



등록특허 10-2789325



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2025년03월31일

(11) 등록번호 10-2789325

(24) 등록일자 2025년03월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10K 50/816 (2023.01) H10K 102/00 (2023.01)

H10K 50/11 (2023.01) H10K 50/813 (2023.01)

H10K 50/82 (2023.01)

(52) CPC특허분류

H10K 50/816 (2023.02)

H10K 50/11 (2023.02)

(21) 출원번호 10-2024-0010030

(22) 출원일자 2024년01월23일

심사청구일자 2024년01월23일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020200089143 A*

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

주병권

서울특별시 은평구 진관4로 48-17, 711동 1004호 (진관동, 은평뉴타운상림마을)

임도기

충청남도 아산시 탕정면 탕정면로 37, 203동 1405호(탕정삼성트라펠리스아파트)

박준영

경기도 파주시 미래로 422, 103동 902호(야당동, 한빛마을 1단지 한라비발디 센트럴파크)

(74) 대리인

송인호, 윤형근, 최관락

전체 청구항 수 : 총 4 항

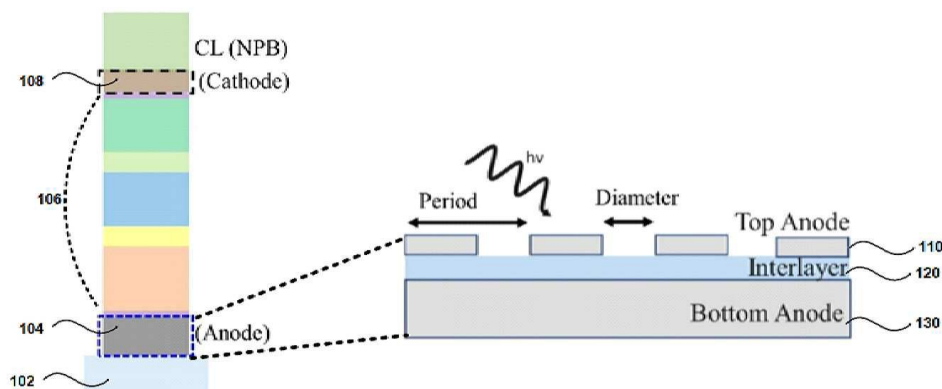
심사관 : 전태종

(54) 발명의 명칭 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 및 이를 포함하는 유기발광소자

(57) 요약

광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 및 이를 포함하는 유기발광소자가 개시된다. 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극은, 상부 애노드 층; 상기 상부 애노드 층 하부에 위치되는 하부 애노드 층; 및 상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층 사이에 위치되며, 상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층을 구성하는 물질에 따라 상이한 유전 상수를 가지는 물질로 구성되는 중간층을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 50/813 (2023.02)

H10K 50/82 (2023.02)

H10K 2102/351 (2023.02)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020210116108 A*

KR1020220010363 A

KR1020220025448 A

KR1020220143250 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

상부 애노드 층-상기 상부 애노드 층은 소정의 크기를 가지는 홀(hole)이 소정 간격마다 형성된 2차원 패턴 어레이가 형성되되, 상기 홀의 형상은 원형 또는 다각형으로 형성됨;

상기 상부 애노드 층 하부에 위치되는 하부 애노드 층-상기 하부 애노드 층은 소정의 크기를 가지는 홀(hole)이 소정 간격마다 형성된 2차원 패턴 어레이가 형성되되, 상기 하부 애노드 층에 형성되는 홀은 상기 상부 애노드 층에 형성된 홀과 엇갈리도록 배치됨; 및

상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층 사이에 위치되며, 상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층의 유전체 절연 역할을 하는 중간층을 포함하는 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 홀의 크기는 입사광 파장보다 작게 형성되되,

$\lambda > \text{diameter} \geq \lambda/3$ 범위로 형성되되, λ 는 입사광의 파장인 것을 특징으로 하는 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 상부 애노드 층은 40nm 이하의 두께로 형성되며,

상기 하부 애노드 층은 30nm를 초과하는 두께로 형성되는 것을 특징으로 하는 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극.

청구항 6

기판 위에 형성된 애노드 전극층;

상기 애노드 전극 상에 형성된 유기층;

상기 유기층 상에 형성된 캐소드 전극층을 포함하되,

상기 애노드 전극층은,

상부 애노드 층-상기 상부 애노드 층은 소정의 크기를 가지는 홀(hole)이 소정 간격마다 형성된 2차원 패턴 어

레이가 형성되되, 상기 홀의 형상은 원형 또는 다각형으로 형성됨;

상기 상부 애노드 층 하부에 위치되는 하부 애노드 층-상기 하부 애노드 층은 소정의 크기를 가지는 홀(hole)이 소정 간격마다 형성된 2차원 패턴 어레이가 형성되되, 상기 하부 애노드 층에 형성되는 홀은 상기 상부 애노드 층에 형성된 홀과 엇갈리도록 배치됨; 및

상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층 사이에 위치되며, 상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층의 유전체 절연 역할을 하는 중간층을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기발광소자.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 및 이를 포함하는 유기발광소자에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 유기발광소자(OLEDs: Organic Light Emission Diodes)는 디스플레이 응용 분야에서 사용되는 광학 장치 중 하나로, TV, IT 기기용 모니터, 모바일용 디스플레이 등에 널리 적용되고 있다. 최근 메타, 애플, 삼성 중 주요 제조사들은 증강현실(AR: Augmented Reality), 가상 현실(VR: Virtual Reality), 혼합 현실(MR: Mixed Reality)을 위한 신제품 개발에 박차를 가하고 있다.

[0004] VR 헤드셋의 경우 광학 장치는 사용자에게 가상 현실을 제공하기 위해 최대 2000ppi(Pixel per Inch: 인치당 픽셀)의 고해상도와 1000nit 밝기를 갖춰야 한다. 이로 인해 광학 장치는 미세한 피치 픽셀과 높은 아웃커플링 효율을 필요하며, 최근에는 수직으로 적층된 구조의 5100ppi 해상도 패널이 샘플링되었다. OLEDo는 AR, VR 광학소자 후보 중 하나이며, 이들은 실리콘 웨이퍼에 LED를 적층한 구조이다.

[0005] 디스플레이 패널 공정에서 전통적인 기판인 유리 대신 미세 피치 픽셀을 위해 반도체 공정의 실리콘 웨이퍼 위에 두개의 장치를 제조한 것으로, Sony, Samsung Display, LG Display, BOE, Kopin 등 OLEDos를 개발한 주요 디스플레이 패널 제조사들은 Apple의 VR 헤드셋인 Meta의 양산을 위한 광학소자 공급에 공격적으로 접근하고 있다.

[0006] AR 디스플레이는 높은 아웃커플링 효율이 필요하며, 아웃커플링 효율 손실은 기관 모드, 도파관 모드, SPP(surface plasmon polariton) 모드로 분류된다. 기관 모드와 도파관 모드는 적층된 각 층의 굴절률 불일치로 인해 입사광이 고굴절률 층과 저굴절률 층의 경계면에서 내부 전반사를 일으키게 된다. 그러나 SPP는 입사광으로부터 광자 에너지를 흡수하는 유전 물질과 금속의 경계면에서 전자 진동이다.

