



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월16일  
(11) 등록번호 10-1536995  
(24) 등록일자 2015년07월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
B82B 1/00 (2006.01) B82B 3/00 (2006.01)  
C09K 11/00 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2013-0119295  
(22) 출원일자 2013년10월07일  
심사청구일자 2013년10월07일  
(65) 공개번호 10-2015-0040589  
(43) 공개일자 2015년04월15일  
(56) 선행기술조사문헌  
US20100119825 A1  
CRYST. GROWTH DES., 2012, 12 (3), PP  
1292-1298.\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
한국과학기술원  
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)  
(72) 발명자  
조용훈  
대전 유성구 대학로 291, (구성동, 한국과학기술원)  
김제형  
대전 유성구 대학로 291, KI빌딩 C403호 (구성동, 한국과학기술원)  
(74) 대리인  
특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 17 항

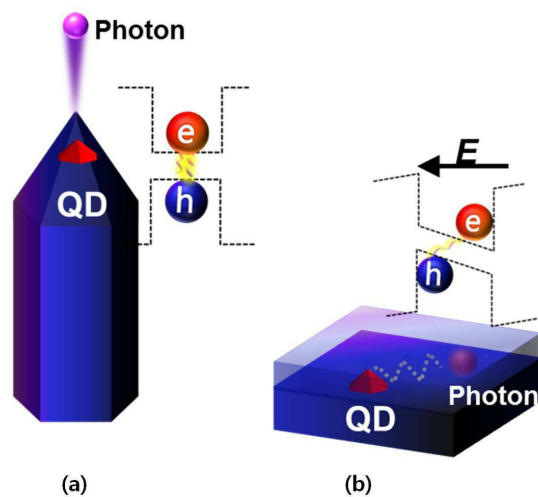
심사관 : 이소영

(54) 발명의 명칭 양자구조를 포함하는 나노구조체, 이의 제조방법 및 이를 포함하는 광자 방출 소자

(57) 요약

본 발명은 양자구조를 포함하는 나노구조체에 관한 것으로, 보다 구체적으로 원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크 나노구조체로서, 상기 오벨리스크 나노구조체의 적어도 일부분에 형성된 양자구조를 포함하는 나노구조체, 이의 제조방법 및 이를 이용한 광자 방출 소자에 관한 것이다. 본 발명에 의한 양자구조를 포함하는 나노구조체는 높은 광추출 효율 및 발광 재결합 효율이 우수하고, 단일 양자구조의 위치 확인이 용이하여 고효율의 광자 방출 소자를 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크(obelisk) 나노구조체로서,  
상기 오벨리스크 나노구조체의 적어도 일부분에 형성된 양자구조를 포함하며,  
상기 오벨리스크 나노구조체의 상단의 꼭지점 부분에 양자점이 형성되고,  
상기 오벨리스크 나노구조체의 상단 또는 전면에 양자구조가 더 형성되며,  
상기 상단 또는 전면에 형성된 양자구조는 양자우물(quantum well), 양자섬(quantum island), 양자 디스크 및 양자선(quantum wire)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것인,  
양자구조를 포함하는 나노구조체.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

청구항 6은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.

제1항에 있어서,

상기 양자구조 상에 보호층이 더 형성된 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 오벨리스크 나노구조체 및 상기 양자구조는, 서로 동일하거나 또는 상이한 화합물로 이루어진 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체.

#### 청구항 8

제7항에 있어서,

상기 양자구조는 오벨리스크 나노구조체에 비하여 낮은 밴드 갭을 갖는 화합물인 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체.

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 오벨리스크(obelisk) 나노구조체 및 상기 양자구조는, II-VI족 화합물 반도체, III-V족 화합물 반도체, IV-VI족 화합물 반도체, IV족 화합물 반도체; 및 이들의 n-형 및 p-형 반도체 화합물; 로 이루어진 무기화합물 반도체 중 1종 이상을 포함하는 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체.

**청구항 10**

제1항에 있어서,

상기 양자구조를 포함하는 나노구조체는 코어 및 상기 코어의 적어도 일부분을 둘러싸는 셸로 이루어진 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 코어는 오벨리스크 나노 구조체이며, 상기 오벨리스크 나노 구조체의 적어도 일부분에 양자점을 형성하고, 상기 오벨리스크 나노 구조체는 n-형 무기화합물 반도체를 포함하고, 상기 셸은 p-형 무기화합물 반도체를 포함하는 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체.

**청구항 12**

제1항에 있어서,

상기 양자구조를 포함하는 나노구조체는 제1 화합물층, 상기 제1 화합물층 상에 형성된 제2 화합물의 양자구조층 및 상기 양자구조층 상에 형성된 제3 화합물층으로 이루어진 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체.

**청구항 13**

제12항에 있어서,

상기 제1 화합물층 및 제3 화합물층은 서로 상이하거나 동일하고, n-형 무기화합물 반도체 및 p-형 무기화합물 반도체 중 1종 이상을 포함하는 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체.

**청구항 14**

제1항 및 제6항 내지 제13항 중 어느 한 항의 양자구조를 포함하는 나노구조체를 포함하는 광자 방출 소자.

