스퍼터링 공정에 의하여 수행되는 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

스퍼터링 온도의 상한은 스퍼터링 공정에서 나노 물질층의 표면에 형성되는 산화막의 두께가 2nm 미만이 되도록 결정되는 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 스퍼터링 온도는 150~350℃인 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 13

제8항에 있어서,

상기 산화 방지층의 두께는 50nm~1㎛ 인 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 14

제8항에 있어서,

상기 산화 방지층은 SiO_2, Si_3N_4, TiO_2, ITO 중 어느 하나의 물질로 형성되는 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 15

제8항에 있어서,

상기 후열처리 공정의 온도는 나노 물질층의 열해리 온도 이하인 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 후열처리 공정의 온도는 400~850℃ 인 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 17

제8항에 있어서,

상기 나노 구조체를 덮는 커버층을 형성하는 단계;를 더 구비하는 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 18

제8항에 있어서,

상기 패터닝 공정을 수행하기 전에 상기 결정화된 나노 물질층 상에 광투과성을 갖는 전도성층을 형성하는 단계;를 더 구비하는 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 패터닝 공정을 수행한 후에 상기 전도성층을 제거하는 단계;

상기 나노 구조체를 덮는 커버층을 형성하는 단계;를 더 구비하는 메타 광학 소자의 제조 방법.

청구항 20

제8항 내지 제19항 중 어느 한 항에 기재된 방법에 의하여 제조된 메타 광학 소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 메타 광학 소자 및 그 제조 방법이 개시된다.

배 경 기 술

[0002] 메타 구조(meta structure)는 입사광의 파장보다 작은 수치가, 두께, 패턴, 또는 주기 등에 적용된 인공적인 구조로서, 자연계에 존재하지 않는 광학적 특성을 나타낸다.

[0003] 메타 구조로서, 금속층과 유전체층의 경계에서 일어나는 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance) 현상을 이용하는 구조와 함께, 굴절률이 다른 유전체 물질 간의 경계 특성을 사용하는 구조도 많이 사용되고 있다.

[0004] 메타 구조는 높은 응답 속도로 다양한 광학적 특성을 나타낼 수 있고, 또한, 초소형 기기에 적용하기 유리하여, 이를 입사광의 투과/반사, 편광, 위상, 세기, 경로 등을 변경하는 광학 소자에 적용하려는 시도가 지속되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 개시는 가시광 영역 및 근적외선 영역에 적용가능한 메타 광학 소자 및 그 제조 방법을 제공한다.

[0006] 본 개시는 저비용의 메타 광학 소자의 제조 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 일 유형에 따르면, 메타 광학 소자는, 지지층; 상기 지지층 상에 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체로 형성되며, 입사광의 위상을 위치에 따라 소정 규칙으로 변화시키는 형상 치수 분포를 형성하도록 배열되며, 상기 형상 치수의 값들은 상기 입사광의 파장보다 작은 복수의 나노 구조체;를 포함하며, 상기 입사광의 파장은 300nm~1000nm이다.

[0008] 상기 입사광의 파장은 400nm~750nm이다.

[0009] 상기 복수의 나노 구조체는 AlN, GaN, GaP, AlAs, AlSb 중 하나의 물질로 형성될 수 있다.

[0010] 상기 복수의 나노 구조체는 원기둥 또는 다각 기둥 형상 또는 스트라이프 형상을 가질 수 있다.

[0011] 상기 복수의 나노 구조체의 굴절률은 상기 지지층의 굴절률보다 클 수 있다.

[0012] 상기 메타 광학 소자는, 상기 복수의 나노 구조체를 덮으며 상기 나노 구조체와 다른 굴절률을 가지는 커버층;을 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 커버층의 굴절률은 상기 지지층의 굴절률과 같을 수 있다.

[0014] 일 유형에 따르면, 메타 광학 소자의 제조 방법은, 기판을 준비하는 단계; 상기 기판 상에 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체를 증착하여 나노 물질층을 형성하는 단계; 상기 나노 물질층 상에 산화 방지층을 형성하는 단계; 상기 나노 물질층을 후열처리하여 상기 나노 물질층을 결정화하는 단계; 상기 산화 방지층을 제거하는 단계; 결정화된 상

기 나노 물질층을 패터닝하여 복수의 나노 구조체를 형성하는 단계;를 포함한다.

[0015] 상기 나노 물질층은 AlN, GaN, GaP, AlAs, AlSb 중 하나의 물질로 형성될 수 있다.

[0016] 상기 나노 물질층을 형성하는 단계는, 스퍼터링 공정에 의하여 수행될 수 있다.

[0017] 스퍼터링 온도의 상한은 스퍼터링 공정에서 나노 물질층의 표면에 형성되는 산화막의 두께가 2nm 미만이 되도록 결정될 수 있다.

[0018] 상기 스퍼터링 온도는 150~350℃일 수 있다.

[0019] 상기 산화 방지층의 두께는 50nm~1㎛ 일 수 있다.

[0020] 상기 산화 방지층은 SiO_2, Si_3N_4, TiO_2, ITO 중 어느 하나의 물질로 형성될 수 있다.

[0021] 상기 후열처리 공정의 온도는 나노 물질층의 열해리 온도 미만일 수 있다.

[0022] 상기 후열처리 공정의 온도는400~850℃ 일 수 있다.

[0023] 상기 제조 방법은, 상기 나노 구조체를 덮는 커버층을 형성하는 단계;를 더 구비할 수 있다.

[0024] 상기 제조 방법은, 상기 패터닝 공정을 수행하기 전에 상기 결정화된 나노 물질층 상에 광투과성을 갖는 전도성층을 형성하는 단계;를 더 구비할 수 있다.

[0025] 상기 제조 방법은, 상기 패터닝 공정을 수행한 후에 상기 전도성층을 제거하는 단계; 상기 나노 구조체를 덮는 커버층을 형성하는 단계;를 더 구비할 수 있다.

[0026] 일 유형에 따르면, 메타 광학 소자는 전술한 제조 방법에 의하여 제조될 수 있다.

발명의 효과

[0027] 상술한 메타 광학 소자 및 그 제조 방법에 따르면, 가시광 영역 및 근적외선 영역에 적용할 수 있는 메타 광학 소자의 구현이 가능하다.

[0028] 상술한 메타 광학 소자의 제조 방법에 따르면, 저비용으로 메타 광학 소자를 구현할 수 있다.

[0029] 상술한 메타 광학 소자의 제조 방법에 따르면, 나노 구조체를 형성하기 위한 단일층 구조의 나노 물질층을 형성할 수 있다.

[0030] 상술한 메타 광학 소자의 제조 방법에 따르면, 낮은 표면 거칠기를 갖는 단일층 구조의 나노 물질층을 형성할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 실시예에 따른 메타 광학 소자의 개략적인 구조를 보인 단면도이다.

도 2는 실시예에 따른 메타 광학 소자의 개략적인 구조를 보인 사시도이다.

도 3는 실시예에 따른 메타 광학 소자의 개략적인 구조를 보인 사시도이다.

도 4는 실시예에 따른 메타 광학 소자의 개략적인 구조를 보인 단면도이다.

도 5는 실시예에 따른 메타 광학 소자의 개략적인 구조를 보인 단면도이다.

도 6은 실시예에 따른 메타 광학 소자의 개략적인 구조를 보인 단면도이다.

도 7은 실시예에 따른 메타 광학 소자를 채용한 광학 소자의 개략적인 구성을 보인 사시도이다.

도 8a 내지 도 8f는 메타 광학 소자의 제조 방법의 일 실시예를 보여주는 도면들이다.

도 9a 내지 도 9c는 메타 광학 소자의 제조 방법의 일 실시예를 보여주는 도면들이다.

