



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0118988
(43) 공개일자 2016년10월12일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/50 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)
H01L 51/00 (2006.01) H01L 51/56 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 51/5008 (2013.01)
H01L 21/3065 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0040472
(22) 출원일자 2016년04월01일
심사청구일자 2016년04월01일
(30) 우선권주장
1020150047100 2015년04월02일 대한민국(KR)

- (71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
홍영준
경기 용인시 기흥구 연남로29번길 40, 101동 501호 (연남동, 효성빌라)
박영란
서울 서대문구 연희로37안길 9-16, A동 101호 (홍은동, 우민텍스빌)
(74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 7 항

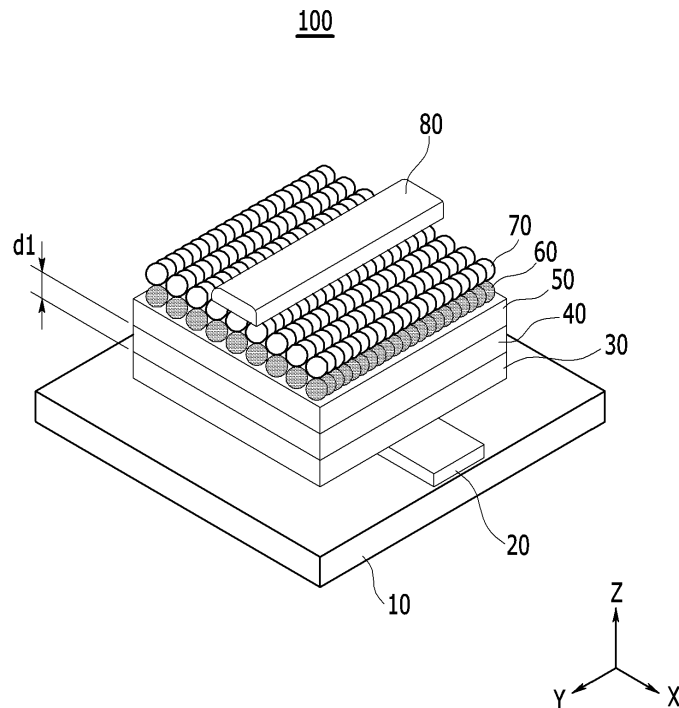
(54) 발명의 명칭 발광 소자 및 그 제조 방법

(57) 요약

정공 수송층의 에너지 준위를 조절하기 위해 정공 주입층과 정공 수송층 사이에 전도성 고분자 박막층을 삽입한 발광 소자 및 그 제조 방법을 제공한다. 발광 소자는 i) 제1 전극, ii) 제1 전극 위에 위치하는 PEDOT:PSS(폴리에틸렌-디옥시티오펜:폴리스티렌-술포네이트, iii) Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Polystyrene sulfonate)

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



를 포함하는 정공 주입층, iv) 정공 주입층 위에 위치하고, PANI:PSS(폴리아닐린:폴리스티렌-술포네이트, polyaniline-poly(4-styrenesulfonate))를 포함하는 도전성 고분자 박막층, v) 도전성 고분자 박막층 위에 위치하고, PVK(poly-n-vinylcarbazole)를 포함하는 정공 수송층, vi) 정공 수송층 위에 위치하는 발광층, vii) 발광층 위에 위치하고, 산화아연(ZnO)을 포함하는 전자 수송층, 및 viii) 전자 수송층 위에 위치하는 제2 전극을 포함한다. 발광층은 셀렌화카드뮴(CdSe)을 포함하는 코어와 코어를 둘러싸고 황화아연카드뮴(CdZnS)을 포함하는 셸을 포함한다.

(52) CPC특허분류

H01L 51/0037 (2013.01)
H01L 51/502 (2013.01)
H01L 51/5056 (2013.01)
H01L 51/5064 (2013.01)
H01L 51/5072 (2013.01)
H01L 51/5088 (2013.01)
H01L 51/56 (2013.01)

도지훈

서울 광진구 능동로23길 19, 305호 (군자동, 경원빌라)

(72) 발명자

신구

서울 서초구 신반포로15길 5, 34동 303호 (반포동, 신반포한신3차아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345208205

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원(교육부)

연구과제명 반 데르 발스 에피택시에 의한 3차원 반도체 나노아키텍처 제조와 이의 플렉서블 디바이스

응용

기 여 율 1/2

주관기관 세종대학교

연구기간 2013.11.01~2014.10.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345127720

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원

연구과제명 폴리아닐린의 자기조립-3차원 구조의 폴리아닐린

기 여 율 1/3

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2010.09.01 ~ 2011.08.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345126344

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구역량강화(이공분야학문후속+대학중점)

연구과제명 그래핀연구소

기 여 율 1/6

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2010.09.01 ~ 2011.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

제1 전극,

상기 제1 전극 위에 위치하는 PEDOT:PSS(폴리에틸렌-디옥시티오편:폴리스티렌-술포네이트, Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-Poly(styrene sulfonate))를 포함하는 정공 주입층,

상기 정공 주입층 위에 위치하고, PANI:PSS(폴리아닐린:폴리스티렌-술포네이트, polyaniline-poly(4-styrenesulfonate))를 포함하는 도전성 고분자 박막층,

상기 도전성 고분자 박막층 위에 위치하고, PVK(poly-n-vinylcarbazole)를 포함하는 정공 수송층,

상기 정공 수송층 위에 위치하는 발광층,

상기 발광층 위에 위치하고, 산화아연(ZnO)을 포함하는 전자 수송층, 및

상기 전자 수송층 위에 위치하는 제2 전극

을 포함하고,

상기 발광층은 셀렌화카드뮴(CdSe)을 포함하는 코어와 상기 코어를 둘러싸고 황화아연카드뮴(CdZnS)을 포함하는 셸을 포함하는 나노 구조체를 포함하는 발광 소자.

청구항 2

제1항에서,

상기 도전성 고분자 박막층의 상기 PANI(폴리아닐린)에 대한 상기 PSS(폴리스티렌-술포네이트)의 비는 1:8 내지 1:13인 발광 소자.

청구항 3

제1항에서,

상기 정공주입층은 PANI:PSS(폴리아닐린:폴리스티렌-술포네이트, polyaniline-poly(4-styrenesulfonate))를 더 포함하는 발광 소자.

청구항 4

제1항에서,

상기 도전성 고분자 박막층의 표면 조도는 0.1nm 내지 5nm인 발광 소자.

청구항 5

기판을 제공하는 단계,

상기 기판 위에 제1 전극을 증착하는 단계,

상기 제1 전극 위에 PEDOT:PSS를 포함하는 제1 소재를 스핀 코팅한 후 열처리하여 정공 주입층을 제공하는 단계,

상기 정공 주입층 위에 PANI:PSS(폴리아닐린:폴리스티렌-술포네이트, polyaniline)/poly(4-styrenesulfonate)을 포함하는 제2 소재를 스핀 코팅하여 도전성 고분자 박막층을 제공하는 단계,

상기 도전성 고분자 박막층 위에 PVK(poly-n-vinylcarbazole 폴리-비닐카바졸)를 포함하는 소재를 스핀 코팅하여 정공 수송층을 제공하는 단계,

상기 도전성 고분자 박막층 위에 셀렌화카드뮴을 포함하는 코어와 상기 코어를 둘러싸고 황화아연카드뮴을 포함

하는 셀을 포함하는 나노 구조체를 코팅하여 발광층을 제공하는 단계,
상기 발광층 위에 산화아연을 포함하는 전자 수송층을 증착하는 단계, 및
상기 전자 수송층 위에 제2 전극을 증착하는 단계
를 포함하는 발광 소자의 제조 방법.

청구항 6

제5항에서,
상기 기판을 떼어내는 단계, 및
상기 제1 전극의 표면을 플라즈마 처리, 자외선 오존 처리 또는 반응성 이온 에칭(reactive ion etching, RIE) 처리하는 단계
를 더 포함하는 발광 소자의 제조 방법.

청구항 7

제5항에서,
상기 발광층을 제공하는 단계전에 상기 도전성 고분자 박막층 위에 상기 제2 소재를 포함하는 또다른 정공 수송층을 제공하는 단계를 더 포함하는 발광 소자의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 발광 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는, 정공 수송층의 에너지 준위를 조절하기 위해 정공 주입층과 정공 수송층 사이에 전도성 고분자 박막층을 삽입한 발광 소자 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 발광 소자는 전류를 전도할 수 있는 하나 이상의 층을 가진다. 발광 소자는 2개의 반대 전극과 그 사이에 위치하는 다층의 반도체 특성을 가진 유기물과 무기물 박막들 및 발광층으로 구성된다.

[0003] 발광 소자는 전면 발광형, 후면 발광형 및 양면 발광형으로 나뉘어진다. 전면 발광과 후면 발광에서는 2개의 전극 중 한 전극이 광투과성이며, 양면 발광형에서는 2개의 전극이 모두 광투과성이다. 그러나 발광 소자에서 광투과성 전극을 양극으로 사용하는 경우, 발광층과 광투과성 전극 사이의 계면에 쇼트키 장벽이 형성되어 정공 주입이 원활하지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 정공 수송층의 에너지 준위를 조절할 수 있는 발광 소자를 제공하고자 한다. 또한, 전술한 발광 소자의 제조 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명의 일 실시예에 따른 발광 소자는 i) 제1 전극, ii) 제1 전극 위에 위치하는 PEDOT:PSS(폴리에틸렌-디옥시티오펜:폴리스티렌-술포네이트, Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-Poly(styrene sulfonate))를 포함하는 정공 주입층, iii) 정공 주입층 위에 위치하고, PANI:PSS(폴리아닐린:폴리스티렌-술포네이트, polyaniline-poly(4-styrenesulfonate))를 포함하는 도전성 고분자 박막층, iv) 도전성 고분자 박막층 위에 위치하고, PVK(poly-n-vinylcarbazole)를 포함하는 정공 수송층, v) 정공 수송층 위에 위치하는 발광층, vi) 발광층 위에 위치하고, 산화아연(ZnO)을 포함하는 전자 수송층, 및 vii) 전자 수송층 위에 위치하는 제2 전극을 포함한다. 발광층은 셀렌화카드뮴(CdSe)을 포함하는 코어와 코어를 둘러싸고 황화아연카드뮴(CdZnS)을 포함하는 셀을 포함

한다.

[0006] 도전성 고분자 박막층의 상기 PANI(폴리아닐린)에 대한 상기 PSS(폴리스티렌-술포네이트)의 비는 1:8 내지 1:13 일 수 있다. 정공주입층은 PANI:PSS(폴리아닐린:폴리스티렌-술포네이트, polyaniline-poly(4-styrenesulfonate))를 더 포함할 수 있다. 도전성 고분자 박막층의 표면 조도는 0.1nm 내지 5nm일 수 있다.

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 발광 소자의 제조 방법은, i) 기판을 제공하는 단계, ii) 기판 위에 제1 전극을 증착하는 단계, iii) 제1 전극 위에 PEDOT:PSS를 포함하는 제1 소재를 스핀 코팅한 후 열처리하여 정공 주입층을 제공하는 단계, iv) 정공 주입층 위에 PANI:PSS(폴리아닐린:폴리스티렌-술포네이트, polyaniline)/poly(4-styrenesulfonate)을 포함하는 제2 소재를 스핀 코팅하여 도전성 고분자 박막층을 제공하는 단계, v) 도전성 고분자 박막층 위에 PVK(poly-n-vinylcarbazole 폴리-비닐카바졸)를 포함하는 소재를 스핀 코팅하여 정공 수송층을 제공하는 단계, vi) 도전성 고분자 박막층 위에 셀렌화카드뮴을 포함하는 코어와 코어를 둘러싸고 황화아연 카드뮴을 포함하는 셸을 포함하는 나노 구조체를 코팅하여 발광층을 제공하는 단계, vii) 발광층 위에 산화아연을 포함하는 전자 수송층을 증착하는 단계, 및 viii) 전자 수송층 위에 제2 전극을 증착하는 단계를 포함한다.

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 발광 소자의 제조 방법은, i) 기판을 떼어내는 단계, 및 ii) 제1 전극의 표면을 플라즈마 처리, 자외선 오존 처리 또는 반응성 이온 에칭(reactive ion etching, RIE) 처리하는 단계를 더 포함할 수 있다. 발광층을 제공하는 단계전에 상기 도전성 고분자 박막층 위에 상기 제2 소재를 포함하는 또다른 정공 수송층을 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0009] 정공 주입층과 정공 수송층 사이에 전도성 고분자 박막층을 중간층으로 삽입하여 정공 수송층의 에너지 준위를 조절할 수 있다. 그리고 정공 수송층과 발광층 또는 정공 수송층과 광전자 변환층 사이의 계면 에너지 장벽의 높이를 낮출 수 있다. 따라서 발광 소자의 효율을 향상시킬 수 있다

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 발광 소자의 개략적인 사시도이다.
 도 2는 도 1의 발광 소자의 에너지 준위 다이어그램을 개략적으로 나타낸 도면이다.
 도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 발광 소자의 개략적인 사시도이다.
 도 4 및 도 5는 각각 본 발명의 실험예 1 및 실험예 2에 따라 제조한 발광 소자의 표면의 주사전자현미경 사진들이다.
 도 6은 본 발명의 실험예 3에 따라 제조한 발광 소자의 표면의 원자간 인력 현미경 사진들이다.
 도 7은 본 발명의 실험예 4와 비교예 1에 따라 제조한 발광 소자의 전압 변화에 따른 전류밀도의 그래프이다.
 도 8은 실험예 5와 비교예 2에 따라 제조한 발광 소자의 로그 전압 변화에 따른 로그 전류밀도의 그래프이다.
 도 9는 실험예 6과 비교예 3에 따라 제조한 발광 소자의 전압 변화에 따른 휘도의 그래프이다.
 도 10은 실험예 7과 비교예 4에 따라 제조한 발광 소자의 전압 변화에 따른 발광효율의 그래프이다.
 도 11은 실험예 8, 비교예 5 및 비교예 6에 따라 제조한 발광 소자의 파장 변화에 따른 전계 발광과 광발광의 그래프이다.
 도 12는 실험예 9와 비교예 7에 따라 제조한 발광 소자의 전압 변화에 따른 색좌표이다.
 도 13은 실험예 10에 따라 제조한 발광 소자의 결합 에너지에 따른 컷오프의 그래프이다.
 도 14는 실험예 11에 따라 제조한 발광 소자의 HOMO 에너지 준위의 그래프이다.
 도 15는 실험예 12와 비교예 8에 따라 제조한 발광 소자의 에너지준위 다이어그램이다.
 도 16은 실험예 13과 비교예 9에 따라 제조한 발광 소자의 전압 변화에 따른 전류밀도의 그래프이다.
 도 17은 실험예 14와 실험예 15에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 컷오프의 그래프이다.

도 18은 실험예 16에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 에너지준위 다이어그램이다.

도 19는 실험예 17에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 흡수 스펙트럼의 그래프이다.

도 20은 실험예 18에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 투과 스펙트럼의 그래프이다.

도 21은 실험예 19에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 FT-IR 스펙트럼의 그래프이다.

도 22는 실험예 20에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 UPS 스펙트럼의 그래프이다.

도 23은 실험예 21에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 UPS 스펙트럼의 그래프이다.

도 24는 실험예 22에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 PVK의 전자구조레벨의 그래프이다.

도 25는 실험예 23에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 PVK의 전자구조레벨의 그래프이다.

도 26은 실험예 24에 따라 제조한 발광 소자의 에너지 준위 다이어그램이다.

도 27은 실험예 25에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 전류-전압 및 휘도-전압의 그래프이다.

도 28은 실험예 26에 따라 제조한 발광 소자의 PANI:PSS 층의 두께 변화에 따른 전류-전압 및 휘도-전압의 그래프이다.

