	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2014-0060413 (43) 공개일자 2014년05월20일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) G02B 1/11 (2006.01)		(71) 출원인 연세대학교 산학협력단 서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 (신촌동)
(21) 출원번호 10-2012-0126746 (22) 출원일자 2012년11월09일 심사청구일자 2012년11월09일		(72) 발명자 김경식 서울특별시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 박해성 서울 양천구 남부순환로40가길 8-1, (신월동)
		(74) 대리인 이영규, 윤병국

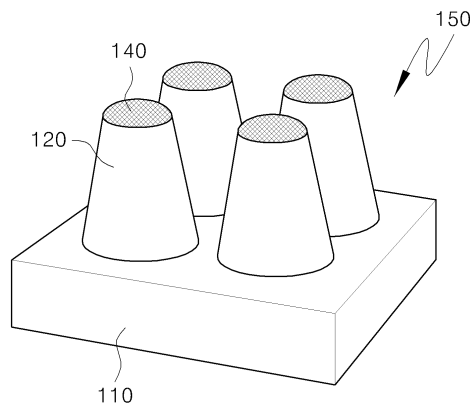
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 광대역 무반사 효과를 갖는 반사방지 나노 섬이 형성된 나노 구조체 및 그 제조방법

(57) 요약

본 발명은 태양전지나 광학표시장치 등의 광전소자에 응용될 수 있는 광반사 방지 기능을 갖는 광결정 나노 구조체에 관한 것으로서, 특히, 제작공정이 매우 용이하고 고효율 및 광대역의 반사방지 성능을 동시에 구현할 수 있는 광대역 무반사 효과를 갖는 반사방지 나노 섬이 형성된 나노 구조체 및 그 제조방법을 제공한다. 이를 위한 본 발명은 기판과, 상기 기판 위에 배열되는 복수의 반사방지 나노 구조물을 포함하는 나노 구조체에 있어서, 상기 나노 구조물은 경사굴절률을 제공하는 측면부가 경사진 형태의 광결정 구조물로서, 상기 나노 구조물의 상단에는 1/4 파장(quarter wavelength)의 반사방지 기능을 갖는 나노 섬(nano islands)이 결합된 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

기판과, 상기 기판 위에 배열되는 복수의 반사방지 나노 구조물을 포함하는 나노 구조체에 있어서,
상기 나노 구조물은 경사굴절률을 제공하는 측면부가 경사진 형태의 광결정구조물로서, 상기 나노 구조물의 상단에는 1/4 파장(quarter wavelength)의 반사방지 기능을 갖는 나노 섬(nano islands)이 결합된 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 기판은 반도체 재료로 구성된 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 나노 구조물은 원뿔대, 각뿔대, 절두체 중 어느 하나의 형태로 이루어진 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 나노 섬은 이중계면에서 1/4 광학 파장 두께를 구현할 수 있는 재료로 이루어진 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 나노 구조물 및 나노 섬은 나노구(nano sphere) 리소그래피, 광 리소그래피, 나노 임프린트 공정 중에서 어느 하나의 공정을 거쳐 형성된 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 기판과 나노 구의 식각은 반응성 이온식각(RIE), 유도 결합 플라즈마(ICP)를 이용한 식각 등의 건식 식각이나 수산화칼륨(KOH) 등의 부식액을 이용한 습식 식각 중 어느 하나의 식각 공정을 통해 이루어지는 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체

청구항 7

실리콘 기판 위에 배열된 복수의 나노 구조물 상단에 1/4 파장 대역의 반사방지를 위한 나노 섬이 형성된 나노 구조체를 제조하기 위한 방법에 있어서,

실리콘 기판 위에 복수의 나노 구(nano sphere)를 도포하여 주기적 입자 어레이(periodic particle array)를 형성한 후, 상기 실리콘 기판 및 나노 구를 일정시간 동안 동시에 식각하는 나노구 리소그래피(nanosphere lithography) 공정을 통해 제조되는 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체 제조방법

청구항 8

제7항에 있어서, 상기 나노 구는 폴리스티렌(Polystyrene) 재질로 이루어진 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체 제조방법

청구항 9

제7항에 있어서, 상기 나노 구조물은 원뿔대, 각뿔대, 절두체 중 어느 하나의 형태로 이루어진 것을 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체 제조방법

청구항 10

제7항에 있어서, 상기 실리콘 기판 및 나노 구의 식각은 반응성 이온식각(RIE), 유도 결합 플라즈마(ICP)를 이용한 식각 등의 건식 식각이나 수산화칼륨(KOH) 등의 부식액을 이용한 습식 식각 중 어느 하나의 식각 공정을 통해 이루어지는 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체 제조방법

청구항 11

제7항에 있어서, 상기 나노 구조물 위에 형성되는 나노 섬의 두께는 반응성 이온식각(RIE)의 처리시간 조절을 통해 제어되는 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체 제조방법

청구항 12

제7항에 있어서, 상기 나노 구는 나노구 리소그래피에 의한 실리콘 기판의 식각 과정시 식각 마스크(mask)로 사용되는 것을 특징으로 하는 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체 제조방법

청구항 13

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 기재된 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체를 구비한 태양전지

청구항 14

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 기재된 광대역 무반사 효과를 갖는 나노 섬이 형성된 나노 구조체를 구비한 광전소자

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 태양전지나 광학표시장치 등의 광전소자에 응용될 수 있는 광반사 방지 기능을 갖는 나노 구조체에 관한 것으로서, 제작공정이 매우 용이하고 고효율 및 광대역의 반사방지 성능을 동시에 구현할 수 있는 광대역 무반사 효과를 갖는 반사방지 나노 섬이 형성된 나노 구조체 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로, 태양전지는 태양전지를 구성하는 반도체 밴드 갭(band gap) 이상의 에너지를 가지는 광자를 수확하

여 전기를 발생시킨다. 태양광은 자외선에서 적외선에 이르는 넓은 영역의 스펙트럼을 가지지만, 지구의 오존층에 의해 300nm 이하의 자외선은 차단되고 반도체 밴드 갭 이상의 에너지를 가지는 광자(photon)만이 전기를 생산하는데 활용된다. 하지만, 태양전지를 구성하는 반도체와 공기(air) 사이의 큰 굴절률 차이로 인해 태양전지 표면에서 태양광의 반사율이 높아지기 때문에 태양전지의 광전변환효율이 크게 저하되는 문제가 있다.