**청구항 15**

기판 상에 제1 화합물 층을 형성하는 단계;

기판의 가스를 이용하여 제1 화합물 층을 식각하여 제1 화합물 템플릿을 형성하는 단계, 상기 제1 화합물 템플릿은 원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크(obelisk) 나노구조체이며; 및

상기 제1 화합물 템플릿의 적어도 일부분에 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계; 를 포함하고,

상기 오벨리스크 나노구조체의 상단의 꼭지점 부분에 양자점이 형성되고,  
상기 오벨리스크 나노구조체의 상단 또는 전면에 양자구조가 더 형성되며,  
상기 상단 또는 전면에 형성된 양자구조는 양자우물(quantum well), 양자섬(quantum island), 양자 디스크 및 양자선(quantum wire)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것인,  
양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 16**

제15항에 있어서,  
상기 가스는, 염소계 가스인 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 17**

청구항 17은(는) 설정등록료 납부시 포기되었습니다.  
제16항에 있어서,  
상기 염소계 가스는, Cl<sub>2</sub>, HCl, CCl<sub>4</sub> 및 BCl<sub>3</sub>로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 18**

제15항에 있어서,  
상기 제1 화합물 템플릿을 형성하는 단계는, 600 °C 이상에서 이루어지는 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 19**

제15항에 있어서,  
상기 제1 화합물 템플릿을 형성하는 단계는, 화학기상식각공정(chemical vapor-phase etching process)으로 이루어지는 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 20**

제15항에 있어서,  
상기 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계는, MOCVD(metal-organic chemical vapour deposition), MBE(Molecular Beam Epitaxy) 및 HVPE(Hydride Vapour Phase Epitaxy) 중 1종 이상을 이용하는 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 21**

제15항에 있어서,  
상기 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계는, 650 내지 850 °C에서 실시되는 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 22**

제15항에 있어서,

상기 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계 이후에, 상기 나노 구조체의 적어도 일부분을 둘러싸는 셸을 형성하는 단계를 더 포함하는 것인, 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 23**

기판 상에 제1 화합물층을 형성하는 단계;

상기 제1 화합물층 상에 제2 화합물의 양자구조층을 형성하는 단계;

상기 양자구조층 상에 제3 화합물층을 형성하는 단계를 포함하는 층상의 구조체를 형성하는 단계; 및

상기 층상의 구조체를 기상의 가스로 식각하여 양자구조를 포함하는 나노구조체를 형성하는 단계를 포함하고, 상기 나노구조체는 원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크(obelisk) 나노구조체이며; 및

상기 나노구조체를 형성하는 단계 이후에 제2 화합물의 양자구조층을 재성장하는 단계; 를 포함하고,

상기 오벨리스크 나노구조체의 상단의 꼭지점 부분에 양자점이 형성되고,

상기 오벨리스크 나노구조체의 상단 또는 전면에 양자구조가 더 형성되며,

상기 상단 또는 전면에 형성된 양자구조는 양자우물(quantum well), 양자섬(quantum island), 양자 디스크 및 양자선(quantum wire)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것인,

양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법.

**청구항 24**

삭제

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 양자구조를 포함하는 나노구조체, 이의 제조방법 및 이를 포함하는 광자 방출 소자에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 양자점(quantum dot)은 나노 크기의 결정 구조체이며, 상기 양자점의 밴드갭이 반도체 내의 두 운반자(carrier)인 전자와 정공 모두의 움직임을 삼차원적으로 제한하는 양자역학적인 구속(quantum confinement) 효과를 나타내는 물질이다. 이러한 양자점의 전기적, 화학적 특성을 조절하여 단일광자원(양자광원) 적외선 검출기, 레이저, 발광 다이오드, 트랜지스터 및 태양전지 등과 같은 반도체 양자 광소자, 광전변화 소자로의 적용이 가능하다.

[0003] 특히, 반도체 양자점은 높은 구동 온도, 안정성, 빠른 광자 방출, 전류 구동 가능성 등을 나타낼 수 있으므로, 이를 기반으로 하여 단일 광자원으로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 예를 들어, 단전자 메모리와 단광자 광원 등의 나노 전자소자 및 단광자 방출 소자(single photon emitter) 등의 나노 광소자로의 적용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 상기 단광자 소자로서 반도체 자발 형성 양자점, 콜로이드 양자점, 나노선에 내재된 양자점 등이 연구되고 있으나, 물질적 및 구조적인 측면에서 한계점을 가지고 있다. 예를 들어, 상기 자발 형성 양자점은 평면 구조 안에 양자점들이 높은 밀도로 묻혀 있어 단일 양자점 하나의 특성으로 보기가 어렵고, 광자 방출 효율이 매우 제한되는 한계가 있다(도 1b). 또한, 구성하는 층 사이의 응력으로 인한 내부 전기장 효과 때문에 전자와 정공 사이의 재결합이 어려워져 내부 양자 효율이 낮은 문제점이 있다. 또한, 콜로이드 양자점, 나노선에 내재된 양자점은 단일 양자점의 확보가 어렵거나 또는 포지셔닝(Positioning) 및 광안정성의 확보

가 어려워 소자화하는데 한계점이 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0004] 본 발명은 전술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 광추출 효율 및 발광 재결합 효율이 우수하면서 단일 양자구조의 획득이 용이한, 양자구조를 포함하는 나노구조체, 이의 제조방법 및 이를 포함하는 광자 방출 소자를 제공하는 것이다.

[0005] 그러나, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0006] 본 발명의 하나의 양상은,

[0007] 원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크(obelisk) 나노구조체로서, 상기 오벨리스크 나노구조체의 적어도 일부분에 형성된 양자구조를 포함하는 나노구조체에 관한 것이다.

[0008] 상기 양자구조는, 양자우물(quantum well), 양자섬(quantum island), 양자점(quantum dot), 양자 디스크(quantum disk) 및 양자선(quantum wire)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0009] 상기 오벨리스크 나노구조체의 적어도 일부분은 상단의 꼭지점 부분이고, 상기 양자구조는 양자점일 수 있다. 또한, 상기 오벨리스크 나노구조체의 상단 또는 전면에 양자우물이 더 형성될 수 있다.

[0010]

[0011] 상기 오벨리스크(obelisk) 나노구조체 및 상기 양자구조는, II-VI족 화합물 반도체, III-V족 화합물 반도체, IV-VI족 화합물 반도체, IV족 화합물 반도체; 및 이들의 n-형 및 p-형 반도체 화합물; 로 이루어진 무기화합물 반도체 중 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 양자구조를 포함하는 나노구조체는 코어 및 상기 코어의 적어도 일부분을 둘러싸는 셸로 이루어질 수 있다.

