



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0045200
(43) 공개일자 2025년04월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10K 50/86 (2023.01) H10K 10/46 (2023.01)
H10K 50/15 (2023.01) H10K 50/16 (2023.01)
H10K 50/30 (2023.01) H10K 50/81 (2023.01)
H10K 50/82 (2023.01) H10K 59/90 (2023.01)
H10K 71/10 (2023.01) H10K 77/10 (2023.01)

(52) CPC특허분류

H10K 50/86 (2023.02)
H10K 10/46 (2023.02)

(21) 출원번호 10-2023-0128174

(22) 출원일자 2023년09월25일

심사청구일자 2023년09월25일

(71) 출원인

한림대학교 산학협력단

강원도 춘천시 한림대학길 1, 한림대학교(옥천동)

(72) 발명자

고재현

강원특별자치도 춘천시 동면 춘천순환로 338-11

최성우

서울특별시 중랑구 동일로92길 40, 사가정센터럴
아이파크아파트 110동 2602호

이정균

서울특별시 성북구 길음로13길 39, 301동 203호

(74) 대리인

특허법인본

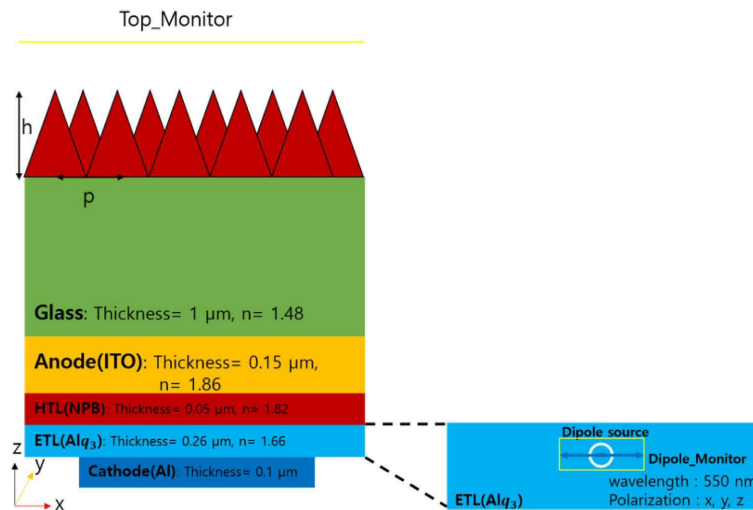
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 광추출 효율이 향상된 유기 발광 다이오드 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 광추출 효율이 향상된 유기 발광 다이오드 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명은 캐소드; 전자 수송층; 정공 수송층; 애노드; 유리 기판; 및 나노 구조체가 이 순서로 적층되어 있고, 상기 나노 구조체는 원뿔형, 양각 포물면형 및 음각 포물면형 중 어느 하나의 형태의 구조체가 복수개로 구성되어 있는, 유기 발광 다이오드를 제공한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H10K 50/15 (2023.02)
H10K 50/16 (2023.02)
H10K 50/30 (2023.02)
H10K 50/81 (2023.02)
H10K 50/82 (2023.02)
H10K 59/90 (2023.08)
H10K 71/10 (2023.02)
H10K 77/10 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415176668
과제번호	P0013743
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	스마트특성화기반구축(R&D)
연구과제명	퀀텀닷 나노소재 기반연계 플랫폼 사업
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(재)철원플라즈마산업기술연구원
연구기간	2021.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

캐소드; 전자 수송층; 정공 수송층; 애노드; 유리 기판; 및 나노 구조체가 이 순서로 적층되어 있고,

상기 나노 구조체는 원뿔형, 양각 포물면형 및 음각 포물면형 중 어느 하나의 형태의 구조체가 복수개로 구성되어 있는, 유기 발광 다이오드.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 유리 기판의 두께는 0.5~1.5um이며, 상기 유리 기판과 나노 구조체의 굴절율 차이는 3% 이내인, 유기 발광 다이오드.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 밑면의 직경이 150~200nm이고, 높이 700~100nm인 원뿔형 구조체가 복수개로 구성되어 있으며, 각각의 원뿔형 구조체는 200~300nm의 간격을 두고 형성되어 있는, 유기 발광 다이오드.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 상기 양각 포물면형 또는 음각 포물면형 구조체는 아래의 곡률 $w(z)$ 를 갖는 것인, 유기 발광 다이오드:

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2} + \frac{w_0^2}{h^2}}$$

, 여기서 w_0 는 100~200nm, z 는 구조체의 높이, h 는 구조체의 전체 높이.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 정공 수송층은 N,N'-디(나프탈렌-1-일)-N,N'-디페닐-벤디딘 (NPB), 4,4',4"-트리스(N,N-디페닐아미노)트리페닐아민 (mTDATA), 2,5-디-터트-부틸페닐-N,N'-디페닐N,N'-비스(3-메틸페닐-(1,1'-비페닐))-4,4'-디아민 (BP-TPD), N,N'-디페닐-N,N'-비스(3)메틸페닐-(1,1'-비페닐)-4,4'-디아민 (TPD), 구리 프탈로시아닌 (CuPc), 바나딜-프탈로시아닌 (VOPc), 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜) (PEDOT) 및 폴리아닐린(PAni) 중 어느 하나 이상을 포함하는, 유기 발광 다이오드.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 전자 수송층은 트리(8-히드록시-퀴놀리나토)알루미늄 (Tris(8-hydroxy-quinolinato)aluminium : Alq3), 바소큐프로인, 옥사디아졸 유도체(tBu-PBC), 트리아졸 유도체, 페닐 키노키사린 유도체 및 시롤 유도체 중 어느 하나 이상을 포함하는, 유기 발광 다이오드.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 애노드는 인듐주석산화물(ITO), 인듐아연산화물(IZO), 알루미늄아연산화물 (AZO), 갈륨아연산화물(GZO), 인듐주석아연산화물(ITZO), 아연주석산화물(ZTO), 인듐갈륨산화물(IGO), 산화주석 (SnO₂) 및 산화아연(ZnO) 중 어느 하나 이상을 포함하는, 유기 발광 다이오드.