[0003] 이러한 광효율의 문제점을 해결하기 위하여 지금도 많은 연구가 광범위하게 진행되고 있는데, 지금까지 알려진 효과적인 반사방지표면(ARS; Anti Reflection Surface)을 만들기 위한 방법으로는 두 가지 방법이 대표적이다. 그 하나는 1/4분 파장(quarter wavelength) 반사방지막(antireflection coating)을 표면에 코팅하는 것이고 다른 하나는 생체모방(biomimetic) 모스아이(moth-eye) 형상의 배열 구조를 표면에 제작하는 것이다.

[0004] 1/4 파장 반사방지막에 의한 태양광 반사저감 기술은 서로 다른 두 매질 사이에 1/4 파장 두께에 해당하는 중간층을 삽입하여 이중 계면을 구성함으로써, 이들 이중계면으로부터 반사된 태양광이 상쇄간섭(destructive interference)을 일으켜 특정 파장에서의 태양광 반사를 효과적으로 저감시키는 기술이다.

[0005] 이러한 1/4 파장 반사방지막 구조를 적용한 종래기술로서, 대한민국 특허공개 제2012-0029235호에 개시된 '태양전지 및 그 형성방법'이 있다. 상기 선행문헌에서는 태양전지의 기판상에 나노 패턴 및 나노 구조체를 가지는 반사 방지막을 형성하여 나노 패턴을 통해 빛의 투과도를 증가시키고, 나노 구조체를 통해 상쇄간섭에 의한 빛의 반사 손실을 최소화시키도록 하고 있다.

[0006] 그러나, 상기와 같은 1/4파장 반사방지막을 적용한 반사 저감 기술은 제조 공정적인 측면에서 높은 생산성을 갖는 장점이 있지만, 특정한 파장과 입사각에서만 태양광의 반사율을 낮출 수 있기 때문에 광대역에 걸친 태양광 반사 저감 효과를 얻을 수 없다는 단점이 있다.

[0007] 반면, 나노 원뿔(nano cone) 배열 구조로 대표되는 생체모방(biomimetic) 모스아이(moth-eye) 구조는 태양광이 입사되는 주위 매질(air)로부터 태양전지의 반도체 기판까지 순차적으로 증가하는 경사 굴절률(graded index)층을 제공함으로써 프레넬(Fresnel) 반사가 일어나지 않도록 한다.

[0008] 이러한 모스아이 구조를 적용한 종래기술로서, 대한민국 특허출원 제2009-0017439호에 개시된 '나노임프린트용 스탬프 제조방법'이 있다. 상기 선행문헌에서는 태양전지를 포함하는 반도체 장치의 표면에서의 광손실을 감소시키기 위하여, 가시광선 영역에서 반사방지 효과가 뛰어난 200nm 선폭 또는 피치를 갖는 모스아이 구조를 나노 구 리소그래피(nanosphere lithography) 및 나노 임프린트(nano imprint) 공정을 통해 제작하는 방법을 제시하고 있다.

[0009] 그러나, 상기와 같은 모스아이 구조를 적용한 반사 저감 기술은 넓은 범위(광대역)의 스펙트럼과 입사각에서 태양광의 반사율을 낮출 수 있는 효과를 얻을 수는 있지만, 나노 원뿔의 배열 주기(lattice constant)보다 짧은 파장에 대한 반사 저감 효과가 충분하지 않은 단점이 있고, 300nm보다 작은 선폭 또는 피치를 갖는 초소형 모스아이 패턴 구조를 제작하기 위한 제작공정상의 어려움과 안정성 및 재현성 저하를 초래하는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이에, 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 1/4 파장(quarter wavelength)의 반사방지 기능을 갖는 나노섬(nano islands) 구조와 광대역의 생체모사 모스아이(biomimetic moth's eye) 광결정 구조를 결합시킴으로써, 기존 모스아이 광결정 구조의 취약점으로 알려진 매우 작은 나노 구조 패턴을 만들지 않고서도 근자외선(NUV) 영역에서의 광손실까지 획기적으로 감소시킬 수 있는 광대역 무반사 효과를 갖는 반사방지 나노 섬이 형성된 나노 구조체 및 그 제조방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기한 기술적 과제를 해결하기 위한 본 발명은 기판과, 상기 기판 위에 배열되는 복수의 반사방지 나노 구조물을 포함하는 나노 구조체에 있어서, 상기 나노 구조물은 경사굴절률을 제공하는 측면부가 경사진 형태의 광결정 구조물로서, 상기 나노 구조물의 상단에는 1/4 파장(quarter wavelength)의 반사방지 기능을 갖는 나노 섬(nano islands)이 결합된 것을 특징으로 한다.