[0007] OLED의 아웃커플링 효율을 향상시키기 위한 많은 연구가 수십 년 동안 진행되어 왔으나, SPP 손실이 OLED 전체 방출 에너지의 약 30%임에도 불구하고 SPP 여기를 위한 구조 개선은 이루어지지 않고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 및 이를 포함하는 유기발광소자를 제공하기 위한 것이다.

[0010] 또한, 본 발명은 OLED 광 손실 중 애노드 메탈 전극에서 발생하는 SPP 손실을 감소시켜 광효율을 개선할 수 있는 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 및 이를 포함하는 유기발광소자를 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명의 일 측면에 따르면, 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 및 이를 포함하는 유기발광소자가 제공된다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상부 애노드 층; 상기 상부 애노드 층 하부에 위치되는 하부 애노드 층; 및 상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층 사이에 위치되며, 상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층을 구성하는 물질에 따라 상이한 유전 상수를 가지는 물질로 구성되는 중간층을 포함하는 광추출을 위한 유기발광소

자용 애노드 전극이 제공될 수 있다.

[0014] 상기 상부 애노드 층은 소정의 크기를 가지는 홀(hole)이 소정 간격마다 형성된 2차원 패턴 어레이가 형성되되, 상기 홀의 형상은 원형 또는 다각형으로 형성될 수 있다.

[0015] 상기 하부 애노드 층은 소정의 크기를 가지는 홀(hole)이 소정 간격마다 형성된 2차원 패턴 어레이가 형성되되, 상기 하부 애노드 층에 형성되는 홀은 상기 상부 애노드 층에 형성된 홀과 엇갈리도록 배치될 수 있다.

[0016] 상기 홀의 크기는 입사광 파장보다 작게 형성되되, $\lambda > \text{diameter} \geq \lambda/3$ 범위로 형성되되, λ 는 입사광의 파장이다.

[0017] 상기 상부 애노드 층은 40nm 이하의 두께로 형성되며, 상기 하부 애노드 층은 50nm 이상의 두께로 형성될 수 있다.

[0019] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 기관 위에 형성된 애노드 전극층; 상기 애노드 전극 상에 형성된 유기층; 상기 유기층 상에 형성된 캐소드 전극층을 포함하되, 상기 애노드 전극층은, 상부 애노드 층; 상기 상부 애노드 층 하부에 위치되는 하부 애노드 층; 및 상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층 사이에 위치되며, 상기 상부 애노드 층과 상기 하부 애노드 층을 구성하는 물질에 따라 상이한 유전 상수를 가지는 물질로 구성되는 중간층을 포함하는 유기발광소자가 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 및 이를 포함하는 유기발광소자를 제공함으로써, OLED 광 손실 중 애노드 메탈 전극에서 발생하는 SPP 손실을 감소시켜 광효율을 개선할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 구조를 도시한 도면.
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 애노드 층에 형성되는 2차원 패턴 어레이의 홀 간격에 따른 광 효율을 비교한 도면.
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 애노드 층의 상하면의 광 효율을 분석한 결과.
 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 홀 간격, 홀 직경 및 듀티 사이클에 따른 광 효율을 비교한 도면.
 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 애노드 층의 두께에 따른 광효율을 비교한 도면.
 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 애노드 층의 물질에 따른 광 효율을 비교한 도면.
 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 중간층 두께에 따른 광 효율을 비교한 도면.
 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 중간층의 유전상수, 굴절률에 따른 광효율을 비교한 도면.
 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 하부 애노드 층의 두께에 따른 광효율을 비교한 도면.
 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 하부 애노드 층의 물질에 따른 광 효율을 비교한 도면.
 도 11은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 애노드 구조에 따른 광 경로를 도시한 도면.
 도 12 및 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 층 구조를 가지는 애노드 전극 구조에서의 EOT를 설명하기 위해 도시한 도면.
 도 14는 본 발명의 다른 실시예에 따른 이중 층 구조를 가지는 애노드 전극 구조를 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지

않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0025] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 광추출을 위한 유기발광소자용 애노드 전극 구조를 도시한 도면이다. 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 유기발광소자는 기관(102), 애노드층(104), 유기층(106) 및 캐소드층(108)을 포함하여 구성된다. 유기발광소자의 기본 구조 및 이의 동작은 당업자에게는 자명한 사항이므로 이에 대한 설명은 생략하기로 하며, 본 발명의 주요 논지인 애노드 전극 구조에 대해 상세히 기술하기로 한다.

[0028] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 애노드 층(104)은 이중 층(double layer) 구조로 구성될 수 있다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 애노드 층(104)은 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130)을 포함하며, 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130) 사이에는 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130)의 유전체 절연(dielectric insulator) 역할을 하는 중간층(120)이 형성될 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따르면 상부 애노드 층(110)에는 소정 크기를 가지는 홀(hole)이 소정 간격으로 배치되는 2차원 패턴 어레이가 형성될 수 있다.

[0031] 본 발명의 일 실시예에서는 홀의 형상은 원형 또는 삼각형, 정사각형, 직사각형 등과 같은 다각형 형상으로 형성될 수도 있다. 이하에서는 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해 홀의 형상이 원형인 것을 가정하여 이를 중심으로 설명하기로 한다.

[0032] 2차원 패턴 어레이에 형성되는 홀의 크기(직경)는 입사광의 파장보다 작은 크기로 형성될 수 있다. 홀의 직경은

$$\lambda > \text{diameter} \geq \lambda/3$$

범위로 형성되며, λ 는 입사광의 파장일 수 있다.

[0033] 도 2는 상부 애노드 층(110)에 형성되는 2차원 패턴 어레이의 홀 간격에 따른 광 효율을 도시한 도면이다. 도 2에서 보여지는 바와 같이, 2차원 패턴 어레이의 홀 간격이 700nm인 경우와 6000nm인 경우 광 효율이 유사한 것을 알 수 있다. 또한, 2차원 패턴 어레이의 홀 간격이 700nm인 경우와 6000nm인 경우 피크 파장이 최대이며, 서로 일치하는 것을 알 수 있다.

[0034] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 애노드 층의 상하면의 광 효율을 분석한 결과이다.

[0035] 상부 애노드 층(110)의 저면에서 최대 전기장은 x 방향의 홀 직경에 해당하는 것을 알 수 있다. 그러나, 도 3에 도시된 바와 같이 홀 직경이 100nm인 경우 전기장 모양이 홀 벽면에서 분리되지 않음을 알 수 있다. 즉, 홀 직경이 입사광의 파장 보다 작을 때 홀 벽이 입사광을 가두어 상부 애노드 층(110)의 저면으로 전달할 수 있음을 의미한다. 상부 애노드 층(110)에 형성되는 2차원 패턴 어레이의 홀 직경에 따라 홀은 안테나와 필터 역할을 하며 입사 광자를 중간층(120)으로 전달할 수 있다. 도 3에서 보여지는 바와 같이 상부 애노드 층(110)에 형성된 2차원 패턴 어레이의 홀 직경이 입사광 파장보다 큰 경우 직접 투과가 이상광투과EOT(extraordinary optical transmission) 현상을 압도하게 된다.

