



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2009년03월11일
(11) 등록번호 10-0888424
(24) 등록일자 2009년03월05일

(51) Int. Cl.

H05B 33/18 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2003-7014984

(22) 출원일자 2003년11월17일

심사청구일자 2007년04월04일

번역문제출일자 2003년11월17일

(65) 공개번호 10-2004-0012843

(43) 공개일자 2004년02월11일

(86) 국제출원번호 PCT/US2002/014956

국제출원일자 2002년05월13일

(87) 국제공개번호 WO 2002/91814

국제공개일자 2002년11월21일

(30) 우선권주장

60/291,496 2001년05월16일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US05837391 A1*

US0570774 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

더 트러스티즈 오브 프린스턴 유니버시티

미합중국 08544-0086 뉴저지주 프린스턴 피.오.

박스 36 프린스턴 유니버시티

유니버시티 오브 서던 캘리포니아

미국, 캘리포니아 90089, 로스앤젤레스, 유니버시티

오브 서던 캘리포니아 파크

(72) 발명자

디'안드라데,브라이언

미국, 뉴저지주08540, 프린스턴, 패컬티로드, 허븐5큐

툼슨,마크,이.

미국, 캘리포니아92807,

애나하임, 페이퍼크릭웨이4447

포레스트,스테판,알.

미국, 뉴저지주08540, 프린스턴, 헌트드라이브148

(74) 대리인

박경재

전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 양성지

(54) 고효율 다칼라 전기 유기 발광 장치

(57) 요약

본 발명은 복수 발광 도펀트로 도포된 효율적인 유기 발광 장치(OLEDs)에 관한 것으로, 적어도 하나의 도펀트가 박막 방사층 또는 층들에서 인광 방사체를 포함한다. 본 발명은 방사 영역에서 복수의 방사 도펀트를 이용하는 효율적인 인광 유기 발광 장치에 관한 것이며, 여기서 적어도 하나의 도펀트는 인광성 물질이다. 그래서, 본 발명은 방사 영역을 포함하는 유기 발광 장치를 제공하며, 여기서 방사영역은 호스트 물질, 및 복수의 방사 도펀트를 포함하고, 여기서 방사 영역은 복수의 밴드로 구성되고, 그리고 각 방사 도펀트는 방사 영역내에서 별개 밴드 내로 도포되고, 그리고 여기서 적어도 하나의 방사 도펀트가 인광에 의해서 발광한다.

특허청구의 범위

청구항 1

방사영역을 포함하는 유기발광장치에 있어서,

상기 방사영역은 호스트 물질과 복수의 방사 도펀트를 포함하고,

상기 방사영역은 복수의 밴드로 이루어지며, 각각의 밴드는 상기 복수의 방사 도펀트 중 하나 이상으로 도핑되고,

상기 복수의 방사 도펀트 중 하나 이상은 인광에 의해 방사하고,

상기 복수의 방사 도펀트의 혼합된 방사는 백색 방사를 제공하도록 가시 스펙트럼에 걸쳐 있는 것을 특징으로 하는 유기발광장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 혼합된 방사는 80 이상의 연색지수를 갖는 유기발광장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 각각의 상기 방사 도펀트는 인광에 의해 방사하는 유기발광장치.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 방사 도펀트는 인광성 유기금속화합물인 유기발광장치.

청구항 6

제4항에 있어서, 상기 방사 도펀트는 최고 삼중체 에너지, 중간 삼중체 에너지, 최저 삼중체 에너지의 순서로 배열되는 유기발광장치.

청구항 7

제4항에 있어서, 상기 방사성 도펀트는 최고 삼중체 에너지, 최저 삼중체 에너지, 중간 삼중체 에너지의 순서로 배열되는 장치.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 방사영역을 포함하는 두 개 이상의 밴드가 여기자 차단층에 의해 분리되는 유기발광장치.

청구항 9

애노드, 정공수송층, 방사영역, 전자수송층 및 캐소드를 포함하는 유기발광장치에 있어서,

상기 방사영역은 호스트 물질과 복수의 방사 도펀트를 포함하고,

상기 방사영역은 복수의 밴드로 이루어지며, 각각의 밴드는 상기 복수의 방사 도펀트 중 하나 이상으로 도핑되고,

상기 복수의 방사 도펀트 중 하나 이상은 인광에 의해 방사하고,

상기 복수의 방사 도펀트의 혼합된 방사는 백색 방사를 제공하도록 가시 스펙트럼에 걸쳐 있는 것을 특징으로 하는 유기발광장치.