- [0012] 이때, 상기 기판은 반도체 재질로 구성될 수 있으며, 상기 나노 섬은 이중계면에서 1/4 광학 파장 두께를 구현할 수 있는 재질로 구성될 수 있다.
- [0013] 그리고, 상기 나노 구조물은 원뿔대, 각뿔대, 절두체 중 어느 하나의 형상을 갖도록 구성될 수 있다.
- [0014] 여기서, 상기 나노 구조물 및 나노 섬은 나노구(nano sphere) 리소그래피, 광 리소그래피, 나노 임프린트 공정 중에서 어느 하나의 공정을 거쳐 형성될 수 있다.
- [0015] 이때, 상기 기판 및 나노 구의 식각은 반응성 이온식각(RIE), 유도 결합 플라즈마(ICP)를 이용한 식각 등의 건식 식각이나 수산화칼륨(KOH) 등의 부식액을 이용한 습식 식각 중 어느 하나의 식각 공정을 통해 이루어질 수 있다.
- [0016] 한편, 본 발명은 실리콘 기판 위에 배열된 복수의 나노 구조물 상단에 1/4 파장 대역의 반사방지를 위한 나노 섬이 형성된 나노 구조체를 제조하기 위한 방법에 있어서, 실리콘 기판 위에 복수의 나노 구(nano sphere)를 도포하여 주기적 입자 어레이(periodic particle array)를 형성한 후, 상기 실리콘 기판 및 나노 구를 일정시간 동안 동시에 식각하는 나노구 리소그래피(nanosphere lithography) 공정을 통해 제조되는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 이때, 상기 나노 구는 폴리스티렌(Polystyrene) 재질로 구성되며, 상기 나노 구조물은 원뿔대, 각뿔대, 절두체 중 어느 하나의 형상을 갖도록 식각될 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 실리콘 기판 및 나노 구의 식각은 반응성 이온식각(RIE), 유도 결합 플라즈마(ICP)를 이용한 식각 등의 건식 식각이나 수산화칼륨(KOH) 등의 부식액을 이용한 습식 식각 중 어느 하나의 식각 공정을 통해 수행될 수 있다.
- [0019] 이때, 상기 나노 구조물 위에 형성되는 나노 섬의 두께는 반응성 이온식각(RIE)의 처리시간 조절을 통해 원하는 두께로 조정될 수 있다.
- [0020] 상기 나노 구는 나노구 리소그래피(nanosphere lithography)에 의한 실리콘 기판의 식각 과정시 식각 마스크(mask)로 사용될 수 있다.
- [0021] 한편, 상술한 나노 구조체 제조방법을 통해 제조된 광대역 무반사 기능을 갖는 나노 구조체를 태양전지나 광학 표시장치 등의 광전소자에 응용함으로써, 광손실이 현저하게 감소된 고효율의 광대역 무반사 기능을 갖는 광전소자 장치를 구현할 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 상기한 구성을 갖는 본 발명은 1/4 파장 반사방지 기능을 갖는 나노 섬 구조를 광대역의 생체모사 모스아이 광결정 구조에 서로 융합하여 구성함으로써, 기존 모스아이 광결정 구조의 취약점으로 알려진 매우 작은 나노 구조 패턴을 만들지 않고서도 근자외선(NUV) 영역에서의 광손실까지 획기적으로 감소시킬 수 있고, 제작공정이 매우 용이한 고효율의 광대역 무반사 광결정 나노 구조체의 제공이 가능해지는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명에 따른 반사방지 나노 섬과 나노 원뿔대가 결합된 광결정 나노 구조체를 보여주는 부분 사시도.
- 도 2는 도 1에 도시된 나노 구조체의 단면구조를 도시한 단면도
- 도 3은 본 발명에 따른 반사방지 나노 섬을 갖는 나노 구조체의 제조공정을 순차적으로 보여주는 공정도.
- 도 4는 실리콘 기판 위에 폴리스티렌 나노 구 결정이 도포된 식각 마스크의 광학 사진
- 도 5는 폴리스티렌 나노 섬이 코팅된 나노 구조체를 상부에서 바라본 주사전자현미경 사진
- 도 6은 실리콘 나노 원뿔대 상단에 폴리스티렌 나노 섬이 형성된 나노 구조체 구조를 상세하게 보여주는 주사전자현미경 사진.
- 도 7은 나노 구조체의 단면 모습을 보여주기 위해 집속이온빔(FIB) 가공된 나노 구조체의 단면 사진.
- 도 8은 표면처리되지 않은 실리콘 기판과 나노 구조체 구조로 표면 처리된 실리콘 기판을 비교 도시한 광학 사

진.

도 9는 나노 원뿔대 상단에 반사방지 나노 섬이 있는 샘플과 없는 샘플의 파장에 따른 반사율을 비교 도시한 그래프

도 10은 격자 간격이 360nm인 일반적인 나노 원뿔 구조와 본 발명의 반사방지 나노 섬이 있는 나노 원뿔대 구조에 대한 파장에 따른 반사율을 비교 도시한 그래프