[0036] 도 4에서 보여지는 바와 같이, 상부 애노드 층(110)에 형성되는 2차원 패턴 어레이에서 홀 간격은 광효율에 영향을 미치는 것처럼 보이나, 홀 간격의 영향은 홀 직경에 의해 결정될 수 있다.

[0037] 또한, 도 4에서 보여지는 바와 같이, 상부 애노드 층(110)에 형성된 2차원 패턴 어레이의 듀티 사이클은 광효율에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 듀티 사이클은 "듀티 사이클=홀 직경/주기"와 같이 계산될 수 있다.

[0038] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상부 애노드 층(110)의 두께는 40nm이하로 형성될 수 있다.

[0039] 도 5에는 상부 애노드 층(110)의 두께에 따른 광 효율을 도시한 도면이다. 도 5에서 보여지는 바와 같이, 상부 애노드 층(110)의 두께가 증가함에 따라 광학적 캐비티와 EOT(SPP)의 영향으로 광효율이 변화되는 것을 알 수 있다. 광학적 길이가 증가하면 광 경로는 2배로 늘어나고 피크파장 또한 증가한다. 그러나 상부 애노드 층(110)의 SPP로 인해 피크 파장은 예상되는 광학적 캐비티 효과보다 작게 증가한다(도 5의 (b) 참조).

[0040] 또한, 상부 애노드 층(110)의 물질에 따라 광효율이 달라질 수 있다. SPP Q-팩터(factor)는 물질의 입사 광자를 저장하는 비율로 정의되며, 이를 수학식으로 나타내면 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$Q\text{-factor} = (\epsilon')^2 / \epsilon''$$

[0041]

[0042] 여기서, ϵ' 와 ϵ'' 는 금속 유전율의 실수부, 허수부를 나타낸다.

[0043] 도 6은 상부 애노드 층의 물질에 따른 광효율을 나타낸 도면이다. Q-팩터는 다양한 물질의 원거리장 강도(far field intensity)와 대수적으로 관련되어 있으며, 이는 입사 광자 에너지로 인해 진동이 큰 금속이 전송에 반응하고 이중 애노드 구조에서 광효율이 증가하는 것을 의미한다.

[0044] 다시, 도 1을 참조하면, 중간층(120)은 가시광 영역에서 투명한 SiO_x, SiN_x 계열의 유전체로 구성될 수 있다. 중간층(120)은 두께가 40nm 이하로 형성될 수 있으며, 유전 상수는 클수록 유리하다.

[0045] 도 7은 중간층 두께에 따른 광효율을 나타낸 도면이다.

[0046] 중간층(120)의 두께에는 광효율을 결정하기 위한 두가지 요건이 있다. 첫번째는 SPP 커플링 효과이며, 두번째는 발광층(EML: emission material layer)의 광학적 길이이다.

[0047] 도 7에서 보여지는 바와 같이 중간층(120)의 두께가 증가할수록 광효율이 낮아지며 피크 파장은 증가하는 것을 알 수 있으며, 이는 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130)에서 각각 발견된다.

[0048] 도 8에는 중간층의 유전상수, 굴절률에 따른 광효율을 나타낸 도면이다.

[0049] 도 8의 (a)와 (b)에서 보여지는 바와 같이, 중간층(120)의 유전 상수와 굴절률은 광효율과 관련이 없음을 알 수 있다. 또한, 도 8의 (c)에서 보여지는 바와 같이 유전 상수가 증가하면 금속에서 SPP의 표피 깊이(skin depth)가 더 깊어지는 것을 알 수 있다.

[0050] 또한, 중간층(120)은 하부 애노드 층(130)의 SPP 표면파(Evanescent wave)와 상부 애노드 층(110)의 SPP 표면파가 중첩하기 위해 애노드 금속의 표피 깊이보다 얇거나 동일한 두께로 형성되는 것이 바람직하다.

[0051] 하부 애노드 층(130)은 SPP의 표피 깊이(skin depth)와 전파 길이(Propagation Length)를 상부 애노드 층(110)을 형성하는 물질과 유사한 물질로 형성되는 것이 바람직하나, 반드시 상부 애노드 층(110)과 동일한 물질로 제한되지는 않는다.

[0052] 도 9에는 하부 애노드 층의 두께에 따른 광효율을 나타낸 도면이다. 도 9에서 보여지는 바와 같이 하부 애노드 층(130)의 두께는 하부 애노드 층(130)에서 SPP를 반사하고 유도하기에 충분한 30nm를 초과하는 경우 광효율에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

[0053] 또한, 하부 애노드 층(130)의 두께는 반사율 확보를 위해 50nm 이상의 두께로 형성되는 것이 바람직하다.

[0054] 도 10에는 하부 애노드 층(130)의 물질에 따른 광효율을 도시한 도면이다. 하부 애노드 층(130)의 물질에서 Q-팩터는 상부 애노드 층(110)의 물질과 유사한 경향으로 광효율이 결정되는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130)은 Al, Ag 등의 물질로 형성될 수 있다. 그러나, 반드시 이로 제한되는 것은 아니다.

[0055] 또한, 하부 애노드 층(130)의 표피 깊이가 상부 애노드 층(110)보다 더 길 때 광효율이 더 좋은 것을 알 수 있다. 하부 애노드 층(130)의 긴 표피 깊이는 상부 애노드 층(110)의 저면까지 도달할 수 있다.

[0056] 이와 같이, 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130)의 이중 층 구조로 애노드 전극이 구성되는 경우, 광 경로는 도 11에 도시된 바와 같다.

[0057] 도 11의 (a)는 종래의 애노드 전극의 광 경로를 도시한 도면이고, 도 11의 (b)는 본 발명의 일 실시예에 따른

이중 층 구조를 가지는 애노드 층(104)의 광 경로를 도시한 도면이다.

[0058] 도 11의 (b)는 본 발명의 일 실시예와 같이 상부 애노드 층(110)이 2차원 패턴 어레이 구조를 가지도록 형성되는 경우 광 경로를 도시한 도면으로, SPP 여기는 (2), (3), (4) 단계를 거친다.

[0059] 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해, 입사광의 파장은 480nm인 것을 가정하여 설명하기로 한다. 도 12를 참조하면, 상부 애노드 층(110)에 대한 입사광($\lambda_{inc} = 480nm$)은 금속과 중간층(120)의 계면(interface)에서 SPP가 발생한다. SPP의 파장(예를 들어, AI의 λ_{sp})은 SPP로부터 금속의 유전체 운동량으로 인해 입사광보다 460nm 더 짧다. EOT는 상부 애노드 층(110)에 형성된 홀을 통과하여 중간층(120)으로 진행하고, 상부 애노드 층(110)의 하부면에서 중간층(120)과의 상호 작용으로 인해 SPP가 유도될 수 있다.