청구항 10

삭제

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 혼합된 방사는 80 이상의 연색지수를 갖는 유기발광장치.

청구항 12

제9항에 있어서, 각각의 상기 방사 도펀트는 인광에 의해 방사하는 유기발광장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 방사 도펀트는 인광성 유기금속화합물인 유기발광장치.

청구항 14

제12항에 있어서, 상기 방사 도펀트는 최고 삼중체 에너지, 중간 삼중체 에너지, 최저 삼중체 에너지의 순서로 배열되는 유기발광장치.

청구항 15

제12항에 있어서, 상기 방사성 도펀트는 최고 삼중체 에너지, 최저 삼중체 에너지, 중간 삼중체 에너지의 순서로 배열되는 유기발광장치.

청구항 16

제9항에 있어서, 상기 방사영역을 포함하는 두 개 이상의 밴드가 여기자 차단층에 의해 분리되는 유기발광장치.

청구항 17

제9항에 있어서, 여기자 차단층을 더 포함하는 유기발광장치.

청구항 18

제9항에 있어서, 정공주입층을 더 포함하는 유기발광장치.

명세서

기술분야

- <1> 본 발명은 박막 방사층 또는 층들에서 적어도 하나의 도펀트가 인광 방사체를 포함하는 다중 발광 도펀트들로 도프된 효율적인 유기 발광장치(OLEDs)에 관한 것이다. 본 발명의 한 목적은 값싼, 백색광 방사 유기 발광장치를 제조하는 것이다. 본 발명의 다른 목적은 모노크롬 디스플레이의 색상을 조정하는 것이다.

배경기술

- <2> 유기 발광 장치(OLEDs)는 전류에 의해 여기될 때 발광하는 박막 재료를 이용하며, 평판 디스플레이 기술에서 증가하는 주요 형태가 될 것으로 기대된다. 이는 OLEDs 가 다양한 잠재적 응용성을 가지고 있는데, 여기에는 셀 폰, 개인 디지털 보조기(PDAs), 컴퓨터 디스플레이, 차량용 정보 디스플레이, 텔레비전 모니터, 및 일반적인 조명의 광원이 포함된다. 이들의 밝은 색상, 넓은 조망각, 완전 동영상에의 적합성, 넓은 온도 범위, 얇고 그리고 적합한 성형 인자, 낮은 전력 요구량 및 저비용 제조 공정에 있어서의 잠재성 때문에, OLEDs는 현재 성장하고 있는 연 400 억 달러 규모의 전자 디스플레이 시장의 주력인 음극선 튜브(CRTs) 및 액정 디스플레이(LCDs)에 대한 장래 대체 기술로 평가된다. 이들의 높은 발광 효율 때문에, 전기인광 OLDEs 는 백열광, 그리고 아마도 형광을 대체할 수 있는 잠재성을 가지며, 어떤 형태의 응용에서 램프로도 평가된다.
- <3> OLEDs 로부터의 발광은 전형적으로 형광 또는 인광을 통해서이다. 여기서 사용되는 것과 같이, 용어 "인광"은 유기 분자의 삼중 여기 상태로부터 방사를 언급하며, 용어 "형광"은 유기 분자의 단일 여기 상태로부터의 방사를 언급한다.
- <4> 인광의 성공적인 이용은 유기 전자발광 장치에 대한 수많은 약속을 담보한다. 예를 들어, 인광의 잇점은 단일 또는 삼중 여기 상태로서 형성될 수 있는 모든 여기(EL 내 홀과 전자의 재조합에 의해서 형성된)가 발광에 참여할 수 있다는 것이다. 이것은 유기 분자의 가장 낮은 단일 여기 상태가 전형적으로 가장 낮은 삼중 여기 상태보

다 약간 높은 에너지에 있기 때문이다. 이것은 모든 전형적인 인광성 유기 금속성 화합물에 대해서 가장 낮은 단일 여기 상태가 급속하게 인광이 생산되는 가장 낮은 삼중 여기 상태로 붕괴될 수 있다는 것을 의미한다. 반면, 형광 장치의 단지 적은 퍼센트(약 25 %)의 여기만이 단일 여기 상태에서부터 얻어지는 형광 발광을 생산할 수 있다. 전형적으로 유기 분자의 가장 낮은 삼중 여기 상태에서 생산되는 형광 장치에 남아 있는 여기자는 형광이 생산되는 에너지적으로 비친화적인 더 높은 단일 여기 상태로 전환될 수 없다. 이 에너지는 그래서 가시 광선을 방출하기 보다는 장치를 가열하는 붕괴 공정으로 손실된다. 결과적으로, 인광 물질이 더 고효율의 OLDEs로 사용될 수 있다는 발견 때문에, 보다 더 효율적인 전기인광 물질과 그러한 물질을 함유한 OLEDs 구조를 발견할 필요가 여전히 존재한다.