[0013] 상기 코어는 오벨리스크 나노 구조체이며, 상기 오벨리스크 나노 구조체의 적어도 일부분에 양자점을 형성하고, 상기 오벨리스크 나노 구조체는 n-형 무기화합물 반도체를 포함하고, 상기 셸은 p-형 무기화합물 반도체를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 양자구조를 포함하는 나노구조체는 제1 화합물층, 상기 제1 화합물층 상에 형성된 제2 화합물의 양자구조층 및 상기 양자구조층 상에 형성된 제3 화합물층으로 이루어질 수 있다.

[0015] 상기 제1 화합물층 및 제3 화합물층은 서로 상이하거나 동일하고, n-형 무기화합물 반도체 및 p-형 무기화합물 반도체 중 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 다른 양상은, 양자구조를 포함하는 나노구조체를 포함하는 광자 방출 소자에 관한 것이다.

[0017] 본 발명의 또 다른 양상은, 기판 상에 제1 화합물 층을 형성하는 단계; 기상의 가스를 이용하여 제1 화합물 층을 식각하여 제1 화합물 템플릿을 형성하는 단계, 상기 제1 화합물 템플릿은 원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크 나노구조체이며; 및 상기 제1 화합물 템플릿의 적어도 일부분에 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계; 를 포함하는 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법에 관한 것이다.

[0018] 본 발명의 또 다른 양상은, 기판 상에 제1 화합물층을 형성하는 단계; 상기 제1 화합물층 상에 제2 화합물의 양자구조층을 형성하는 단계; 상기 양자구조층 상에 제3 화합물층을 형성하는 단계를 포함하는 층상의 구조체를 형성하는 단계; 및 상기 층상의 구조체를 기상의 가스로 식각하여 양자구조를 포함하는 나노구조체를 형성하는 단계; 를 포함하고, 상기 나노구조체는 원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크 나노구조체인 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법에 관한 것이다.

**발명의 효과**

[0019] 본 발명은 광추출 효율 및 발광 재결합 효율이 우수한 단일 양자구조를 포함하는 나노 구조체를 제공할 수 있다. 특히, 본원발명은 상기 나노 구조체 상단의 나노 팁 부분에 양자 구조가 결합될 경우에, 단일 양자 구조의 위치 확인이 용이하고 다양한 광자 방출 소자로의 적용이 가능하다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 본 발명에 의한 나노구조체(1a) 및 종래의 나노구조체(1b)를 나타낸 것이다.
- 도 2 내지 도 5는 본 발명에 의한 나노구조체의 형태를 나타낸 것이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 의한 나노구조체의 Cross-sectional STEM 이미지를 나타낸 것이다.
- 도 7은 본 발명의 실시예에 의한 나노구조체의 Cross-sectional STEM 이미지를 나타낸 것이다.
- 도 8은 본 발명의 실시예에 의한 나노구조체의 Cross-sectional STEM 이미지를 나타낸 것이다.
- 도 9는 본 발명의 실시예 및 비교예에 의한 나노구조체의 광추출 효율을 나타낸 것이다.
- 도 10은 본 발명의 실시예 및 비교예에 의한 나노구조체의 발광 재결합 속도를 나타낸 것이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 이하, 본 발명에 관하여 보다 상세하게 설명한다.
- [0022] 본 발명은 양자구조를 포함하는 나노구조체에 관한 것으로, 상기 양자구조를 포함하는 나노구조체는 단일 양자점의 획득이 용이하고, 양자점의 광추출 효율의 개선, 내부 전기장 감소 효과 등이 뛰어나 단일 양자 광원으로 적용될 수 있다.
- [0023] 상기 나노구조체는 수직형 나노구조체로서, 원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크(obelisk) 나노구조체이다. 상기 오벨리스크 나노구조체의 적어도 일부분에 양자구조가 형성된다.
- [0024] 상기 양자구조는 양자우물(quantum well), 양자섬(quantum island), 양자점(quantum dot), 양자 디스크(quantum disk) 및 양자선(quantum wire)으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있으나, 이에 제한하는 것은 아니다. 상기 양자구조는 오벨리스크 나노구조체의 적어도 일부분에서 1종 이상; 및 단일 또는 복수층으로 형성될 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 오벨리스크 나노구조체의 적어도 일부분은, 상단의 적어도 일부분이며, 바람직하게는 상단의 꼭지점 부분에 양자구조가 형성될 수 있다(도 1a). 예를 들어, 피라미드 형상의 꼭지점, 즉 나

노 팁에 양자점이 결합될 수 있다. 이러한 오벨리스크 나노구조체는 응력을 감소시켜 내부 전기장 상쇄 효과를 제공하고, 이로 인하여 내부 양자 효율을 증가시킬 수 있다. 또한, 오벨리스크의 꼭지점 부분에 양자 구조가 결합되어 있으므로, 빛이 외부로 쉽게 빠져나올 수 있다.

[0026] 상기 상단의 꼭지점 부분에 양자점이 형성된 오벨리스크 나노구조체의 상단 부분, 몸통 부분 또는 전면에 1종 이상의 양자구조가 더 형성될 수 있고, 바람직하게는 양자우물이다. 예를 들어, 나노구조체의 꼭지점에 양자점이 형성되고, 나노구조체의 전면에 양자우물이 형성될 수 있다(도 2). 상기 양자우물은 단일 또는 복수층으로 형성될 수 있다.