[0060] 상부 애노드 층(110)의 상부면과 하부면에서의 SPP 파장은 금속의 유전 상수에 따라 달라지며, EOT의 크기는 상부 애노드 층(110)의 상하부면에서 SPP의 동일 파장에 의해 최대화 될 수 있다.

[0061] 또한, 상부 애노드 층(110)의 2차원 패턴 어레이의 홀의 EOT는 중간층(120)의 두께와 굴절률로 인해 위상이 지연되며, 이러한 위상차는 상부 애노드 층(110)의 SPP와 하부 애노드 층(130)이 어느 정도 일치하는지를 결정할 수 있다. 위상차는 수학적 2와 같이 계산될 수 있다.

수학적 2

$$\phi = d \cdot n / \lambda_0$$

[0062]

[0063] 여기서, d는 중간층의 깊이를 나타내고, n은 굴절률을 나타내며, λ_0 는 진공에서의 입사광 파장을 나타낸다.

[0064] 도 11의 (a)와 같은 종래의 애노드 전극 구조에서의 광추출 효율(outcoupling efficiency)은 수학적 3과 같이 계산되며, 도 11의 (b)와 같은 본 발명의 일 실시예에 따른 이중 층을 가지는 애노드 전극 구조에서의 광추출 효율은 수학적 4와 같다.

수학적 3

$$\eta_{ref} = \eta(0) + \eta(1) \times R(2) \times A_{top} \times \eta(3)$$

[0065]

수학적 4

$$\eta_{2dh} = \eta(0) + \eta(1) \times R(2) \times (A_{top} - A_{hole}) \times \eta(7) +$$

$$\eta(1) \times (1 - R(2)) \times T_{EOT(2)} \times A_{top} \times \eta(3) \times R(4)$$

$$\times \eta(5) \times T_{EOT(6)} \times \eta(7)$$

[0066]

[0067] 여기서, $\eta(0)$ 는 광 경로(0)의 효율을 나타내고, $R(2)$ 는 도 11의 (a)의 광 경로에서 애노드의 반사율을

나타내며, A_{top} 는 애노드 상부 면적을 나타내고, A_{hole} 는 상부 애노드 층(110)에 형성된 홀의 면적을 나타내고, $T_{EOT}(2)$ 는 상부 애노드 층의 EOT를 나타낸다.

[0068] 도 12 및 도 13의 (a)를 참조하면, 입사광은 상부 애노드 층(110)의 하부면의 SPP와 상호 작용하는 하부 애노드 층(130)의 SPP를 유도할 수 있다. SPP 커플링은 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130)의 물질과 중간 층(120)의 굴절률에 따라 달라질 수 있다. 결합된 SPP는 상부 애노드 층(110)의 저면으로 들어가 층간 및 금속의 경계면에서 효과적으로 흡수된다. 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130)의 SPP의 파동 벡터는 수학적 5 내지 수학적 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 5

$$\begin{aligned} k_{spp_top_up} &= k \sin \theta + m \times 2\pi / \Lambda \\ &= (2\pi / \lambda_0) \sin \theta + m \times 2\pi / \Lambda \end{aligned}$$

[0069]

수학적 6

$$\begin{aligned} k_{spp_top_down} &= k_{down} \sin \theta + m \times 2\pi / \Lambda \\ &= (2\pi n_{IL} / n_{EL} \lambda_0) \sin \theta + m \times 2\pi / \Lambda \end{aligned}$$

[0070]

수학적 7

$$k_{spp_btm} = k \sin \theta + k_{phase} = (2\pi / \lambda_0) \sin \theta + k_{phase}$$

[0071]

[0072] 여기서, k 는 입사광의 파동 벡터를 나타내고, θ 는 입사각, $m(= \pm 1, \pm 2, \dots)$ 은 정수, Λ 는 상단 애노드 층 (104)의 2차원 패턴 어레이의 홀 간격을 나타내며, n_{EL} 은 EL의 굴절률, n_{IL} 는 IL의 굴절률 k_{phase} 는 중간층의 위상 변화로 인한 것이다.

[0073] 커플링된 SPP 파동 벡터는 수학적 8과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 8

$$k_{outcoupling} = k_{spp_top_down} + k_{spp_btm}$$

[0074]

[0075] 도 13는 상부 애노드 층(110)과 하부 애노드 층(130)에서의 파동 벡터(a)와 소멸파(b)를 도시한 도면이다. 광자

에너지는 소멸과 프로파일의 노란색 영역에서 서로 전달되며, R_{btm} 는 하부 애노드 층(130)에서 입사광이 반사되는 양을 나타낸다.

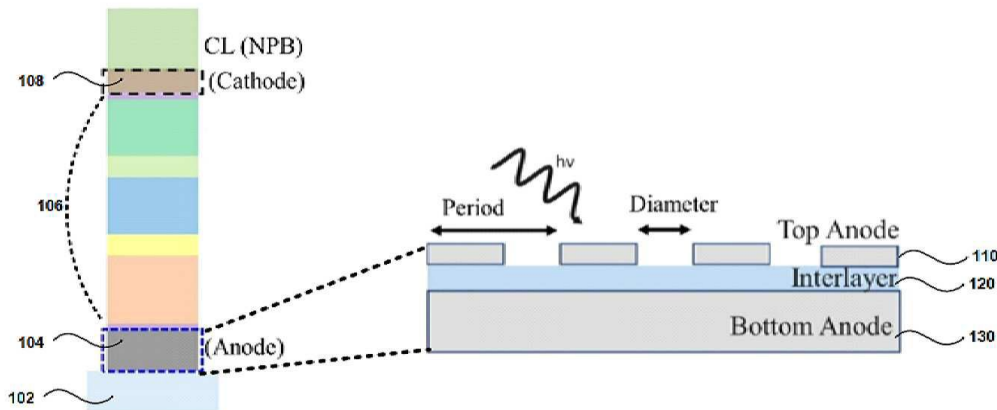
[0076] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 도 14에 도시된 바와 같이, 하부 애노드 층 또한 상부 애노드 층과 마찬가지로 소정 크기의 직경을 가지는 홀이 소정 간격으로 배열된 2차원 패턴 어레이 구조를 가질 수 있다.

[0077] 하부 애노드 층 또한 2차원 패턴 어레이 구조가 형성되는 경우, 도 14에 도시된 바와 같이 하부 애노드 층의 홀과 상부 애노드 층의 홀은 보강 간섭을 위해 엇갈리도록 배치될 수 있다.