<5> 백색 유기 발광 장치(WOLEDs)는 평판 디스플레이에서 배경광에 대한 저렴한 대체성을 제공하고, 그리고 결과적으로 실내 또는 야외 조명에서 용도를 발견할 수 있기 때문에 관심사이다. 유기 물질로부터 백색광을 얻기 위한 몇 가지 방법이 있었다. [R. S. Deshpande, V. Bulovic and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 75,888 (1999); F. Hide, P. KOZODOY, S. P. DenBaars and A. J. Heeger, Appl. Phys. Lett. 70,2664 (1997); and J. Kido, H. Shionoya and K. Nagai, Appl. Phys. Lett. 67,2281 (1995)]. 전형적으로 개개의 유기 분자가 380 nm 에서 780 nm 의 전체 가시 스펙트럼을 커버하지 못하므로, 이들은 전부 몇몇 방사 물질의 조합으로 이용되어 왔다. Commission Internationale d'Eclairage(CIE)에 의해서 정의된 바와 같이, 이상적인 백색광 소스는 (0.33, 0.33) 좌표이다. 추가적으로, 백색광원 소스의 칼라 렌즈 인덱스(CRI)는, 상응하는 컬러온도의 표준 소스에 의해서 조명될 때 어떤 물질의 칼라와 비교시 광원에 의해서 조명될 때 동일 물질이 겪는 컬러의 시프트를 측정한 것이다. CRI 의 값은 0 에서 100 이며, 100 은 컬러에서 시프트가 없다는 것이다. 일광을 기준으로, 형광등의 백색광은 전형적으로 60 에서 90 사이의 등급, 수은등은 50 정도, 그리고 고압 실퍼 램프는 20 의 CRI를 가질 수 있다. 백색광원을 위한 전형적인 조명 전력 효율은 백열램프의 경우 15 lm/W 그리고 형광 램프는 약 80 lm/W으로서 이 경우 시스템 손실은 포함하지 않는다.

<6> 과거 십년동안, 백색 OLDEs 의 전력(η_p) 및 외부 양자 효율(η_{ext})은 꾸준히 증가되어 왔다. 전자인광 OLDEs 는 단일 방사층 장치에서 사용시 매우 높은 η_{ext} 를 가진다고 알려져 있다. [C. Adachi, M. A. Baldo, M. E. Thompson, R. C. Kwong, M. E. Thompson and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 78,1622 (2001); C. Adachi, M. A. Baldo, S. R. Forrest and M. E. Thompson, Appl. Phys. Lett. 77, 904 (2000); M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 75,4 (1999); and M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M. E. Thompson and S. R. Forrest, 395,151 (1998)].

<7> 인광 도펀트, fac 트리스(2-페닐피리딘)이리듐(Ir(ppy)₃)을 이용한 고효율 유기 발광 장치(OLEDs)는 몇몇 상이한 전도성 호스트 물질을 이용하여 소개되었다. [M. A. Baldo et al., Nature, vol. 395, 151 (1998); D. F. O'Brien et al., Appl. Phys. Lett., vol. 74,442 (1999); M. A. Baldo et al., Appl. Phys. Lett., vol. 75,4 (1999); T. Tsutsui et al., Japanese. J. Appl. Phys., Part 2, vol. [38, L1502] (1999); C. Adachi et al., Appl. Phys. Lett., vol. 77,904 (2000); M. J. Yang et al., Japanese J. Appl. Phys., Part 2, vol. 39, L828 (2000); and C. L. Lee et al., Appl. Phys. Lett., vol. 77,2280 (2000)]. 녹색 방사 Ir(ppy)₃ 의 금속 리간드 전하 전이 상태의 삼중체 준위가 2.5 eV 에서 3.0 eV 이기 때문에, 약 400 nm 에서 피크 파장을 가지는 균형적 형광체, 일례로 4,4'-N,N'-디카바졸-바이페닐(CBP)가 삼중 에너지 전이 및 여기 제한 매개의 후보가 되는 경향이 있다. 6 % 에서 10 %- Ir(ppy)₃ 를 CBP 에서 이용하여, 효율적인 Ir(ppy)₃ 인광체에 이른다. 도펀트와 호스트사이의 에너지 공명이외에, 전하 캐리어 주입과 호스트 층에서 전송의 제어가 방사 여기의 효율적인 형성을 성취하는데 필요하다. 높은 전자인광 효율이 Ir(ppy)₃ 를 CBP 내로 2,9-디메틸-4,7-디페닐-페나트롤린(BCP) 전자 이송 및 여기 차단층과 함께 도프됨으로서 성취되어 왔다. M.A. Baldo et al., Appl. Phys. Lett., vol. 75, 4(1999). 그러한 장치에서, 도프된 CBP 층은 용이한 홀 전달층으로 발견되었다.