청구항 8

캐소드; 전자 수송층; 정공 수송층; 애노드; 유리 기판; 및 나노 구조체를 이 순서로 적층하는 단계를 포함하고,

상기 나노 구조체는 원뿔형, 양각 포물면형 및 음각 포물면형 중 어느 하나의 형태의 구조체가 복수개로 구성되어 있는, 유기 발광 다이오드의 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 유리 기판의 두께는 0.5~1.5μm이며, 상기 유리 기판과 나노 구조체의 굴절율 차이는 3% 이내인, 유기 발광 다이오드의 제조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 밑면의 직경이 150~200nm이고, 높이 700~100nm인 원뿔형 구조체가 복수개로 구성되어 있으며, 각각의 원뿔형 구조체는 200~300nm의 간격을 두고 형성되어 있는, 유기 발광 다이오드의 제조 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 상기 양각 포물면형 또는 음각 포물면형 구조체는 아래의 곡률 $w(z)$ 를 갖는 것인, 유기 발광 다이오드의 제조 방법:

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2} + \frac{w_0^2}{h^2}}$$

, 여기서 w_0 는 100~200nm, z 는 구조체의 높이, h 는 구조체의 전체 높이.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 정공 수송층은 N,N'-디(나프탈렌-1-일)-N,N'-디페닐 -벤디딘 (NPB), 4,4',4"-트리스(N,N-디페닐아미노)트리페닐아민 (mTDATA), 2,5-디-터트-부틸페닐-N,N'-디페닐N,N'-비스(3-메틸페닐-(1,1'-비페닐))-4,4'-디아민 (BP-TPD), N,N'-디페닐-N,N'-비스(3)메틸페닐-(1,1'-비페닐)- 4,4'-디아민 (TPD), 구리 프탈로시아닌 (CuPc), 바나딜-프탈로시아닌 (VOPc), 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜) (PEDOT) 및 폴리아닐린(PAni) 중 어느 하나 이상을 포함하는, 유기 발광 다이오드의 제조 방법.

청구항 13

제1항의 유기 발광 다이오드를 포함하는 전자 기기.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 전자 기기는 유기 집적 회로(O-IC), 유기 전계-효과 트랜지스터(O-FET), 유기 박막 트랜지스터(O-TFT), 유

기전기발광 트랜지스터(O-LET), 유기 태양 전지(O-SC), 유기 광학 검출기, 유기 광수용체, 유기 전계-켄치 소자(O-FQD), 발광 전기화학 전지(LEC), 유기 레이저 다이오드(O-레이저) 또는 유기전기발광소자(OLED)인 전자 기기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광추출 효율이 향상된 유기 발광 다이오드 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유기 발광 다이오드(Organic Light Emitting Diode, OLED)는 대표적인 디스플레이 기술 중 하나로써 최근 스마트폰, 태블릿과 같은 모바일용 디스플레이를 넘어서 대형 TV 및 다양한 플렉서블 디스플레이 소자로까지 응용 범위가 확대되고 있다. 이에 따라 발광 효율, 색 재현성, 소비전력 등 OLED의 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. OLED는 음극에서 공급되는 전자가 전자 수송층(Electron Transport Layer, ETL)을 지나고 양극에서 공급되는 정공이 정공 수송층(Hole Transport Layer, HTL)을 지나면서 결합해 형성된 엑시톤(exciton) 에너지가 가시광선으로 변환되는 발광원리를 기반으로 하고 있다. 여기서 전자와 정공이 지나가는 층은 유기물질들로 이루어져 있으며, 유기물질의 종류에 따라 발광 파장이 달라지게 된다.

[0003] OLED 개발에 있어서 가장 큰 기술적 이슈 중 하나는 OLED 내부에서 생성된 빛의 상당 부분이 갇혀서 탈출하지 못한다는 점이었다. 이는 OLED를 구성하는 투명전극과 유기층의 굴절률이 높기 때문인데 이 물질들은 굴절률이 약 1.7-1.9 정도이고 유리기판의 굴절률도 1.5 이므로, OLED의 발광층에서 발생하는 빛 중 많은 양이 빛의 내부전반사(total internal reflection) 현상에 의해 내부에 갇히며 광추출 손실이 일어나게 된다. 또한, 금속 재질의 음극에 의한 흡수와 표면 플라즈몬(surface plasmon) 여기에 의한 손실도 발생하게 된다. 이에 따라 공기 중으로 빠져나오는 빛은 OLED에서 발생한 빛 중 약 20% 미만으로 매우 낮은 광효율을 갖는다. 이러한 낮은 광효율을 향상시키기 위해 OLED 내부에 갇힌 빛을 추출하기 위한 연구들이 다양하게 진행되어 왔다. 금속에 의한 손실을 제외하고 OLED 내부에 갇힌 빛을 추출하기 위한 방법들로 유리기판 위에 마이크로 렌즈나 확산층을 적용하여 유리기판에 갇힌 빛을 추출하는 방법과 OLED 내부를 변형시켜 유기층과 투명전극에 갇힌 빛을 추출하는 방법 등이 시도되어 왔다. 이중 유리기판의 상부, 즉 빛이 탈출하는 경로 중에 마이크로 렌즈 배열을 적용시키는 것은 유리 기판 속에 내부전반사로 갇히는 빛을 빼내기 위한 효율적인 방법 중 하나로 연구되어 왔다. 마이크로 렌즈가 형성되면 유리 기판을 진행하는 빛이 기판과 공기층 사이의 계면에 부딪힐 때 내부전반사 조건이 완화되면서 광추출 효율이 증가한다. 또 하나의 방법은 기판과 공기층 사이의 굴절률 차이를 줄여 내부 전반사의 조건을 완화시키면서 광추출 효율을 증가시키는 것이다. 이와 같이 유리기판과 공기층의 굴절률 차이를 줄이는 방법은 기판에 갇힌 빛을 추출하여 광추출 효율을 향상시킬 수 있다.

선행기술문헌

- [0004] 한국 등록특허공보 제10-1335655호
- [0005] G. Gu et al., Opt. Lett. 22, 396 (1997).
- [0006] A. Chutinan et al., Org. Electron. 6, 3 (2005).
- [0007] K. Hong and J. L. Lee, Electron. Mater. Lett. 7, 77(2011).

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은, OLED의 유리 기판 상에 반사 방지 구조를 형성하여, OLED의 유리기판에 갇힌 빛을 외부로 추출하여 광추출 효율을 향상시키는 유기 발광 다이오드를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0009] 본 개시의 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 개시의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 개시의 실시 예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다. 또한, 본 개시의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타낸 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을

것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명은 캐소드; 전자 수송층; 정공 수송층; 애노드; 유리 기판; 및 나노 구조체가 이 순서로 적층되어 있고, 상기 나노 구조체는 원뿔형, 양각 포물면형 및 음각 포물면형 중 어느 하나의 형태의 구조체가 복수개로 구성되어 있는, 유기 발광 다이오드를 제공한다.

[0011] 상기 유리 기판의 두께는 0.5~1.5um이며, 상기 유리 기판과 나노 구조체의 굴절율 차이는 3% 이내이다.

[0012] 상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 밑면의 직경이 150~200nm이고, 높이 700~100nm인 원뿔형 구조체가 복수개로 구성되어 있으며, 각각의 원뿔형 구조체는 200~300nm의 간격을 두고 형성되어 있다.