[0027] 상기 나노구조체의 직경은 특별히 제한하지 않으나, 50 nm 이상, 바람직하게는 100 nm 내지 100 um, 더 바람직하게는 100 nm 내지 5 um 일 수 있다. 상기 나노구조체의 높이는 특별히 제한하지 않으나, 10 nm 이상, 바람직하게는 10 nm 내지 2um, 더 바람직하게는 100 nm 내지 2 um 일 수 있다.

[0028] 상기 양자구조 및 상기 오벨리스크 나노구조체는 무기화합물 반도체를 포함하고, 상기 양자구조 및 상기 오벨리스크 나노구조체는 동일한 화합물로 구성되거나 또는 상이한 화합물로 구성될 수 있다. 바람직하게는 양자구조는 오벨리스크 나노구조체에 비하여 밴드갭이 좁은 화합물일 수 있다. 보다 구체적으로, 상기 무기화합물 반도체는, II-VI족 화합물 반도체, III-V족 화합물, IV-VI족 화합물 반도체, IV족 화합물 반도체; 및 이들의 n-형 및 p-형 반도체 화합물 등일 수 있다. 바람직하게는 III-V족 화합물 반도체이고, 더 바람직하게는 GaN계 화합물 반도체이다.

[0029] 예를 들어, II-VI족 화합물은 CdO, CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, ZnO, HgS, HgSe, HgTe, CdOS, CdOSe, CdOTe, CdSSe, CdSTe, CdSeTe, ZnSeS, ZnSeTe, ZnSTe, HgSeS, HgSeTe, HgSTe, CdZnS, CdZnSe, CdZnTe, CdHgS, CdHgSe, CdHgTe, HgZnS, HgZnSe, CdHgZnTe, CdZnSeS, CdZnSeTe, CdZnSTe, CdHgSeS, CdHgSeTe, CdHgSTe, HgZnSeS, HgZnSeTe, HgZnSTe 등일 수 있으나, 이에 제한하는 것은 아니다.

[0030] 상기 III-V족 화합물 반도체는 BN, BP, AlP, BAs, GaN, GaP, GaAs, GaSb, AlN, AlP, AlAs, AlSb, InN, InP, InAs, InSb, BNP, BNAs, BPAs, GaNP, GaNAs, GaNSb, GaPAs, GaPSb, AlNP, AlNAs, AlNSb, AlPAs, AlPSb, AlGaN, InGaN, InNP, InNAs, InNSb, InPAs, InPSb, BaIGaN, BaIIInN, BGaInN, GaAlNP, GaAlNAs, InAlGaN, GaAlNSb, GaAlPAs, GaAlPSb, GaInNP, GaInNAs, GaInNSb, GaInPAs, GaInPSb, InAlNP, InAlNAs, InAlNSb, InAlPAs, InAlPSb 등일 수 있으나, 이에 제한하는 것은 아니다.

[0031] 상기 IV-VI족 화합물 반도체는 SnS, SnSe, SnTe, PbS, PbSe, PbTe, SnSeS, SnSeTe, SnSTe, PbSeS, PbSeTe, PbSTe, SnPbS, SnPbSe, SnPbTe, SnPbSSe, SnPbSeTe, SnPbSTe 등일 수 있으나, 이에 제한하는 것은 아니다.

[0032] 상기 IV족 화합물 반도체는 Si, Ge, SiC, SiGe, SiGe 등일 수 있으나, 이에 제한하는 것은 아니다.

[0033] 또한, 상기 n-형 무기화합물 반도체는 n-형 불순물이 도핑된 무기화합물 반도체이고, 상기 n-형 불순물은 N, P, As, Ge, Si, Cu, Ag, Au, Sb, Bi 원소 등을 포함할 수 있다. 상기 p-형 무기화합물 반도체는 p-형 불순물이 도핑된 무기화합물 반도체이며, 상기 p-형 불순물은 Mg, B, In, Ga, Al, Tl 원소 등을 포함할 수 있다.

[0034] 상기 오벨리스크 나노구조체는 양자구조의 보호층(capping layer)을 더 포함할 수 있다. 상기 보호층은 오벨리스크 나노구조체와 동일하거나 또는 상이한 무기화합물 반도체일 수 있고, 단일 또는 복수층으로 형성될 수 있다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따른 양자구조를 포함하는 나노구조체의 다른 형태로서, 상기 나노구조체는 제1 화합물층, 상기 제1 화합물층 상에 형성된 제2 화합물의 양자구조층 및 상기 양자구조층 상에 형성된 제3 화합물층으로 이루어질 수 있다(도 3). 상기 나노구조체는 상기 언급한 바와 같이, 오벨리스크 나노구조체이다. 상기 제1 화합물, 제2 화합물 및 제3 화합물은 서로 동일하거나 또는 상이하고, 상기 언급한 무기화합물 반도체를 포함한다. 바람직하게는 상기 제1 화합물 및 제3 화합물은 n-형 무기화합물 반도체 또는 p-형 무기화합물 반도체일 수 있다.

[0036] 본 발명의 일 실시예에 따른 양자구조를 포함하는 나노구조체의 형태로서, 상기 나노구조체는 코어 및 상기 코어의 적어도 일부분을 둘러싸는 셸로 이루어진 코어/셸 나노구조체이다. 상기 코어는 본 발명에 의한 양자구조를 포함하는 오벨리스크 나노구조체이며, 상기 셸은 오벨리스크 나노구조체 전체를 둘러싸거나 또는 오벨리스크



나노구조체의 일부분에 형성될 수 있다(도 4). 상기 셀은 필름일 수 있고, 오벨리스크 나노구조체 외면에 형성된 결정체일 수 있다.

[0037] 상기 코어 및 셀은 동일하거나 상이한 화합물로 이루어질 수 있고, 바람직하게는 코어를 이루는 오벨리스크 나노구조체는 n-형 무기화합물 반도체이고, 셀은 p-형 무기화합물 반도체일 수 있다. 상기 무기화합물 반도체는 상기 언급한 바와 같다. 상기 코어/셀 나노구조체에서 n-형 및 p-형 무기화합물 반도체는 양자구조에 전류를 공급할 수 있으므로, 상기 양자구조를 포함하는 나노구조체는 전류 구동 단일 소자로 제조될 수 있다.