도 29는 실험예 27에 따라 제조한 발광 소자의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 전계 발광 스펙트럼의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 여기서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다. 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.
- [0012] 다르게 정의하지는 않았지만, 여기에 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 보통 사용되는 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0013] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [0014] 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 발광 소자(100)의 개략적인 단면도이다. 도 1의 발광 소자(100)의 구조는 단지 본 발명을 예시하기 위한 것이며, 본 발명이 여기에 한정되는 것은 아니다. 따라서 발광 소자(100)의 구조를 다른 형태로도 변형할 수 있다.
- [0015] 도 1에 도시한 바와 같이, 발광 소자(100)는 기관(10), 제1 전극(20), 정공 주입층(30), 도전성 고분자 박막층(40), 정공 수송층(50), 발광층(60), 전자 수송층(70) 및 제2 전극(80)을 포함한다. 한편, 발광 소자(100)는 도 1에 도시한 구성요소 이외에 다른 구성요소들을 더 포함할 수 있다.
- [0016] 기관(10)은 잘 휘어지는 플라스틱으로 제조할 수 있다. 또한, 기관(10)은 기계적 강도, 열적 안정성 및 방수성

이 우수한 유리 또는 사파이어(Al_2O_3)로도 제조할 수 있다.

- [0017] 제1 전극(20)은 기판(10) 위에 위치한다. 제1 전극(20)이 애노드(anode)인 경우, 제1 전극(20)은 정공 주입이 용이하도록 상대적으로 높은 일함수를 갖는 물질로 제조할 수 있다. 예를 들면, 제1 전극(20)은 ITO(indium tin oxide, 인듐 틴 옥사이드)으로 제조할 수 있으며, 광을 투과시킬 수 있다. 또는, 제1 전극(20)은 투명하고 우수한 도전성을 가지는, 산화인듐아연(IZO), 산화주석(SnO_2) 또는 산화아연(ZnO) 등으로 제조할 수 있다.
- [0018] 제1 전극(20)은 서로 다른 2 종류의 물질을 포함하여 2층 구조로 형성할 수 있다. 제1 전극(20)은 전도성 소재를 스핀 코팅(spin coating)하거나 스퍼터링(sputtering)하여 형성할 수 있다. 한편, 레이저 리프트 오프(laser lift off, LLO) 공정 등을 이용해 기판(10)을 떼어낸 후, 제1 전극(20)의 표면을 플라즈마 처리, 자외선 오존 처리 또는 반응성 이온 에칭(reactive ion etching, RIE) 처리할 수도 있다.
- [0019] 정공 주입층(30)은 제1 전극(20) 위에 위치한다. 정공 주입층(30)은 스핀 코팅, 진공 증착법(vacuum plating) 및 레이저 전사법(laser induced thermal imaging) 등으로 제조할 수 있다. 정공 주입층(30)이 진공 증착법으로 제조되는 경우, 증착 온도는 $100^\circ C$ 내지 $500^\circ C$, 진공도는 10-8torr 내지 10-3torr, 증착 속도는 $0.01\text{\AA}/\text{sec}$ 내지 약 $100\text{\AA}/\text{sec}$ 정도로 하여 증착 조건을 조절할 수 있다. 정공 주입층(30)으로 사용될 소재와 그 열적 특성 등에 따라 증착 조건을 다르게 조절할 수 있다.
- [0020] 정공 주입층(30)은 프탈로사이아닌(phthalocyanine) 화합물 또는 아민 유도체류인 4,4',4"-트리(N-카바조일)트리페닐 아민(TCTA), 4,4',4"-트리스 (3-메틸페닐아미노)트리페닐아민(m-MTDATA) 등을 포함할 수 있다. 또한, 정공 주입층(30)은 도전성 용해 물질인 PANI:DBSA(폴리아닐린:도데실벤젠술포산, Dodecylbenzenesulfonic acid) 또는 PEDOT:PSS(폴리에틸렌-디옥시티오펜:폴리스티렌-술포네이트, Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Polystyrene sulfonate), PANI:CSA (폴리아닐린:캄페르술포산, Polyaniline:Camphor sulfonic acid) 등의 물질을 포함할 수도 있다. 바람직하게는, 정공 주입층(30)은 높은 일함수와 함께 전도성을 가지는 PEDOT:PSS를 포함할 수 있다.
- [0021] 도전성 고분자 박막층(40)은 정공 주입층(30)과 정공 수송층(50) 사이에 위치하고, PANI:PSS(폴리아닐린:폴리스티렌-술포네이트, polyaniline-poly(4-styrenesulfonate))를 포함한다. 도전성 고분자 박막층(40)의 PANI(폴리아닐린)에 대한 PSS(폴리스티렌-술포네이트)의 비는 1:1 내지 1:30일 수 있다. 예시로서, 도전성 고분자 박막층(40)의 PANI(폴리아닐린)에 대한 PSS(폴리스티렌-술포네이트)의 비는 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9, 1:10, 1:11, 1:12, 1:13, 1:14, 1:15, 1:16, 1:17, 1:18, 1:19, 1:20, 1:21, 1:22, 1:23, 1:24, 1:25, 1:26, 1:27, 1:28, 1:29, 1:30일 수 있다. 좋기로는 1:1 내지 1:15, 더 바람직하게는, 1:8 내지 1:13일 수 있으며, 이러한 범위에 있을 때, 발광 소자(100)의 휘도가 최대화될 수 있다. 도전성 고분자 박막층(40)은 정공을 정공 주입층(30)으로부터 정공 수송층(50)으로 효율적으로 전달한다. 제1 전극(20)에서 생성된 정공은 정공 주입층(30), 도전성 고분자 박막층(40) 및 정공 수송층(50)을 지나 발광층(60)에 도달하여 전자와 결합해 발광한다.
- [0022] 일반적으로 발광 소자는 양극, 정공 주입층, 정공 수송층, 발광층, 전자 수송층 그리고 음극의 구조이며, 정공 수송층과 발광층 사이에는 각 층의 일함수의 차이와 큰 이온화 에너지(IE)로 인하여 정공 주입 장벽이 형성될 수 있다. 또한 제1 전극(20)을 ITO 전극으로 사용하는 경우, 양극과 발광층 사이의 계면에 쇼트키 장벽(schottky barrier)이 형성될 수 있다. 발광 소자의 각 층 사이에 장벽이 크게 형성될 경우, 정공 이동도가 낮아지므로 발광 소자의 발광 효율이 낮아질 수 있다.
- [0023] 발광 소자(100)는 PANI:PSS가 포함된 도전성 고분자 박막층(40)을 정공 주입층(30)과 정공 수송층(50) 사이에 형성하여 정공 주입 장벽을 조절할 수 있다. 따라서 제1 전극(20)에서 생성된 정공이 균형적으로 주입되어 발광층(60)까지 원활하게 도달할 수 있으므로, 발광 소자(100)의 발광 효율을 높일 수 있다. 좀더 구체적으로, 도 2를 사용하여 이를 좀더 상세하게 설명한다.
- [0024] 도 2는 도 1의 발광 소자의 에너지 준위 다이어그램을 개략적으로 나타낸다. 도 2에서 좌측에서 우측 방향으로 각 층들이 적층되어 있으므로, 이는 도 1에서 하부 방향으로부터 상부 방향으로와 일치한다.
- [0025] 도 2에 도시한 바와 같이, 정공(h^+)은 좌측에서 우측으로 이동하고, 전자(e^-)는 우측에서 좌측으로 이동하며 상호 만나서 발광한다. 여기서, 정공(h^+)과 전자(e^-)를 잘 이동시키기 위해서는 각 구성요소의 밴드갭들이 컨포멀하게 형성될 필요가 있다. 즉, 에너지 준위 장벽이 존재하지 않고, 각 구성요소들의 밴드갭들이 비슷하게 형성되어야 정공(h^+)이 잘 이송될 수 있다. 그러나 도 2의 좌측에서 2번째 위치한 PEDOT:PSS로 된 정공 주입층과

PVK로 된 정공 수송층 사이에는 에너지 준위 장벽이 존재하므로 이를 컨포멀하게 만들도록 그 사이에 PANI:PSS로 된 도전성 고분자 박막층을 형성한다. 그 결과, 발광 소자의 각 층의 에너지 준위가 컨포멀하게 되므로, 정공이 잘 전달될 수 있다.

[0026] 다시 도 1로 되돌아가면, 도전성 고분자 박막층(40)의 두께(d1)는 5nm 내지 200nm일 수 있다. 바람직하게는, 도전성 고분자 박막층(40)의 두께(d1)는 5nm 내지 12nm일 수 있다. 만약, 도전성 고분자 박막층(40)의 두께(d1)가 너무 크거나 너무 작은 경우, 에너지 준위를 컨포멀하게 형성하기 어렵고, 쇼트키 장벽으로 인해 정공의 전도 효율이 저하될 수 있다. 따라서 도전성 고분자 박막층(40)의 두께(d1)가 5nm 내지 12nm 범위에 있는 경우, 에너지 준위를 가장 컨포멀하게 형성하기 쉬울 수 있고, 정공의 전도 효율이 최대화될 수 있다. 그리고 도전성 고분자 박막층(40)의 표면 조도는 0.1nm 내지 5nm일 수 있다. 표면 조도가 너무 낮은 경우, 도전성 고분자 박막층(40)의 제조 공정이 복잡해져서 제조가 어렵다. 또한, 표면 조도가 너무 높은 경우, 정공 이송 효율이 저하된다. 따라서 표면 조도가 0.1nm 내지 5nm 범위에 있는 경우, 제조 공정이 가장 단순할 수 있으며, 정공 이송 효율을 최대화할 수 있다.

[0027] 정공 수송층(50)은 도전성 고분자 박막층(40) 위에 위치한다. 정공 수송층(50)은 스핀 코팅 등의 방법을 사용하여 제조할 수 있다. 정공 수송층(50)은 도전성 고분자 박막층(40)과 동일한 소재인 PANI:PSS를 포함할 수 있다. 한편, 정공 수송층(50)은 트리페닐아민(triphenylamine) 또는 카바졸 유도체(carbazole derivative)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 정공 수송층(50)은 N-페닐카바졸 (N-phenylcarbazole) 또는 PVK(poly-n-vinylcarbazole 폴리-비닐카바졸) 등을 더 포함할 수 있다. 좀더 바람직하게는, 정공 수송층(50)은 PVK를 포함할 수 있다.

[0028] 발광층(60)은 정공 수송층(50) 위에 위치한다. 발광층(60)은 형광 호스트(fluorescent host), 인광 호스트(phosphorescent host), 형광 도펀트(fluorescent dopant) 및 인광 도펀트(phosphorescent dopant) 등을 포함할 수 있다. 발광층(60)이 인광 도펀트를 포함하는 경우, 정공 수송층(50)과 발광층(60) 사이에 정공 블록층(미도시, 이하 동일)이 더 형성될 수 있다. 정공 블록층은 정공이 전자 수송층(70)으로 확산되는 현상을 방지하여 발광층(60)에서 정공과 전자가 잘 만나도록 하여 발광 효율을 더욱 향상시킨다.

[0029] 발광층(60)은 셀렌화카드뮴(CdSe)과 황화아연카드뮴(CdZnS)을 포함한 단일 코어(core) 구조체로 형성될 수 있다. 이와는 달리, 발광층(60)을 코어셸 구조체로도 형성할 수 있다. 즉, 코어는 셀렌화카드뮴으로 제조하고, 이를 둘러싸는 셸은 황화아연카드뮴으로 제조할 수 있다. 한편, 셸을 다시 둘러싸는 반구형 셸 구조체를 형성할 수도 있다. 발광층(60)이 코어셸 구조체인 경우, 각각 코어와 셸을 이루는 재료의 특성을 모두 가질 수 있으므로, 복합적인 기능을 가지는 구조체를 형성할 수 있다. 발광층(60)은 임프린팅법(imprinting method), 고분자 물질의 회합 상분리법(associative phase separation), 또는 에어로졸을 이용한 자기조립방법(aerosol-assisted self-assembly)으로 제조할 수 있다.

[0030] 전자 수송층(70)은 발광층(60) 위에 위치한다. 전자 수송층(70)은 전자 수송성의 금속 유기 화합물과 전자 수송성의 유기 화합물의 혼합물을 포함할 수 있다. 예를 들면, 전자 수송층(70)은 ZnO 및 TiO₂를 포함할 수 있다. 전자 수송층(70)은 전자 수송성의 유기 화합물을 공증착(code position)하여 제조할 수 있다. 전자 수송층(70)의 상부에는 전자 주입층(미도시)을 형성하여 제2 전극(80)에 주입된 전자를 효율적으로 이송할 수 있다.

[0031] 제2 전극(80)은 상대적으로 낮은 일함수를 갖는 물질로 제조할 수 있다. 예를 들면, 제2 전극(80)을 리튬(Li), 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 알루미늄-리튬(Al-Li), 칼슘(Ca), 마그네슘-인듐(Mg-In) 또는 마그네슘-은(Mg-Ag) 등으로 제조할 수 있다. 바람직하게는, 제2 전극(80)을 알루미늄으로 제조할 수 있다. 또는, 발광 소자(100)를 전면 발광형으로 제조하는 경우, 제2 전극(80)을 ITO 또는 IZO(indium zinc oxide, 인듐 아연 산화물)로 제조할 수 있다.

[0032] 도 3은 본 발명의 제2 실시예에 따른 발광 소자(200)를 개략적으로 나타낸다. 도 3의 발광 소자(200)는 도 1의 발광 소자(100)와 유사하므로, 동일한 부분에는 동일한 도면 부호를 사용하며, 동일한 부분에 대해서는 편의상 그 상세한 설명을 생략한다.

[0033] 도 3에 도시한 바와 같이, 발광 소자(200)는 기판(10), 제1 전극(20), 정공 주입층(30), 제1 정공 수송층(52), 도전성 고분자 박막층(40), 제2 정공 수송층(54), 발광층(60), 전자 수송층(70) 및 제2 전극(80)을 포함한다. 이외에, 발광 소자(100)는 도 3에 도시한 층들 이외에 다른 층들을 더 포함할 수 있다.

[0034] 제1 정공 수송층(52)은 정공 주입층(30) 위에 위치한다. 제1 정공 수송층(52)은 스핀 코팅 등의 방법으로 제조

할 수 있다. 제1 정공 수송층(52)은 카바졸 유도체(carbazole derivative)를 포함할 수 있다. 또는, 제1 정공 수송층(50)은 N-페닐카바졸 (N-phenylcarbazole), PVK(poly-n-vinylcarbazole 폴리-비닐카바졸) 등을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 제1 정공 수송층(52)은 PVK를 포함할 수 있다.

[0035] 제1 정공 수송층(52) 위에는 도전성 고분자 박막층(40)이 위치하고, 도전성 고분자 박막층(40) 위에는 제2 정공 수송층(54)이 위치한다. 즉, 도전성 고분자 박막층(40)은 정공 수송층들(52, 54) 사이에 위치하고, 정공을 발광층(60)까지 효율적으로 이동시켜서 정공 이송 효율을 높인다. 좀더 상세하게는, 도전성 고분자 박막층(40)이 정공 수송층들(52, 54)의 내부의 에너지 준위를 조절하여 발광층(60)과의 에너지 장벽 높이를 낮춰서 정공 이송 효율과 발광 효율을 향상시킨다. 한편, 제2 정공 수송층(54)은 제1 정공 수송층(52)과 동일한 방법으로 제조할 수 있다.

[0036] 이하에서는 실험예를 사용하여 본 발명을 좀더 상세하게 설명한다. 이러한 실험예는 단지 본 발명을 예시하기 위한 것이며, 본 발명이 여기에 한정되는 것은 아니다.