[0013] 상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 상기 양각 포물면형 또는 음각 포물면형 구조체는 아래의 곡률 $w(z)$ 를 갖는 것이다:

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2} + \frac{w_0^2}{h^2}}$$

[0014] , 여기서 w_0 는 100~200nm, z 는 구조체의 높이, h 는 구조체의 전체 높이.

[0015] 상기 정공 수송층은 N,N'-디(나프탈렌-1-일)-N,N'-디페닐-벤지딘(NPB), 4,4',4"-트리스(N,N-디페닐아미노)트리페닐아민(mTDATA), 2,5-디-터트-부틸페닐-N,N'-디페닐N,N'비스(3-메틸페닐-(1,1'-비페닐))-4,4'-디아민(BP-TPD), N,N'-디페닐-N,N'-비스(3)메틸페닐-(1,1'-비페닐)-4,4'-디아민(TPD), 구리 프탈로시아닌(CuPc), 바나딜-프탈로시아닌(VOPc), 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(PEDOT) 및 폴리아닐린(PAni) 중 어느 하나 이상을 포함한다.

[0016] 상기 전자 수송층은 트리(8-히드록시-퀴놀리나토)알루미늄(Tris(8-hydroxy-quinolinato)aluminium : Alq3), 바소큐프로인, 옥사디아졸 유도체(tBu-PBC), 트리아졸 유도체, 페닐 키노키사린 유도체 및 시롤 유도체 중 어느 하나 이상을 포함한다.

[0017] 상기 애노드는 인듐주석산화물(ITO), 인듐아연산화물(IZO), 알루미늄아연산화물(AZO), 갈륨아연산화물(GZO), 인듐주석아연산화물(ITZO), 아연주석산화물(ZTO), 인듐갈륨산화물(IGO), 산화주석(SnO2) 및 산화아연(ZnO) 중 어느 하나 이상을 포함한다.

[0018] 본 발명은 또한, 캐소드; 전자 수송층; 정공 수송층; 애노드; 유리 기판; 및 나노 구조체를 이 순서로 적층하는 단계를 포함하고, 상기 나노 구조체는 원뿔형, 양각 포물면형 및 음각 포물면형 중 어느 하나의 형태의 구조체가 복수개로 구성되어 있는, 유기 발광 다이오드의 제조 방법을 제공한다.

[0019] 상기 유리 기판의 두께는 0.5~1.5um이며, 상기 유리 기판과 나노 구조체의 굴절율 차이는 3% 이내이다.

[0020] 상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 밑면의 직경이 150~200nm이고, 높이 700~100nm인 원뿔형 구조체가 복수개로 구성되어 있으며, 각각의 원뿔형 구조체는 200~300nm의 간격을 두고 형성되어 있다.

[0021] 상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 상기 양각 포물면형 또는 음각 포물면형 구조체는 아래의 곡률 $w(z)$ 를 갖는 것이다:

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2} + \frac{w_0^2}{h^2}}$$

[0022] , 여기서 w_0 는 100~200nm, z 는 구조체의 높이, h 는 구조체의 전체 높이.

[0023] 본 발명은 또한, 상기 유기 발광 다이오드를 포함하는 전자 기기를 제공한다.

[0024] 상기 전자 기기는 유기 집적 회로(O-IC), 유기 전계-효과 트랜지스터(O-FET), 유기 박막 트랜지스터(O-TFT), 유기전기발광 트랜지스터(O-LET), 유기 태양 전지(O-SC), 유기 광학 검출기, 유기 광수용체, 유기 전계-켄치 소자

(O-FQD), 발광 전기화학 전지(LEC), 유기 레이저 다이오드(O-레이저) 또는 유기전기발광소자(OLED)일 수 있다.

발명의 효과

[0026] 본 발명은, OLED의 유리 기판 상에 반사 방지 구조를 형성하여, OLED의 유리기판에 갇힌 빛을 외부로 추출하여 광추출 효율을 향상시키는 유기 발광 다이오드를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은, 본 발명의 한 구현예에 따른 원뿔 모양 반사 방지 나노 구조체가 유리 기판 위에 형성된 모습을 나타낸 개략도이다.

도 2는, 본 발명의 한 구현예에 따른 원뿔형, 양각 포물면형, 음각 포물면형 나노 구조체 및 유리 기판을 나타낸다.

도 3은, 본 발명의 한 구현예에 따른 유기 발광 다이오드의 단면도이다.

도 4는, 본 발명의 한 구현예에 따른 원뿔형, 양각 포물면형, 음각 포물면형 나노 구조체 및 유리 기판을 나타낸다.

도 5는, (a) 유리 기판, (b) 피치 300nm 및 높이 0.7~1um의 원뿔형 나노 구조체가 형성된 유리 기판의 파장에 따른 반사율을 나타낸다.

도 6은, 고정된 높이에서 다양한 피치에 따른 원뿔형 나노 구조체의 반사율 스펙트럼을 나타낸다.

도 7은, 고정된 높이에서 다양한 피치에 따른 양각 포물면형 나노 구조체의 반사율 스펙트럼을 나타낸다.

도 8은, 고정된 높이에서 다양한 피치에 따른 음각 포물면형 나노 구조체의 반사율 스펙트럼을 나타낸다.

도 9는, (a)는 반사 방지 나노 구조체 없는 기본 OLED의 ETL 두께에 따른 아웃커플링 효율을 나타내고, (b)는 반사 방지 나노 구조체가 있거나 없는 4개의 OLED의 아웃커플링 효율을 나타낸다.

도 10은, (a) 기본 OLED, (b) OLED+원뿔, (c) OLED+양각 포물면형, (d) OLED+음각 포물면형 나노 구조체가 있는 유리 기판, 반사 방지 구조층 및 공기의 전계 프로파일을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 본 발명은 캐소드; 전자 수송층; 정공 수송층; 애노드; 유리 기판; 및 나노 구조체가 이 순서로 적층되어 있고, 상기 나노 구조체는 원뿔형, 양각 포물면형 및 음각 포물면형 중 어느 하나의 형태의 구조체가 복수개로 구성되어 있는, 유기 발광 다이오드를 제공한다.

[0029] 상기 캐소드는 바람직하게는 낮은 일 함수를 갖는 금속, 금속 합금 또는 다양한 금속, 예를 들어 알칼리 토금속, 알칼리 금속, 주석 금속 또는 란타늄 (예를 들어 Ca, Ba, Mg, Al, In, Mg, Yb 및 Sm) 을 포함하는 다층 구조를 포함한다.

[0030] 상기 유리 기판의 두께는 0.5~1.5um이며, 상기 유리 기판과 나노 구조체의 굴절율 차이는 3% 이내이다.

[0031] 상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 밑면의 직경이 150~200nm이고, 높이 700~100nm인 원뿔형 구조체가 복수개로 구성되어 있으며, 각각의 원뿔형 구조체는 200~300nm의 간격을 두고 형성되어 있다.