도 10은 후열처리 온도에 따른 소멸계수를 보여주는 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대해 상세히 설명하기로 한다. 이하의 도면들에서 동일한

참조부호는 동일한 구성요소를 지칭하며, 도면상에서 각 구성요소의 크기는 설명의 명료성과 편의상 과장되어 있을 수 있다. 한편, 이하에 설명되는 실시예는 단지 예시적인 것에 불과하며, 이러한 실시예들로부터 다양한 변형이 가능하다.

[0033] 이하에서, "상부" 나 "상"이라고 기재된 것은 접촉하여 바로 위에 있는 것뿐만 아니라 비접촉으로 위에 있는 것도 포함할 수 있다.

[0034] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0035] “상기” 의 용어 및 이와 유사한 지시 용어의 사용은 단수 및 복수 모두에 해당하는 것일 수 있다.

[0036] 방법을 구성하는 단계들에 대하여 명백하게 순서를 기재하거나 반하는 기재가 없다면, 상기 단계들은 적당한 순서로 행해질 수 있다. 반드시 상기 단계들의 기재 순서에 한정되는 것은 아니다. 모든 예들 또는 예시적인 용어(예를 들어, 등등)의 사용은 단순히 기술적 사상을 상세히 설명하기 위한 것으로서 특허청구범위에 의해 한정되지 않는 이상 상기 예들 또는 예시적인 용어로 인해 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0037] 도 1은 실시예에 따른 메타 광학 소자(100)의 개략적인 구조를 보인 단면도이다. 도 1을 참조하면, 메타 광학 소자(100)는 지지층(SU)과, 지지층(SU) 상에 배열된 다수의 나노 구조체(NS)를 포함하는 나노구조 어레이(NSA)를 구비한다.

[0038] 나노 구조체(NS)들은 서브 파장의 형상 치수를 갖는다. 서브 파장의 형상 치수라 함은 나노 구조체(NS)의 형상을 정의하는 치수인 두께(t)와 피치(P)가 메타 광학 소자(100)의 동작 파장보다 작음을 의미한다. 예를 들어, 나노 구조체(NS)는 원기둥 형상일 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다. 나노 구조체(NS)가 원기둥 형상인 경우 도 1의 길이(D)는 직경을 의미할 수 있다. 나노 구조체(NS)가 다각 기둥 형상인 경우, 도 1의 참조부호 D는 다각형의 한 변의 길이 또는 대각선 길이 등일 수 있다.

[0039] 메타 광학 소자(100)를 통과하는 광의 동일 위상점들을 연결한 파면(wavefront)의 위치는, 나노 구조체(NS)와 지지층(SU)를 지난 후와, 지지층(SU)만을 지난 후에 서로 다르다. 이는 서브 파장의 형상 치수를 가지는 나노 구조체(NS)에 의한 위상 지연(phase delay)에 기인하며, 위상이 지연되는 정도는 나노 구조체(NS)의 세부적인 형상 치수에 의해 정해진다. 따라서, 이러한 나노 구조체(NS) 복수개가 구비되는 경우 각 나노 구조체(NS)에서 일어나는 위상 지연 정도를 적절히 설정하여 다양한 광학적 기능을 구현할 수 있다.

[0040] 나노 구조체(NS)들은 입사광의 위상을 위치에 따라 소정의 규칙으로 변화시키는 형상 치수 분포를 갖도록 배열될 수 있다. 각 위치에서의 형상 치수는 메타 광학 소자(100)가 구현하고자 하는 광학적 기능에 따라 정해진다. 예를 들어, 나노 구조체(NS)의 위치(r)를 메타 광학 소자(100)의 중심으로부터 반지름 방향으로의 거리로 정의할 때, 그 위치에 있는 나노 구조체(NS)의 길이는 D(r)로 표시될 수 있다. 실시예의 메타 광학 소자(100)는 볼록 렌즈의 기능을 수행, 즉, 양의 굴절력을 가지며 광을 포커싱할 수 있도록 치수, 배열이 정해진 것을 예시적으로 보이고 있다. 실시예에서 나노 구조체(NS)는 원기둥형상이다. 도면을 참조하면, 중심에서 반경 방향으로 갈수록 D의 값은 작아지고 있으며, 예시된 규칙이 반경 방향으로 반복될 수 있다. 반복되는 주기는 일정하지 않고 변할 수 있다. 나노구조 어레이(NSA)의 배열 형태는 주기적(periodic) 또는 유사 주기적(quasi-periodic)일 수 있다.

[0041] 메타 광학 소자(100)가 구현하는 볼록 렌즈의 기능의 정도, 즉, 굴절력이나 초점 거리는 나노 구조체(NS)의 위치(r)에 따른 D(r)에 적용되는 수치에 의해 조절되는 것이므로, 곡률로 굴절력을 조절하는 기존 렌즈와 비교할 때, 굴절력의 증가에 따른 부피 증가가 수반되지 않는다.

[0042] 도면에서 복수의 나노 구조체(NS)의 두께는 모두 동일하게 도시되었지만, 이는 예시적인 것이며 이에 한정되지 않는다. 나노 구조체(NS)의 두께는 서브 파장의 두께를 갖는 범위에서 변경될 수 있다. 예를 들어, 나노 구조체(NS)의 두께 분포가 계단형 분포를 가질 수도 있다.

[0043] 또한, 도 1에서는 원기둥 형상의 나노 구조체(NS)가 예시되어 있으나, 나노 구조체(NS)의 형상은 이에 한정되지 않는다. 나노 구조체(NS)의 단면 형상은 메타 광학 소자(100)의 기능을 구현하기 위하여 적절히 결정될 수 있으며, 예를 들어, 정사각형(square), 직사각형(rectangular), 타원형(oval), 삼각형(triangle) 등 다양할 수 있다.

[0044] 또한, 도 1에서는 나노 포스트(nano-post) 형상의 나노 구조체(NS)가 예시되어 있으나, 나노 구조체(NS)의 형상

은 이에 한정되지 않는다. 예를 들어, 나노 구조체(NS)는 나노 스트라이프(nano-stripe) 형상일 수도 있다. 도 2는 다른 실시예에 따른 메타 광학 소자(101)의 개략적인 구조를 보인 사시도이다. 도 2를 참조하면, 메타 광학 소자(101)는 지지층(SU)과, 지지층(SU) 상에 배열된 다수의 나노 구조체(NS)를 포함하는 나노구조 어레이(NSA)를 구비한다. 나노 구조체(NS)는 사각형의 단면 형상을 갖는 스트라이프(stripe) 형상이다.

[0045] 메타 광학 소자(100)의 기능은 볼록 렌즈에 한정되지 않는다. 예를 들어, 나노 구조체의 형상 치수 분포는 오목 렌즈, 광을 편향시키는 광편향기, 반사층을 추가 구비하여 평판 형태를 가지는 볼록 거울 또는 오목 거울, 칼라 필터(color filter), 스펙트로미터(spectrometer), 광대역 필터(wide-bad filter) 등 다양한 기능을 수행하도록 결정될 수 있다.

[0046] 예를 들어, 나노 포스트 형상의 나노 구조체(NS)를 채용함으로써, 볼록렌즈, 오목렌즈, 광편향기, 광대역 필터 등의 구현이 가능하다. 또한, 나노 스트라이프 형상의 나노 구조체(NS)를 채용함으로써 칼라 필터, 스펙트로미터 등의 구현이 가능하다.

[0047] 또한, 도 1 및 도 2에서는 나노 구조체(NS)가 양각 형태로 구현되어 있으나, 나노 구조체(NS)는 음각 형태, 즉 나노 홀(nano-hole) 구조로 구현될 수 있다. 도 3는 다른 실시예에 따른 메타 광학 소자(102)의 개략적인 구조를 보인 사시도이다. 도 3을 참조하면, 메타 광학 소자(102)는 지지층(SU)과, 지지층(SU) 상에 배열된 다수의 나노 구조체(NS)를 포함하는 나노구조 어레이(NSA)를 구비한다. 나노 구조체(NS)는 음각 원기둥이다. 나노 구조체(NS)는 나노 구조체 형성층(30)과, 나노 구조체 형성층(31)에 마련된 원기둥 형상의 오목부(31)을 포함할 수 있다.