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 본 발명은 현재 광전자 공학(optoelectronics) 분야에서 주로 이용되고 있는 4분의1 파장 반사 방지막을 나노 섬(nano islands)의 개념으로 도입하여, 최근 각광받고 있는 광대역의 생체모사 모스아이(biomimetic moth's eye) 구조에 융합시킴으로써, 기존 광결정 나노 구조체의 반사방지 성능의 한계를 극복할 수 있는 새로운 방법을 제시한다. 이 방법은 나노구 리소그래피(nanosphere lithography)와 반도체 공정 기술을 이용해서 실험적으로 구현할 수 있고, 공정이 어려운 매우 작은 나노 구조를 만들지 않고서도 짧은 파장인 근자외선(NUV) 영역에서의 광손실을 획기적으로 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라, 제작공정이 매우 용이한 고효율 광대역 광결정 나노 구조체를 얻을 수 있다.
- [0025] 이하, 본 발명에 따른 광대역 무반사 효과를 갖는 광결정 나노 구조체 및 그 제조방법에 대한 일 실시 예를 첨부 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0026] 도 1은 본 발명에 따른 반사방지 나노 섬과 나노 원뿔대가 융합된 광대역 무반사 효과를 갖는 광결정 나노 구조체를 도시한 부분 사시도이고, 도 2는 도 1에 도시된 나노 구조체의 단면구조를 보여주는 단면도이다.
- [0027] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명에 따른 광대역 무반사 광결정 나노 구조체(150)는 실리콘 기판(110) 위에 일정한 격자 간격을 이루며 어레이(array) 형태로 배열되는 복수의 나노 원뿔대(nano conical frustum; 120)와, 상기 나노 원뿔대(120)의 상단부에 일정 두께를 가지며 형성되는 복수의 나노 섬(nano islands; 140)을 포함한다.
- [0028] 상기 나노 원뿔대(120)는 윗면이 평평한 원뿔 형태로 이루어지며, 실리콘 기판(110)과 동일한 실리콘(silicone) 재질로 구성된다. 이러한 나노 원뿔대(120)는 광이 입사되는 주위 매질(air)로부터 기판까지 순차적으로 증가하는 경사 굴절률(graded refractive index)을 제공함으로써, 서로 다른 두 매질, 즉 공기와 기판 사이의 경계면에서 프레넬(Fresnel) 반사가 일어나지 않도록 하는 기능을 한다. 이때, 상기 나노 원뿔대(120) 형상 이외에 각뿔대 등과 같은 측면 경사가 있는 다양한 형태의 나노 절두체 형상으로 구현하는 것도 가능하다.
- [0029] 상기 나노 섬(140)은 나노 원뿔대(120)의 평평한 상단 부분에 일정한 두께를 가지며 형성되는 타원형 섬(island) 형태의 반사방지 코팅막으로서, 폴리스티렌(Polystyrene) 재질로 구성되며 1/4 파장(quarter wavelength) 대역의 광 반사방지 기능을 한다. 이때, 상기 나노 섬(140)의 재질은 상기한 폴리스티렌 재질 외에 이중계면에서 1/4 파장 반사방지 기능을 구현할 수 있는 다양한 재질로 구성이 가능하다.
- [0030] 즉, 상기한 본 발명의 나노 구조체(150)에 있어서, 나노 원뿔대(120)는 그 배열 간격(격자 간격) 보다 더 긴 가시광선 파장의 굴절률 구배를 야기시키도록 하고, 상기 1/4 파장 반사방지 기능을 갖는 나노 섬(140) 코팅은 나노 원뿔대(120)의 배열 간격보다 짧은 근자외선(NUV) 파장의 반사율을 낮추는 기능을 한다.
- [0031] 상기한 나노 원뿔대(120)와 나노 섬(140)이 결합된 형태의 광결정 나노 구조를 갖는 본 발명의 나노 구조체(150)는 나노구 리소그래피(nanosphere lithography) 방법을 이용하여 제작된다.
- [0032] 즉, 후술되는 도 3의 나노 구조체(150) 제조공정에서 보인 바와 같이, 실리콘 기판(110) 위에 폴리스티렌 나노 구(130)를 도포하여 주기적 입자 어레이(periodic particle array) 형태로 만든 다음, 상기 나노 구(130)를 식각 마스크(mask)로 하여 반응성 이온식각(reactive ion etching; RIE)을 일정시간 동안 수행함으로써, 도 1과 같은 완성된 형태의 나노 구조 외형을 갖는 나노 구조체(150)를 제조할 수 있다.
- [0033] 이때, 상기 나노 구조체(150)에 있어서, 나노 원뿔대(120) 상단에 형성된 나노 섬(140)의 두께는 반응성 이온식각(RIE)이 진행되는 시간에 따라 크기가 점차 줄어들게 된다. 따라서, 반응성 이온식각(RIE) 처리시간을 조정하게 되면 나노 섬(140)의 두께를 원하는 두께로 조정하는 것이 가능하다.
- [0034] 참고로, 도 2에서 미설명 부호 D_{base} 는 나노 원뿔대(120)의 밑면의 지름, D_{top} 는 나노 원뿔대(120)의 윗면 지름, H 는 나노 원뿔대(120)의 높이, $T_{\lambda/4}$ 는 나노 섬(140)의 중심부 두께를 나타낸다.
- [0035] 상기 나노 구조체(150)는 위와 같은 나노구 리소그래피 공정 이외에, 감광제에 마스크를 통해 광원을 노출시켜

마스크의 패턴을 전사하는 광 리소그래피 공정이나, 패턴이 표면에 돌출되어 있는 스탬프를 열 경화제 또는 감광제에 캐스팅하는 나노 임프린트 공정, 또는 전자빔 리소그래피(e-beam lithography) 등과 같은 다양한 패터닝 공정 과정을 통해 형성될 수 있다.