[0037] 조직 관찰 실험

[0038] 실험예 1

[0039] 도 1과 동일한 구조를 가지는 발광 소자를 제조하였다. 그리고 발광 소자의 표면을 45° 기울여서 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)으로 촬영하였다. 촬영한 표면은 ITO, PEDOT:PSS 박막, 및 PANI:PSS 코팅 표면이었다. 여기서, PEDOT:PSS 박막은 ITO 위에 위치하고, PANI:PSS 코팅 표면은 PEDOT:PSS 박막 위에 위치한다.

[0040] 실험예 1의 실험 결과

[0041] 도 4의 본 발명의 실험예 1에 따라 제조한 발광 소자의 표면의 주사전자현미경 사진들을 나타낸다. 여기서 도 4의 (a)에는 주사전자현미경을 통해 촬영한 ITO표면 사진을 나타내고, 도 4의 (b)에는 주사전자현미경을 통해 촬영한 ITO의 표면위에 PEDOT:PSS박막이 코팅된 표면 사진을 나타낸다. 그리고 도 4의 (c)에는 주사전자현미경을 통해 촬영한 PEDOT:PSS박막의 표면 위에 PANI:PSS가 코팅된 표면 사진을 나타낸다.

[0042] 도 4의 (b) 및 도 4의 (c)에 도시한 바와 같이, 주사전자현미경을 통해 발광 소자의 표면을 관찰하는 경우, PEDOT:PSS의 박막 표면의 평탄도보다 PANI:PSS가 코팅된 표면의 평탄도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 발광 소자에 PANI:PSS층을 형성하는 경우, 박막 계면간의 평탄도가 개선되어 정공을 좀더 효율적으로 수송할 수 있는 것으로 확인되었다.

[0043] 실험예 2

[0044] 실험예 1과 동일한 방법으로 제조한 발광 소자의 45° 기울어진 양자점(QDs) 표면을 주사전자현미경으로 촬영하였다. 촬영한 발광 소자의 표면은 각각 QDs/PVK/PEDOT:PSS/ITO와 QDs/PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO가 순서대로 코팅된 표면이었다.

[0045] 실험예 2의 실험 결과

[0046] 도 5는 본 발명의 실험예 2에 따라 제조한 발광 소자의 표면의 주사전자현미경 사진들을 나타낸다. 여기서 도 5의 (a)에는 주사전자현미경을 통해 촬영한 QDs/PVK/PEDOT:PSS/ITO의 표면 사진을 나타내고, 도 5의 (b)에는 주사전자현미경을 통해 촬영한 QDs/PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO의 표면 사진을 나타낸다.

[0047] 도 5의 (a) 및 도 5의 (b)에 도시한 바와 같이, 주사전자현미경을 통해 발광 소자의 표면을 관찰하는 경우, PEDOT:PSS에 PVK가 코팅된 표면의 평탄도보다 PANI:PSS 박막위에 PVK가 코팅된 표면의 평탄도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 PVK 표면에 PANI:PSS 층을 형성하는 경우, 발광 소자의 평탄도가 개선되어 정공의 이송 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 우수한 발광 효율을 가지는 발광 소자를 제조할 수 있었다.

[0048] 실험예 3

[0049] 실험예 1과 동일한 방법으로 제조한 발광 소자의 표면을 원자간인력현미경(Atomic Force Microscope, AFM)으로 촬영하였다. 촬영한 발광 소자의 표면은 각각 순서대로 QDs/PVK/PEDOT:PSS/ITO와 QDs/PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO가 코팅된 표면이었다.

[0050] 실험예 3의 실험 결과

- [0051] 도 6은 본 발명의 실험예 3에 따른 발광 소자의 표면을 촬영한 주사전자현미경 사진을 나타낸다. 여기서, 도 6의 (a)에는 원자간인력현미경을 통해 촬영한 QDs/PVK/PEDOT:PSS/ITO의 표면 사진을 나타내고, 도 6의 (b)에는 원자간인력현미경을 통해 촬영한 QDs/PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO의 표면 사진을 나타낸다.
- [0052] 도 6의 (a)와 도 6의 (b)에 도시한 바와 같이, 원자간인력현미경을 통해 발광 소자의 표면을 관찰하는 경우, PEDOT:PSS에 PVK가 코팅된 표면의 평탄도보다 PANI:PSS 박막위에 PVK가 코팅된 표면의 평탄도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 PVK 표면에 PANI:PSS 층을 삽입하는 경우, 박막 계면간의 평탄도와 내부양자효율을 높여서 고효율의 양자점 발광 소자를 제조할 수 있었다.
- [0053] **전류 밀도 변화 및 누설 전류값 측정 실험**
- [0054] **실험예 4**
- [0055] 실험예 1과 동일한 방법을 사용하여 발광 소자를 제조하였다. 그리고 전압을 상승시킨 후 전압 변화에 따라 발광 소자의 전류 밀도의 변화 및 누설 전류값을 측정하였다.
- [0056] **비교예 1**
- [0057] 일반적으로 상용화된 발광 소자를 대상으로 실험하였다. 실험 과정은 전술한 실험예 4와 동일하였다.
- [0058] **실험예 4 및 비교예 1의 실험 결과**
- [0059] 도 7은 실험예 4 및 비교예 1의 전압 변화에 따른 전류밀도 및 누설 전류값을 실험한 결과의 그래프를 나타낸다. 도 7에서 전류 밀도는 큰 그래프로 나타내고, 누설 전류값은 작은 그래프로 나타낸다. 한편, 도 7에서 네모는 비교예 1에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 전류 밀도와 누설 전류값을 나타내고, 원은 실험예 4에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 전류 밀도와 누설 전류값을 나타낸다.
- [0060] 도 7의 큰 그래프에 도시한 바와 같이, 실험예 4와 비교예 1의 문턱 전압은 2V로 측정되었다. 실험예 4는 문턱 전압 이상에서는 높은 전류 밀도를 가졌으며, 6V 이상으로 전압을 인가할 경우, 전류 밀도가 선형적으로 증가하였다. 반면, 비교예 1은 문턱전압 이상에서 비교적 낮은 전류 밀도를 가졌으며, 6V 이상으로 전압을 인가할 경우, 전류밀도는 점차적으로 포화되었다.
- [0061] 한편, 도 7의 작은 그래프에 도시한 바와 같이, 문턱전압 이하에서는 실험예 4의 발광 소자가 비교예 1의 발광 소자보다 낮은 누설 전류를 가진 것을 알 수 있었다. 따라서 실험예 4의 발광 소자가 종래에 비해 높은 전류 밀도와 낮은 누설 전류를 가져서 발광 소자의 발광 효율이 높아진다는 것을 확인할 수 있었다.
- [0062] **로그 전압 변화에 따른 로그 전류밀도 측정 실험**
- [0063] **실험예 5**
- [0064] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 전압을 상승시킨 후 로그 전압 변화에 따라 로그 전류밀도의 변화를 측정하였다.
- [0065] **비교예 2**
- [0066] 일반적으로 상용화된 발광 소자를 대상으로 실험하였다. 실험 과정은 전술한 실험예 6과 동일하였다.
- [0067] **실험예 5 및 비교예 2의 실험 결과**
- [0068] 도 8은 실험예 5 및 비교예 2의 로그 전압 변화에 따른 로그 전류밀도를 실험한 결과의 그래프를 나타낸다. 도 8에서 그래프의 네모는 비교예 2에서 발광 소자의 로그 전압 변화에 따른 로그 전류밀도를 나타내고, 원은 실험예 5에서 발광 소자의 로그 전압 변화에 따른 로그 전류밀도를 나타낸다.
- [0069] 도 8의 그래프에 도시한 바와 같이, 실험예 5와 비교예 2의 로그 전압과 로그 전류밀도의 그래프는 i) 옴믹 전도 영역($J \propto V$), ii) 트랩-리미트 전도 영역($J \propto V^n$, $n > 2$), iii) 공간전하 리미트 전도 영역($J \propto V^2$)로 나누었다. 옴믹 전도 영역에서 실험예 5의 로그 전류밀도는 비교예 2의 로그 전류밀도보다 10배 이상 작았다. 트랩-리미트 전도 영역에서 실험예 5의 로그 전압 변화에 따른 로그 전류밀도의 기울기는 비교예 2보다 더 가파르게 측정되었다. 따라서 실험예 5의 발광 소자가 비교예 2의 발광 소자에 비해 정공 이동률이 높은 것을 확인할 수 있었다.
- [0070] **전압 변화에 따른 휘도 측정 실험**

- [0071] **실험예 6**
- [0072] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 전압을 상승시킨 후 전압 변화에 따라 발광 소자의 휘도를 측정하였다.
- [0073] **비교예 3**
- [0074] 일반적으로 상용화된 발광 소자를 대상으로 실험하였다. 실험 과정은 전술한 실험예 6과 동일하였다.
- [0075] **실험예 6 및 비교예 3의 실험 결과**
- [0076] 도 9는 실험예 6과 비교예 3의 전압 변화에 따른 휘도를 실험한 결과의 그래프를 나타낸다. 도 9에서 네모는 비교예 3에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 휘도를 나타내고, 원은 실험예 6에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 휘도를 나타낸다.
- [0077] 도 9에 도시한 바와 같이, 실험예 6의 최대 휘도는 전압 6.5V에서 320cd/m²의 값으로 측정되었고, 비교예 3의 최대 휘도는 전압 5V에서 15cd/m²의 값으로 측정되었다. 즉, 비교예 3에 비해 실험예 6에서 발광 소자의 휘도가 더 높은 것을 알 수 있었다. 따라서 실험예 6을 통하여 발광 소자의 휘도와 발광 효율이 향상된 것을 확인할 수 있었다.
- [0078] **전압 변화에 따른 발광효율 측정 실험**
- [0079] **실험예 7**
- [0080] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 전압을 상승시킨 후 전압 변화에 따라 발광 소자의 발광효율을 측정하였다.
- [0081] **비교예 4**
- [0082] 일반적으로 상용화된 발광 소자를 대상으로 실험하였다. 실험 과정은 전술한 실험예 7과 동일하였다.
- [0083] **실험예 7 및 비교예 4의 실험 결과**
- [0084] 도 10은 실험예 7과 비교예 4의 전압 변화에 따른 발광효율을 실험한 결과의 그래프를 나타낸다. 도 10에서 네모는 비교예 4에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 발광효율을 나타내고, 원은 실험예 7에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 발광효율을 나타낸다.
- [0085] 도 10에 도시한 바와 같이, 실험예 7의 발광 소자의 최대 발광효율은 전압 5.5V에서 0.32cd/A의 값으로 측정되었고, 비교예 4의 발광 소자의 최대 발광효율은 전압 2V내지 3.5V에서 0.06cd/A의 값으로 측정되었다. 즉, 비교예 4에 비해 실험예 7에서 발광 소자의 발광 효율이 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 즉, 발광 소자에 PANI:PSS층을 삽입하여 발광층에서 만나는 전자의 양과 정공의 양에 균형이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.
- [0086] **파장에 따른 전계 발광과 광발광 측정 실험**
- [0087] **실험예 8**
- [0088] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 전압을 상승시킨 후 파장 변화에 따라 발광 소자의 전계 발광과 광발광을 측정하였다.
- [0089] **비교예 5**
- [0090] 일반적으로 상용화된 발광 소자를 대상으로 실험하였다. 실험 과정은 전술한 실험예 8과 동일하였다.
- [0091] **비교예 6**
- [0092] 코어셸 구조의 발광층을 제조하였다. 코어의 소재로는 셀렌화카드뮴(CdSe)을 사용하였고, 셸의 소재로는 황화아연카드뮴(CdZnS)을 사용하였다. 나머지 실험 과정은 전술한 실험예 8과 동일하다
- [0093] **실험예 8, 비교예 5 및 비교예 6의 실험 결과**
- [0094] 도 11은 실험예 8, 비교예 5 및 비교예 6의 파장 변화에 따른 전계 발광과 광발광을 실험한 결과의 그래프를 나타낸다. 도 11에서 원은 실험예 8에서 파장 변화에 따른 전계 발광을 나타내고, 네모는 비교예 5에서 파장 변화에 따른 전계 발광을 나타내며, 직선은 비교예 6에서 파장 변화에 따른 전계 발광과 광발광을 나타낸다.
- [0095] 도 11에 도시한 바와 같이, 광발광 스펙트럼은 27nm의 반치폭을 가진 광발광 피크가 630nm 파장에서 강하게 나

타났다. 실험예 8과 비교예 5는 전자와 정공의 복사 재결합의 결과로서 633nm의 파장에서 반치폭 40nm로 측정되었다. 따라서 실험예 8에서는 발광 소자에 PANI:PSS층을 삽입하여 전계발광세기에 있어서 비교예 5보다 50배 더 커진 것을 확인할 수 있었다.

[0096] 전압 변화에 따른 색좌표 측정 실험

[0097] 실험예 9

[0098] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 전압을 상승시킨 후 전압 변화에 따라 발광 소자의 색좌표를 측정하였다.

[0099] 비교예 7

[0100] 일반적으로 상용화된 발광 소자를 대상으로 실험하였다. 실험 과정은 전술한 실험예 9와 동일하였다.

[0101] 실험예 9 및 비교예 7의 실험 결과

[0102] 도 12는 실험예 9와 비교예 7의 전압 변화에 따른 색좌표를 실험한 결과의 그래프를 나타낸다. 도 12에서 네모는 실험예 9에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 색좌표를 나타내고, 원은 비교예 7에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 색좌표를 나타낸다.

[0103] 도 12에 도시한 바와 같이, 실험예 9의 색좌표는 2.5V 내지 8V의 전압 변화에 따라 단파장 붉은색 발광 색좌표인 $(0.66, 0.31) \pm (0.02, 0.01)$ 의 값으로 측정되어 그 표준 편차가 일정하였다. 반면, 비교예 7의 색좌표는 전압이 증가될수록 색좌표인 $(0.66, 0.31)$ 의 값으로 측정되었다. 즉, 비교예 7보다 실험예 9의 발광 소자가 넓은 구동 전압 범위에서 더 강한 레드 전계 발광이 일어나는 것을 확인할 수 있었다.

[0104] 결합 에너지에 따른 컷오프 측정 실험

[0105] 실험예 10

[0106] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 결합 에너지에 따른 발광 소자의 컷오프를 측정하였다.

[0107] 실험예 10의 실험 결과

[0108] 도 13은 실험예 10의 발광 소자의 결합 에너지에 따른 컷오프를 측정한 그래프를 나타낸다. 도 13에서 각각의 그래프는 (i) ITO, (ii) PEDOT:PSS/ITO, (iii) PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO, (iv) PVK/PEDOT:PSS/ITO, (v) PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO 및 (vi) ZnO 나노입자(NPs) 박막층을 나타낸다.

[0109] 결합 에너지에 따른 HOMO 에너지 준위 측정 실험

[0110] 실험예 11

[0111] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 결합 에너지에 따른 발광 소자의 최고준위 점유 분자궤도 (highest occupied molecular orbital, HOMO) 에너지 준위를 측정하였다.

[0112] 실험예 11의 실험 결과

[0113] 도 14는 실험예 11의 결합 에너지에 따른 발광 소자의 HOMO 에너지 준위를 측정한 그래프를 나타낸다. 도 14에서 각각의 그래프는 (i) ITO, (ii) PEDOT:PSS/ITO, (iii) PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO, (iv) PVK/PEDOT:PSS/ITO, (v) PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO 및 (vi) ZnO 나노입자(NPs) 박막층을 나타낸다.

[0114] 발광 소자의 에너지준위 다이어그램

[0115] 실험예 12

[0116] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 자외선 광전자 분석법에 의한 이차전자 컷오프와 HOMO 에너지 준위 측정을 바탕으로 에너지 준위 다이어그램을 작성하였다.

[0117] 비교예 8

[0118] 상용화되어 쓰이는 발광 소자를 제조하였다. 나머지 실험과정은 전술한 실험예 12와 동일하다.