[0048] 나노 구조체(NS)의 굴절률은 지지층(SU)의 굴절률보다 큰 값을 갖는다. 지지층(SU)은 나노 구조체(NS)의 굴절률보다 낮은 값을 가지는 재질을 포함하며, 이외에 특별히 제한되지 않는다. 지지층(SU)은 예를 들어, 투명한 성질을 가지는 재질일 수 있다. 예를 들어, 글래스(glass), 산화실리콘(SiO_2), 또는 PMMA(polymethyl methacrylate), PDMS(Polydimethylsiloxane)와 같은 폴리머 재질이 지지층(SU)에 사용될 수 있다. 또는, 입사광의 파장에 따라서 실리콘(Si)도 지지층(SU)의 재료로 사용될 수 있다.

[0049] 지지층(SU)은 또한, 입사광을 반사시키는 반사층을 포함할 수도 있으며, 또는, 광을 생성하는 발광 소자를 포함할 수도 있으며, 또는, 부가적인 광학 기능을 수행하는 광학 소자을 포함할 수도 있다.

[0050] 도 4는 다른 실시예에 따른 메타 광학 소자(103)의 개략적인 구조를 보인 단면도이다. 도 4를 참조하면, 메타 광학 소자(103)는 지지층(SU)과, 지지층(SU) 상에 배열된 다수의 나노 구조체(NS)를 포함하는 나노구조 어레이(NSA)와, 나노 구조체(NS)를 전체적으로 덮으며 나노 구조체(NS)의 굴절률과 다른 굴절률을 가지는 커버층(13)을 더 구비할 수 있다. 커버층(13)의 굴절률은 나노 구조체(NS)의 굴절률보다 작을 수 있으며, 지지층(SU)의 굴절률과 같을 수 있다. 커버층(13)은 지지층(SU)과 같은 재질로 형성될 수도 있다. 예를 들어 커버층(13)은 공기(air), SiO_2, Si_3N_4, SOG(spin on glass), 글래스(glass) 등으로 형성될 수 있다. 도 1에 도시된 실시예가 커버층(13)이 공기인 경우에 해당될 수 있다.

[0051] 도 5는 다른 실시예에 따른 메타 광학 소자(104)의 개략적인 구조를 보인 단면도이다. 도 5를 참조하면, 메타 광학 소자(104)는 지지층(SU)과, 지지층(SU) 상에 배열된 다수의 나노 구조체(NS)를 포함하는 나노구조 어레이(NSA)와 커브층(13)을 구비한다. 나노구조 어레이(NSA)는 둘 이상의 나노 구조체가 적층된 구조일 수 있다. 예를 들어, 나노구조 에레이(NSA)는 적층된 제1, 제2나노 구조체(NS1)(NS2)를 구비할 수 있다. 커버층(13)은 나노 구조 어레이(NSA), 즉 제1, 제2나노 구조체(NS1)(NS2)를 전체적으로 덮는다. 커버층(13)의 굴절률은 제1, 제2나노 구조체(NS1)(NS2)의 굴절률보다 작을 수 있으며, 지지층(SU)의 굴절률과 같을 수 있다. 커버층(10)은 지지층(SU)과 같은 재질로 형성될 수도 있다.

[0052] 도 6은 다른 실시예에 따른 메타 광학 소자(105)의 개략적인 구조를 보인 단면도이다. 도 6을 참조하면, 메타 광학 소자(105)는 지지층(SU)과, 지지층(SU) 상에 배열된 다수의 나노 구조체(NS)를 포함하는 나노구조 어레이(NSA)를 구비한다.나노구조체(NS)는 음각 구조, 즉 나노홀(nano-hole)구조를 갖는다. 예를 들어 원기둥 형상을 갖는 음각 구조이다. 나노 구조체(NS)는 나노 구조체 형성층(30)과, 나노 구조체 형성층(31)에 마련된 원기둥 형상의 오목부(31)을 포함할 수 있다. 커버층(15)은 나노구조 어레이(NSA), 즉 나노 구조체(NS)를 전체적으로 덮는다. 커버층(15)은 오목부(31)를 채운다.

[0053] 도 1 내지 도 6의 도면에는 도시되지는 않았지만, 필요에 따라서 나노구조 어레이(NSA)의 상부 및/또는 하부에는 상부 유전층과 하부 유전층이 마련될 수 있다.

[0054] 도 7은 실시예에 따른 메타 광학 소자를 채용한 광학 소자의 개략적인 구성을 보인 사시도이다. 도 7을 참조하면, 광학 소자(1000)는 발광소자(1200)와, 발광소자(1200) 상에 위치한 메타 광학 소자(1500)를 포함한다. 발광소자(1200)는 게인층(1230)과 이득층(1230) 양측에 배치된 반사층(1210)(1250)을 포함하는 VECSEL(vertical-external-cavity surface-emitting laser)과 같은 레이저 소자일 수 있다. 반사층(1210)(1250)은 DBR(distributed Bragg reflector)일 수 있다.

[0055] 메타 광학 소자(1500)는 발광 소자(1200)의 출사면 상에 배치되어, 발광 소자(1200)로부터 생성, 출사되는 광을 포커싱, 발산, 정형, 또는 편향시킬 수 있다. 메타 광학 소자(1500)는 전술한 메타 광학 소자(100~112)가 채용될 수 있고, 구현한 광 기능에 맞게 나노구조체(NS)의 형상, 크기 및 배열 위치가 정해질 수 있다.

[0056] 메타 광학 소자(1500)가 발광 소자(1200)에 적용된 것을 예시하였으나, 이외에도, 다양한 광학 소자, 예를 들어, 편광자(polarizer), 편광 소거 모듈(polarization cleanup module), 광학 필터(optical filter), 센서(sensor), 디스플레이 소자(display device)등에 적용될 수 있다.

[0057] 높은 광투과율을 구현하기 위하여는, 나노 구조체(NS)는 입사되는 광의 파장 대역에서 낮은 흡수율을 가지는 물질로 형성될 필요가 있다. 굴절률이 높을수록 광변조 효율이 높고, 나노 구조체(NS)의 종횡비(aspect ratio)를 작게 할 수 있으므로 제조공정 부담이 줄어들 수 있다. 종횡비는 나노 구조체(NS)의 두께(t)와 길이(D)의 비를 말한다. 따라서, 나노 구조체(NS)는 가급적 굴절률이 높은 물질로 형성될 필요가 있다. 또한, 나노 구조체(NS)를 형성하는 물질은 낮은 표면 거칠기를 갖는 단일층의 형성이 가능한 물질일 필요가 있다. 표면 거칠기가 크면 나노 구조체(NS)의 광변조 특성의 균일성이 나빠진다. 단일층의 표면 거칠기는 예를 들어 RMS값(Rq)으로 2.5nm 미만일 필요가 있다.

[0058] 실리콘(Si), 예를 들어 폴리 실리콘(p-Si) 또는 단결정 실리콘(c-Si)이 나노 구조체(NS)의 재료로 사용되고 있다. 실리콘은 1550nm의 파장을 갖는 IR(infrared) 대역에서는 굴절률이 3.5 정도로서 비교적 높고 소멸계수(extinction coefficient)가 1×10^{-5} 이하로서 낮다. 하지만, 가시광 대역인 550nm와 450nm 파장 대역에서 실리콘의 소멸 계수는 각각 약 0.044, 0.141로서 매우 커서 광투과율이 크게 감소된다. 따라서, 실리콘은 가시광 대역에서 동작되는 나노 구조체(NS)에는 적용되기 어렵다.

[0059] 나노 구조체(NS)를 형성하는 물질로서 가시광 대역에서 낮은 소멸 계수를 갖는 물질이 요구된다. 나노 구조체(NS)를 형성하는 물질로서 종횡비를 낮출 수 있는 높은 굴절률을 갖는 물질이 요구된다. 나노 구조체(NS)를 형성하는 물질로서 2.5nm 미만의 단일층을 형성할 수 있는 제조 공정 및 이 공정에 적합한 물질이 요구된다.