- [0036] 도 3은 본 발명에 따른 광대역 무반사 광결정 나노 구조체(150)의 제조공정을 순차적으로 보여주는 공정도이다.
- [0037] 도 3을 참조하면, 본 발명의 광결정 나노 구조체(150) 제조방법은, 먼저, (a)와 같이 실리콘 기판(110) 위에 폴리스티렌(Polystyrene) 재질로 이루어진 복수의 나노 구(130)를 도포하여 나노 구(130)가 주기적 입자 어레이(periodic particle array) 형태로 배열되도록 한다.
- [0038] 여기서, 상기 실리콘 기판(110) 위에 도포되는 단층의 나노 구(130) 결정(crystal)들은 자기조립(self-assembly)을 통해 패턴 형성을 위한 식각 마스크(etching mask)로 활용된다.
- [0039] 상기와 같이 실리콘 기판(110) 위에 나노 구(130)가 배열된 상태로 준비되면, 다음으로, 상기 자기조립된 단층의 나노 구(130) 결정들을 나노 구조 패턴 형성을 위한 식각 마스크(etching mask)로 활용하여 반응성 이온식각(reactive ion etching; RIE)을 수행한다. 이때, 상기 반응성 이온식각(RIE) 공정은 비활성 플라스마 기체(SF₆/C₄F₈/O₂) 가스 환경 하에서 이루어지게 된다.
- [0040] 이와 같이 나노 구(130)를 이용한 반응성 이온식각(RIE)이 진행되면 (b)에 나타난 것과 같이 나노 구(130) 마스크의 횡방향 지름이 점차 감소되는 한편, 상기 나노 구(130) 밑에 있는 실리콘 기판(110)의 식각 면적이 증가하게 되는 물리화학적 등방성 식각(isotropic etching) 작용이 이루어지게 된다.
- [0041] 그리고, 이와 같은 나노 구(130) 및 실리콘 기판(110)의 식각 작용이 일정 시간 동안 진행되면, (c)에서 보는 형태와 같이 실리콘 나노 원뿔대(120) 위에 타원형 나노 섬(140)이 올라가 있는 형태의 완성된 광결정 나노 구조체(150) 구조가 얻어질 수 있다.
- [0042] 이때, 상기 나노 원뿔대(120) 위에 형성된 나노 섬(140)의 두께(T_{λ/4})는 플라스마 기체(SF₆/C₄F₈/O₂)의 혼합 조성과 반응성 이온식각(RIE)의 처리시간 조절을 통해 조정될 수 있다.
- [0043] 그리고, 상기 실리콘 기판(110) 및 나노 구(130)의 식각은 상기한 반응성 이온식각(Reactive-Ion Etch; RIE) 공정 외에, 플라스마에 의해 활성화된 라디칼, 전자 등을 이용하여 식각하는 유도 결합 플라스마(Inductively Coupled Plasma; ICP)를 이용한 건식 식각 공정이나 또는 수산화칼륨(KOH) 등의 부식액을 이용한 습식 식각 공정을 통해 수행될 수도 있다.
- [0044] 도 4 및 도 5는 전술된 본 발명의 나노 구조체(150) 제조 공정에 있어, 실리콘 기판(110) 위에 증착되는 폴리스티렌 나노 구(130) 결정의 실물 광학 사진과 주사전자현미경 이미지를 각각 보여주고 있다.
- [0045] 도 4의 광학 사진에서 볼 수 있듯이, 실리콘 기판 위에 360nm 직경의 폴리스티렌 나노 구가 육각형의 조밀한 2D 격자구조를 성공적으로 형성하게 된다면, 나노 구 결정을 통해 회절된 무지개빛 색을 육안으로 관찰하는 것이 가능하다.
- [0046] 도 6은 본 발명의 실리콘 나노 원뿔대 상단에 폴리스티렌 나노 섬이 코팅된 광결정 나노 구조체 구조를 상세하게 보여주는 주사전자현미경 사진이고, 도 7은 집속이온빔(Focused Ion Beam; FIB) 가공을 통해 생성된 나노 구조체의 단면 사진을 보여주고 있다.
- [0047] 도 6에 도시된 본 발명의 나노 구조체(150) 구조에서 나노 원뿔대(120) 상단에 잔류되는 폴리스티렌 나노 섬(140)은 SDRIE(single-step deep reactive ion etching) 과정의 O₂ 기체량과 식각 시간의 조절을 통해 그 형상 및 두께 조절이 가능하다. 그리고, 본 발명에 따른 나노 구조체(150)의 측벽 프로파일(profile)은 도 7에서 보는 것과 같이 집속이온빔(FIB)을 사용하여 가공된 큰 직사각형 홀을 통해 그의 단면 구조를 살펴볼 수 있다.
- [0048] 참고로, 도 8은 상기한 본 발명의 반사방지 나노 구조로 표면처리된 실리콘 기판(Surface textured Si)과, 표면처리가 되지 않은 실리콘 기판(Bare Si) 샘플의 모습을 비교하여 도시한 사진이다.
- [0049] 한편, 상기와 같은 나노구 리소그래피(nanosphere lithography) 방법을 이용하여 제작된 본 발명의 광대역 무반사 광결정 나노 구조체(150)에 있어서, 나노 원뿔대(120) 상단에 형성된 반사방지 코팅막인 나노 섬(140)의 효과는 아래와 같이 실험적으로도 입증 가능하다.
- [0050] 도 9는 본 발명에 따른 반사방지 나노 섬(140)을 갖는 나노 구조체(150)의 광반사 효율을 측정한 실험 그래프로

서, 나노 원뿔대(120) 상단에 형성된 반사방지 나노 섬(140)의 중심 두께가 각각 90nm와 110nm인 나노 구조체 샘플과, 나노 원뿔대(120) 상단에 반사방지 나노 섬(140)이 없는 샘플의 파장(wavelength)에 따른 반사율(Reflectance)을 측정한 것이다.