[0032] 상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 상기 양각 포물면형 또는 음각 포물면형 구조체는 아래의 곡률 $w(z)$ 를 갖는 것이다:

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2} + \frac{w_0^2}{h^2}}$$

[0033] , 여기서 w_0 는 100~200nm, z 는 구조체의 높이, h 는 구조체의 전체 높이.

[0034] 상기 나노 구조체는 음각 포물면형 구조체인 경우 가장 반사율이 낮고, 광효율이 우수하다.

[0035] 상기 정공 수송층은 N,N'-디(나프탈렌-1-일)-N,N'-디페닐-벤디딘(NPB), 4,4',4"-트리스(N,N-디페닐아미노)트리페닐아민(mTDATA), 2,5-디-터트-부틸페닐-N,N'-디페닐N,N'비스(3-메틸페닐-(1,1'-비페닐)-4,4'-디아민(BP-TPD), N,N'-디페닐-N,N'-비스(3)메틸페닐-(1,1'-비페닐)-4,4'-디아민(TPD), 구리 프탈로시아닌(CuPc), 바나딜-프탈로시아닌(VOPc), 폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)(PEDOT) 및 폴리아닐린(PAni) 중 어느 하나 이상을 포함한다.

[0036] 상기 전자 수송층은 트리(8-히드록시-퀴놀리나토)알루미늄(Tris(8-hydroxy-quinolinato)aluminium : Alq3), 바소큐프로인, 옥사디아졸 유도체(tBu-PBC), 트리아졸 유도체, 페닐 키노키사린 유도체 및 시롤 유도체 중 어느 하나 이상을 포함한다.

[0037] 상기 애노드는 인듐주석산화물(ITO), 인듐아연산화물(IZO), 알루미늄아연산화물(AZO), 갈륨아연산화물(GZO), 인듐주석아연산화물(ITZO), 아연주석산화물(ZTO), 인듐갈륨산화물(IGO), 산화주석(SnO2) 및 산화아연(ZnO) 중 어느 하나 이상을 포함한다.

[0038] 본 발명은 또한, 캐소드; 전자 수송층; 정공 수송층; 애노드; 유리 기판; 및 나노 구조체를 이 순서로 적층하는 단계를 포함하고, 상기 나노 구조체는 원뿔형, 양각 포물면형 및 음각 포물면형 중 어느 하나의 형태의 구조체가 복수개로 구성되어 있는, 유기 발광 다이오드의 제조 방법을 제공한다.

[0039] 상기 유리 기판의 두께는 0.5~1.5um이며, 상기 유리 기판과 나노 구조체의 굴절율 차이는 3% 이내이다.

[0040] 상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 밑면의 직경이 150~200nm이고, 높이 700~100nm인 원뿔형 구조체가 복수개로 구성되어 있으며, 각각의 원뿔형 구조체는 200~300nm의 간격을 두고 형성되어 있다.

[0041] 상기 나노 구조체는 실리카 재질이며, 상기 양각 포물면형 또는 음각 포물면형 구조체는 아래의 곡률 $w(z)$ 를 갖는 것이다:

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2} + \frac{w_0^2}{h^2}}$$

[0042] , 여기서 w_0 는 100~200nm, z 는 구조체의 높이, h 는 구조체의 전체 높이.

[0043] 본 발명은 또한, 상기 유기 발광 다이오드를 포함하는 전자 기기를 제공한다.

[0044] 상기 유기 발광 다이오드는 다양한 응용분야에 적용될 수 있다. 예를 들어, 상기 유기 발광 다이오드가 적용된 상기 전자 기기는 유기 집적 회로 (O-IC), 유기 전계-효과 트랜지스터 (O-FET), 유기 박막 트랜지스터 (O-TFT), 유기 발광 트랜지스터 (O-LET), 유기 태양 전지 (O-SC), 유기 광학 검출기, 유기 광수용체, 유기 전계-켄치 소자 (OFQD), 발광 전기화학 전지 (LEC), 유기 레이저 다이오드 (O-레이저) 또는 유기 발광 다이오드 (OLED)일 수 있다.

[0046] 이하 본원을 실시예 및 실험예를 통하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나 이들 실시예 및 시험예는 본 발명을 예시적으로 설명하기 위한 것으로 본원의 범위가 이들 실시예 및 시험예에 한정되는 것은 아니다.

[0047] 실시예

[0048] 유한 차분 시간 영역법에 기반을 둔 상용 소프트웨어(FDTD solutions, Ansys Co.)를 이용하여 광학 시뮬레이션을 수행하였다. 먼저, 나방 눈 모양의 구조가 반사방지 효과를 가지고 있는지 확인하기 위해 원뿔 구조에 대한 시뮬레이션을 진행하였다. 도 1은 원뿔형 구조의 2차원 시뮬레이션 모식도를 보여주고 있다. 원뿔의 재질로는 유리 기판의 굴절률과 유사한 실리카(SiO_2 ($n \sim 1.46$))를 이용 하였으며, 실리카 기판 위에 나방 눈 모양의 구조를 적용시켜 시뮬레이션을 진행하였다. 원뿔 밑면의 직경을 200 nm로 고정시킨 후 높이와 원뿔 사이의 간격인 피치(p)에 따른 반사율 특성을 확인하기 위해 높이를 700~1000 nm까지 100 nm 간격으로 변화시켰으며 피치를 200~300 nm까지 25 nm 간격으로 변화시켰다. 원뿔의 밑면 직경이 고정되어 있으므로 피치가 증가하면 원뿔과 원뿔 사이가 벌어지며 평면의 면적이 증가한다. 광원으로는 가시광 영역(400~700nm)의 평면파를 이용하였으며 실리카 기판에 평행하고 서로 수직인 두 편광 방향을 설정하였다. 그림과 같이 평면파를 반사 방지막을 향해 조사하여 반사되는 빛을 확인하였으며 두 가지 편광방향에 따른 결과의 평균값으로 반사율 스펙트럼을 확인하였다.

또한, 포물면형 패턴의 형상은 다음과 같은 함수로 주어지는 곡률을 가지도록 설정했다.

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 - \frac{z^2}{h^2} + \frac{w_0^2}{h^2}}$$

[0049]

[0050] 여기서 높이 z 일 때 폭 w 는 고정된 $w_0 = 100\sim 200$ nm와 포물 면형 구조의 높이인 h 에 의해 계산된다. 상기 w_0 는 반사 방지 효과를 발휘하기 위해 빛의 파장, 바람직하게는 가시광선의 파장보다 작은 범위이면 제한되지 않으며, 바람직하게는 100~200nm이다. 도 2의 (a)는 원뿔형 구조가 적용된 시뮬레이션 단면도를 보여주고 있다. 나방 눈 모양과 비슷한 구조를 재현하기 위해 원뿔들을 육각형 배열로 배치했고 이를 위해 원뿔 구조의 단위 셀을 선택하여 시뮬레이션 영역을 주기적 경계 조건을 갖도록 설정하였다. 도 2의 (b)와 (c)는 각각 양각 포물면형 구조와 음각 포물면형 구조를 나타낸다. 다른 조건들은 모두 동일하다. 세 구조 모두 위에 PML(perfectly matched layer)을 설정해서 불필요한 반사에 의한 오차를 줄였다.