[0060] 표 1은 550nm 파장 대역에서 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체의 밴드 갭(band gap), 소멸계수(k), 및 굴절률(n)을 보여준다.

표 1

[0061]

	band gap(eV)	k	n
AlN	6.02	$<1\times10^{-5}$	2.167
GaN	3.39	$<1\times10^{-5}$	2.408
GaP	2.26	$<1\times10^{-5}$	3.450
AlAs	2.12	$<1\times10^{-5}$	3.248
AlSb	1.58	0.120	4.259
GaAs	1.42	0.298	4.057
InP	1.35	0.397	3.656
AlGaAs(Al:Ga=49:51)	1.17	0.164	3.761
InGaAs(In:Ga=53:47)	0.75	0.591	0.415
GaSb	0.73	1.789	4.492
InAs	0.35	0.850	4.224
InSb	0.17	1.879	4.136

[0062] 표 1을 참조하면, Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체 중에서 AlN, GaN, GaP, AlAs는 큰 밴드갭 값을 가지고 있어서, 550nm 파장 대역에서 $<1\times10^{-5}$미만의 매우 작은 소멸계수를 가진다. 이는 AlN, GaN, GaP, AlAs가 가시광 대역에서 좋

은 광투과율을 지는 광학 재료로서 적용될 수 있다는 것을 의미한다. 또한, AlN, GaN, GaP, AlAs는 굴절률이 커서 위상 전이 등 광변조 특성이 우수하고, 나노 구조체(NS)의 종횡비를 낮출 수 있어서 높은 제조 공정성(processibility)을 가질 수 있다.

[0063] 현재까지 가시광 대역에 적용 가능한 물질 중에서 가장 큰 굴절률을 가진다고 알려진 TiO_2는 550nm 파장 대역에서 굴절률이 2.45 정도이다. AlN과 GaN는 TiO_2에 근접하는 굴절률을 가진다. 따라서, TiO_2의 대체재로서 적용이 가능한다. 또한, GaP와 AlAs는 TiO_2의 거의 1.5배의 굴절률을 가진다. TiO_2를 이용하여 플랫 렌즈(flat lens) 기능을 구현하기 위한 나노 구조체(NS)의 종횡비는 15:1 보다 커야 한다. 그러나, GaP와 AlAs는 TiO_2의 거의 1.5배의 굴절률을 가지므로, 종횡비는 15:1 이하로도 플랫 렌즈(flat lens) 기능을 구현하기 위한 나노 구조체(NS)의 형성이 가능한다. 또한, AlSb는 비교적 작은 소멸 계수와 매우 높은 굴절률을 가지므로, 높은 광변조효율이 요구되는 메타 광학 소자의 나노 구조체(NS)에 적용될 수 있다.

[0064] 따라서, 나노 구조체(NS)를 AlN, GaN, GaP, AlAs, AlSb 중 하나의 물질로 형성함으로써 파장 400nm~750nm의 가시광 대역은 물론 파장 750nm~1000nm의 근적외선 대역과 자외선 대역 중 300nm~400nm 대역에서 적용 가능한 메타 광학소자의 구현이 가능하다. 이러한 메타 광학 소자는 예를 들어 반도체 노광 공정에서 I-line(365nm), G-line(436nm), h-line(405nm)용 노광기(stepper)의 렌즈로 활용될 수 있다. 또한, 작은 종횡비로도 원하는 광변조 특성을 얻을 수 있으므로, 나노 구조체(NS)를 형성하는 공정에서 CD(critical dimension)을 20nm까지 작게 할 수 있다. 따라서, 종횡비 15:1의 종횡비를 구현하는 경우, 나노 구조체(NS)의 길이(D)와 두께(t)를 20nm~300nm로 할 수 있어, 공정 난이도를 낮출 수 있으며, 설계의 자유도를 향상시킬 수 있다. 비교 대상인 TiO_2의 CD는 약 40nm 정도이다.

[0065] 이제, 메타 광학 소자의 제조 방법을 설명한다. 도 8a 내지 도 8f는 메타 광학 소자의 제조 방법의 일 실시예를 보여주는 도면들이다.

[0066] 도 8a 내지 도 8f를 참조하면, 메타 광학 소자의 제조 방법은, 기판(300)을 준비하는 단계와, 기판(300) 상에 나노 물질층(310)을 형성하는 단계와, 나노 물질층(310)을 패터닝하여 나노 구조체(NS)를 형성하는 단계를 포함한다.

[0067] 기판(300)은 지지체(SU)를 형성한다. 따라서, 기판(300)은 투명 기판일 수 있다. 기판(300)은 예를 들어, 글래스(glass) 기판, 산화실리콘(SiO_2) 기판, 또는 PMMA(polymethyl methacrylate), PDMS(Polydimethylsiloxane)와 같은 폴리머 기판, 또는 실리콘(Si)일 수 있다.

[0068] 기판(300)이 준비되면 기판(300) 상에 나노 물질층(310)을 형성한다. 나노 물질층(310)은 기판(300) 상에 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체, 예를 들어 AlN, GaN, GaP, AlAs, AlSb 을 증착함으로서 형성될 수 있다.

[0069] 증착 공정은 예를 들어 금속-유기 화학적 기상 증착법(MOCVD)에 의하여 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체를 기판(300) 상에 에피텍셜 성장시킴으로서 구현될 수 있다. Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체의 에피텍셜 성장을 위하여는 기판(300) 상에 버퍼층(미도시)을 형성하여야 한다. 그러므로, 증착 공정을 거치면 기판(300)-버퍼층-나노 물질층(310) 형태가 된다. 버퍼층은 광변조특성과 광투과율에 영향을 줄 수 있다. 또한, 금속-유기 화학적 기상 증착법은 비교적 고온 공정이므로, 나노 물질층(310)의 표면이 거칠어져서 RMS(Rq) 2.5nm의 표면 거칠기의 구현이 어려우며 나노 물질층(310)의 표면에 산화막이 형성될 수 있다. 따라서, 버퍼층과 산화막이 없는 단일층 구조로서 RMS(Rq) 2.5nm의 표면 거칠기의 구현할 수 있는 공정이 요구된다. 또한 금속-유기 화학적 기상 증착법은 비교적 고가의 공정으로서 저가의 단일층 구조를 구현할 수 있는 공정이 요구된다.

[0070] 본 실시예에서는, 비교적 저 비용의 저온 공정인 스퍼터링(sputtering) 공정에 의한 비에피텍셜 증착(non-epitaxial deposition)과 후열처리(post annealing)에 의한 결정화 공정을 이용하여 버퍼층과 산화막이 없는 단일층 구조로서 RMS(Rq) 2.5nm의 표면 거칠기의 구현할 수 있는 저비용의 공정을 구현한다.

[0071] 도 8a에 도시된 바와 같이 기판(300) 상에 스퍼터링 공정에 의하여 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체층인 나노 물질층(310)을 형성한다. 예를 들어, Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체는 AlN, GaN, GaP, AlAs, AlSb 중 하나의 물질일 수 있다. 나노 물질층(310)의 두께는 구현하고자 하는 광학적 기능을 고려하여 적절히 결정될 수 있다. 스퍼터링 온도는 소망하는 조성비의 나노 물질층(310)을 얻을 수 있도록 결정된다. 또한 스퍼터링 온도는 나노 물질층(310)의 산화에 의하여 나노 물질층(310) 상에 소정 두께 미만, 예를 들어 2nm 미만의 산화막이 형성되거나 산화막이 형성되지 않도록 결정될 수 있다. 또한, 스퍼터링 온도가 너무 높으면 소망하는 표면 거칠기, 예를 들어

RMS(Rq) 2.5nm를 구현할 수 없으므로, 이를 고려하여 결정된다. 예를 들어, 스퍼터링 온도는 150~350℃ 정도일 수 있다.