- [0051] 여기서, 위의 샘플 실험에 사용된 모든 샘플의 격자 간격은 500nm로 동일한 것을 사용하였다.
- [0052] 도 9의 나노 구조체 샘플 실험에서, (a)와 (a')의 차이는 동일한 나노 원뿔대(120) 구조에 대하여 폴리스티렌 나노 섬(140) 타원체(중심 두께 90nm)가 있는 샘플(a)과 없는 샘플(a')이다.
- [0053] 그리고, 본 샘플 실험에 있어, (a') 샘플은, 먼저 나노 섬이 있는 구조의 (a) 샘플을 제작하여 반사율을 측정 한 후, 측정한 (a) 샘플을 폴리스티렌을 녹일 수 있는 용액으로 세척하여 나노 원뿔대 위의 나노 섬 부분을 제거하 고 반사율을 측정하였다. 이와 같이 하는 이유는 각 샘플 간의 미세한 형상 차이로 인한 반사율 차이가 나지 않 도록 하기 위함이다. 또한, (b)와 (b') 샘플은 위의 (a) 및 (a') 샘플과 동일하되, 폴리스티렌 나노 섬(140) 타 원체의 중심 두께가 110nm로 형성된 경우이다.
- [0054] 도 9의 (a)와 (a') 샘플의 반사율 비교 결과 및 (b)와 (b') 샘플의 반사율 비교 결과를 통해 알 수 있듯이, 300nm~400nm의 파장 범위에서는 파장 값보다 큰 500nm의 격자 간격을 갖는 나노 구조체(a')(b')만으로는 감소시 키기 어려웠던 광반사율이 나노 섬과 나노 원뿔대가 결합된 형태의 나노 구조체(a)(b)에서 현저히 감소된 것을 확인할 수 있다. 이처럼 나노 원뿔대 위에 코팅된 본 발명의 반사방지 나노 섬이 반사율을 감소시키는 원인으로 작용하였음을 알 수 있다.
- [0055] 아울러, 점진적 굴절률(Gradient refractive-index; GRIN)을 갖는 반사방지 구조체인 기존의 나노 원뿔 (nanocone) 모양의 나노 구조체(c)의 반사율과 비교해 볼 때에도, 본 발명의 폴리스티렌 반사방지 나노 섬 코팅 막이 형성된 나노 원뿔대 형태의 나노 구조체(a) 반사율이 더 작은 것을 확인할 수 있다. 이처럼 본 발명에 따 른 광결정 나노 구조체 구조는 나노 섬이 없는 반사방지 나노 구조체보다 우수한 반사방지 성능을 보임을 알 수 있다.
- [0056] 한편, 도 10은 전술된 도 9의 샘플보다 격자 간격이 작은(격자 간격: 360nm)나노 원뿔 샘플과 반사방지 나노 섬 이 형성된 나노 원뿔대 샘플에 대한 파장에 따른 반사율을 측정한 그래프이다.
- [0057] 여기서, (a)와 (b) 샘플은 점진적 굴절률(GRIN)을 갖는 기존의 반사방지 구조체인 뿔족한 끝을 갖는 나노 원뿔 (nano cone) 형상의 샘플로서, 나노 원뿔 (a)는 높이(H)가 300nm, 밑면 지름(D_{base})이 230nm인 샘플이고, 나노 원뿔 (b)는 높이(H)가 370nm, 밑면 지름(D_{base})이 200nm인 샘플이다.
- [0058] 그리고, (c)와 (d) 샘플은 나노 원뿔대 상단에 폴리스티렌 나노 섬 타원체가 있는 샘플로서, (c)와 (d) 샘플은 높이(H)가 동일하게 320nm이고, 윗면 지름(D_{top})은 각각 90nm, 190nm인 샘플이다.
- [0059] 또한, 도 10의 주사현미경 사진에서 (a), (b), (c), (d) 샘플 아래에 보이는 (a'), (b'), (c'), (d')는 상기 (a), (b), (c), (d) 샘플을 상부에서 바라본 모습을 보여주는 것으로서, 각 샘플을 500nm의 스케일로 확대한 이 미지 사진이다.
- [0060] 도 10의 반사율 측정 실험 그래프로부터 확인할 수 있듯이, 300nm~400nm의 파장 범위에서 기존의 나노 원뿔 형 태를 갖는 나노 구조체 (a)와 (b)의 평균 반사율은 약 9.2% 정도로 측정된 반면, 본 발명의 폴리스티렌 나노 섬 코팅을 갖는 나노 구조체 (c)와 (d)의 평균 반사율은 각각 4.8%와 3.8% 정도로 낮게 측정되었다. 이처럼 본 발 명의 나노 섬 코팅막을 갖는 나노 구조체가 기존의 형태의 나노 구조체보다 평균 반사율이 현저하게 낮아진 것 을 확인할 수 있다.
- [0061] 아울러, (c)와 (d)의 반사율 비교를 통해 알 수 있듯이, 실리콘 나노 원뿔대 상단의 1/4 파장 반사방지 나노 섬 이 좁게 올라가 있는 샘플(c)보다 더 넓게 올라가 있는 샘플(d)의 반사율 저감 효과가 우수함을 확인할 수 있다. 이를 통해 본 발명의 폴리스티렌 나노 섬 코팅막에 의한 반사방지 성능이 매우 뛰어나다는 것을 알수 있 다.
- [0062] 결론적으로, 상술한 나노 구조체 샘플 실험을 통해 폴리스티렌 나노 구 마스크를 이용한 SDRIE(single-step deep reactive ion etching)에 의해 제작된 실리콘 나노 원뿔대(120) 어레이(array)와, 상기 나노 원뿔대(120) 상단에 코팅된 반사방지 나노 섬(140)에 의한 광대역 광학 반사방지 기능을 향상시킨 새로운 형태의 나노 구조 물의 효과를 입증하였다.
- [0063] 상술한 바와 같이, 본 발명은 원뿔대 형태의 나노 광결정 배열 구조를 채용하여 경사 굴절률을 제공함으로써 나

노 구조의 배열 주기보다 긴 파장에 대한 무반사 구조를 구현할 수 있고, 이러한 원뿔대 나노 구조 위에 1/4 파장 반사방지 코팅막인 나노 섬을 결합함으로써, 나노 구조 패턴 배열 주기보다 짧은 파장에 대한 반사저감 효과를 동시에 구현할 수 있는 광결정 나노 구조체를 제공할 수 있다. 특히, 기존의 모스아이 광결정 구조의 취약점으로 알려진 매우 작은 나노 구조 패턴을 만들지 않고서도 근자외선(NUV) 영역에서의 광손실까지 획기적으로 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

[0064] 또한, 반사방지 코팅막인 나노 섬을 갖는 본 발명의 나노 구조체 제조에 있어서도, 나노구 리소그래피(nanosphere lithography) 방법만을 이용하여 광대역 무반사 효과를 갖는 고효율의 나노 구조체 제작이 가능하고, 제작이 매우 용이하기 때문에 높은 생산성을 구현할 수 있는 장점이 있다.

[0065] 이상에서는 본 발명의 바람직한 실시 예를 설명하였으나, 본 발명의 범위는 이같은 특정 실시 예에만 한정되지 않으며, 해당분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 특허청구범위 내에 기재된 범주 내에서 적절하게 변경이 가능할 것이다.