<8> 전기인광 OLDEs 는 OLED 수행 특성의 소정의 조합을 성취하기 위해서 몇몇 층으로 이루어진다. 예를 들어, 유기 발광 장치(OLEDs)에서 높은 효율은 호스트와 게스트 물질사이에서 전하 이송과 그리고 발광 기능을 미분화함으로써 성취될 수 있다. 적절한 호스트 물질은 양호한 전하 전송체로서 역할을 할 수 있으며, 또한 고발광 게스트로 에너지를 효과적으로 전송한다. 형광 장치에서, 광은 호스트에서 형성된 단일 여기로부터 얻어지고, 포스터 에너지 전달에 의해서 게스트로 즉시 전이될 수 있다. 부분적으로 이 급격한 에너지 전달에 기인하여, 단일 여기체는 게스트 물질에 전이되기 전에 호스트내에서 충분히 확산되지 않는다. 그래서, 형광 염료로 도프된 OLEDs 는 매우 얇은 방사층을 가질 수 있으며, 전형적으로 약 5 nm 두께이다. Tang et al., J. Appl. Phys., vol.

65(1989) p.3610.

- <9> 형광 장치에서 둘 이상의 방사 물질로부터 전자발광 방사를 얻기 위해서, 단일 에너지 전달이 방해되어 약간의 여기체가 이완되고 광을 방출할 때까지 호스트 물질에 남아있거나, 또는 몇몇 형광 염료를 포함하는 다단 에너지 전달 공정이 사용될 수 있다. 방해된 에너지 전달은 전형적으로 비효율적인 공정이며, 그리고 호스트로부터의 방출에 의존한다. 다단 에너지 전달은 또한 가능하다. 그러나, 이것은 약 5 nm 두께 발광 영역내에서 도핑 농도를 매우 정확하게 제어하는 것이 필요하다. Desphande et al., Appl. Phys. Lett. Vol 75, No.7, 888-890(1999).
- <10> 효율적인 전자발광 방출을 둘 이상의 방출 물질로부터 얻는데 있어서의 어려움에도 불구하고, 단일 유기 발광 장치의 방사 영역에서 복수의 발광 도펀트를 가지는 것이 매우 바람직하며, 이는 각각의 방사 도펀트의 컬러와 강도가 백색광 방사를 포함하여 발광의 소정의 출력 칼라를 생산하기 위해서 재단될 수 있기 때문이다. 만일 그러한 장치가 높은 효율의 인광성 물질을 이용하여 소정 칼라의 빛을 생산하도록 조절될 수 있다면, 매우 바람직하다.