[0072] 표 2는 스퍼터링 온도에 따른 나노 물질층(310)의 조성 분석 결과를 보여준다. 스퍼터링 온도 150℃ 이상에서는 Ga:P≒1:1로서 일정함을 알 수 있다. 표 2에서 나노 물질층(310)은 GaP층이며, 스퍼터링 파워 150W, 스퍼터링 압력 2mTorr, Ar 유량 60sccm(standard cubic centimeters per minute), 동작 시간 470초, 두께 195nm, 증착 속도 2.49nm/min이다.

표 2

[0073]

스퍼터링 온도(℃)	25	200	300	400
Ga 조성비(at%)	50.3	49.6	49.6	49.6
P 조성비(at%)	48.7	49.4	49.4	49.5
Ar 조성비(at%)	1.0	1.0	1.0	1.0
밀도(g/cm^3)	4.14	4.14	4.14	4.14

[0074] GaP를 이용한 스퍼터링 실험 결과, 스퍼터링 온도가 400℃를 초과하여 120nm 두께의 GaP 박막을 형성하는 경우, 박막 표면으로부터 두께 방향으로 약 10% 정도(10~15nm)의 산화막이 형성되는 것이 확인된다.

[0075] 스퍼터링 압력은 1~4 mTorr 정도일 수 있다. 스퍼터링 파워는 100~250W 정도일 수 있다. 스퍼터링 압력과 스퍼터링 파워는 소망하는 나노 물질층(310)의 물질 조성비를 얻을 수 있도록 적절히 결정될 수 있다.

[0076] 스퍼터링 공정에 의하여 기판(300) 상에 형성된 나노 물질층(310)은 결정화되지 않은 상태이다. 결정화된 나노 물질층(310)을 얻기 위하여 후열처리에 의한 결정화 공정이 수행된다. 결정화 공정에서 나노 물질층(310)의 산화를 방지하기 위하여, 도 8b에 도시된 바와 같이 결정화 공정 전에 나노 물질층(310) 상에 산화 방지층(320)을 형성할 수 있다. 예를 들어, 산화 방지층(320)을 형성하지 않고, 120nm 두께의 GaP층을 550℃에서 후열처리한 경우, GaP층 전체에 산화막이 형성되는 것이 확인된다. 산화 방지층(320)은 예를 들어 SiO_2, Si_3N_4, TiO_2, ITO 등으로 형성할 수 있다. 산화 방지층(320)이 너무 얇으면 산화 방지 기능이 구현되지 않는다. 산화 방지층(320)이 너무 두꺼우면 공정 중에 산화 방지층(320)에 축적되는 스트레스로 인하여 기판(300), 나노 물질층(310), 및 산화 방지층(320)을 포함하는 공정 웨이퍼가 손상될 가능성이 있다. 따라서, 산화 방지층(320)의 두께는 예를 들어 50nm~1㎛ 정도일 수 있다. 산화 방지층(320)을 형성하는 공정은 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어 SiO_2층은 플라즈마 화학 기상 증착법(PECVD: Plasma-enhanced chemical vapor deposition)에 의하여 형성될 수 있다.

[0077] 결정화 공정의 온도는 비활성 기체 분위기, 예를 들어 아르곤 분위기에서 나노 물질층(310)을 후열처리함으로써 수행될 수 있다. 후열처리 온도는 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체의 결정화 온도를 고려하여 결정될 수 있다. 또한, 소멸 계수는 후열처리 온도가 높을수록 작아지는 경향이 있다. 굴절률은 후열처리 온도가 높을수록 근소하게 작아지는 경향이 있다. 후열처리 온도의 하한은 소망하는 소멸 계수와 굴절률을 얻을 수 있도록 결정된다.

[0078] 표 3은 후열처리 온도에 따른 굴절률의 변화를 보여준다. 나노 물질층(310)은 GaP 층이다.

표 3

[0079]

파장(nm)	열처리 온도(℃)			
	450	550	650	750
B: 455	3.854	3.806	3.788	3.779
G: 555	3.497	3.451	3.432	3.424
R: 655	3.331	3.283	3.262	3.270

[0080] 표 4는 GLA(green laser annealing) 공정을 통하여 얻은 폴리 실리콘(p-Si), RTA(rapid thermal annealing) 공정을 통하여 얻은 폴리 실리콘(p-Si), 단결정 실리콘(c-Si), 및 MOCVD공정으로 얻은 GaP의 굴절률을 보여준다.

표 4

[0081]

파장(nm)	p-Si(GLA)	p-Si(RTA)	c-Si	MOCVD GaP
B: 455	4.698	4.782	4.631	3.850
G: 555	4.101	4.189	4.068	3.450
R: 655	3.862	3.947	3.845	3.290

[0082] 표 3과 표 4를 참조하면, 스퍼터링 및 어닐링 공정을 통하여 얻어진 나노 물질층(310)의 가시광 영역에서의 굴절률은 상대적으로 고비용인 MOCVD 공정을 통하여 얻어진 나노 물질층(310)과 거의 동등하다.

[0083] 도 10은 후열처리 온도에 따른 소멸계수를 보여주는 그래프이며, 표 5는 후결처리 온도에 따른 소멸계수를 보여준다. 나노 물질층(310)은 GaP층이다.

표 5

[0084]

파장(nm)	열처리 온도(℃)450			
	450	550	650	750
B: 455	0.197	0.136	0.110	0.052
G: 555	0.093	0.033	0.018	$<1X10^{-5}$
R: 655	0.052	0.004	$<1X10^{-5}$	$<1X10^{-5}$

[0085] 표 6은 GLA(green laser annealing) 공정을 통하여 얻은 폴리 실리콘(p-Si), RTA(rapid thermal annealing) 공정을 통하여 얻은 폴리 실리콘(p-Si), 단결정 실리콘(c-Si), 및 MOCVD공정으로 얻은 GaP의 소멸계수를 보여준다.

표 6

[0086]

파장(nm)	p-Si(GLA)	p-Si(RTA)	c-Si	MOCVD GaP
B: 455	0.205	0.141	0.085	0.022
G: 555	0.054	0.051	0.028	$<1X10^{-5}$
R: 655	0.016	0.028	0.014	$<1X10^{-5}$

[0087] 표 5와 표 6을 참조하면, 열처리 온도가 올라갈수록 GaP 나노 물질층(310)은 가시광 영역에서 p-Si, 및 c-Si에 비하여 매우 우수한 소멸계수 특성을 보인다. 즉 GaP 나노 물질층(310)은, 열처리 온도 450℃에서는 p-Si(GLA) 보다 우수한 소멸계수 특성을 보이며, 열처리 온도 550℃에서는 p-Si(RTA) 보다 우수한 소멸계수 특성을 보이며, 열처리 온도 650℃에서는 c-Si와 대응한 소멸계수 특성을 보인다. 또한, GaP 나노 물질층(310)의 가시광 영역에서의 소멸계수는 상대적으로 고비용인 MOCVD 공정을 통하여 얻어진 나노 물질층(310)과 거의 동등하다.

[0088] 후처리 온도가 너무 높으면 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체의 구성 원소가 열해리(thermal dissociation)될 수 있다. 따라서, 후열처리 온도의 상한은 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체의 열해리 온도(thermal dissociation temperature)를 넘지 않도록 결정된다. 전술한 조건을 감안하여, 후열처리 온도는 예를 들어, 400~850℃ 정도일 수 있다.

[0089] 후열처리 공정에 의하여, 도 8c에 도시된 바와 같이 결정화된 나노 물질층(310)을 얻을 수 있다. 여기서 결정화는 완전한 결정화를 의미하는 것은 아니며, 폴리 상태의 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체층(polycrystalline Ⅲ-Ⅴ compound semiconductor material layer)까지 포함한다. 이하 도면에서 결정화된 나노 물질층(310)은 도트 패턴으로 표시한다.