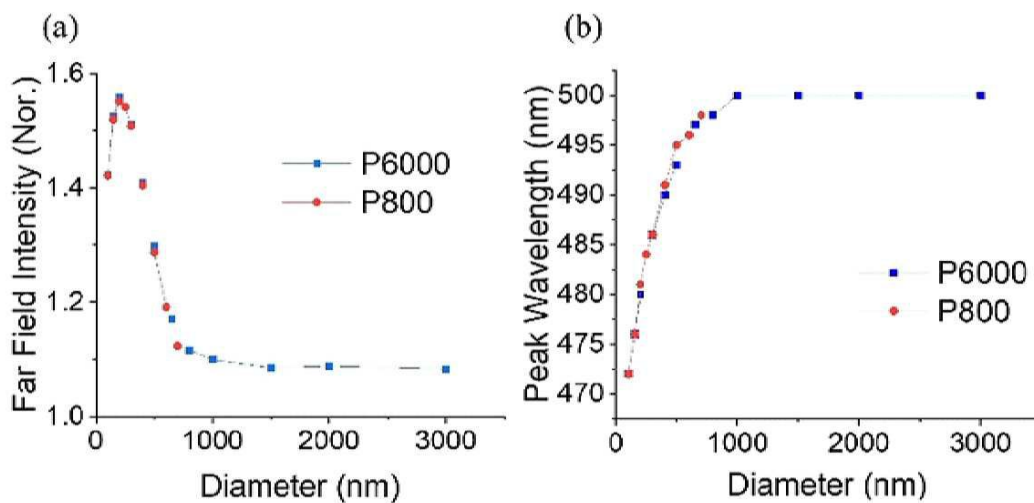
[0079] 이제까지 본 발명에 대하여 그 실시 예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