[0119] 실험예 12 및 비교예 8의 실험 결과

- [0120] 도 15는 실험예 12 및 비교예 8의 에너지준위 다이어그램을 나타낸다. 도 15의 (a)는 비교예 8에서 발광 소자의 에너지준위 다이어그램을 나타내고, 도 15의 (b)는 실험예 12에서 발광 소자의 에너지준위 다이어그램을 나타낸다.
- [0121] 도 15에 도시한 바와 같이, 비교예 8의 발광 소자의 발광층의 정공 수송 장벽은 1.45eV였고, 실험예 12의 발광 소자의 발광층의 정공 수송 장벽은 1.23eV였다. 즉, 발광 소자에 PANI:PSS 층을 삽입하여 PVK층의 HOMO 에너지 준위를 페르미 에너지로부터 낮출 수 있었다. 따라서 발광 소자의 발광층의 정공 수송 장벽이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.
- [0122] **전압 변화에 따른 전류밀도 측정 실험**
- [0123] **실험예 13**
- [0124] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 전압을 상승시킨 후 전압 변화에 따라 발광 소자의 전류밀도를 측정하였다.
- [0125] **비교예 9**
- [0126] 일반적으로 상용화된 발광 소자를 대상으로 실험하였다. 실험 과정은 전술한 실험예 13과 동일하였다.
- [0127] **실험예 13 및 비교예 9의 실험 결과**
- [0128] 도 16은 실험예 13 및 비교예 9의 전압 변화에 따른 전류밀도를 실험한 결과의 그래프를 나타낸다. 도 16에서 네모는 비교예 9에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 전류밀도를 나타내고, 원은 실험예 13에서 발광 소자의 전압 변화에 따른 전류밀도를 나타낸다.
- [0129] 도 16에 도시한 바와 같이, 실험예 13의 전류밀도는 0V 내지 1V의 낮은 전압에서는 작은 전류밀도가 측정되었고, 전압이 커짐에 따라 큰 전류밀도가 측정되었다. 반면, 비교예 9는 낮은 전압에서는 비교적 큰 전류밀도가 측정되었고, 전압이 커짐에 따라 전류밀도가 점점 작게 측정되었다. 즉, 발광 소자에 PANI:PSS 층을 형성하여 터온 전압 이상에서 전류 밀도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 또한, 발광 소자가 0.7V 이상의 조건에서 급격한 전류 밀도의 변화가 측정되었으므로, 발광 소자의 높은 정공 이송률을 확인할 수 있었다.
- [0130] **PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 따른 컷오프 측정 실험**
- [0131] **실험예 14**
- [0132] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 발광 소자의 표면은 각각 순서대로 PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO가 코팅된 표면이었다. 그리고 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 발광 소자의 컷오프를 측정하였다. PSS 함량은 PANI:PSS에서의 함량이다.
- [0133] **실험예 15**
- [0134] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 발광 소자의 표면은 각각 순서대로 PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO가 코팅된 표면이었다. 그리고 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 발광 소자의 컷오프를 측정하였다.
- [0135] **실험예 14 내지 15의 실험 결과**
- [0136] 도 17은 실험예 14 내지 15의 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 발광 소자의 컷오프를 측정한 그래프를 나타낸다. 도 17의 (a)와 (b)의 각각의 그래프는 PANI에 대한 PSS의 비로써, 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, 1:9, 1:11, 1:13을 나타낸다. 도 17의 (c)와 (d)의 각각의 그래프는 PVK/PEDOT:PSS/ITO, PANI에 대한 PSS의 비로써, 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, 1:9, 1:11, 1:13을 나타낸다.
- [0137] 도 17의 (a)와 (b)에 도시한 바와 같이, PANI에 대한 PSS의 함량비율이 커질수록 PANI:PSS 층의 일함수가 증가함을 알 수 있었다. 도 17의 (c)에는 PANI:PSS 층 위의 PVK 박막의 일함수는 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 도 17의 (d)에는 PANI:PSS 층위의 PVK 박막의 HOMO 에너지 준위가 페르미 에너지로부터 작아지는 것을 알 수 있었다.
- [0138] **PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 따른 에너지 준위 다이어그램**
- [0139] **실험예 16**

- [0140] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 발광 소자의 일함수, 에너지 준위 및 이온화 에너지 측정하고, 이를 바탕으로 에너지 준위 다이어그램을 작성하였다.
- [0141] **실험예 16의 실험 결과**
- [0142] 도 18의 (a)는 PANI에 대한 PSS의 함량 변화에 따른 발광 소자의 일함수, 에너지 준위 및 이온화 에너지 측정한 그래프를 나타낸다. 도 18의 (a)에서 별은 PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO의 일함수를 나타내고, 원은 PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO의 HOMO 에너지 준위, 네모는 일함수, 세모는 이온화 에너지를 각각 나타낸다. 도 18의 (a)에 도시한 바와 같이, PSS의 함량 비율이 커질수록 PANI:PSS 층의 일함수는 0.03143 기울기로 커지는 것을 알 수 있었다. 또한 PANI:PSS 층에서 PANI에 대한 PSS의 함량비율이 커질수록, PANI:PSS위에 제작된 PVK의 일함수는 0.01429 기울기로 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 PANI:PSS 층에서 PANI에 대한 PSS의 함량 비율이 커질수록, HOMO 에너지 준위는 0.01482 기울기로 HOMO 에너지 준위가 증가하지만, 이온화 에너지 값은 거의 일정함을 확인할 수 있었다.
- [0143] 도 18의 (b)는 PSS의 함량 변화에 따른 에너지 준위 다이어그램을 나타낸다. 도 18의 (b)에 도시한 바와 같이, HOMO에너지 준위는 페르미 에너지로부터 PANI에 대한 PSS의 함량비율이 커질수록 점차 작아지는 것을 알 수 있었다. 따라서 따라서 발광 소자의 발광층의 정공 수송 장벽이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.
- [0144] **PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 따른 흡수 스펙트럼**
- [0145] **실험예 17**
- [0146] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 흡수 스펙트럼을 작성하였다.
- [0147] **실험예 17의 실험 결과**
- [0148] 도 19는 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 PANI:PSS의 흡수 스펙트럼을 측정한 그래프를 나타낸다. 도 19의 그래프는 PANI, PANI에 대한 PSS의 비로써, 1:5 및 1:11을 나타낸다. PANI는 emeraldine base와 emeraldine salt에서 벤제노이드와 퀴노이드 링의 $\pi-\pi^*$ transitions과 emeraldine salt에서 π -polaron transitions에 의한 320 nm와 870 nm의 흡수밴드가 우세하게 나타났다. 430nm 부근은 emeraldine salt의 polaron- π^* transitions에 의한 흡수대역이다. PANI:PSS는 PANI의 흡수 스펙트럼의 경향성을 따르고 있음을 확인할 수 있었다.
- [0149] **PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 투과 스펙트럼**
- [0150] **실험예 18**
- [0151] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 투과 스펙트럼을 작성하였다.
- [0152] **실험예 18의 실험 결과**
- [0153] 도 20은 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 PANI:PSS의 투과 스펙트럼을 측정한 그래프를 나타낸다. 도 20에서 실선은 ITO/glass의 투과 스펙트럼, 네모는 PVK/PEDOT:PSS/ITO/glass의 투과 스펙트럼, 원은 PVK/PANI:PSS(1:11 & 8-nm thick)/PEDOT:PSS/ITO/glass의 투과 스펙트럼을 각각 나타낸다. 630nm 파장 부근의 투과도는 각각 88.0%, 85.4%, 84.1%로서 레드 양자점 발광다이오드를 제작할 경우 PANI:PSS 삽입층이 발광효율을 저해하지 않는 높은 투과도를 지니고 있음을 알 수 있었다.
- [0154] **PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 따른 FT-IR 스펙트럼**
- [0155] **실험예 19**
- [0156] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 FT-IR 스펙트럼을 작성하였다.
- [0157] **실험예 19의 실험 결과**
- [0158] 도 21은 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 PANI:PSS의 분자 구조를 알아보기 위하여 FT-IR 스펙트럼을 측정한 그래프를 나타낸다. 도 21의 그래프는 PANI에 대한 PSS의 비로써, 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:15, 1:20, 1:30을 각각 나타낸다. 도 21에 도시한 바와 같이, PANI:PSS는 PANI의 고분자 사슬에 PSS가 정전

기적 상호작용으로 존재하고 있음을 알 수 있었다. 또한 PANI에 대한 PSS의 함량비율의 증가에 따른 PANI:PSS 고분자는 어떠한 손상과 변형이 없이 고분자 사슬이 제대로 형성될 수 있음을 확인할 수 있었다.

[0159] PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 따른 UPS 스펙트럼

[0160] 실험예 20

[0161] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 일함수를 측정하였다.

[0162] 실험예 20의 실험 결과

[0163] 도 22는 PSS의 함량 변화에 따른 PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO와 PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO의 이차전자 컷오프 지역의 다층구조에 관한 UPS 스펙트럼이다. 도 22의 그래프는 PANI에 대한 PSS의 비로써, 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:15, 1:20, 1:30을 각각 나타낸다. 이때, PANI:PSS의 두께는 8nm로 고정한다. 도 22의 (a)에 도시한 바와 같이, PANI에 대한 PSS 함량비가 1:1에서 1:17까지 변화함에 따라 PANI:PSS의 일함수가 변화하고 1:17이상의 비율에서는 일정하다는 것을 알 수 있었다. 도 22의 (b)에 도시한 바와 같이, PANI에 대한 PSS 함량비율이 1:1에서 1:11까지 PSS 함량이 증가하면서 PANI:PSS박막 층위의 PVK 박막의 일함수가 증가함을 알 수 있었다. 따라서, PANI:PSS 박막에 대한 함량 변화가 PVK층의 전자구조에 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다.

[0164] PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 따른 UPS 스펙트럼

[0165] 실험예 21

[0166] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 다층박막의 HOMO 에너지 준위와 코어 (core)지역 에너지 준위를 측정하였다.

[0167] 실험예 21의 실험 결과

[0168] 도 23은 PANI에 대한 PSS의 함량비 변화에 따른 PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS/ITO의 HOMO 에너지 준위와 코어(core)지역 에너지 준위의 UPS 스펙트럼이다. 도 23의 그래프는 PANI에 대한 PSS의 비로써, 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, 1:9, 1:11, 1:13, 1:15, 1:20, 1:30을 각각 나타낸다. 이때, PANI:PSS의 두께는 8nm로 고정한다. 도 23에 도시한 바와 같이, PANI에 대한 PSS의 함량비율이 1:1에서 1:11로 증가하면서 PVK 박막의 HOMO 에너지 준위도 증가되고, PANI에 대한 PSS의 함량비율이 1:11에서 1:30로 증가함에 따라 PVK 박막의 HOMO 에너지 준위는 감소되는 것을 알 수 있었다. 따라서, PSS의 넓은 범위의 함량 변화에 따라 PVK 박막의 HOMO 에너지 준위를 조절할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 PVK 박막은 HOMO 에너지 준위뿐만 아니라 PVK의 코어 지역 에너지 준위의 모든 에너지 준위들이 함께 평행하게 이동한다는 점을 알 수 있었다. 따라서, PANI에 대한 PSS의 함량변화에 따라 PVK박막의 모든 전자구조의 위아래 이동을 야기시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

[0169] PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 따른 PVK의 에너지 준위

[0170] 실험예 22

[0171] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 따른 PANI:PSS 일함수와 PVK의 이온화 에너지(IE), 일함수(Φ), 계면쌍극자(Δ), PVK와 PANI:PSS 간의 정공 수송 장벽(Δh), QD와 PVK 간의 정공 수송 장벽($\Delta h'$) 값을 측정과 계산하고, 이를 바탕으로 에너지 준위 그래프를 작성하였다.

[0172] 실험예 22의 실험 결과

[0173] 도 24는 PANI에 대한 PSS의 함량 변화에 따라 PANI:PSS 일함수와 PVK의 이온화 에너지, 일함수, 계면쌍극자, PVK와 PANI:PSS 간의 정공 수송 장벽과 QD와 PVK 간의 정공 수송 장벽의 에너지를 그래프로 나타낸다. 도 24에 도시한 바와 같이, PANI에 대한 PSS 함량비율이 증가하면서 PANI:PSS는 일함수가 커지는 것을 알 수 있었다. 또한, 각각의 PANI:PSS 위에 코팅된 정공 수송층 PVK의 전자구조는 PANI에 대한 PSS의 함량비율이 11까지 증가하면서 일정한 이온화 에너지, 일함수 감소, 그리고 HOMO 에너지 준위가 아래로 이동하는 특성을 알 수 있었다. QD층으로 정공이동의 경우, PSS의 함량비율이 1에서 11까지로 변화하면서 QD층과 PVK층 간의 정공 수송 장벽이 1.42eV에서 1.22 eV로 낮아짐을 확인할 수 있었다.

[0174] PANI:PSS 두께 변화에 따른 PVK의 에너지 준위

[0175] 실험예 23

[0176] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI:PSS 두께 변화에 따른 PANI:PSS 일함수와 PVK의 이온화 에너지(IE), 일함수(Φ), 계면쌍극자 (Δ), PVK와 PANI:PSS 간의 정공 수송 장벽(Δh), QD와 PVK 간의 정공 수송 장벽($\Delta h'$) 값을 측정과 계산하고, 이를 바탕으로 에너지 준위 그래프를 작성하였다.

[0177] .

[0178] **실험예 23의 실험 결과**

[0179] 도 25는 PANI:PSS의 1nm 내지 38nm 두께 변화에 따라 PANI:PSS 일함수와 PVK의 이온화 에너지, 일함수, 계면쌍극자, PVK와 PANI:PSS 간의 정공 수송 장벽과 QD와 PVK 간의 정공 수송 장벽의 에너지 준위들을 그래프로 나타낸다. 이때, PANI:에 대한 PSS의 비는 1:11로 고정한다. 도 25에 도시한 바와 같이, PANI:PSS 두께가 8nm 이상의 경우 PVK의 일함수가 5.37eV의 일정한 값을 유지하는 동안, 1nm 내지 8nm로 PANI:PSS 두께가 증가한 경우 PVK의 일함수가 증가한다. PANI:PSS의 일함수는 1nm 내지 38nm로 PANI:PSS 두께가 증가함에 따라 5.27eV에서 5.38eV로 증가함을 알 수 있었다. 또한, PANI:PSS 두께가 1nm 내지 8nm 범위 내에서 PVK의 전자구조에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 PANI:PSS의 두께가 1nm 내지 8nm 범위 내에서 PVK의 에너지 준위들의 증가로 인하여 PVK와 PANI:PSS 간의 정공 수송 장벽이 감소(1.03eV에서 0.68eV)되고, QD와 PVK 간의 정공 수송 장벽이 증가(0.90eV에서 1.22eV)되는 것을 알 수 있었다.

[0180] **발광 소자의 에너지준위 다이어그램**

[0181] **실험예 24**

[0182] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 발광 소자의 에너지 다이어그램을 작성하였다.

[0183] **실험예 24의 실험 결과**

[0184] 도 26은 QD/PVK/PANI:PSS/PEDOT:PSS의 에너지 준위 다이어그램을 나타낸다. 도 26에 도시한 바와 같이, PANI:PSS 삽입층의 PANI에 대한 PSS 함량비 변화에 의해 PVK의 HOMO 에너지 준위가 감소할 때 QD와 PVK간 계면의 정공 수송 장벽 ($\Delta h'$)은 낮아질 수 있으며, 낮아지는 정공 수송 장벽에 의해 높은 정공전도효율과 함께 우수한 전기적 특성과 전계발광효율을 가질 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 정공 수송층과 발광층 사이의 헤테로접합에서 정공수송 에너지 장벽이 낮아지는 특성을 확인할 수 있었다.