[0051] 이렇게 설정한 반사 방지 구조가 OLED의 유리기판에 갇힌 빛을 추출하여 광효율을 향상시키는지 확인하기 위해 OLED의 유리기판 위에 반사방지 구조를 적용하였다. 도 3은 유리기판 위에 원뿔형 반사방지 구조가 적용된 OLED의 단면도를 보여주고 있다. 캐소드로는 알루미늄 (Al)을 사용하였으며 애노드로 ITO(Indium tin oxide)를 사용하였다. 또한, 유기층인 HTL과 ETL의 유기물질을 NPB와 Alq3로 설정하였다. 각 층별 두께와 굴절률은 도 3에 제시되어 있다. OLED에서 발광하는 빛을 표현하기 위해 ETL과 HTL의 계면에서 ETL 쪽으로 20 nm 아래에 550 nm 파장의 빛을 방출하는 전기 쌍극자를 삽입하였다. 쌍극자의 진동 방향은 기판에 평행한 두 가지 성분과 수직인 성분 등 총 세 가지 방향으로 설정했고 이 결과들의 평균값을 통해 OLED의 광효율을 확인하였다. 도 4는 세 가지 반사방지 구조가 유리 기판에 적용된 OLED 모델의 단면도를 보여주고 있다. OLED는 점광원 (진동하는 전기 쌍극자)을 사용하기 때문에 시뮬레이션 영역을 주기적 경계조건 (periodic boundary condition)으로 설정할 수 없다. 시뮬레이션 영역의 경계조건에 의해 빛이 반사되어 결과에 간섭을 주면 오차가 커지기 때문에 빛을 흡수하고 반사로 인한 측정 오류를 줄여 정확한 결과를 얻을 수 있도록 경계조건을 PML로 설정하였다.

[0052] 결과

[0053] 기존 데이터와 반사율 데이터 비교

[0054] 우선 피치를 300 nm로 유지하고 원뿔의 높이를 변경한 구조에 대해 반사율 데이터를 구한 후 선행연구에서 진행된 결과와 비교하였다. 도 5의 (a)는 파장에 따른 유리 기판의 반사율 데이터를 보여준다. 이 결과는 선행연구의 결과와도 비슷하고 프레넬 방정식에서 예측되는 결과와도 일치한다. 파장이 줄어들수록 반사율이 커지는 것은 파장에 따른 굴절률의 변화를 반영하는 것이다. 도 5의 (b)는 300 nm의 피치로 배열된 원뿔형 패턴의 높이를 변경하면서 구한 반사율 데이터를 보여준다. 원뿔형 반사방지막의 적용을 통해 반사율이 3.4% 수준에서 0.8~1.2% 수준으로 줄어들었고, 이 결과는 선행연구의 결과와 일치하는 것이다.

[0055] 구조에 따른 반사율 측정

[0056] 최적화된 반사방지막 구조를 확보하기 위해 세가지 패턴이 가지는 형상변수들을 다양하게 변화시키면서 반사율을 조사했다.

[0057] 우선 원뿔형 패턴의 피치에 따른 반사율 특성을 확인하기 위해 높이를 고정시키고 피치를 변화시켰을 때 반사율 스펙트럼을 확인하였다. 도 6은 원뿔형 패턴의 고정된 높이에서 피치 변화에 따른 반사율 스펙트럼을 보여주고 있다. 반사율 스펙트럼을 보면 피치가 줄어들수록 반사율이 감소함을 보인다. 이는 나노 구조물들 사이의 거리가 좁아질수록 유효 굴절률이 완만하게 변화하며 프레넬 반사를 줄여주기 때문으로 해석된다. 반면에 피치가 커지면 원뿔과 원뿔 사이에 평면의 경계면 면적이 증가하면서 프레넬 반사가 증가한다. 반사율은 피치가 200 nm일 때 최소가 되었고 이 때 높이를 1 μ m로 설정하면 평균 반사율은 약 0.05%까지 감소함을 확인했다. 반면에 원뿔의 높이가 변화함에 따른 반사율 스펙트럼의 차이는 그리 크지 않았다. 도 7은 포물면형 패턴의 높이를 고정하고 피치를 변화시켰을 때 파장에 따른 반사율을 보여준다. 원뿔형 패턴과 마찬가지로 피치가 줄어들면 반사율이 급격히 감소함을 알 수 있다. 특히 높이 1 μ m, 피치 200 nm일 때 평균 반사율이 0.04% 정도까지 떨어짐을 확인했다. 반사율 스펙트럼의 또 다른 특징으로는 파장에 따라 반사율이 진동 하는 패턴을 보인다는 것이다. 포물면형 패턴이 자리잡은 층의 유효 굴절률은 유리 기판의 굴절률과 공기의 굴절률의 중간 정도에 해당한다. 따라서 포물면형 패턴의 아래와 위에 굴절률의 차이가 발생하는 두 계면이 존재하는 효과를 가진다. 이 경우 두

계면에서 반사되는 두 빛의 광경로 차이에 따라 보강 간섭과 상쇄 간섭이 파장의 함수로 발생할 것이다. 피치가 커지면 패턴과 패턴 사이에 평면의 경계를 가진 면적이 증가한다. 이는 패턴이 차지하는 영역의 유효 두께가 감소하는 효과를 가진다. 두 경계면에서 반사하는 사이의 간섭 조건을 확인하면 간섭을 일으키는 파장과 막의 두께 사이에는 비례하는 관계가 있다. 따라서 피치가 증가하면 패턴(막)의 유효 두께가 줄어들어 상쇄간섭(반사율이 최소)이나 보강간섭(반사율이 최대)이 일어나는 파장도 줄어들게 된다. 도 7에 제시된 데이터는 정확히 이 결과를 나타내는데, 피치가 증가함에 따라 반사율의 피크 파장이나 최소값이 일어나는 파장이 줄어들음을 보여주고 있다. 원뿔형 패턴에 비해 포물면형 패턴에서 간섭 현상이 더 뚜렷이 관측된 이유는 원뿔에 비해 포물면형의 형상 특성 상 굴절률이 차이가 나는 두 경계면이 더 뚜렷하기 때문인 것으로 판단된다.