[0038] 본 발명은 상기 양자구조를 포함하는 나노구조체를 이용하여 광자 방출 소자를 제공한다. 즉, 상기 양자구조를 포함하는 나노구조체는 포지셔닝(Positioning) 및 분리가 가능하고, 다른 기관과의 결합이 가능하여 다양한 광소자의 양자광원으로 적용될 수 있고, 단일 광원 생성 속도가 빨라 단일 칩 양자 광소자로 제조할 수 있다. 상기 소자에서 본 발명에 의한 나노구조체 이외의 구성은 본 발명에서 특별히 제한하지 않는다. 예를 들어, 상기 광자 방출 소자는 LED, 레이저 다이오드(Laser diode) 등과 같은 반도체 광소자, 특히, 나노막대 다발(Ensemble) 또는 단일 나노막대형 LED, LD 등의 광원일 수 있다. 또한, 단일 양자점에 의한 양자화된 빛(단광자)을 방출하는 단일 광자원 동일 수 있다.

[0039] 예를 들어, 상기 나노구조체는 상기 n-형 및 p-형 무기화합물 반도체로 이루어진 코어/셀 나노구조체에 전극을 연결할 경우에, 양자구조에 전류가 공급되는 단일 나노막대형 광원으로 이용할 수 있고(도 4), n-형 무기화합물 반도체로 이루어진 복수개의 오벨리스크 나노구조체로 이루어진 다발에, p-형 무기화합물 반도체를 연결하여 양자구조에 전류를 공급될 경우에, 나노막대 다발의 밝은 광원으로 이용할 수 있다(도 5).

[0040] 본 발명은 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법에 관한 것이다. 상기 제조방법은 제1 화합물 층을 형성하는 단계; 제1 화합물 템플릿을 형성하는 단계; 및 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계;를 포함할 수 있다.

[0041] 상기 제1 화합물 층을 형성하는 단계는 기관 상에 제1 화합물 층을 형성하는 단계이며, 상기 제1 화합물 층은 필름 또는 웨이퍼일 수 있다. 보다 구체적으로, 기관 상에 MOCVD(metal-organic chemical vapour deposition), MBE(Molecular Beam Epitaxy) 및 HVPE(Hydride Vapour Phase Epitaxy)이 이용하여 제1 화합물 웨이퍼를 형성할 수 있고, 공정 조건은 본 발명에서 특별히 제한하지 않는다. 상기 제1 화합물은 본 발명에 의한 나노구조체와 동일한 화합물로 이루어진다. 상기 기관은 사파이어, Si, SiC, GaN, AlN 동일 수 있으나, 이에 제한하는 것은 아니다.

[0042] 상기 제1 화합물 템플릿을 형성하는 단계는 염소계 가스를 이용하여 제1 화합물 층을 식각하여 템플릿을 형성하는 단계이며, 화학기상식각(chemical vapor-phase etching process)법으로 실시될 수 있다. 상기 화학기상식각은 챔버 압력, 온도, 가스 유량 등을 조절하여, 원뿔, 다각형뿔 등의 수직형 나노구조체, 수직막대형 나노구조체 등과 같은 다양한 형상의 나노구조체의 제조가 가능하고, 나노구조체의 밀도 및 크기 조절이 가능하다. 상기 템플릿을 형성하는 단계는 고온의 염소계 가스를 이용한 화학기상식각법을 적용하여 제1 화합물의 구조적 또는 화학적 특성을 개선시킬 수 있다. 즉, 식각 과정에서 결정체의 결함 구조 및 잔류 변형 등을 제거하고, 양자구조를 포함하는 나노구조체에서 광 추출 효율 등을 개선시킬 수 있다. 또한, 오벨리스크 나노구조체의 템플릿을 활용하면, 패터닝 등과 같은 공정 없이 고품질 수직형 나노구조체를 용이하게 생성할 수 있고, 대면적화를 실현시킬 수 있다.

[0043] 상기 화학기상식각은 무기화합물 반도체의 종류에 따라서 식각 온도를 선택할 수 있고, 바람직하게는 600 ℃ 이상, 더 바람직하게는 650 내지 1200 ℃, 더 욱더 바람직하게는 950 내지 1200 ℃의 온도이다. 또한, 챔버압력은 나노구조체의 결정 특성을 고려해서 상압 (760 Torr) 이상, 바람직하게는 상압 보다 1 내지 10 Torr 높은 압력일 수 있다.

[0044] 상기 염소계 가스는 Cl<sub>2</sub>, HCl, CCl<sub>4</sub>, BCl<sub>3</sub> 등으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있으며, 식각 공정에 적용가능한 가스와 혼합하여 식각 속도, 식각 정도 등을 조절할 수 있다. 예를 들어, N<sub>2</sub>, HCl 및 NH<sub>3</sub>의 혼합가스이다.