[0185] **PSS 함량 변화에 따른 전류-전압 및 휘도-전압**

[0186] **실험예 25**

[0187] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 두께가 8nm인 PANI:PSS의 PSS 함량 변화에 따른 전류-전압과 휘도-전압의 그래프를 작성하였다.

[0188] **실험예 25의 실험 결과**

[0189] 도 27은 그래프는 PANI:PSS의 두께가 8nm이며, PANI에 대한 PSS의 비가 1:5, 1:11, 1:30인 그래프를 각각 나타낸다. 도 27의 (a)는 PANI:PSS의 PSS 함량 변화에 따른 전류-전압의 그래프이며, 도 27의 (b)는 PANI:PSS의 PSS 함량 변화에 따른 휘도-전압의 그래프이다. 도 27에 도시한 바와 같이, PANI에 대한 PSS의 비로써 1:11의 PANI:PSS 삽입층이 있는 발광 소자에서 높은 휘도 특성이 나타남을 알 수 있었다. 특히 도 27의 (b)에서 PANI:PSS가 삽입된 발광 소자와 삽입되지 않은 발광 소자를 비교시, 1:11의 PANI:PSS가 삽입됨으로 정공의 전도도가 증가하는 것을 명확하게 확인할 수 있었다.

[0190] **PANI:PSS 두께 변화에 따른 전류-전압 및 휘도-전압**

[0191] **실험예 26**

[0192] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PANI:PSS의 PANI에 대한 PSS의 비가 1:11인 PANI:PSS의 두께 변화에 따른 전류-전압과 휘도-전압의 그래프를 작성하였다.

[0193] **실험예 26의 실험 결과**

[0194] 도 28은 PANI에 대한 PSS의 비가 1:11이며, PANI:PSS 두께가 1nm, 8nm, 15nm, 38nm인 그래프를 각각 나타낸다. 도 28의 (a)는 PANI:PSS 두께 변화에 따른 전류-전압의 그래프이며, 도 28의 (b)는 PANI:PSS 두께 변화에 따른 휘도-전압 그래프이다. 도 28에 도시한 바와 같이, PANI에 대한 PSS의 비가 1:11이며, PANI:PSS의 두께가 8nm 일 때 가장 높은 휘도를 가진다는 것을 알 수 있었다. 특히, 도 28의 (b)에는 PANI:PSS의 두께가 1 nm에서 8nm

로 증가하면서 $\Delta h'$ 가 증가함에도 불구하고 휘도와 전류밀도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

[0195] **PSS 함량 변화에 따른 전계 발광 스펙트럼**

[0196] **실험예 27**

[0197] 실험예 1과 동일한 방법으로 발광 소자를 제조하였다. 그리고 PSS의 함량 변화에 따른 전계 발광 스펙트럼을 작성하였다.

[0198] **실험예 27의 실험 결과**

[0199] 도 29는 PSS의 함량 변화에 따른 전계 발광 스펙트럼과 발광 소자의 발광 사진이다. 도 29의 (a)의 그래프는 5.5V의 전압에서 작동된 PANI에 대한 PSS의 비로써, 1:5, 1:11, 1:30을 각각 나타낸다. 도 29의 (b)는 두께 8nm의 1:11 비율의 PANI:PSS가 삽입된 발광 소자와 삽입되지 않은 발광소자의 발광 사진을 나타낸다. 도 29에 도시한 바와 같이, PANI:PSS가 삽입된 발광 소자가 삽입되지 않은 발광 소자보다 약 34배의 고휘도 특성을 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

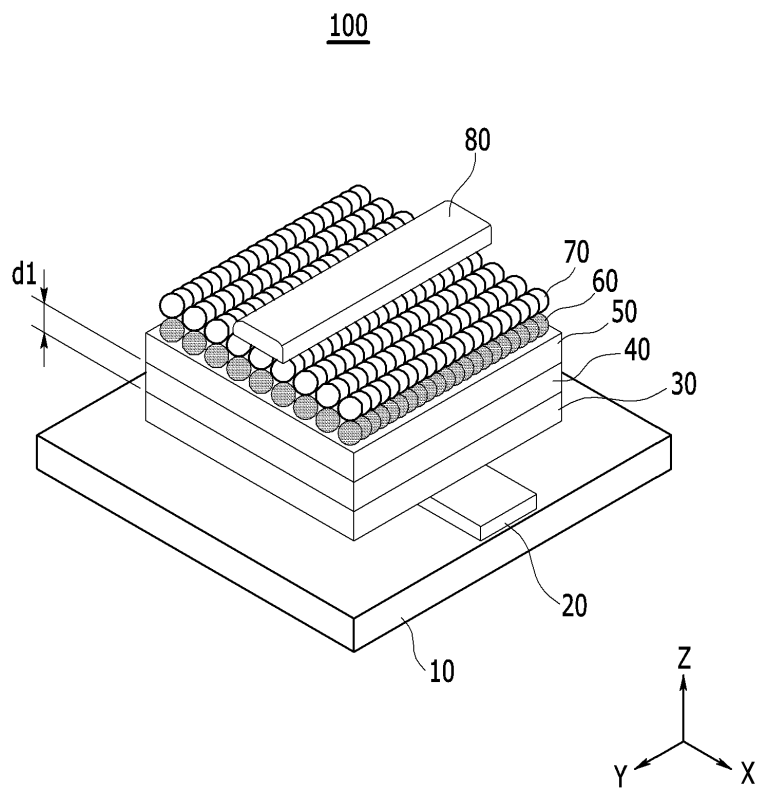
[0200] 본 발명을 앞서 기재한 바에 따라 설명하였지만, 다음에 기재하는 특허청구범위의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한, 다양한 수정 및 변형이 가능하다는 것을 본 발명이 속하는 기술 분야에서 종사하는 자들은 쉽게 이해할 것이다.

부호의 설명

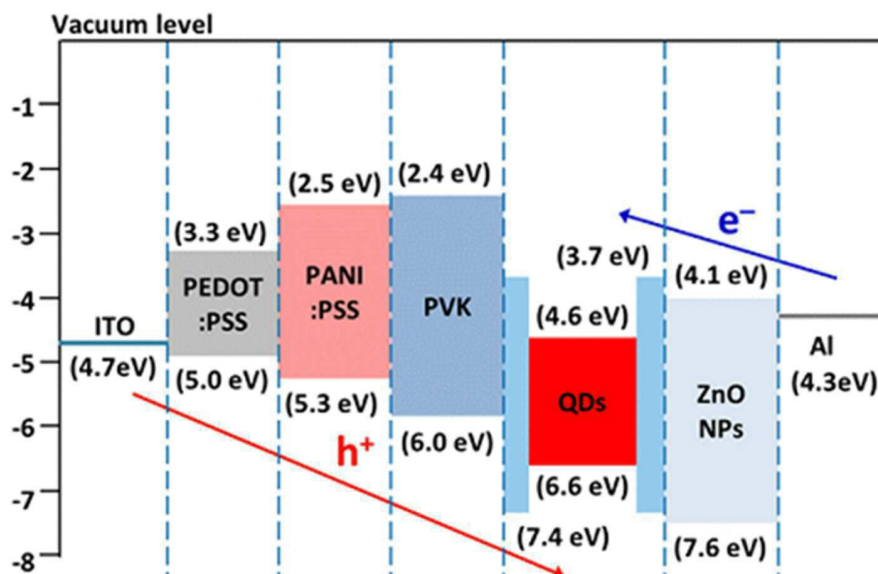
- [0201]
- 10. 기판
 - 20. 제1 전극
 - 30. 정공 주입층
 - 40. 도전성 고분자 박막층
 - 50. 정공 수송층
 - 52. 제1 정공 수송층
 - 54. 제2 정공 수송층
 - 60. 발광층
 - 70. 전자 수송층
 - 80. 제2 전극

도면

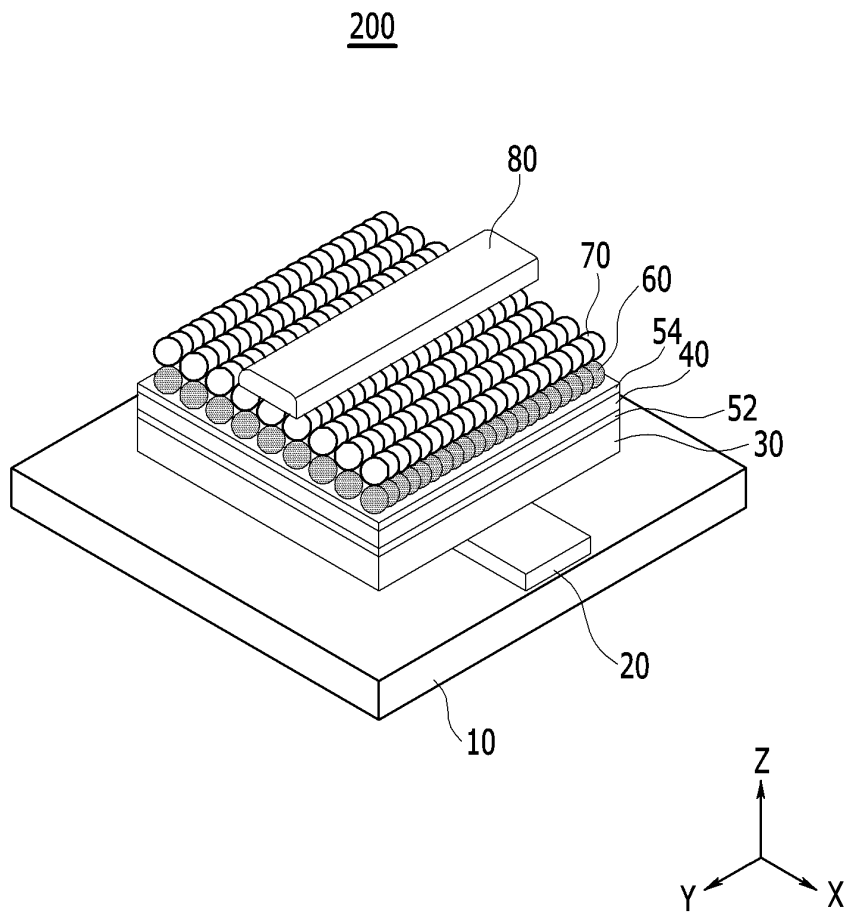
도면1



도면2

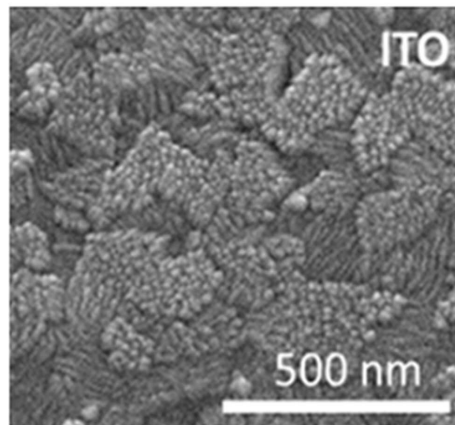


도면3

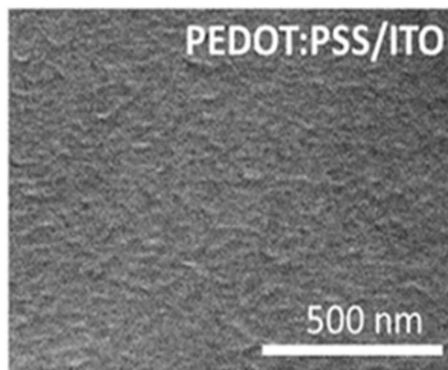


도면4

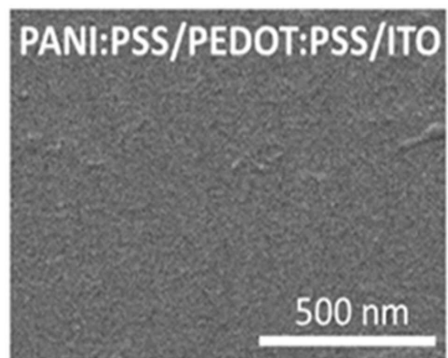
(a)



(b)

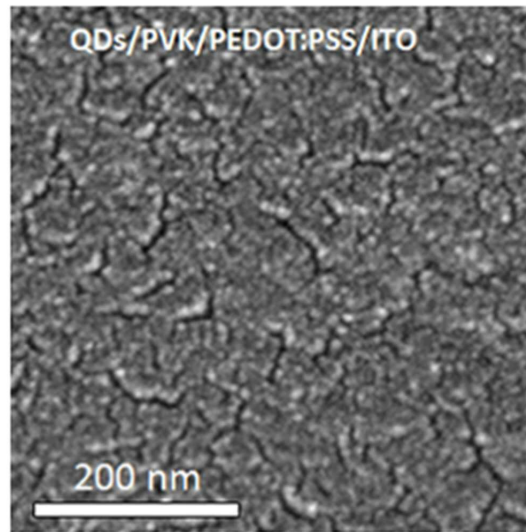


(c)

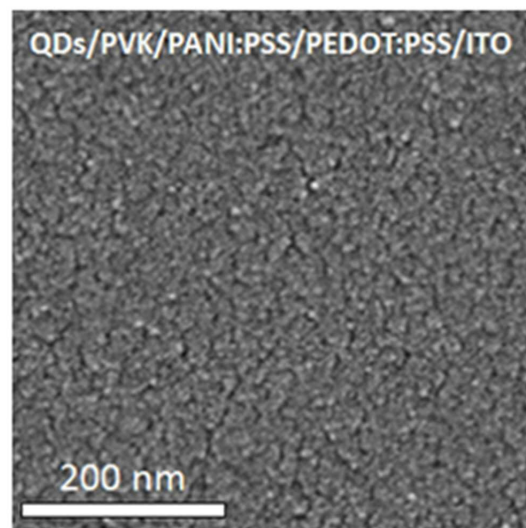


도면5

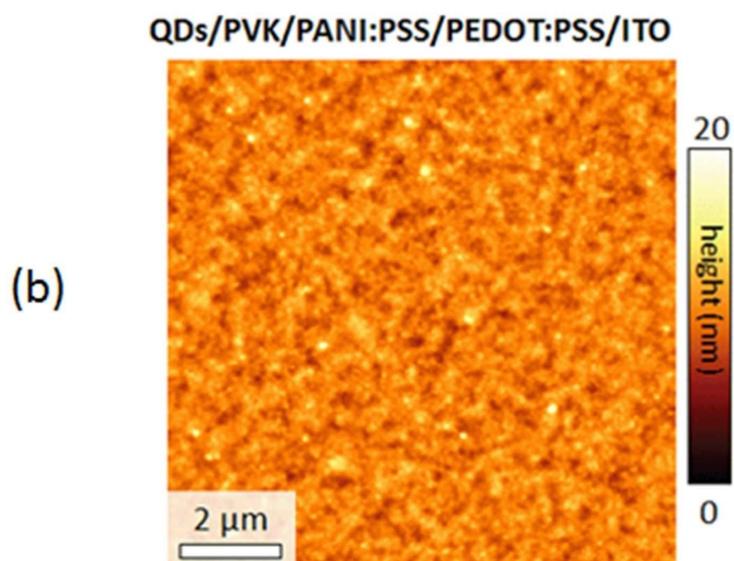
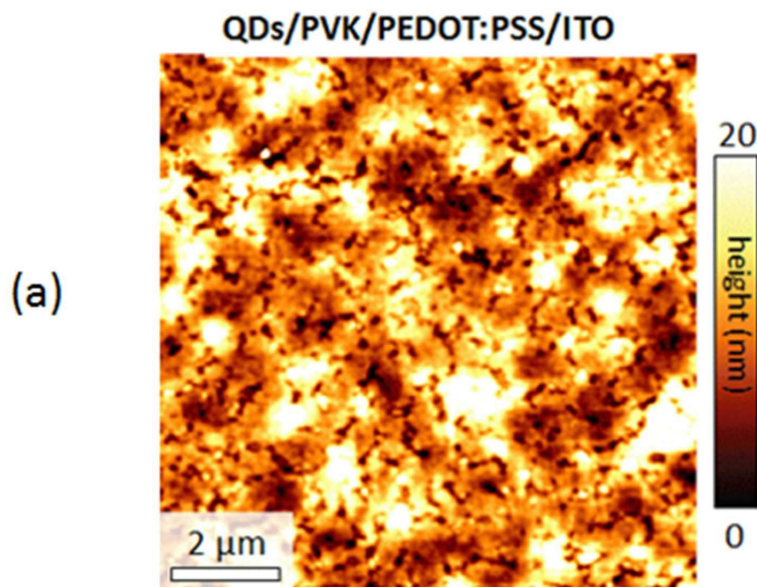
(a)