발명의 상세한 설명

- <29> 발명의 요약
- <30> 본 발명은 방사 영역에서 복수의 방사 도펀트를 이용하는 효율적인 인광 유기 발광 장치에 관한 것이며, 여기서 적어도 하나의 도펀트는 인광성 물질이다. 방사 영역의 호스트 물질은 인광 도펀트들 사이의 에너지 전달을 막도록 넓은 에너지 갭을 가지는 전하-전송 물질로 이루어진다.
- <31> 본 발명의 한 목적은 방사 영역을 포함하는 유기 발광 장치를 제공하는 것이며, 여기서 방사 영역은 호스트 물질, 및 복수의 방사 도펀트를 포함하며, 여기서 방사 영역은 복수의 밴드로 이루어지며, 그리고 각각의 방사 도펀트는 방사 영역내 별개의 밴드내에 도핑되며, 그리고 방사 도펀트의 적어도 하나가 인광체에 의해서 발광한다.
- <32> 본 발명의 또 다른 목적은 복수-방사층 전자인광 OLED를 제공하는 것이며, 이것은 높은 출력과 양자 효율을 가지는 밝은 백색 장치를 생산하도록 삼중 여기체의 확산의 잇점을 가진다. 장치 색상은 각 층, 각 밴드에서 도펀트 농도와 두께를 조절함으로써 조절될 수 있으며, 그리고 방사층사이에 여기자 차단층을 도입함으로써 조절될 수 있다.
- <33> 본 발명의 다른 목적은 다른 백색광 방출 장치에 비해서 높은 외부 양자 효율(η_{ext}) 및 밝기를 나타내는 백색 발광 OLEDs 를 생산하는 것이다. 예를 들어, 약(0.33, 0.33)의 CIE 색도 좌표를 가지는 백색광 유기 발광 장치가 만들어 질 수 있다. 본 발명의 장치에 의해서 생산되는 방사 스펙트럼은 가시 스펙트럼을 충분히 커버하여 실질적으로 백색으로 나타날 수 있으며, 예를 들어, CIE x-축이 약 0.3에서 0.4 이며, 그리고 CIE y-축이 약 0.3 에서 약 0.45 이다. 바람직하게, CIE x,y 좌표는 약 (0.33, 0.33)이다. 또한, 본 발명의 장치는 바람직하게 적어도 약 70 의 CIE(Commission Internationale de l'Eclairage)컬러 렌더링 인덱스(CRI)를 가지는 백색 방사를 생산할 수 있다. 보다 바람직하게, CRI는 약 80 보다 크다. 선택적으로, 매우 높은 CRI 를 찾는 대신, 규정된 CIE 좌표를 가지는 선택된 컬러 방사를 생산하는 방법이 사용될 수 있다.
- <34> 본 발명의 다른 목적은 몇몇 적층된 방사층으로부터 방사를 용이하게 하도록, 약 10 nm 정도보다 적은 최대 확산 길이를 가지는 형광에 상응하는 단일 여기와 비교하여 인광에 상응하는 삼중 여기의 매우 긴 확산 길이를 이용하는 것이다. 삼중 여기체의 긴 확산 길이는 몇몇 적층된 10 nm 두께의 층들만큼 두꺼운 폭으로부터 100 nm 이상의 조합된 두께까지 인광 방사가 일어나게 한다. [M. A. Baldo and S. R. Forrest, Phys. Rev. B 62,10958 (2000); and I. SOKOLIK, R. Priestley, A. D. Walser, R. Dorsinville and C. W. Tang, Appl. Phys. Lett. 69,4168 (1996)].
- <35> 발명의 상세한 설명
- <36> 본 발명은 발명의 바람직한 실시예에 대해서 상세하게 기술될 것이다. 이들 실시예들은 예시적인 예로서 의도된 것이며, 발명을 제한하려고 하는 것은 아니다.
- <37> 본 발명은 복수-방사층 전자인광 OLED를 제공하며, 높은 출력과 광자 효율을 가지는 장치를 생산하도록 삼중 여기체의 확산이라는 잇점을 가진다. 장치 칼라는 각 층 또는 밴드의 도펀트 농도와 두께를 조절하고, 그리고 방사층사이에 여기자 차단층을 도입함으로써 조절될 수 있다.