- [0045] 상기 제1 화합물 템플릿은 수직형 나노구조체로 이루어지고, 바람직하게는 원뿔 또는 다각형뿔 형상의 상단을 갖는 오벨리스크 나노구조체이다.
- [0046] 상기 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계는 상기 제1 화합물 템플릿의 적어도 일부분에 제2 화합물로 이루어진 양자구조를 성장시키는 단계이다.
- [0047] 상기 양자구조를 형성하는 단계는 양자구조의 종류 및 형태(단일, 복수층 등)에 따라서 적절하게 변형될 수 있다. 상기 제2 화합물은 상기 언급한 본 발명에 의한 양자구조와 동일한 화합물로 이루어진다. 상기 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계는 600 내지 850 °C, 바람직하게는 650 내지 750 °C에서 MOCVD(metal-organic chemical vapour deposition), MBE(Molecular Beam Epitaxy) 및 HVPE(Hydride Vapour Phase Epitaxy)등을 이용하여 무기화합물 반도체를 성장시켜 양자구조를 형성한다.
- [0048] 상기 제조방법은 양자구조의 보호층(capping layer) 형성 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 보호층 형성 단계는 상기 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계와 동일한 방법으로 실시된다.
- [0049] 상기 제2 화합물의 양자구조를 형성하는 단계 이후에, 상기 나노구조체의 적어도 일부분을 둘러싸는 셸을 형성하는 단계를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 상기 양자구조를 포함하는 나노구조체의 전체를 둘러싸거나 또는 일부분을 감싸는 셸로 형성될 수 있다. 상기 셸을 형성하는 단계는 셸의 종류 및 형태에 따라서 적절한 형성방법을 선택할 수 있으며, 본 발명에서는 특별히 제한하지 않는다.
- [0050] 본 발명의 다른 제조방법은, 층상의 구조체를 형성하는 단계 및 나노구조체를 형성하는 단계를 포함하는 양자구조를 포함하는 나노구조체의 제조방법에 관한 것이다. 상기 층상의 구조체를 형성하는 단계는 기판 상에 제1 화합물층을 형성하는 단계, 상기 제1 화합물층 상에 제2 화합물의 양자구조층을 형성하는 단계 및 상기 양자구조층 상에 제3 화합물층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 나노구조체를 형성하는 단계는 상기 층상의 구조체를 기상의 가스로 식각하여 양자구조를 포함하는 나노구조체를 형성하는 단계이다.
- [0051] 상기 방법은 제2 화합물의 양자구조층을 성장하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 양자구조층을 성장하는 단계는 상기 나노구조체를 형성하는 단계 이후에 상기 양자구조층을 활성층으로 적용하여 이를 재성장시켜 나노구조체 전면에 양자구조를 형성시킬 수 있다. 예를 들어, 상단의 꼭지점에 양자점 및 나노구조체 전면을 둘러싸는 양자우물이 형성된다. 상기 각 단계는 공정 조건은 본 발명에서 언급한 바와 같다.
- [0052] 하기와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0053] **실시예 1: InGaN 양자구조를 포함하는 GaN 나노구조체의 제조**

[0054] **1-1 단일 QW-나노구조체**

[0055] 사파이어 기판 상에 MOCVD를 이용하여 2 μm 두께의 GaN 웨이퍼를 제조하였다. 다음으로, 온도 1000 °C 및 압력 771 Torr, 1000 sccm HCl 기상(Vapor phase) 및 250 sccm NH<sub>3</sub>에 노출시켜 5분 동안 화학기상식각(chemical vapor-phase etching process)으로 GaN 웨이퍼를 식각하여 오벨리스크 형상의 GaN 템플릿을 제조하였다. 상기 GaN 템플릿은 도 6(a)에 제시하였다. 다음으로, 상기 GaN 템플릿의 상면에 MOCVD를 이용하여 650 ~ 750 °C에서 100 초 동안 InGaN 활성층 및 GaN 캡핑층(capping layer)을 성장시켜 오벨리스크의 전체면과 꼭지점에 양자구조가 형성된 나노구조체를 제조하였다. 양자구조를 포함하는 나노구조체는 직경 200 nm, 높이 1.5 μm 및 밀도  $2\sim 3 \times 10^8 (\text{cm}^{-2})$ 이다. 상기 제조된 양자구조를 포함하는 나노구조체의 전자현미경 이미지를 도 6(c)와 도 7에 제시하였다.

[0056]

**1-2 다층 QW-나노구조체**

[0057]

InGaN 활성층 및 GaN 캡핑층(capping layer) 성장시 각각 100 초, 300 초 및 900 초 동안 InGaN QW를 3회 성장시킨 것 외에는 단일 QW-나노구조체와 동일한 방법으로 제조하였다. 양자구조를 포함하는 나노구조체는 직경 200 nm, 높이 1.5  $\mu\text{m}$  및 밀도  $2\sim 3 \times 10^8 (\text{cm}^{-2})$ 이다. 상기 제조된 양자구조를 포함하는 나노구조체의 전자현미경 이미지를 도 6(b)와 도 8에 제시하였다.

[0058]

도 6을 살펴보면, 도(6a-6c)는 SEM 이미지이고, 도(6a)는 식각된 GaN 템플릿이고, 도(6b)는 다층 QW-나노구조체이고, 도(6c)는 단일 QW-나노구조체이다. 도(6b) 및 도(6c)에서 나노구조체는 피라미드 꼭지점을 갖는 오벨리스크 형상의 나노구조체 및 상기 나노 구조체의 상단 피라미드 부분에 양자구조가 형성된 것을 확인할 수 있다.

[0059]

도 7 및 도 8은 단일 QW-나노구조체 및 다층 QW-나노구조체의 Cross-sectional STEM 이미지를 나타낸 것이다. 도 7은 컬럼 및 피라미드 부분에 1nm의 단일 QW가 형성되고, 피라미드 꼭지점 부분에 작은 양자점이 형성되어 있는데, 이는 높이 1~2 nm의 양자점(QD)으로 확인할 수 있다. 또한, 도 8을 살펴보면, InGaN QW이 GaN 나노구조체를 덮은 GaN/InGaN 코어셸 구조를 형성하고, QW는 피라미드 면 및 컬럼 면에 따라 다양한 두께를 갖고, 피라미드 꼭지점 부분에 양자섬(island)이 형성된 것을 알 수 있다.