[0090] 다음으로, 산화 방지층(320)을 제거한다. 예를 들어, 이 공정은 습식 식각 공정에 의하여 수행될 수 있다. 그러면, 도 8d에 도시된 바와 같이 기판(300) 상에 결정화된 나노 물질층(310)을 얻을 수 있다.

[0091] 다음으로, 나노 물질층(310)을 패터닝하여 도 8e에 도시된 바와 같이 다수의 나노 구조체(NS)가 배열된 나노 구조 어레이(NSA)를 얻는다. 패터닝 공정은 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어 e- 빔 리소그래피(e-beam

lithography) 공정에 의하여 수행될 수 있다.

[0092] 다음으로, 필요에 따라서 나노 구조 어레이(NAS)를 덮은 커버층(340)를 형성한다. 커버층(340)은 예를 들어, SiO_2, Si_3N_4, SOG(spin on glass), 글래스(glass) 등으로 형성될 수 있다. 커버층(340)을 형성하는 공정은 특별히 제한되지 않는다.

[0093] 도 9a 내지 도 9c는 메타 광학 소자의 제조 방법의 일 실시예를 보여주는 도면들이다. 도 9a를 참조하면, 결정화 공정 및 산화 방지층(320)을 제거하는 공정을 수행한 후에 패터닝 공정을 수행하기 전에, 결정화된 나노 물질층(310) 상에 전도성층(330)을 형성하는 공정이 추가될 수 있다. 비전도성인 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체로 된 나노 물질층(310)은 패터닝 공정에서 대전(charging)될 수 있다. 전도성층(330)은 패터닝 공정에서 나노 물질층(310)의 대전을 방지하는 대전 방지층이다. 전도성층(330)은 패터닝 공정에서 사용되는 노광광에 대하여 투과성을 갖는 전도성 박막이다. 전도성층(330)은 예를 들어 가시광에 대하여 투과성을 갖는 ITO, IZO, GIZO 등으로 형성될 수 있다. 전도성층(330)의 두께는 예를 들어 1nm~10nm 정도일 수 있다. 전도성층(330)은 도 9b에 도시된 바와 같이 패터닝 공정에서 나노 물질층(310)과 함께 패터닝된다. 전도성층(330)은 패터닝 공정 후에 유지될 수 있다. 이 경우, 메타 광학 소자는 도 9b 및 도 9c에 도시된 형태가 된다. 전도성층(330)은 패터닝 공정 후에 제거될 수 있다. 이 경우, 메타 광학 소자는 도 8e 또는 도 8f와 같은 형태가 된다.

[0094] 실시예

[0095] Ga:P=1:1인 GaP 표적 물질을 이용하여 250℃에서 스퍼터링에 의하여 기판(300) 상에 GaP 나노 물질층(310)을 형성한다. 스퍼터링 압력은 약 2mTorr, 파워는 약 150W로 한다. GaP 나노 물질층(310) 상에 약 300nm 두께의 SiO_2 산화 방지층(320)을 형성한다. 그런 다음, 750℃, 아르곤 분위기, 산소 농도 50ppm 미만에서 후열처리 공정을 수행한다. SiO_2 산화 방지층(320)을 HF를 이용한 습식 식각 공정으로 제거하여 결정화된 GaP 나노 물질층(310)을 얻는다.

[0096] 측정 결과, 결정화된 GaP 나노 물질층(310)은 굴절률 n>3.780, 파장 455nm에서 소멸계수 k<0.052 이다. TEM(transmission electron microscope)분석 결과, 나노 물질층(310) 전체가 결정화된 GaP로 성장되어 있음이 확인된다. 표면 산화층의 두께는 1nm 미만으로서 2nm 미만의 산화층을 갖는 결정화된 GaP 나노 물질층(310)이 확인된다. AFM(atomic force microscope) 및 SEM(scanning electron microscope) 분석 결과, 표면 거칠기는 RMS(Rq) 0.424~0.669nm 임이 확인된다. 450℃에서 열처리한 경우에는 표면 거칠기는 RMS(Rq) 0.223nm 임이 확인된다.

[0097] 전술한 공정에 의하여, 버퍼층이 없는 단일층 구조의 Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체 나노 물질층(310)을 형성할 수 있다. 또한, 고가의 MOCVD 공정 대신에 저비용의 스퍼터링 공정을 적용할 수 있어서 반도체 공정 소자에 적용이 용이한 메타 광학 소자의 구현이 가능하다. 고비용의 레이저 열처리 공정없이도 반도체 소자 위에 메타 광학 소자를 형성할 수 있다. 따라서, 저온 폴리 실리콘 공정(low-temperature polycrystallinbe silicon) 공정을 대체할 수 있다.

[0098] 표 7은 Si, GaP, TiO_2의 파장에 따른 공정 CD(critical dimension)을 보여준다. 표 8은 Si, GaP, TiO_2의 파장에 따른 종횡비를 보여준다.

표 7

[0099]

파장(nm)	Si	GaP	TiO_2
1550	300nm	400nm	500nm
860	100nm	130nm	170nm
455	30nm	40nm	50nm

표 8

[0100]

	Si	GaP	TiO_2
종횡비	6:1	10:1	15:1

[0101] Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체를 이용하여 가시광 영역에서 Si보다 소멸계수가 작고 TiO_2보다 굴절률이 큰 나노 구조체(NS)를 형성할 수 있다. 따라서, 가시광 대역에서 광의 흡수가 작아서 효율이 높으면서도 고굴절률 특성으로 인하여 공정 마진이ㅣ whv은 메타표면(metasurface) 구조를 구현할 수 있다. 표 7 및 표 8을 참조하면, Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체 나노 구조체(NS)에는 p-Si, c-Si보다는 큰 패턴이 적용될 수 있으며, TiO_2보다는 종횡비가 작은 패턴이 적용될 수 있다. 따라서, 패터닝 공정 상의 공정 난이도를 낮출 수 있으며, 높은 수율을 확보할 수 있다.

[0102] MOCVD 공정에 비하여 저비용으로 버퍼층과 산화막이 없는 단일층 구조이고 RMS(Rq) 2.5nm의 표면 거칠기를 갖는, Ⅲ-Ⅴ족 화합물 반도체를 채용한 메타 광학 소자를 제조할 수 있다.

[0103] 지금까지, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 예시적인 실시예가 설명되고 첨부된 도면에 도시되었다. 그러나, 이러한 실시예는 단지 본 발명을 예시하기 위한 것이고 이를 제한하지 않는다는 점이 이해되어야 할 것이다. 그리고 본 발명은 도시되고 설명된 설명에 국한되지 않는다는 점이 이해되어야 할 것이다. 이는 다양한 다른 변형이 본 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 일어날 수 있기 때문이다.