- <38> 인광 발광은 삼중 여기체로부터 얻어질 수 있으며, 이는 전형적으로 긴 확산길이를 가지는데, 보통 140 nm 보다 크다. 이론적으로, 호스트 물질에 도프된 몇몇 인광 방사체가 상이한 컬러의 광을 각각의 상이한 인광 방사체로부터 발생시킬 수 있다. 예를 들어, 적절한 호스트 물질에서 녹색-발광 인광물질 fac-트리스(2-페닐피리딘)이리듐("Ir(ppy)₃")는 적색-방사 화합물, 일례로 이리듐(III)비스(벤조시예닐피리딘)아세틸아세토네이트("Btp₂Ir(acac)")과 결합하여 백색광 방사층을 형성할 수 있다.
- <39> 방사층의 호스트 물질은 다양한 인광성 도펀트들 사이에서 캐스케이드 에너지 전달을 방해하도록 넓은 에너지 갭을 가지도록 선택될 수 있다. 캐스케이드 에너지 전달이란 더 높은 에너지 여기체로부터 더 낮은 에너지 여기체로 단계적 공정에서의 전달을 기술하기 위해서 사용되는 용어로서, 예를 들면, 높은 에너지 삼중 여기체로부터 가장 낮은 삼중 여기체로이다. 인광성 도펀트 사이의 캐스케이드 에너지 전달은, 복수의 인광성 도펀트가 동일한 밴드 또는 영역에서 공통 호스트 물질내에 혼합될 때 발생할 수 있으며, 캐스케이드 에너지 전달을 방해하는 호스트 물질을 고르거나 또는 방사층의 호스트 물질내에 별개의 밴드에서 인광성 도펀트를 도프함으로써 피해질 수 있다. 그렇지 않으면, 캐스케이드에너지 전달 공정은 가시광을 방출할 수 있는 고 에너지를, OLDE의 효율을 감소시키면서, 단지 비가시선만을 방출하는 다른 저-에너지 여기로 이들의 에너지를 전달하도록 할 수 있다. 그러므로, 캐스케이드 에너지 전달은 피하거나 방해하는 것은 효율적인 OLEDs 를 제조함에 있어서 중요한 것이다.
- <40> 삼중 여기자의 확산을 제어하기 위해서 소정의 칼라 밸런스를 얻기 위한 방법을 제공한다. 삼중체는 단일 여기체보다 몇 오더가 더 긴 수명을 가지는데, 이는 이들이 보다 긴 확산 길이를 가짐으로서, 10 nm 보다 큰 방사층을 가능하게 하기 때문이다. 그래서, 소정의 칼라 방출을 성취하기 위해서, 상이한 인광체로 도프된 각 층의 두께가 조절되어 HTL/EMR 계면에서 적절한 분율의 초기에 형성된 여기체의 재조합 영역으로서 역할을 할 수 있다. 방사 영역으로부터 발광의 컬러는 각 인광체 도펀트의 농도를 조절함으로써 조절될 수 있다. 또한, 인광체 도펀트들은 방사 영역내에서 밴드에서 층을 이룰 수 있으며, 각 인광체 도펀트 밴드의 두께가 다른 인광체 도펀트 밴드에 독립적으로 조절될 수 있게 되며, 이는 각 인광체 도펀트로부터의 발광의 강도를 독립적으로 제어하는 방법을 제공한다. 마지막으로, 인광성 도펀트는 형광 방사 염료 또는 별개의 형광 방사층으로부터 형광 방사와 조합될 수 있다.
- <41> 도펀트의 농도를 변화시킴으로서, HTL 계면의 관점에서 상이한 컬러 영역의 위치, 어디서 일반적으로 여기 형성이 발생하는지, 각 층의 두께, 및 방사층사이에 여기 차단층을 삽입함으로써, OLED 방사 좌표는 넓은 범위에서 조절될 수 있다. 그러나, 가장 쉽게 여기체를 트랩하는 인광체가 여기체 형성 영역으로부터 가장 멀리 위치되는 것이 바람직하다. 전형적으로, 이것은 여기체 형성 영역으로부터 가장 멀리 최저 삼중체 에너지를 가지는 인광 물질을 위치시키는 것에 의해서 성취될 수 있다. 그러나, 호스트 물질로부터 방출자로의 에너지 전달의 효율성은 또한 중요한 고려사항이 될 수 있다. 만일 호스트 물질로부터 특정 방출자로의 에너지 전달 효율이 높다면, 방출자를 함유하는 밴드는 여기체 형성 영역으로부터 멀리 위치될 수 있다. 역으로, 만일 호스트 물질로부터 특정 방출자로의 에너지 전달 효율이 낮다면, 그러면 방출자를 함유하는 밴드는 여기체 형성 영역에 더 근접하게 위치될 수 있다. 그래서, 다양한 방출자에 대한 삼중체 에너지와 호스트 물질로부터 다양한 방출자로의 에너지 전달의 효율을 둘 다 고려하는 것이 중요하다. 예를 들어, 최고 삼중체 에너지, 중간 삼중체 에너지, 최저 삼중체 에너지의 순서로 방출자의 밴드를 위치시키는 것 보다, 중간 삼중체 에너지를 가지는 방출자가 호스트 물질로부터 에너지 전달에 대해서 고 효율을 보여준다면, 방출자의 밴드는 최고 삼중체 에너지, 최저 삼중체 에너지, 중간 삼중체 에너지 순서일 수 있다. 이것은 여기체가 소정의 출력 칼라 밸런스를 생산하면서 발광 영역 전체를 통해 확산될 수 있다는 것을 보여준다.
- <42> 둘 이상의 인광성 도펀트를 가지는 방사 영역은 백색광을 포함해서 어떤 색의 광을 생산하도록 조절될 수 있다. 그러한 백색광 OLED 의 가장 저렴한 코스트, 높은 효율성, 및 밝기는 전형적인 액정 디스플레이의 배경광, 가정용 또는 사무용 조명의 소스로서, 또는 박막 및 탄력성 단색 디스플레이의 소스로서 사용될 수 있다는 것을 보여준다. 광고용 목적으로 독특한 컬러를 나타낼 수 있는 모노크롬 OLED 가 개발될 수 있다. 투명한, 컬러-선택적인 OLED가 몇몇 적층된, 개별적으로 접근가능한 유기 발광 장치를 가지는 전칼라 디스플레이에서 OLEDs 의 하나로 사용될 수 있으며, 저렴하지만 효율적인 전색 유기 디스플레이 또는 투명한 유기 디스플레이를 성취하는 방법을 제공한다.
- <43> 발명의 한 실시예에서, 적어도 하나의 인광성 도펀트 및 적어도 하나의 형광성 물질이 사용될 수 있다. 인광성 도펀트는 방사층에서 동일 영역에서 상호혼합될 수 있다. 보다 바람직하게, 방사 물질은 층화된 층들 또는 밴드로 방사영역에서 도프된다. 긴 확산 길이와 삼중체 여기체의 수명은 층화된 층들의 두께가 조절될 수 있게