[0060]

**비교예 1: 평면형 구조체(필름 구조)**

[0061]

사파이어 기판 상에 MOCVD를 이용하여 2  $\mu\text{m}$  두께의 GaN 웨이퍼를 제조하였다. 다음으로, 상기 GaN 웨이퍼 상에 얇은 필름 형태의 자발형성 양자점을 제조하였다(도 1b). 제조방법은, "Journal of Crystal Growth 249, 144 (2003)" 및 "Applied Physics Letters 76, 1570 (2000)"을 참조하였다.

[0062]

**실험예 1: 광추출 효율**

[0063]

평면형 구조체, 기둥형(pillar-type) 나노 구조체 및 피라미드 꼭지점을 갖는 오벨리스크 나노구조체에 양자점이 위치한 경우에 발광 재결합 효율을 비교하였다. 상기 발광 재결합 효율은 3차원 유한차분 시간영역법(3-dimensional finite-difference time-domain method, Lumerical Solutions)을 이용한 Maxwell 식 및 Lumerical사의 FDTD 소프트웨어를 이용하여 광추출 효율을 시뮬레이션하였다.

[0064]

그 결과는 도 9에 제시하였다. 도 9를 살펴보면, 평면형 구조체에 양자점이 내재한 경우에 4%의 광추출 효율을 나타내고, 기둥형은 20%을 나타내는 반면에, 오벨리스크 나노구조체는 36% 광추출 효율을 나타내는 것을 알 수 있다.

[0065]

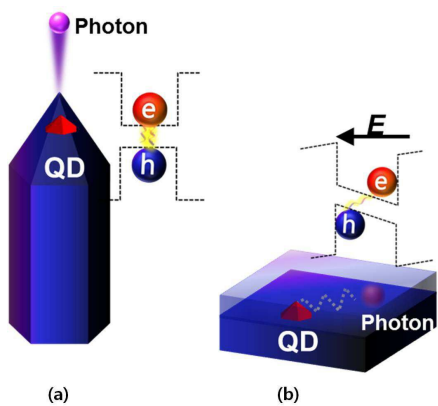
**실험예 2: 발광 재결합 속도**

[0066]

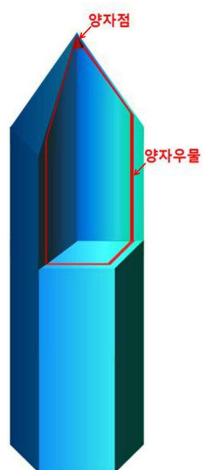
Time-resolved macro-PL(15k, 340 nm Ti:sapphire pulse laser (200 fs))을 이용하여 실시예 및 비교예의 InGaN QW의 PL 스펙트럼을 측정하고, 분광기(spectrometer)와 결합된 초고속카메라(streak camera)를 이용하여 저온(10 K)에서 발광 재결합 속도 측정하였다. 발광 재결합 속도를 비교하여, 도 10에 제시하였다. 도 10을 살펴보면, 나노구조체 상단 꼭지점의 QD와 상단 및 컬럼면의 QW 양자구조의 경우 비교예 1의 필름 구조에 비하여 재결합 속도가 현저하게 증가된 것을 확인할 수 있다. 이는 반도체 이종물질을 접합시키게 되면 격자 상수 차이 등에 의해서 내부 응력 및 이로 인한 내부 전기장에 의해서 전자와 홀의 결합이 어려워 발광 재결합율이 제한된다. 하지만, 본 발명에 의한 양자점을 포함하는 나노 구조체는 응력 감소 효과가 크고, 이로 인하여 내부 전기장이 감소하여 비교예 1에 비하여 높은 발광 재결합 속도를 나타낼 수 있다.