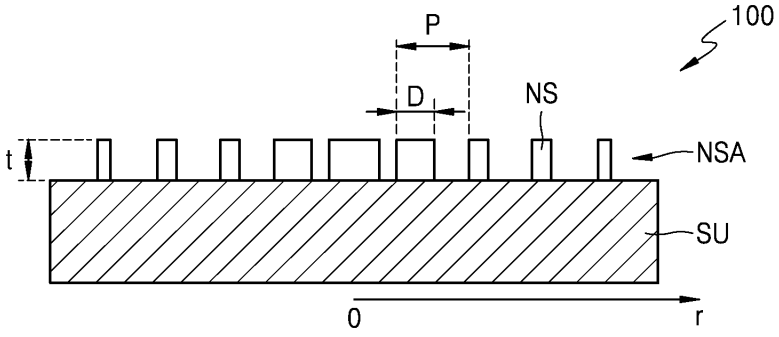
부호의 설명

[0104]

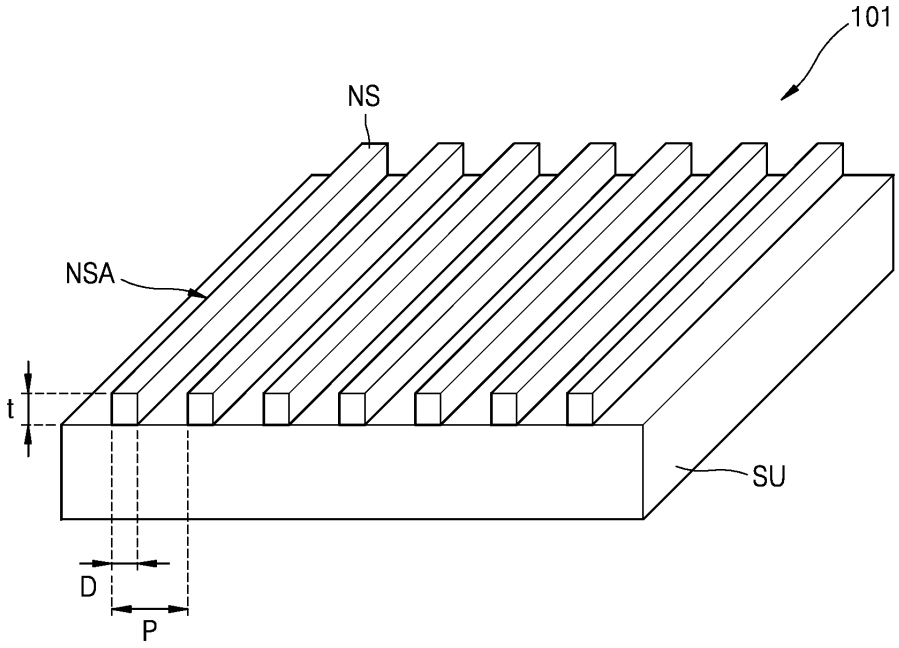
SU.. 지지층	NS.. 나노 구조체
NSA.. 나노 구조체 어레이	13, 15, 340.. 커버층
300...기판	310...나노 물질층
320...산화방지층	330...전도성층
100~105, 1500.. 메타 광학 소자	1000.. 광학 소자
1200.. 발광 소자	