[0058] 다음으로 음각 포물면형 패턴의 반사율을 조사했다. 도 8은 높이(깊이)를 고정된 상태에서 피치에 따른 반사율 스펙트럼을 보여주고 있다. 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 이 패턴 역시 앞선 결과들과 마찬가지로 피치가 줄어들어 따라 반사율이 감소함을 보이며 높이가 변화함에 따라서는 반사율 스펙트럼에 큰 차이가 나타나지 않는다. 높이에 무관하게 200 nm의 피치일 때 약 0.04%의 평균 반사율을 보임을 확인하였다. 간섭 패턴의 형성 및 간섭이 일어나는 파장의 피치에 따른 의존성 역시 양각 포물면형 패턴에 대한 논의에서 제시한 결과가 그대로 적용되는 것으로 판단된다. 즉 피치가 증가하면 패턴(막)의 유효 두께가 줄어들며 간섭이 일어나는 파장도 줄어드는 것이다. 이상의 결과를 종합하면 실리카 기판의 평균 반사율이 3.4% 인데 비해 다양한 나노 구조물을 기판 위에 올리면 평균 반사율이 최소 0.037%까지 감소하는 것을 확인하였다.

[0059] 광추출 효율 실험

[0060] 이런 최적화된 반사방지 구조를 OLED의 유리기판 위에 형성함으로써 OLED의 광추출 효율이 증가하는지 조사하였다. 우선 반사방지 구조가 형성되지 않은 일반 OLED의 광효율을 조사했다. 즉 도 3에서 반사방지 구조만 제외된 기본 OLED에 대해 수평 (x) 방향으로 진동하는 쌍극자 하나만 설정해서 ETL의 두께 변화에 따른 광추출 효율을 조사하였다. 그 결과는 도 9의 (a)에 제시되어 있다. ETL 상부에서 방출된 빛 중 그대로 유리 기판 쪽으로 올라오는 빛과 아래를 향해 금속 전극에서 반사되어 올라오는 빛 사이에 간섭이 발생한다. 보강간섭의 조건이 만족될 때 광추출 효율이 최대가 되는데 본 데이터를 보면 ETL 두께가 70 nm, 260 nm 정도일 때 보강간섭이 발생함을 알 수 있다. 이 수치들은 보강간섭의 조건 식에서 계산한 수치들과 거의 일치함을 알 수 있다. 이러한 간섭 효과는 OLED에서는 매우 잘 알려져 있는 현상이다.

[0061] 반사 방지 구조가 광효율에 미치는 영향 실험

[0062] 반사 방지 구조가 OLED의 광효율에 미치는 영향을 실험했다. 도 3에 보이는 것처럼 반사방지패턴을 유리 기판 위에 형성했다. 앞의 결과에서 피치가 작을수록 반사율이 낮았으며 높이에 대한 의존성이 약했기 때문에 피치를 200 nm로 설정하고 높이를 700 nm로 설정하여 유리기판 위에 적용시켰다. 아울러 ETL 두께는 도 9의 (a)의 결과를 토대로 260 nm로 설정하였다. 표 1과 도 9의 (b)는 기본 OLED와 반사방지 구조가 적용된 OLED들의 광추출 효율 결과를 보여주고 있다. 도 9의 (a)는 수평 쌍극자에 대한 시뮬레이션 결과지만 도 9의 (b)는 세 방향의 쌍극자에 대해 얻은 결과를 평균낸 것으로서 기본 OLED의 광추출 효율은 22.55% 였으며 반사방지 구조를 적용시켰을 때의 광추출 효율은 24-25%로 상승했음을 알 수 있다. 이는 기본 OLED의 광추출효율에 비해 7.8-9.2% 정도 상승한 수치이다. 평평한 기판 유리로 구성된 기본 OLED에서 유리 기판에 갇히는 빛의 비중은 생성된 빛의 약 30% 정도로 계산된다. 그 중에서 음각 포물면형 패턴의 상승률이 가장 높은 수치를 보였다.

표 1

	OLED	OLED+cone	OLED+parabola	OLED+R-parabola
OCE (%)	22.55	24.37	24.31	24.62
OCE_Improvement (%)		8.1	7.8	9.2

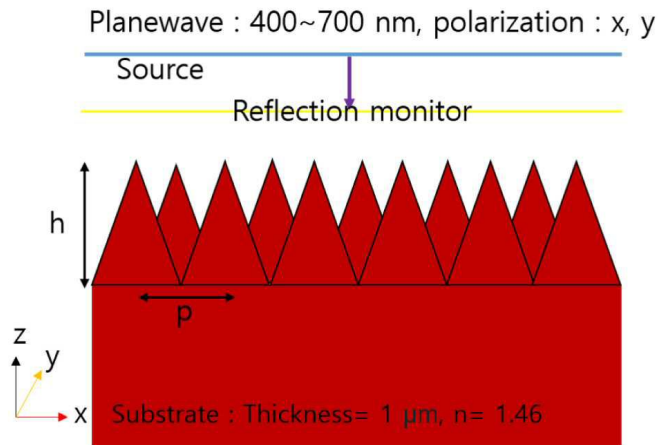
[0063]

[0065] 반사방지 패턴이 광추출 효율의 상승에 기여하는 정도가 작은 이유를 분석하기 위해 유리 기판과 반사 방지 구조층 주변의 전기장 프로파일을 확인하였다. 도 10은 OLED 평면에 나란한 방향(x)으로 배열된 전기쌍극자의 복사 패턴에 대한 유리기판과 반사방지 구조층, 공기층에서의 전기장 세기 분포를 보여준다. 이를 보면 유리기판에 갇힌 빛이 네 가지 조건 하에서 비슷한 정도로 외부로 추출되는 것을 알 수 있다. 특히 반사방지 패턴이 있는 경우에는 미세 패턴의 위치에서 전기장의 세기가 센 것을 확인할 수 있다. 수백 nm 크기의 나노 구조물이 있

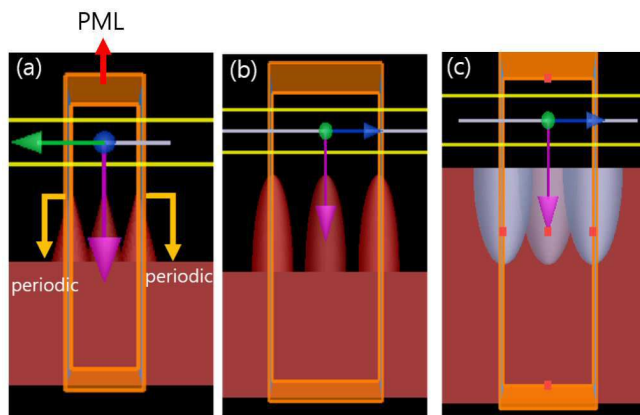
는 경우에는 패턴과 공기 사이의 상대적 비중이 변화되면서 굴절률의 점진적인 변화를 유도해 빛의 투과도를 향상시키는 효과 뿐 아니라 나노구조물 자체가 미(Mie) 산란자로 작용할 가능성도 있다. 이는 나노 구조 패턴과 전자기파 사이의 상호작용에 대해 보다 구체적인 분석이 요구됨을 의미한다. 본 연구 결과는 나노구조 패턴의 적용을 통해 가시광선의 반사율을 매우 낮게 줄일 수 있다는 것을 보여주었다. 이런 반사 방지 구조는 향후 태양전지를 포함한 다양한 분야에서 광손실을 줄일 수 있는 용도로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