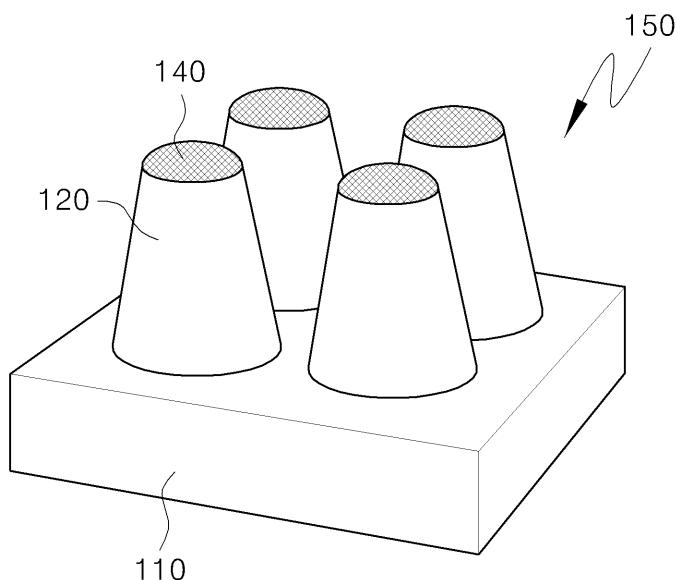
부호의 설명

[0066]

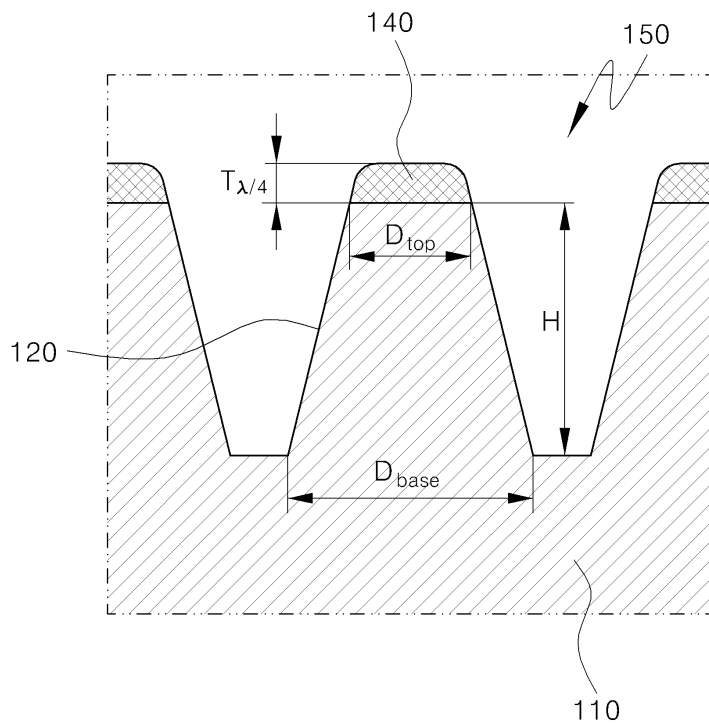
110 : 실리콘 기관	120 : 나노 원뿔대
130 : 나노 구(nano sphere)	140 : 나노 섬(nano islands)
150 : 나노 구조체	