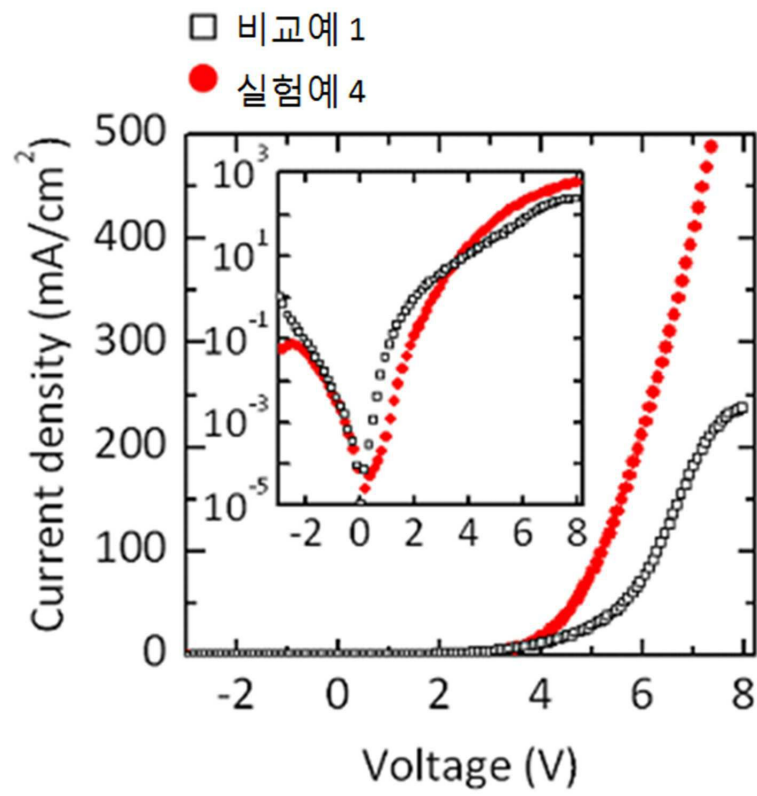
(b)