하며, 그래서 방사 영역내에서 증화된 인광성 밴드 각각으로부터 방사되는 광의 강도를 조절한다. 대조로, 종래 기술에서는 형광 장치에서 에너지 전달 효율을 조절하거나 또는 형광 도펀트 농도를 정확하게 조절함으로써 컬러 조절을 성취하였는데, 이는 둘다 장치 효율을 감소시키는 경향이 있다. 더구나, 복수 인광성 방사체를 방사층에서 이용함으로써 단일 형광성 방사층에 비해 컬러의 선택에서 보다 큰 융통성을 제공한다. 복수 형광 유기 발광 장치는 컬러에서 적응성을 성취하기 위해서 적층될 수 있지만, 그러나 이것은 방사층에서 복수의 인광 방사체를 이용하는 것보다 감소된 효율, 더 큰 제조비용의 문제를 낳게 된다.

<44> 홀 전송 물질, 여기자 차단층, 전자 전송 물질 및 인광성 도펀트는 각각 공지의 다양한 범위의 물질로부터 선택될 수 있으며, 다만 이들 물질의 상대적인 에너지 준위가, 조합으로 사용될 경우에, 여기서 사용되는 것과 같이 상대적인 값을 가지는 것을 조건으로 한다. 예를 들어 홀 주입 물질의 대표적인 물질, 전자 전송물질 및 인광성 물질은 [M. A. Baldo et al., Nature, vol. 395,151 (1998); D. F. O'Brien et al., Appl. Phys. Lett., vol. 74,442 (1999); M. A. Baldo et al., Appl. Phys. Lett., vol. 75,4 (1999); T. Tsutsui et al., Japanese J. Appl. Phys., Part 2, vol. 38, L1502 (1999); M. J. Yang et al., Japanese J. Appl. Phys., Part 2, vol. 39, L828 (2000); and C. L. Lee et al., Appl. Phys. Lett., vol. 77,2280 (2000); Baldo et al., Physical Review B 422-428 (1999); Kwong et al., Chemistry of Materials, vol. 11, 3709- 3713 (1999); Djurovich et al., Polymer Preprints, vol. 41, No. 1, 770 (2000)] 에 기술된 것과 같은 물질들은 포함한다.

<45> 본 장치에서 사용되는 인광성 물질은 전형적으로 유기-금속 화합물이다. 유기-금속 인광성 물질은 여기서 전부 참고 문헌으로 도입되며, 함께 계류중인 US Serial Nos. 08/980,986, 2001 년 6 월 18 일 출원과, 09/978455, 2001 년 10 월 16 일 출원에서 기술된 것으로부터 선택될 수 있다.

<46> 특히, ETL 물질은 아릴-치환된 옥사디아졸, 아릴-치환된 트리아졸, 아릴-치환된 펜안트롤린, 벤족사졸 또는 벤즈시아졸 화합물, 예를 들면, 1,3-비스(N,N-t-부틸-페닐)-1,3,4-옥사디아졸("OXO-7"); 3-페닐-4-(1'-나프틸)-5-페닐-1,2,4-트리아졸("TAZ"); 2,9-디메틸-4,7-디페닐-펜안트롤린("BCP"); 비스(2-(2-하이드록시페닐)-벤족사졸레이트)징크; 또는 비스(2-(2-하이드록시페닐)-벤즈시아졸레이트)징크; C. Adachi et al., Appl. Phys. Lett., vol.77, 904(200)에서 공개된 것들 포함할 수 있다. 다른 전자 전송 물질은 (4-바이페닐)(4-tert부틸페닐)옥사디아졸 (PDB) 및 알루미늄 tris(8-하이드록시퀴놀레이트)(AlI3) 를 포함한다.