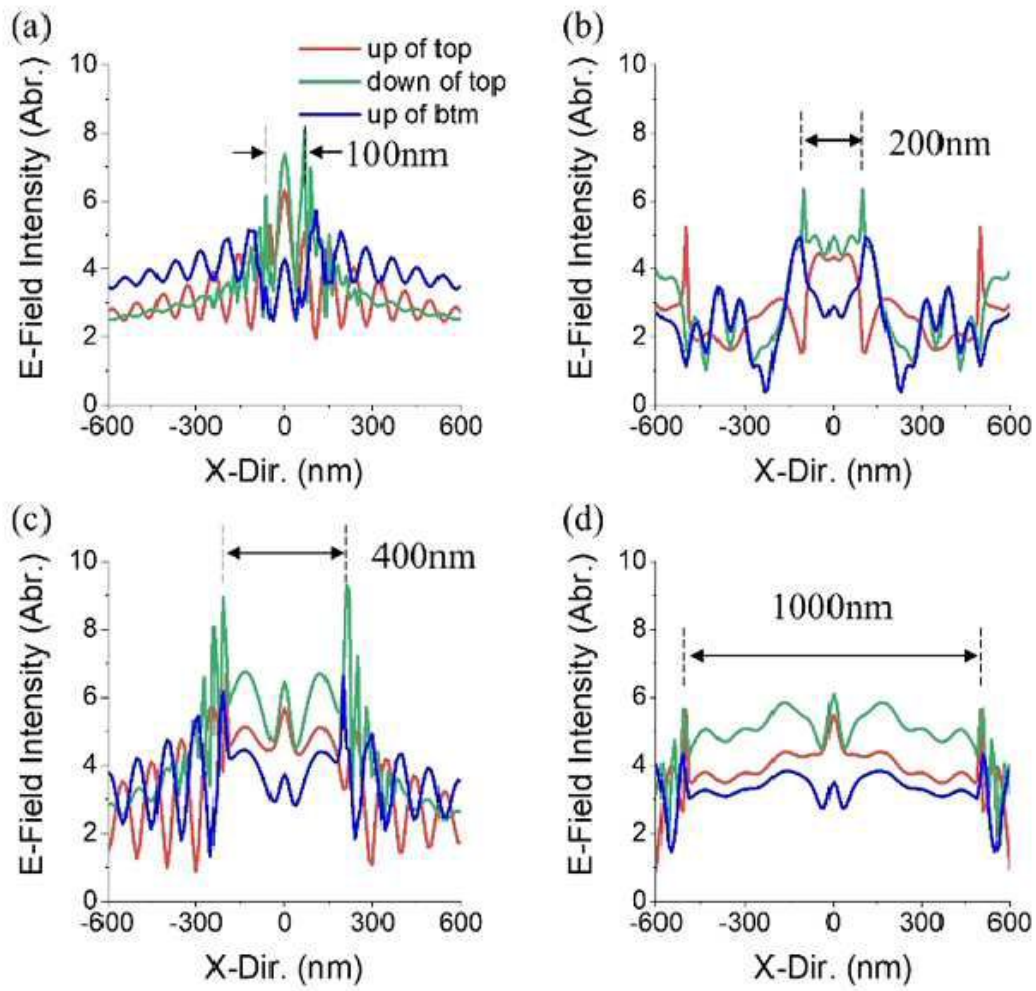
도면1



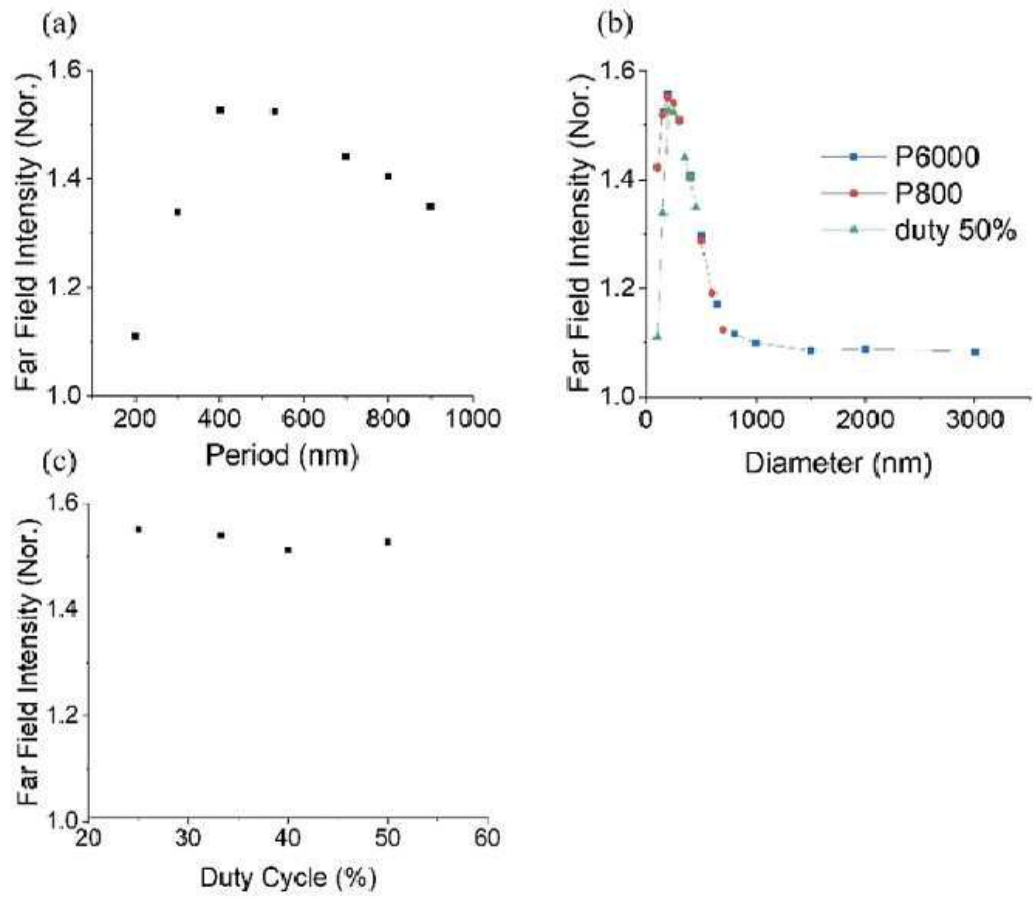
도면2



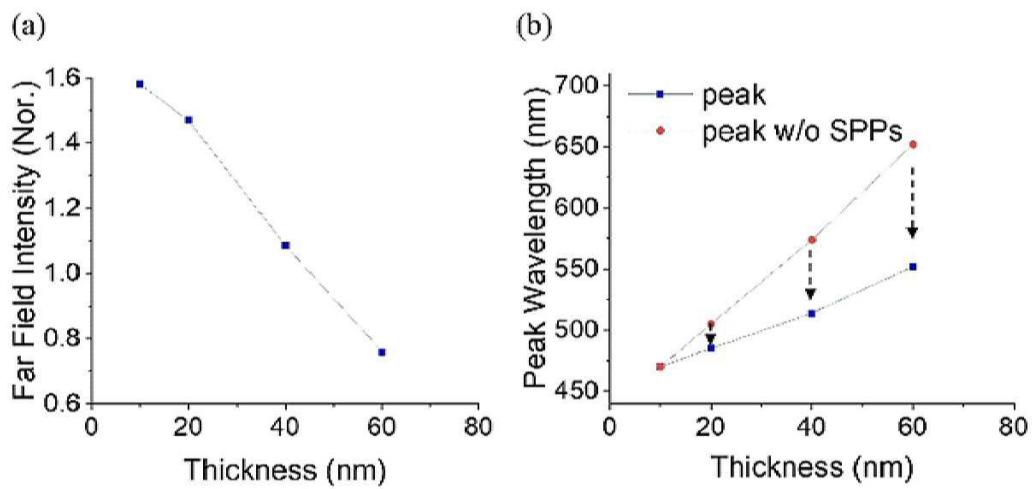
도면3



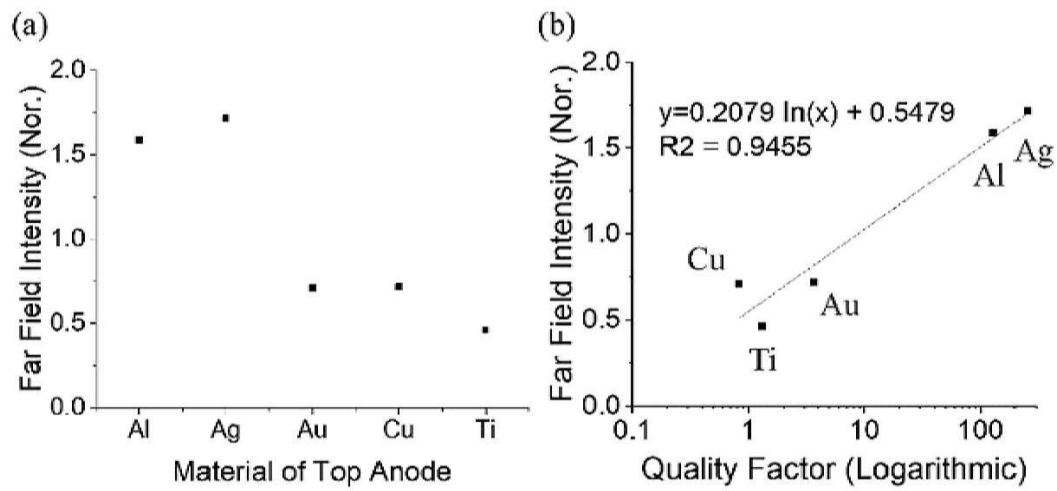