도면6



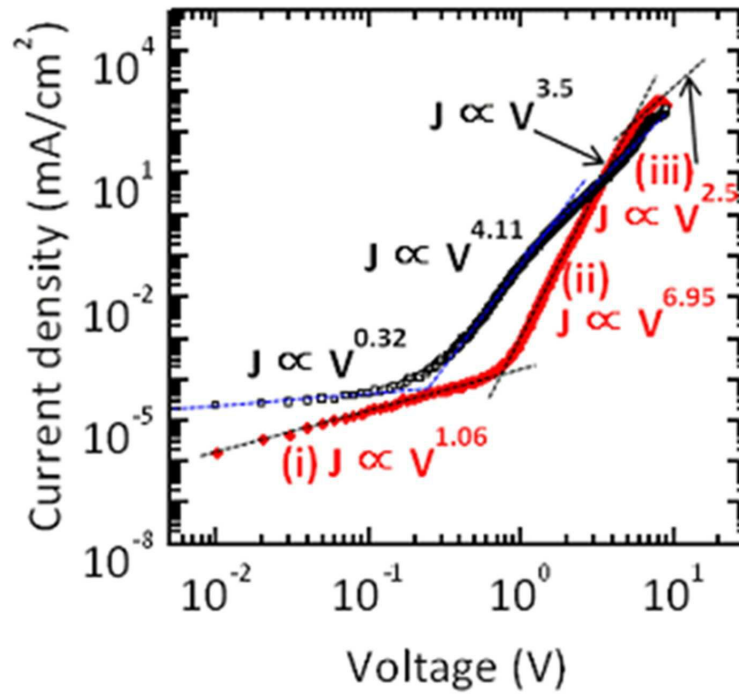
도면7



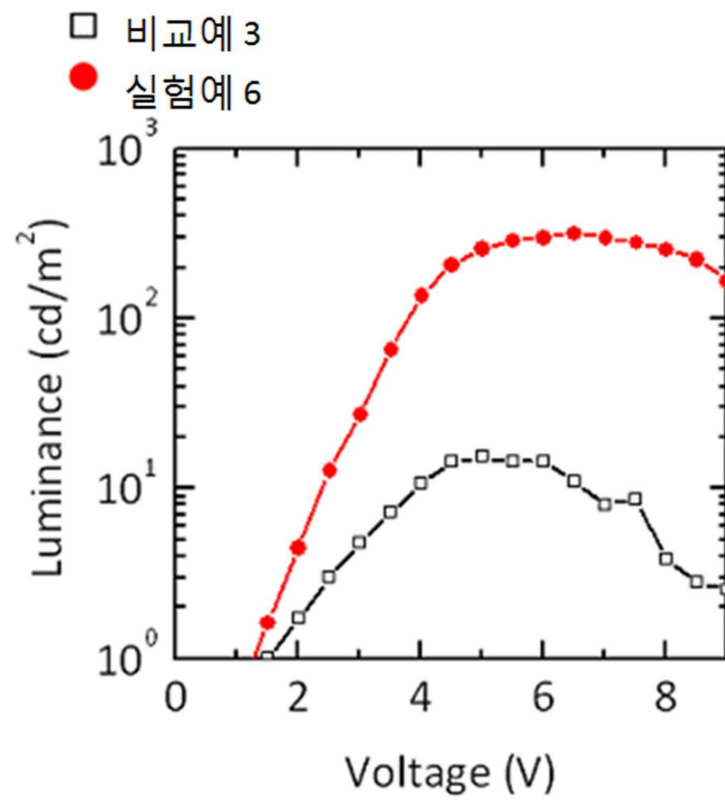
도면8

□ 비교예 2

● 실험예 5

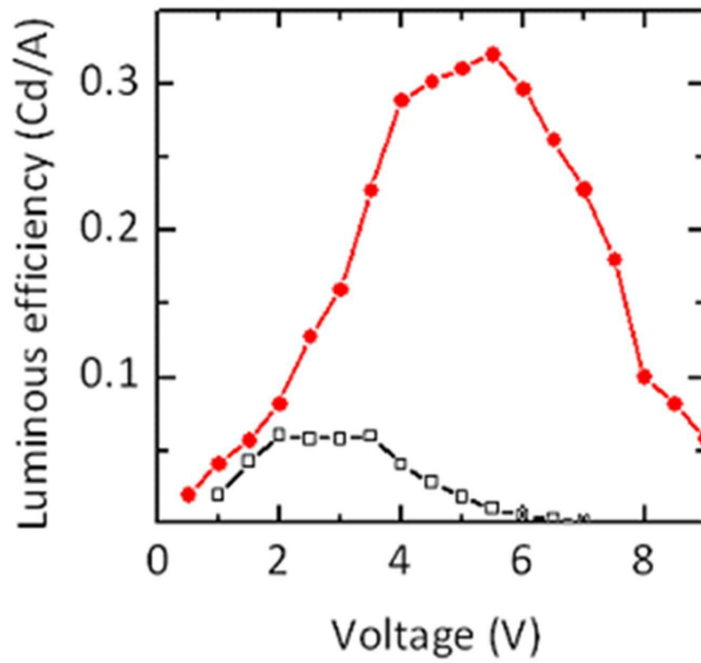


도면9

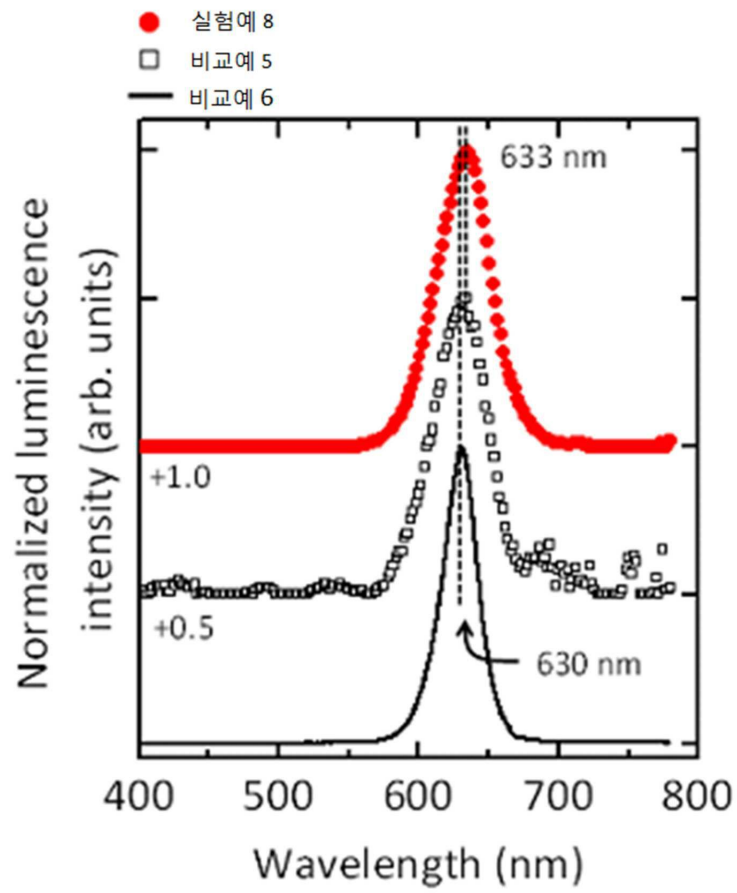


도면10

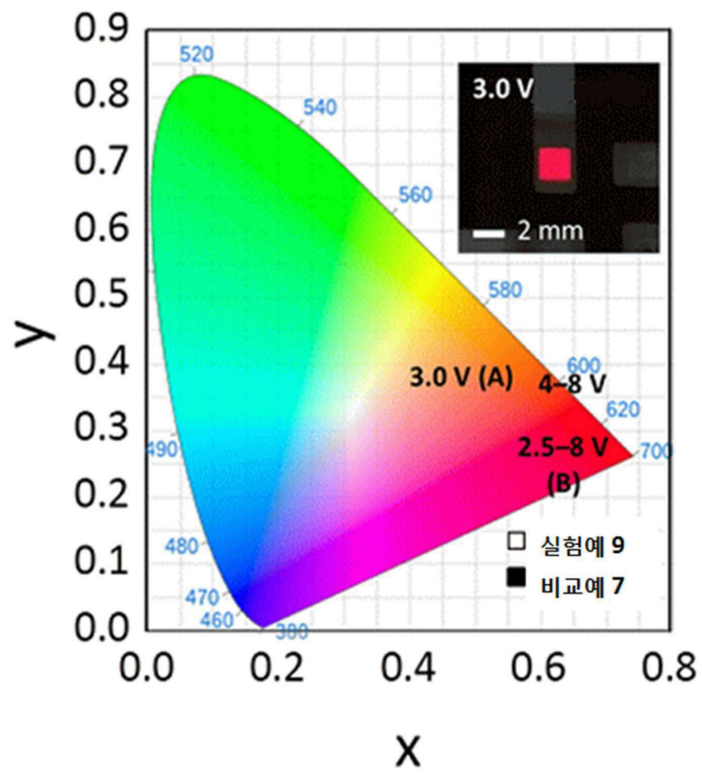
- 비교예 4
- 실험예 7



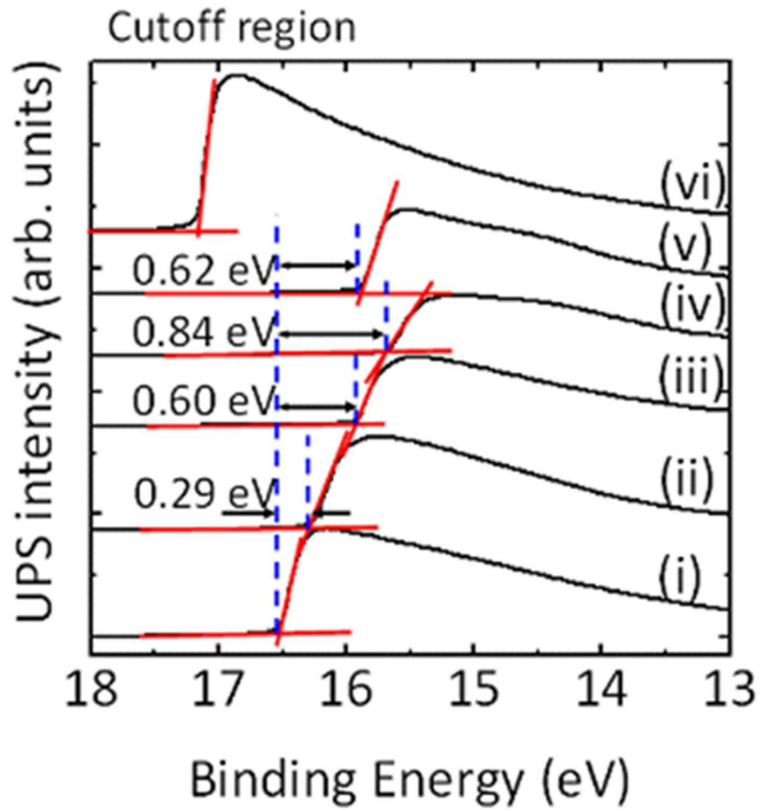
도면11



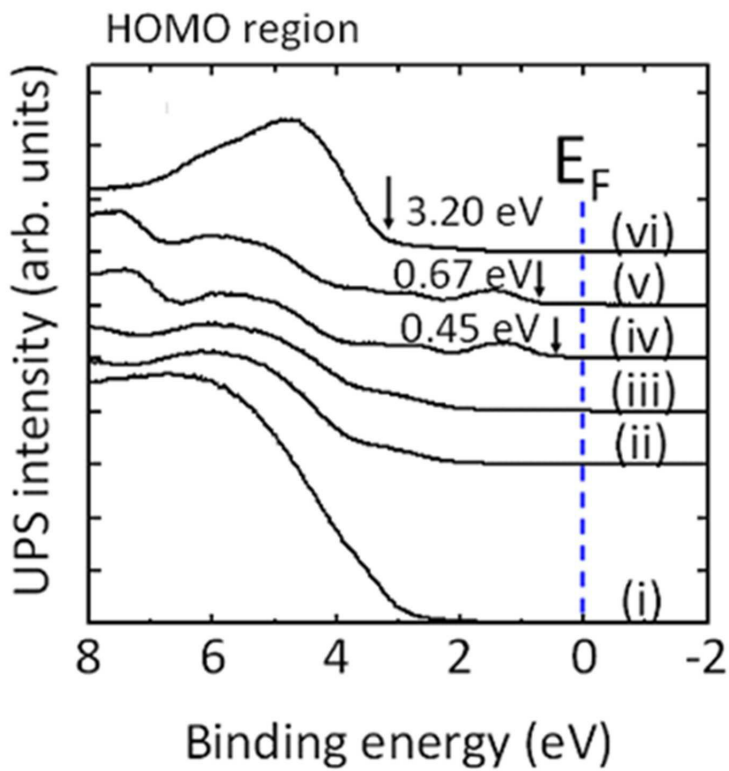
도면12



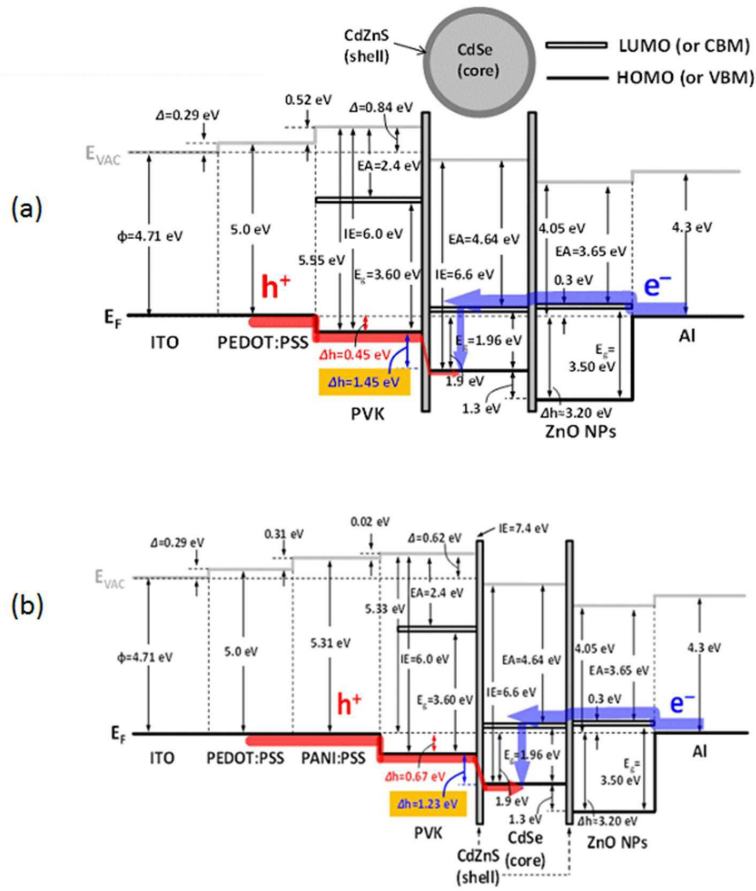
도면13



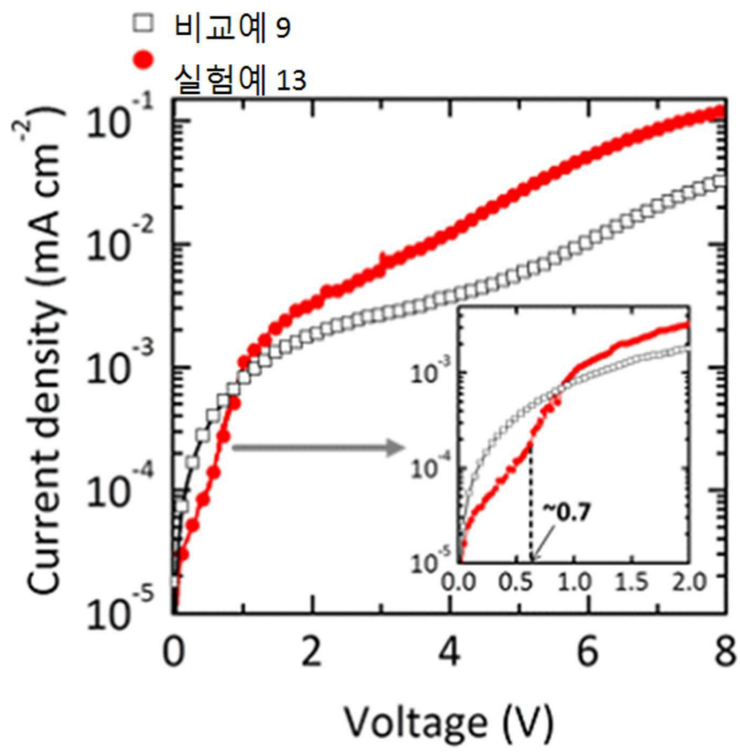
도면14



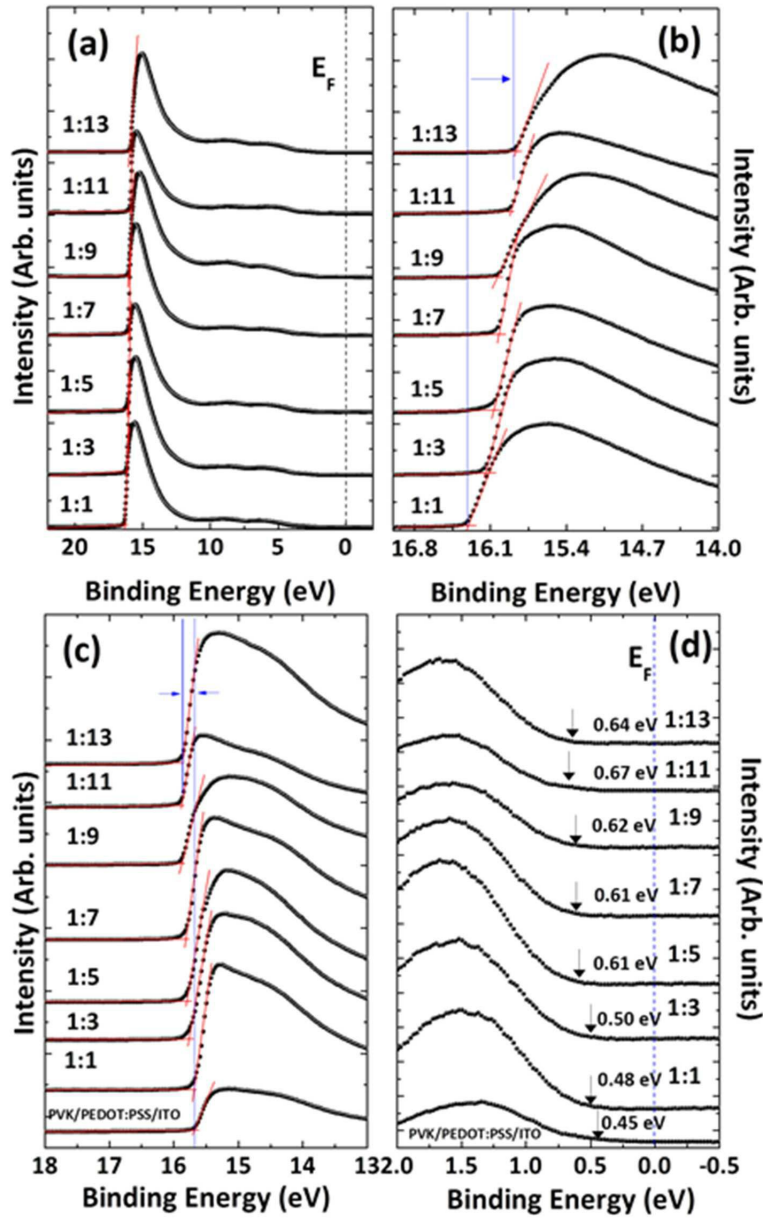
도면15