도면

도면1



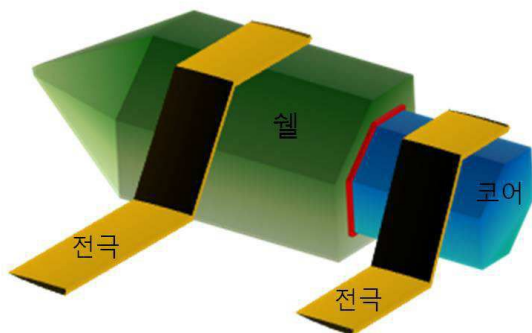
도면2



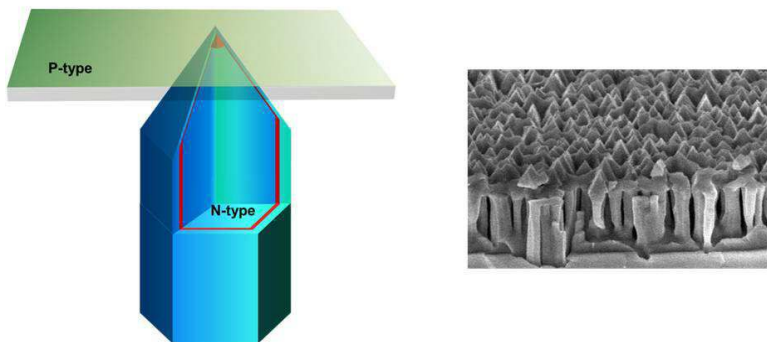
도면3



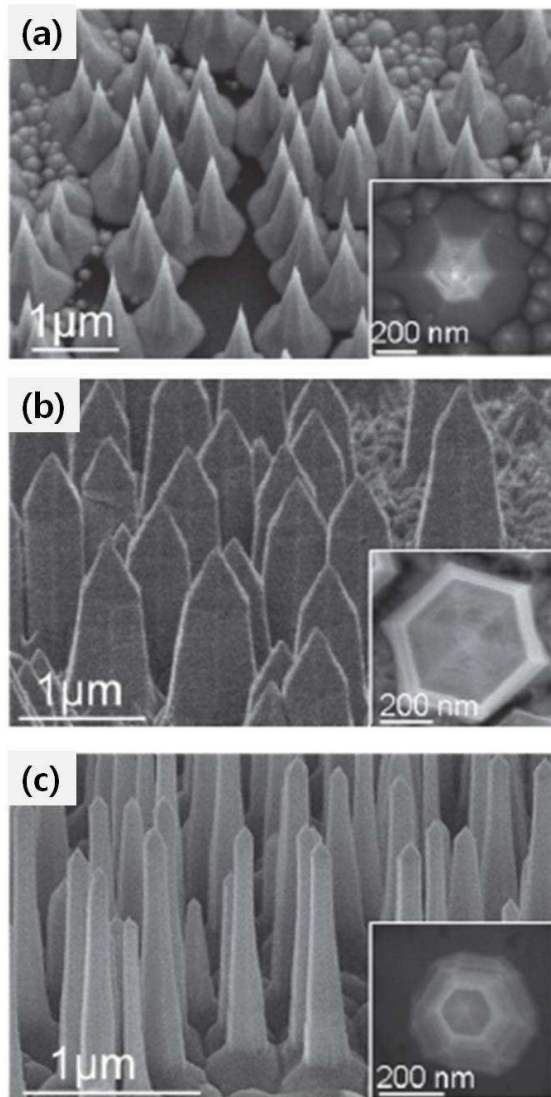
도면4



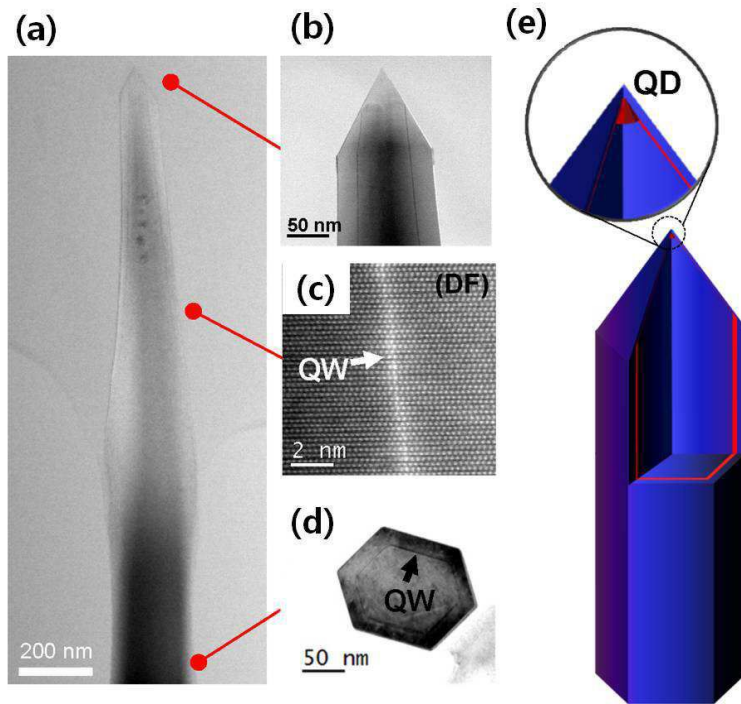
도면5



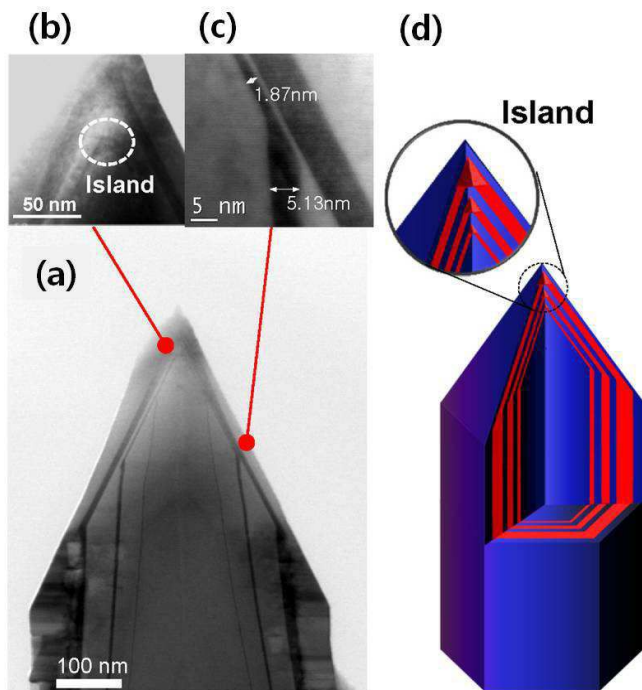
도면6



도면7

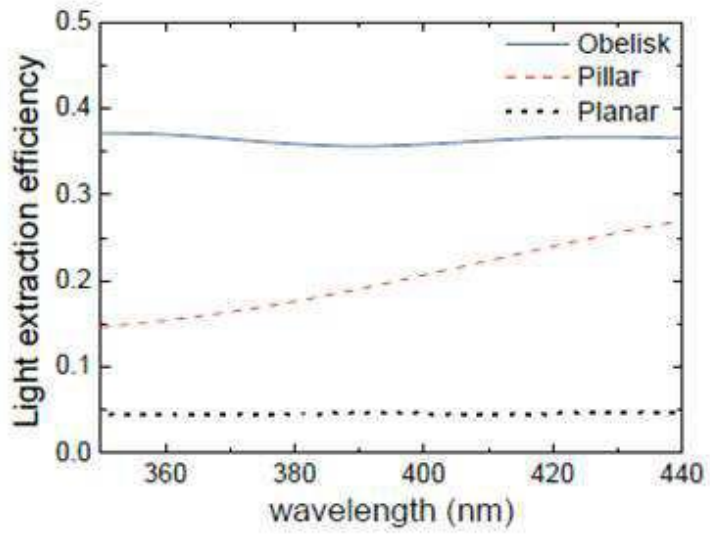


도면8





도면9



도면10