도면4



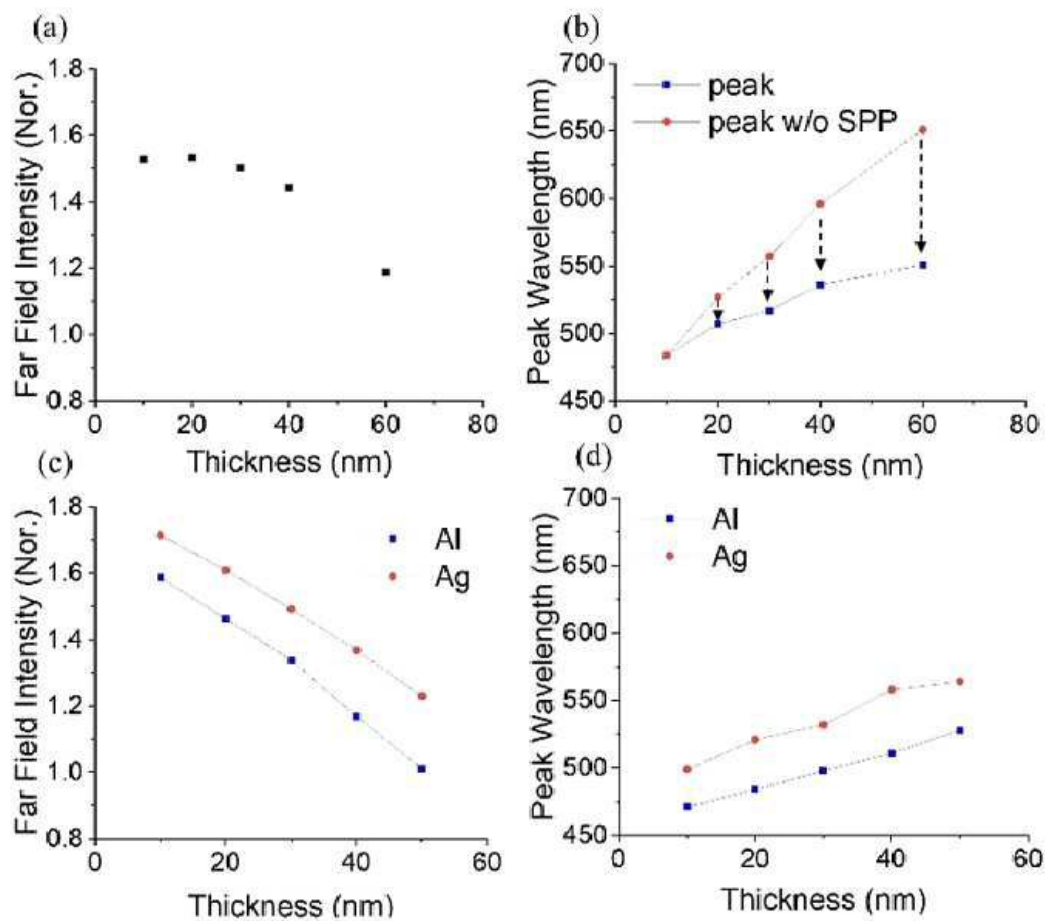
도면5



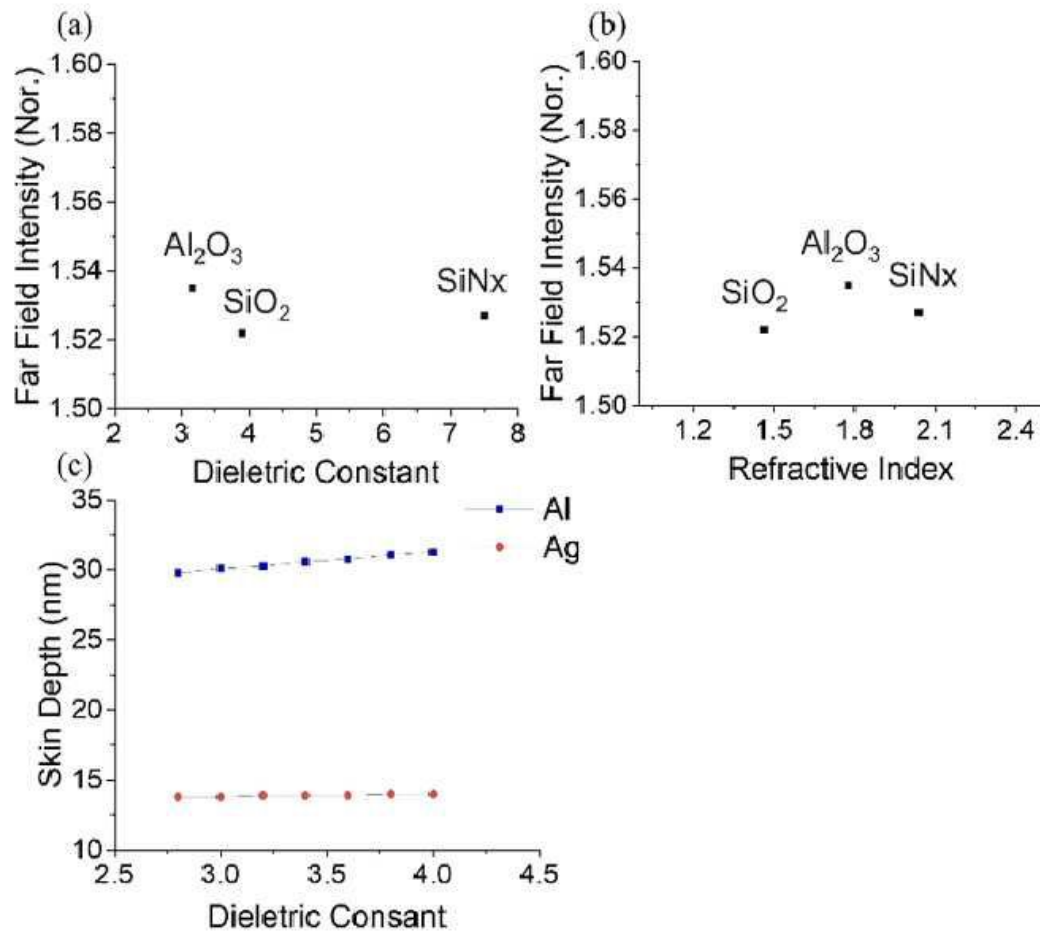
도면6



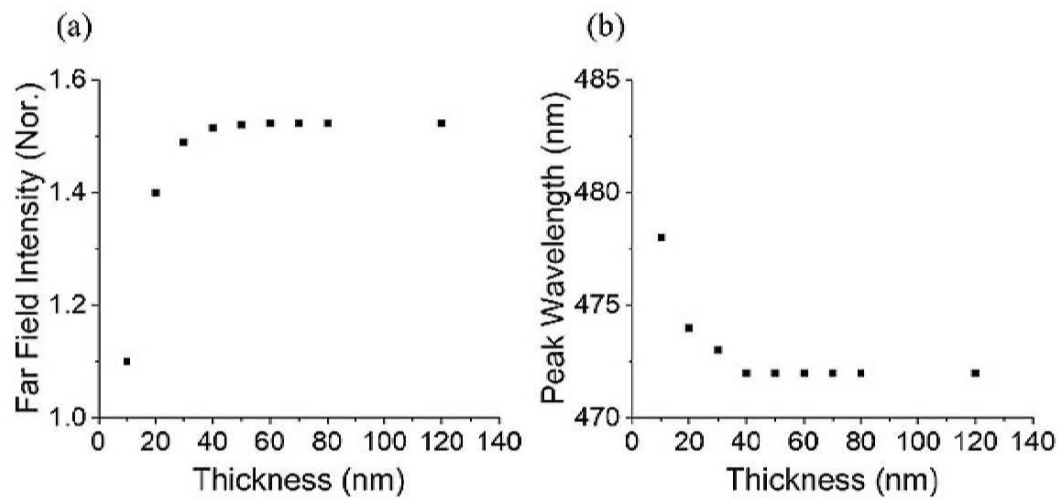
도면7



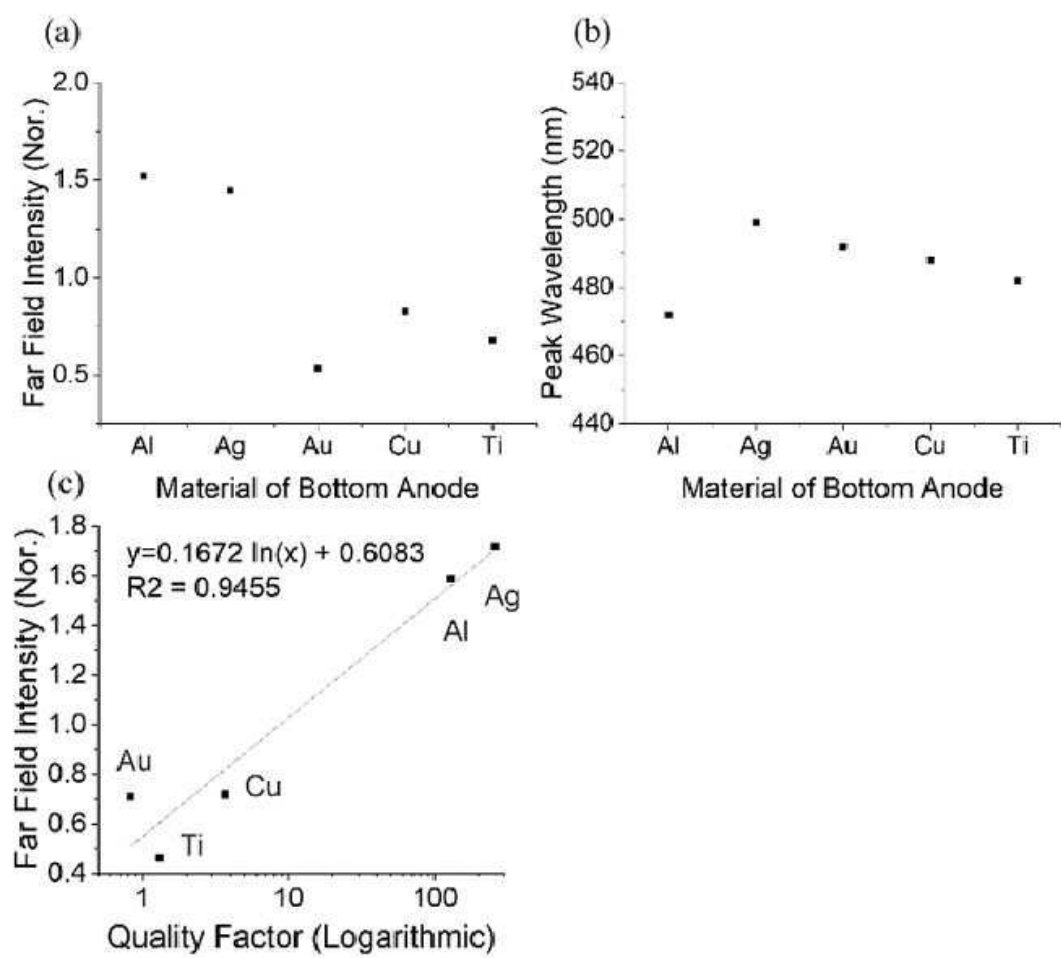