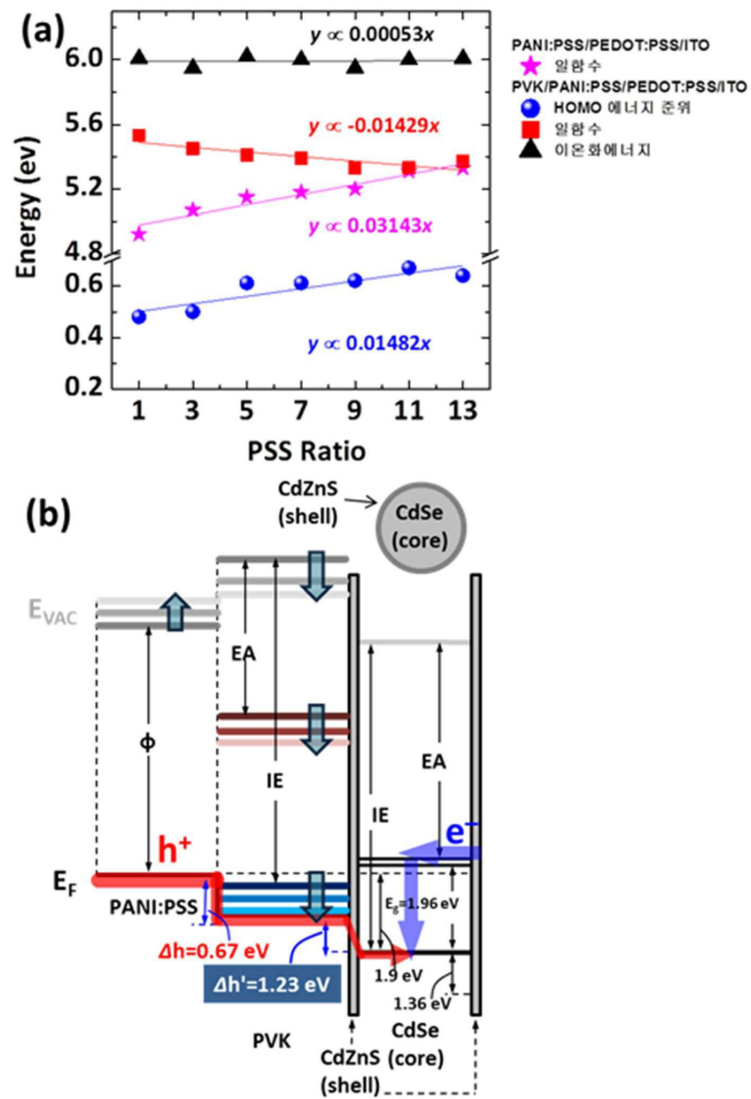
도면16



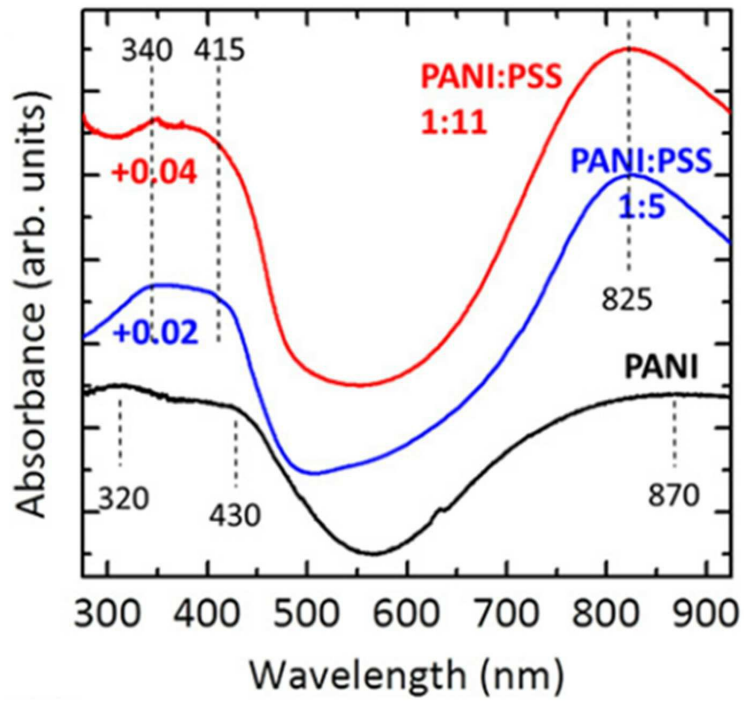
도면17



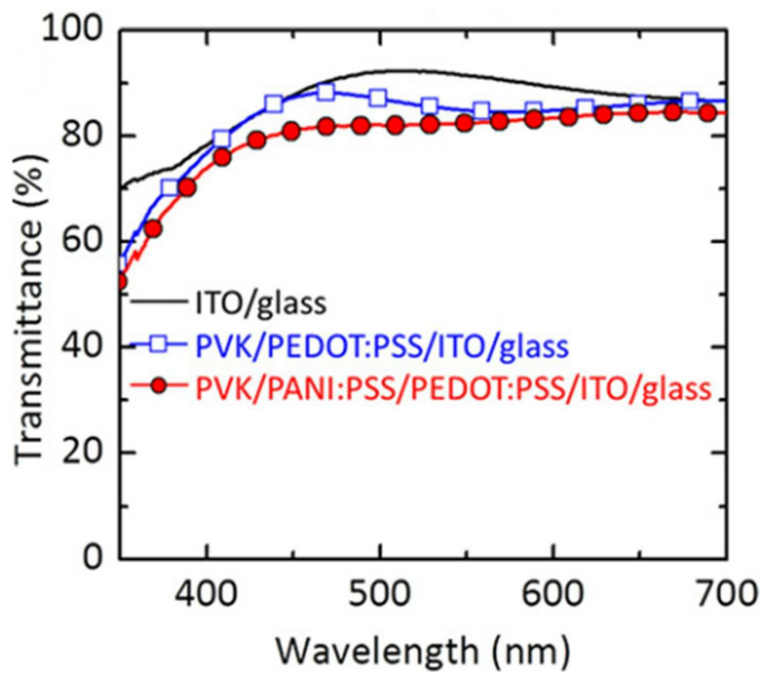
도면18



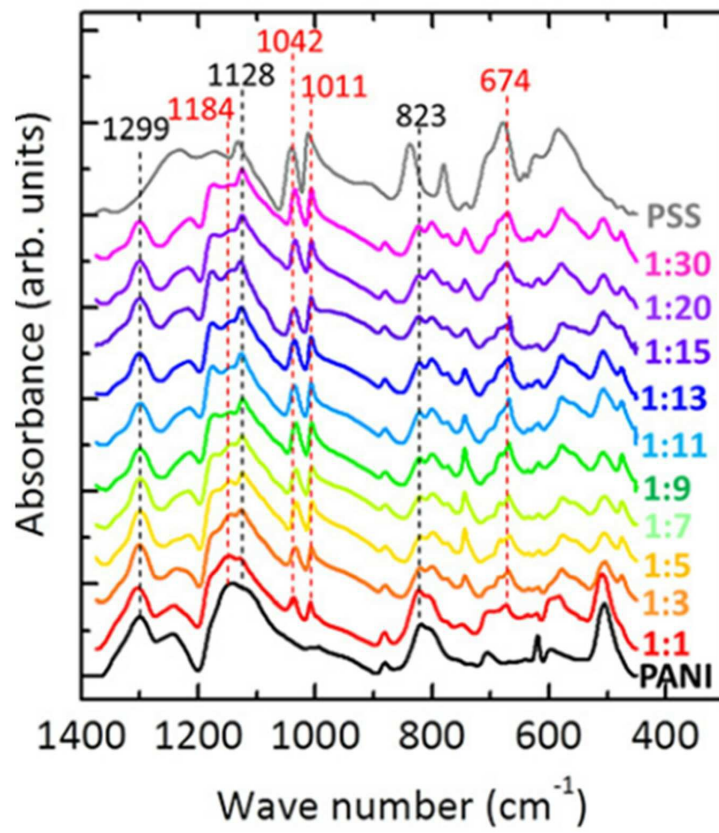
도면19



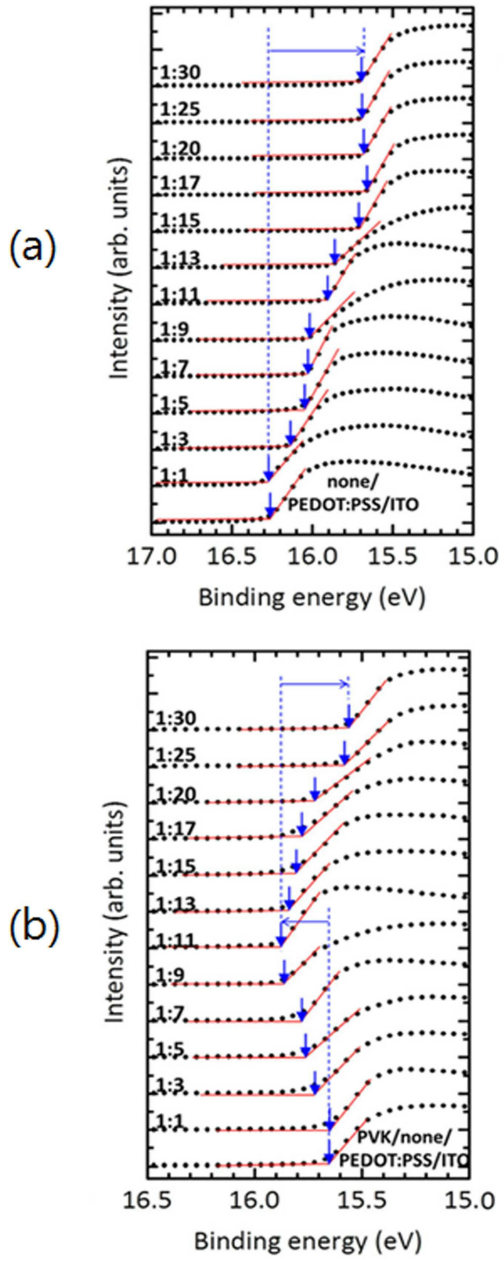
도면20



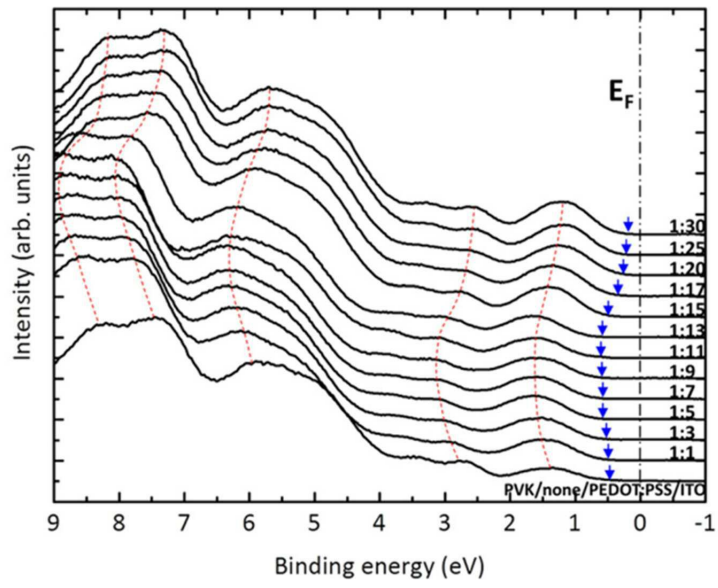
도면21



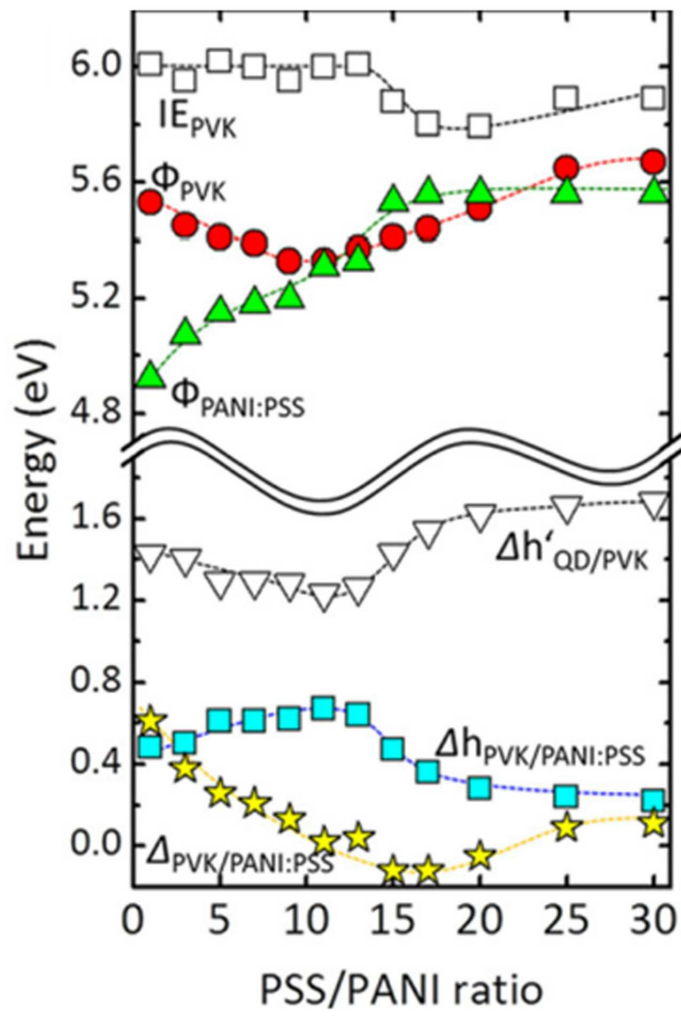
도면22



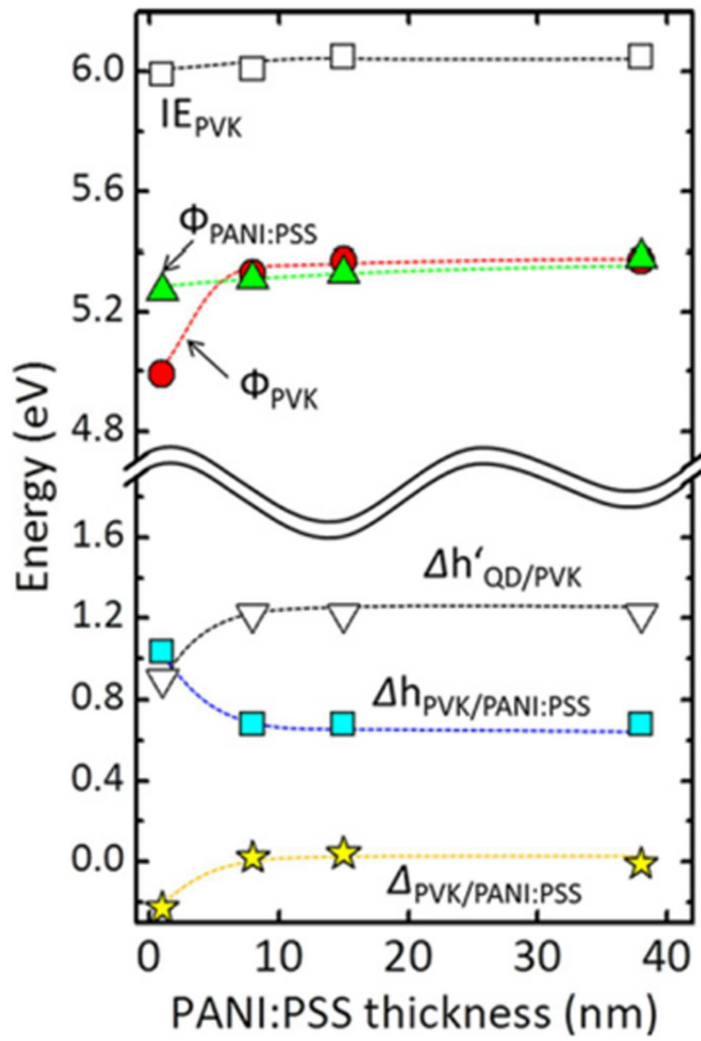
도면23



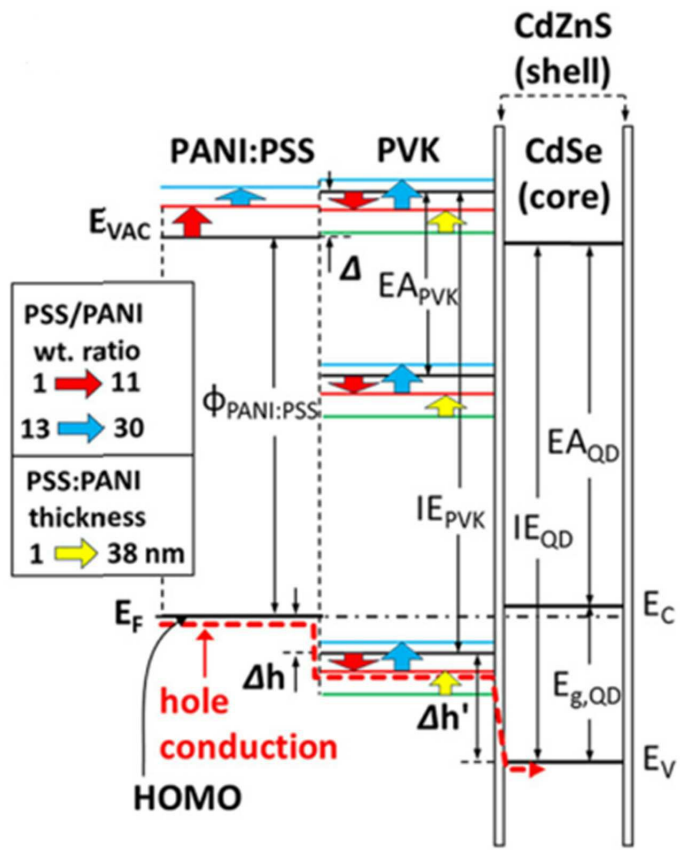
도면24



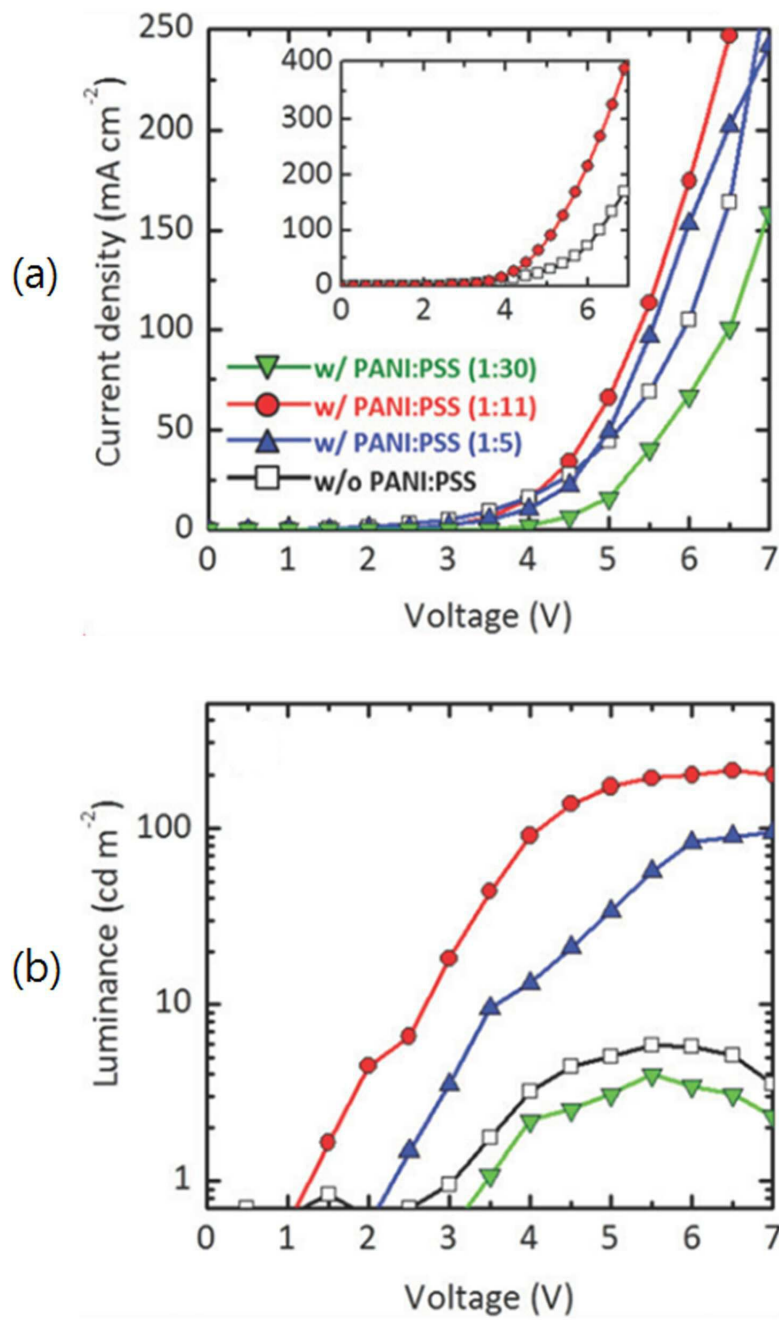
도면25



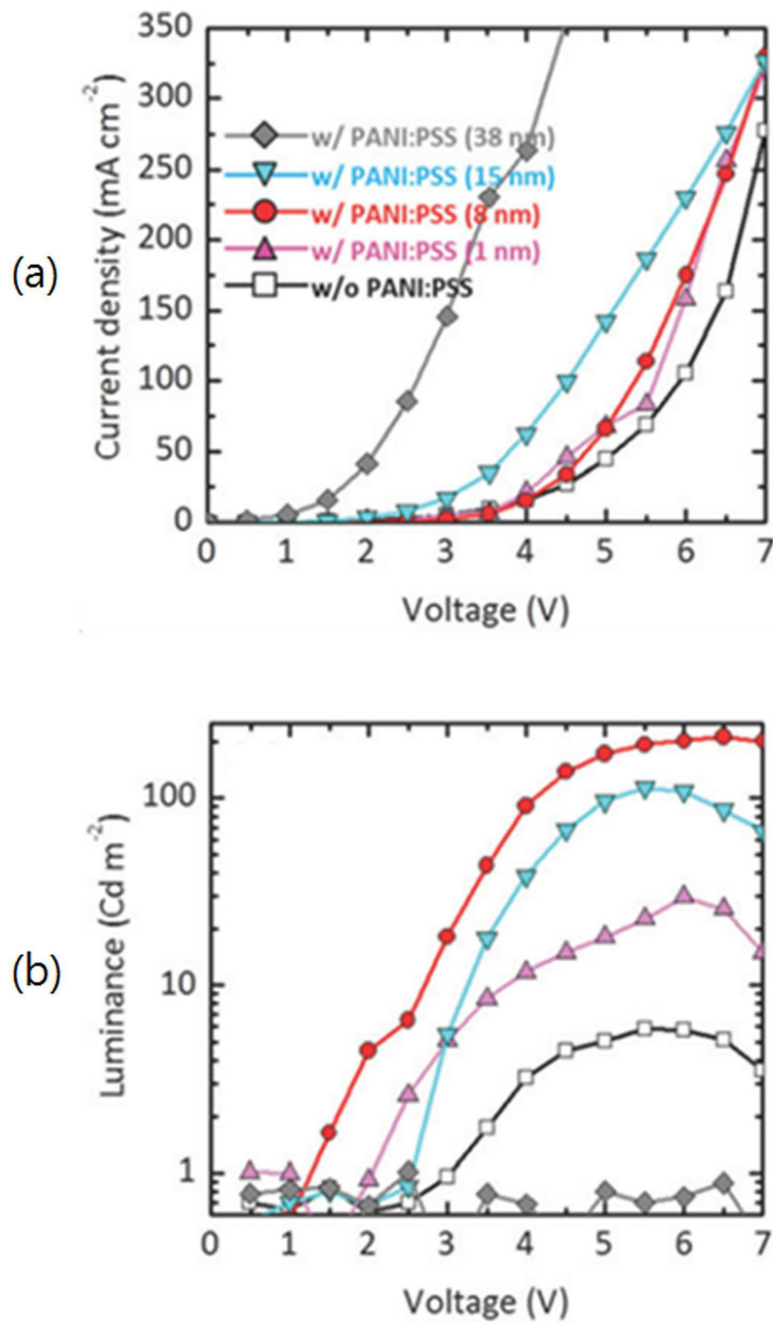
도면26



도면27



도면28



도면29