도면

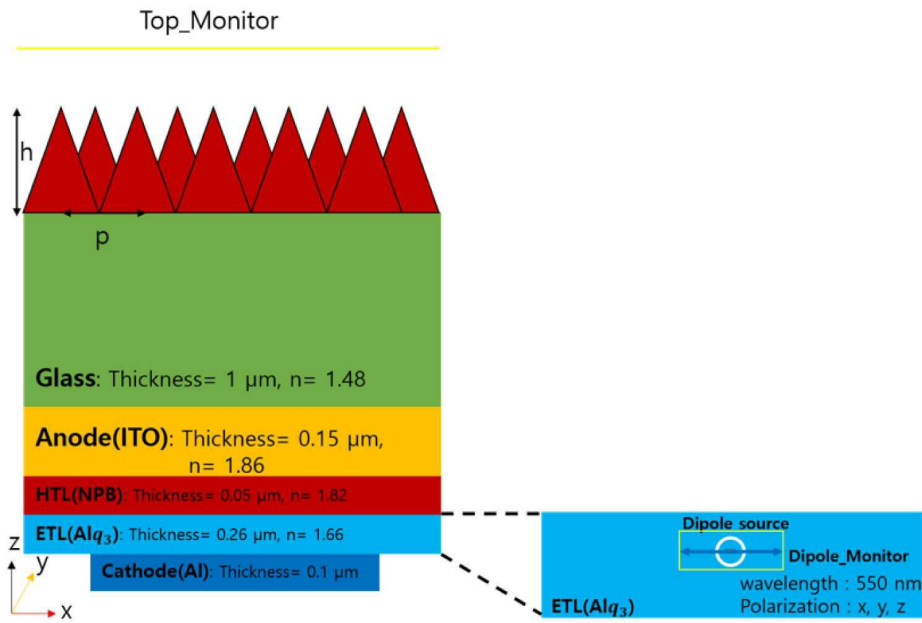
도면1



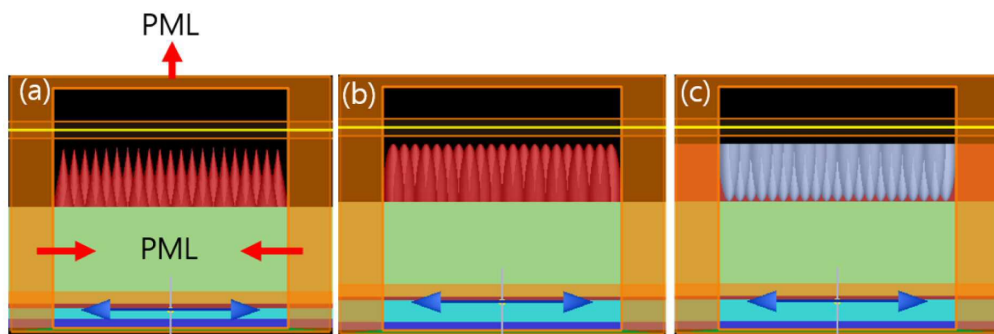
도면2



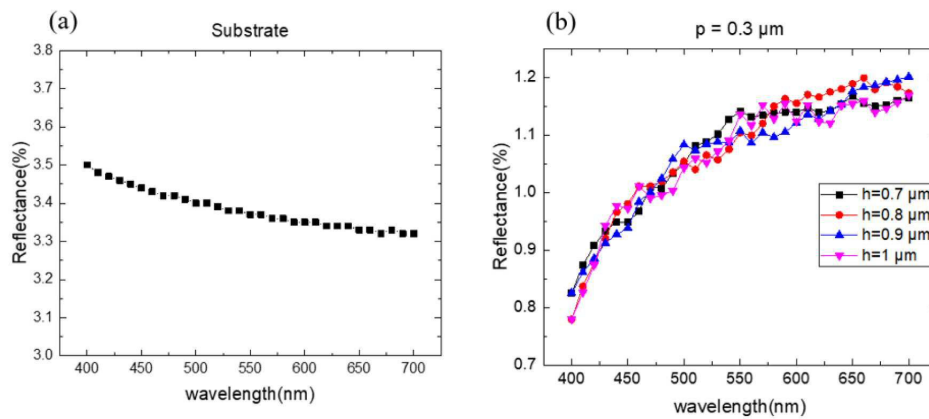
도면3



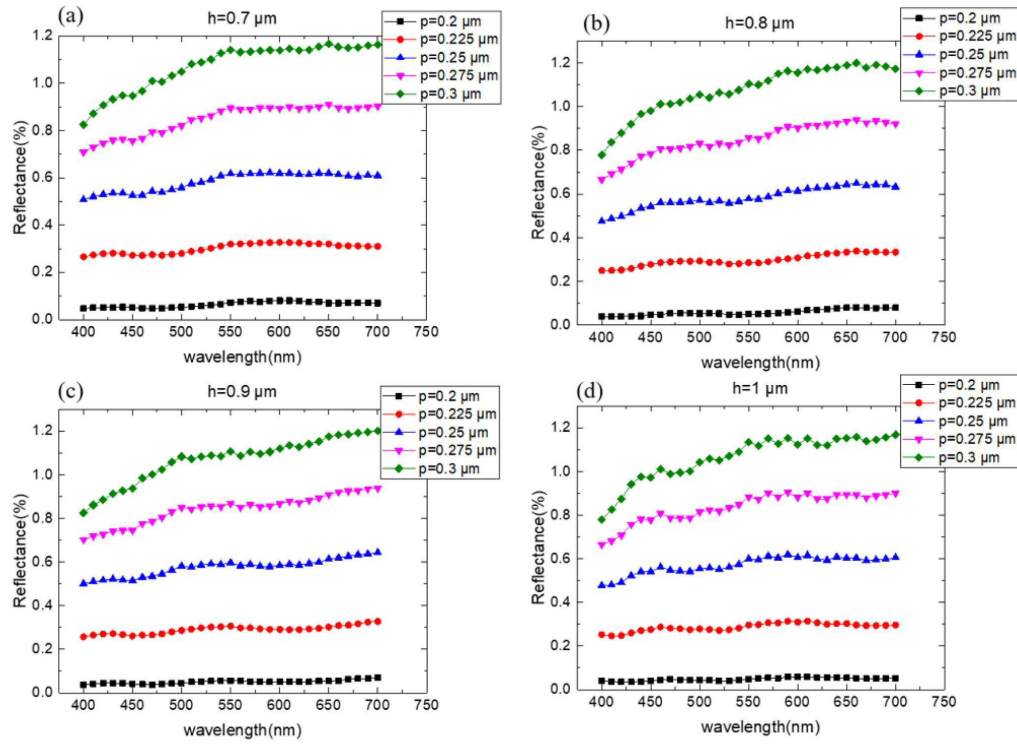