도면8



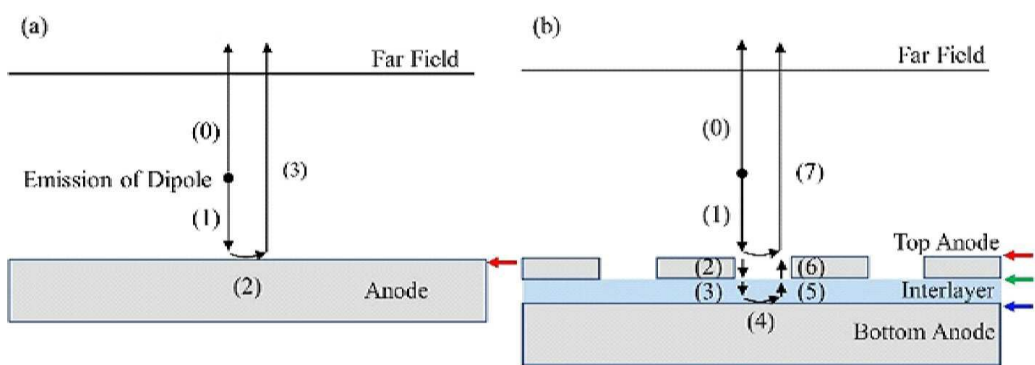
도면9



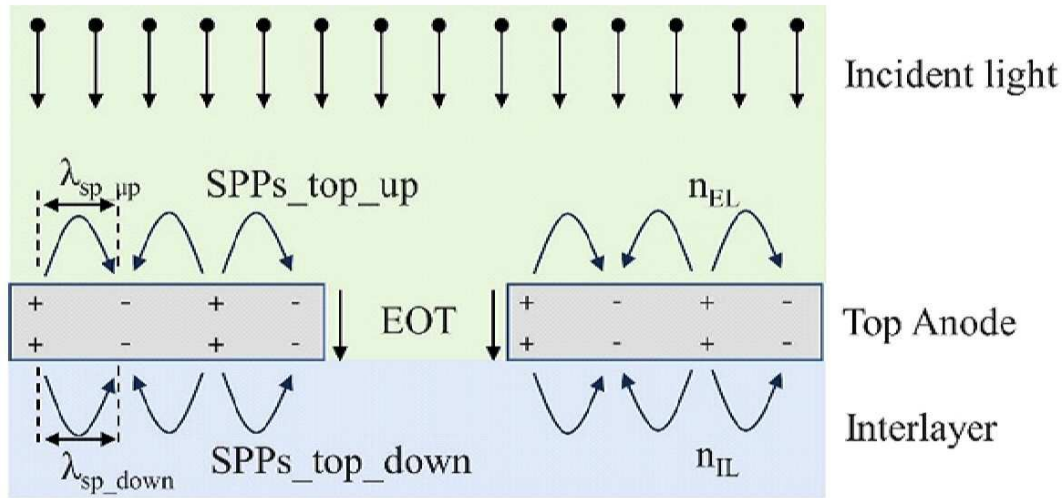
도면10



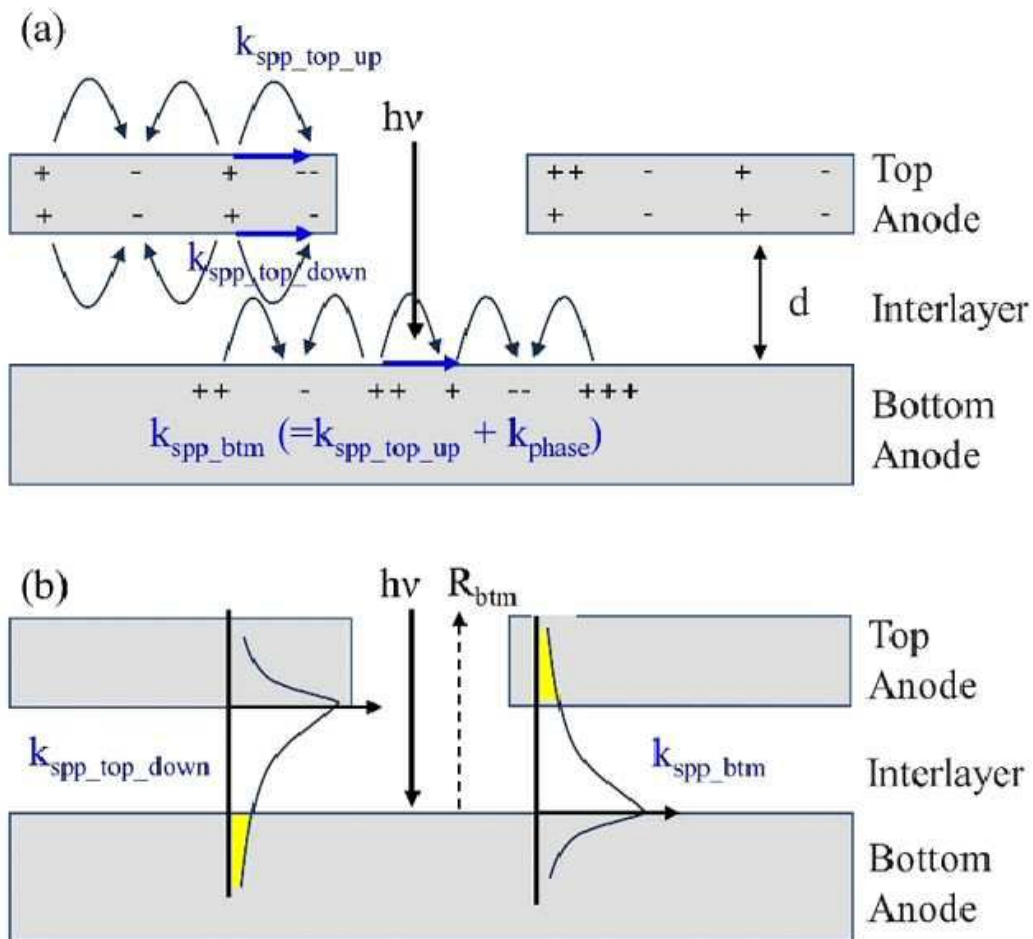
도면11



도면12



도면13



도면14