도면

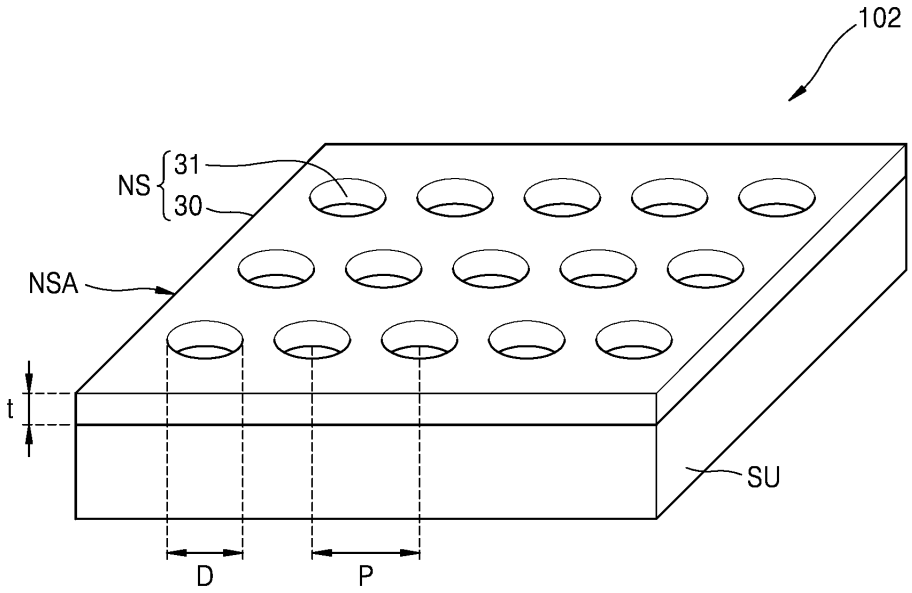
도면1



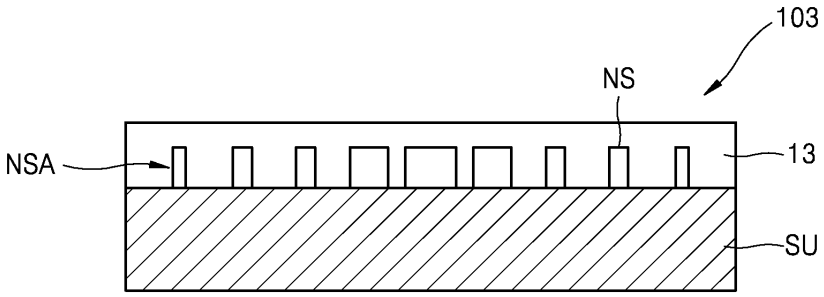
도면2



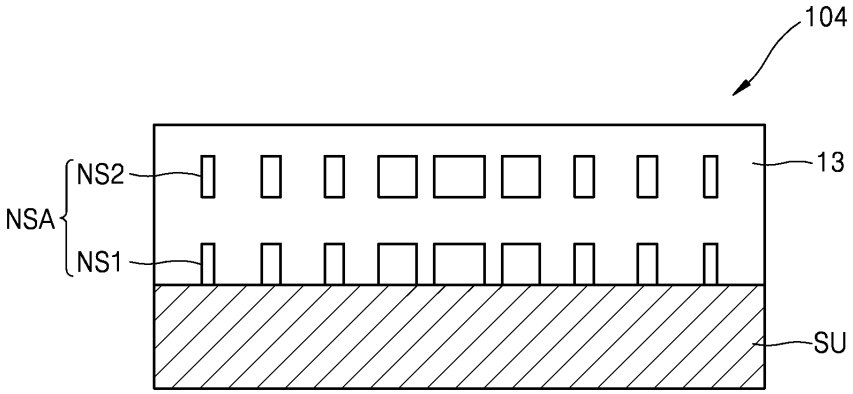
도면3



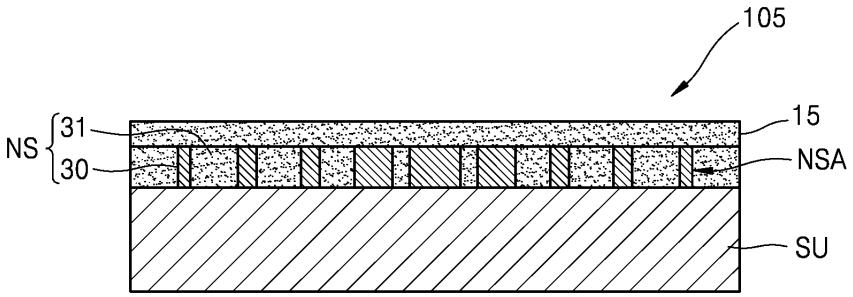
도면4



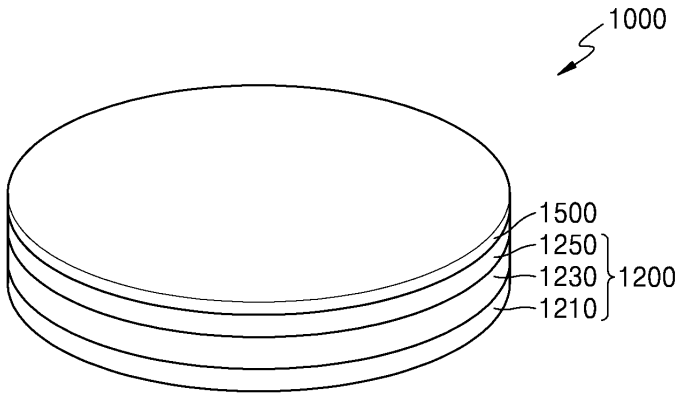
도면5



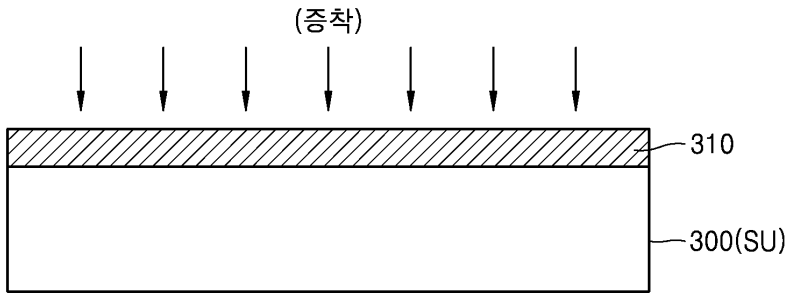
도면6



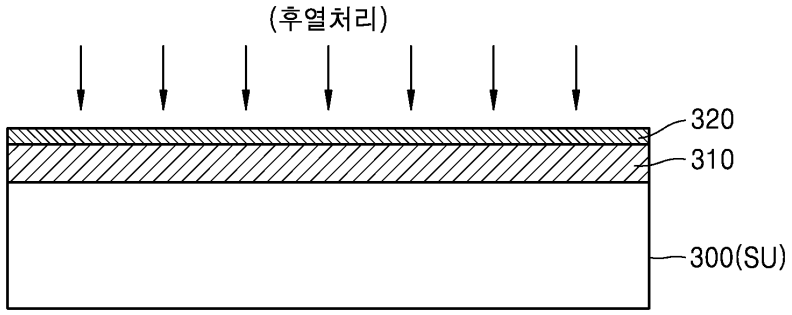
도면7



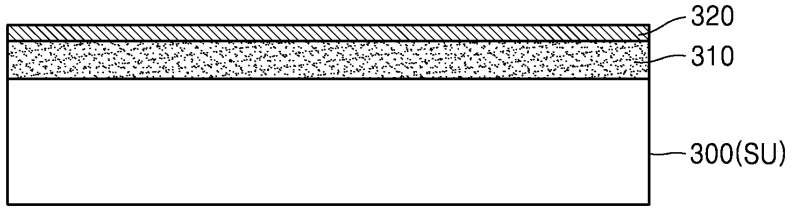
도면8a



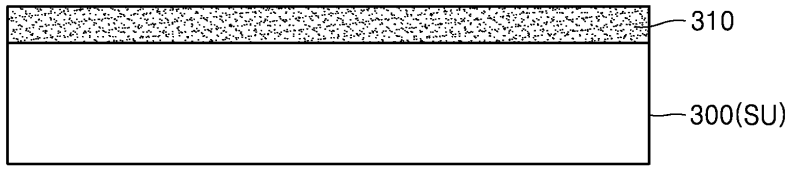
도면8b



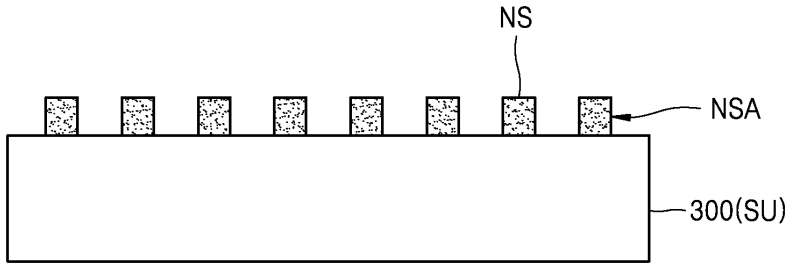
도면8c



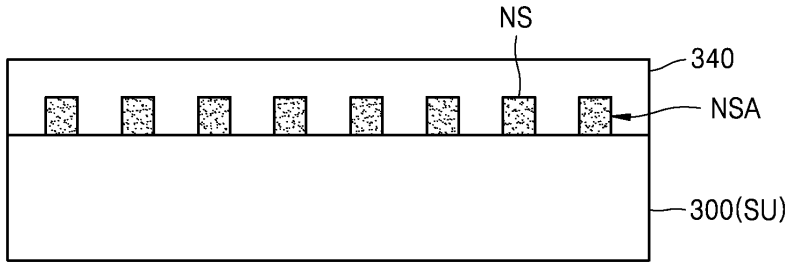
도면8d



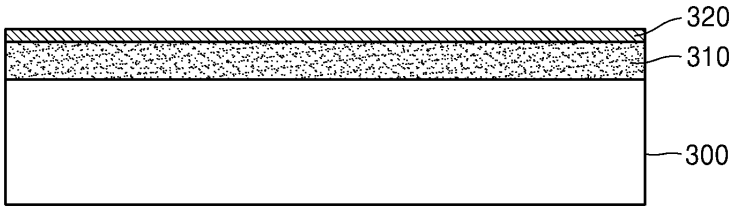
도면8e



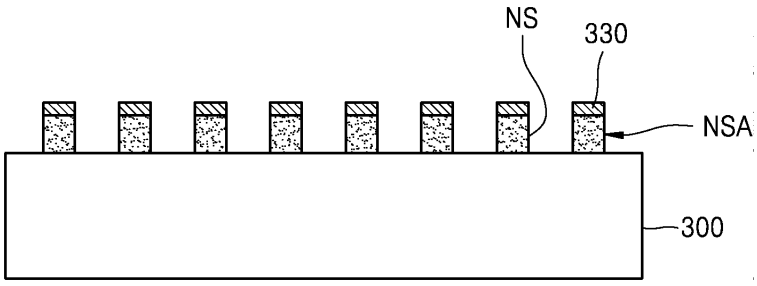
도면8f



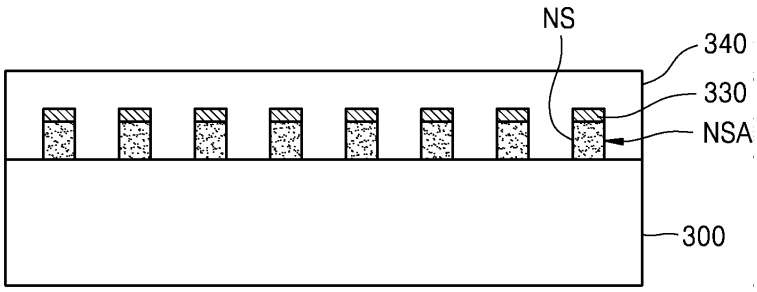
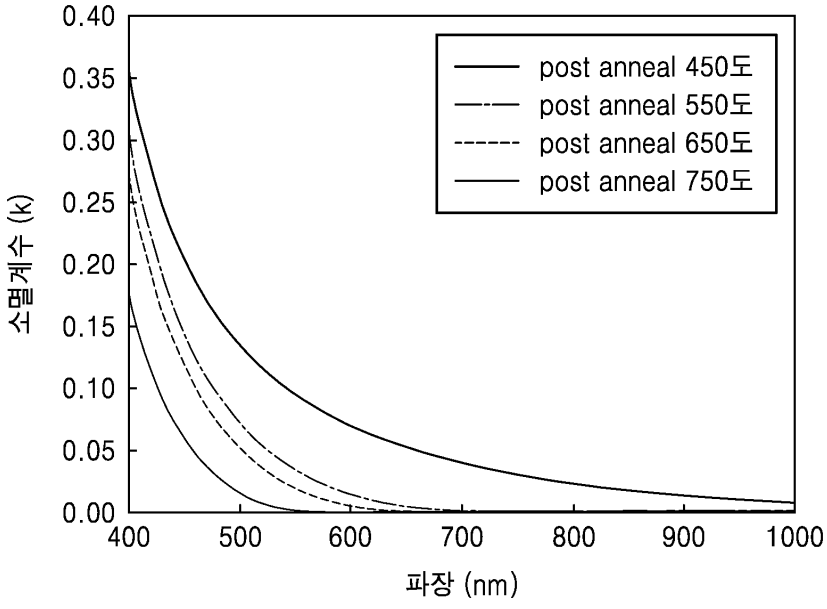
도면9a



도면9b



도면9c



도면10