도면4



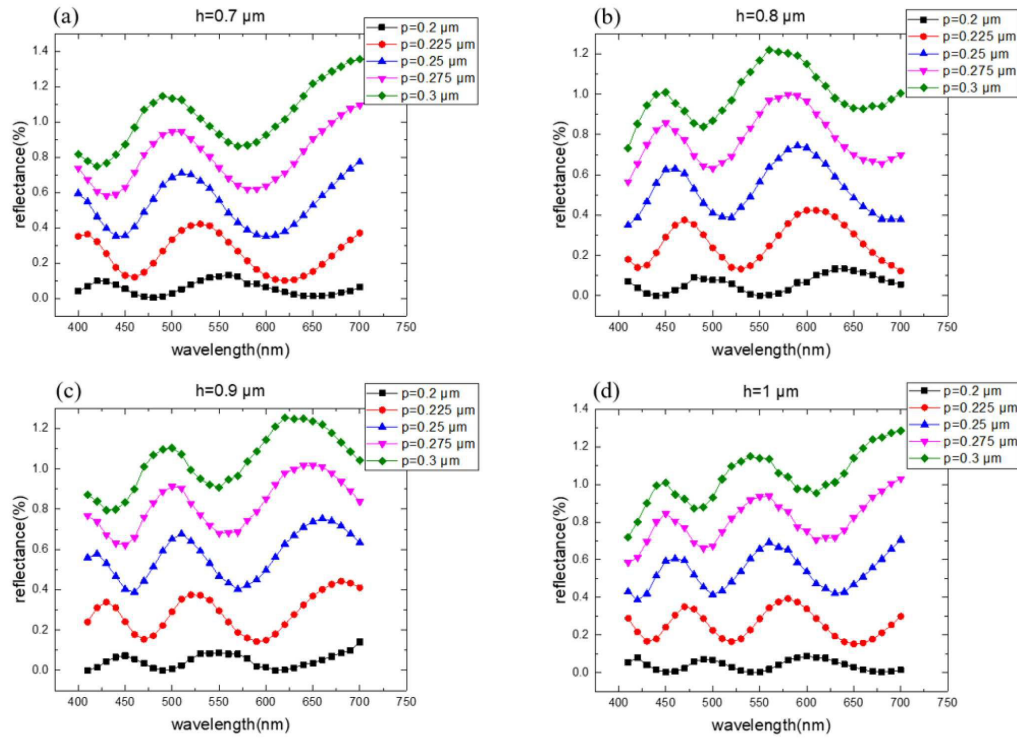
도면5



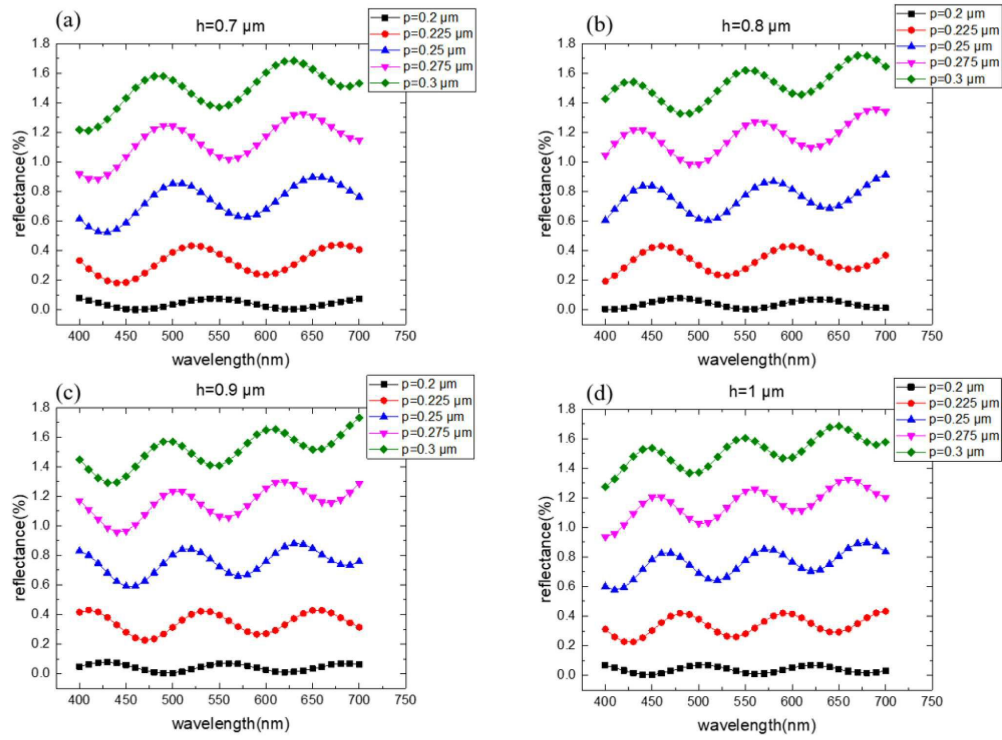
도면6



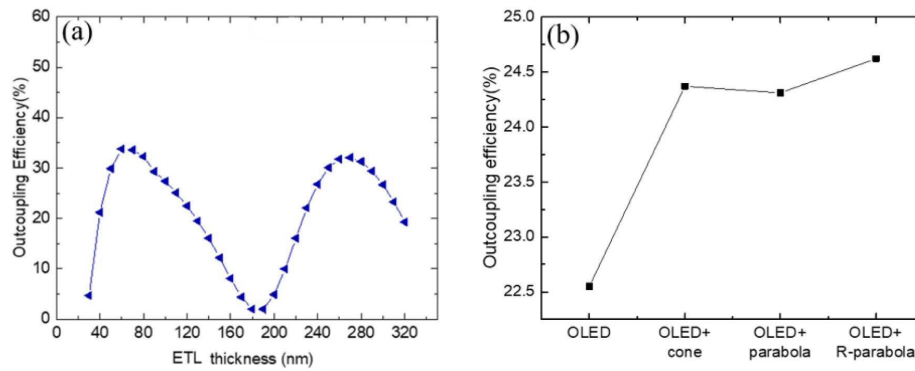
도면7



도면8



도면9



도면10