도면

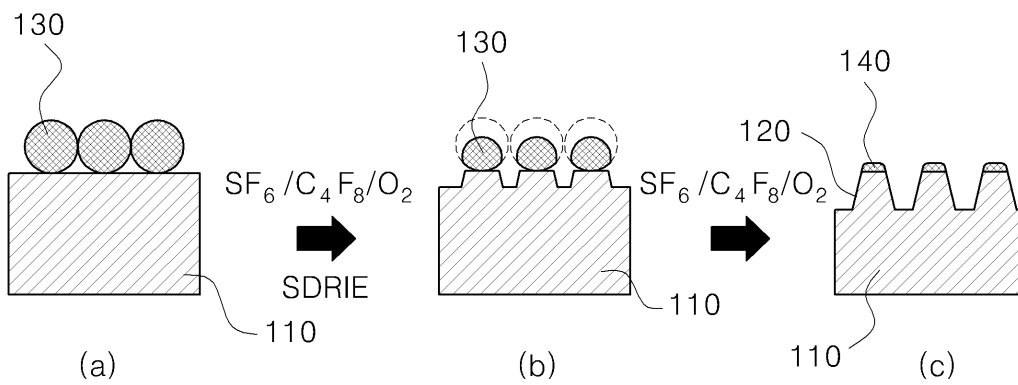
도면1



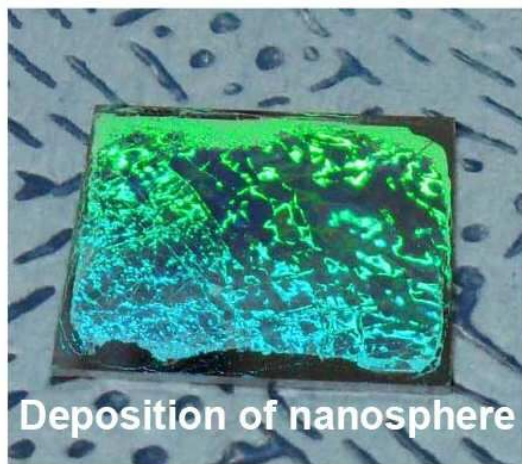
도면2



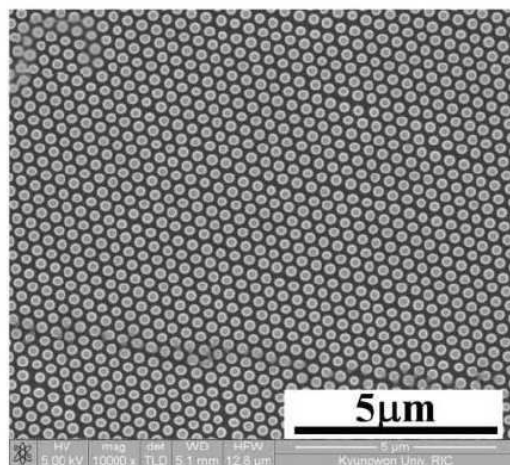
도면3



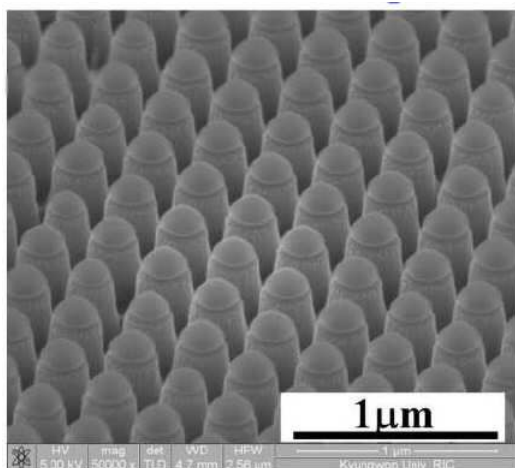
도면4



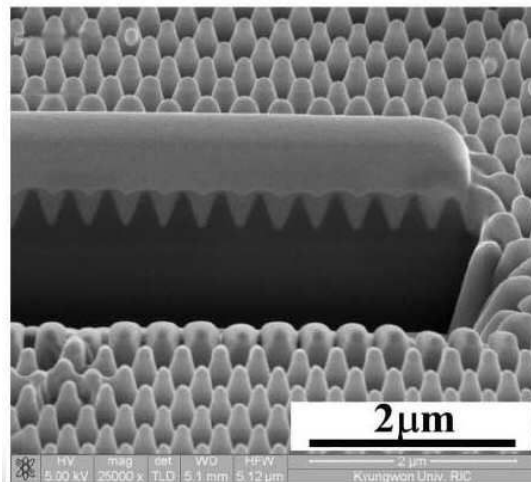
도면5



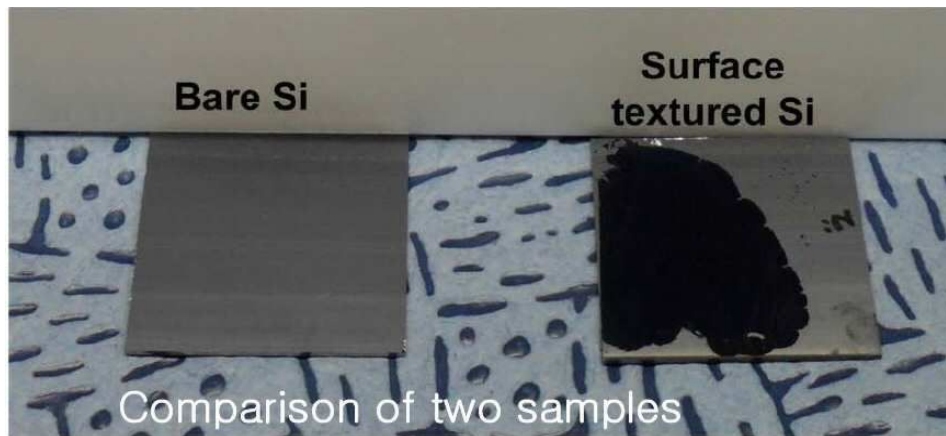
도면6



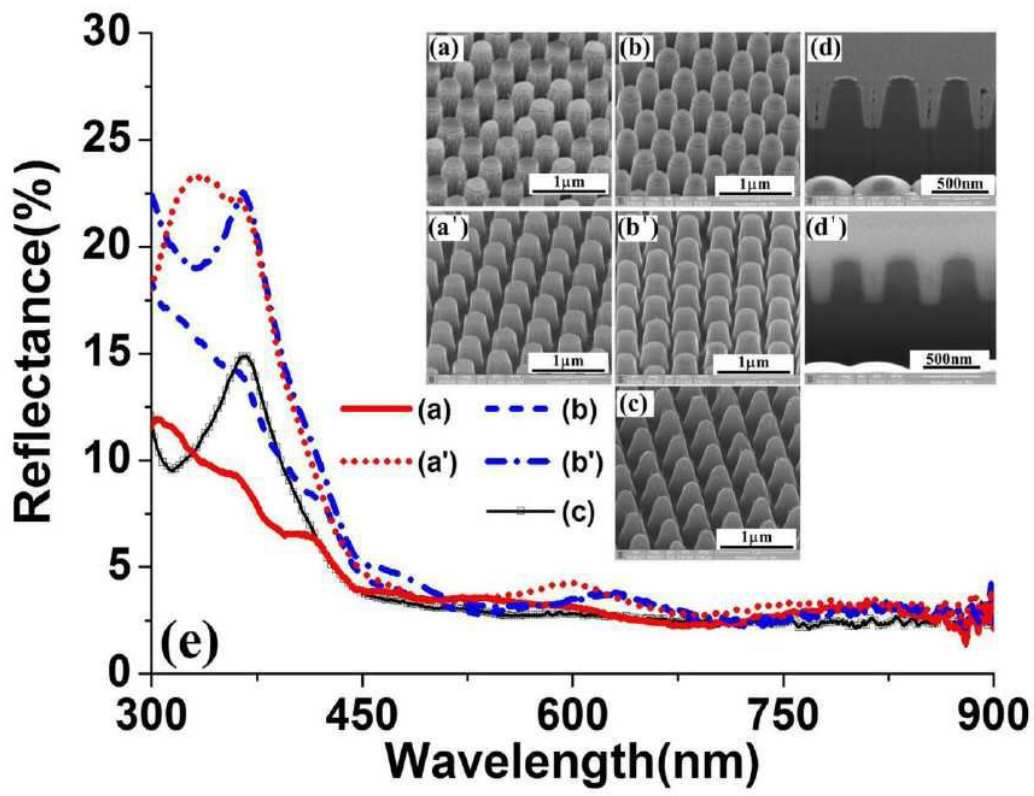
도면7



도면8



도면9



도면10