<47> 홀 전송층의 물질은 에노드로부터 장치의 방사영역으로 홀을 전송하도록 선택된다. HTL 에서 사용하기 위한 물질의 바람직한 종류는 다양한 형태의 트리아릴 아민으로서 높은 홀 유동성($\sim 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$) 를 나타내는 것들이다. 홀전송층으로서 적절한 물질의 실시예로는 약 $5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V sec}$ 의 홀 유동성을 가지는 4,4'-비스[N-(나프틸)-N-페닐-아미노]바이페닐 (α -NPD)가 있다. 다른 예로는 약 $9 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V sec}$ 의 홀 유동성을 가지는 N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-디페닐-[1,1'-바이페닐]4,4'-디아민(TPD), 4,4'-비스[N-(2-나프틸)-N-페닐-아미노]바이페닐 (β -NPD), 4,4'-비스[N,N'-(3-토릴)아미노]-3,3'-디메틸바이페닐(M14), 4,4',4"-트리스(30메틸페닐페닐아미노)트리페닐아민(MTDATA), 4,4'-비스[N,N'-(3-토릴)아미노]-3,3'-디메틸바이페닐(HMTPD), 3,3'-디메틸-N⁴,N⁴,N^{4'},N^{4'}-테트라-p-토릴바이페닐-4,4'-디아민(R854), 및 4,4'-N,N'-디카바졸-바이페닐(CBP)가 있다. 추가적으로 적절한 홀 전송 물질은 공지되어 있으며, 홀전송층에 적합한 물질의 실시예는 미국 특허 제 5,707,745 호에서 발견될 수 있으며, 이 문헌은 여기서 참고 문헌으로 도입되었다.

<48> 상기 논의된 적은 분자이외에, 매트릭스는 폴리머 또는 폴리머 블렌드를 포함할 수 있다. 한 실시예에서, 방사성 물질은 자유 분자, 즉 폴리머에 결합되지 않지만, 폴리머 "용매"에 용해된 것으로 투입될 수 있다. 매트릭스 물질로 이용하는데 적합한 폴리머는 폴리(9-비닐칼바졸)(PVK)이다. 다른 선택적인 실시예에서, 방사체는 폴리머의 반복단위의 부분이며, 예를 들면, 다우의 폴리플로렌 물질이다. 형광 또는 인광성 방사체는 폴리머 체인에 부착되어 OLEDs 를 만들기 위해서 사용될 수 있다. 폴리머 매트릭스를 포함하는 장치내 층들은 전형적으로 스핀-코팅에 의해서 침적된다.

<49> 본 발명의 장치들은 추가적인 층들은 포함하는데, 일례로 여기자 차단층(EBL), 홀 차단층(HBL), 또는 홀 주사층(HIL)이다. 발명의 한 실시예는 전체 장치 효율을 증가시키기 위해서, 여기자 확산을 차단하는 층을 이용하는 데, 여기서 참고문헌으로 도입된 미국 특허 제 6,097,147 호에 공개되어 있다. 그러한 여기자 차단 층은 전기적으로-발생된 여기자를 방사층내에 제한시킨다.

<50> 본 발명의 다른 실시예에서, 홀 주사층은 에노드 층과 홀 전송층 사이에서 존재할 수 있다. 본 발명의 홀 주사 물질은 에노드로부터 홀 전주사층 물질로 효과적인 홀 주사를 제공하도록 에노드 표면을 평탄화(planarize)하거

나 또는 습윤시키는 물질로 특정될 수 있다. 본 발명의 홀 주사 물질은 또한 HIL 층의 일측에 인접한 에노드층과 HIL 층의 반대측에 인광성-도프된 전자 전송층과 이들의 여기서 기술된 상대적 IP 에너지로서 잘 조화되는 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital)에너지 준위를 가지는 것을 특징으로 한다.

- <51> HIL 물질의 바람직한 특성들은 홀이 효과적으로 에노드로부터 HIL 물질로 주사될 수 있다는 것이다. 특히, HIL 물질은 바람직하게, 에노드 물질의 IP 보다 많아야 0.7 eV 큰 IP 를 가진다. 보다 바람직하게, HIL 물질은 에노드 물질보다 많아야 0.5 eV 큰 IP 를 가진다.
- <52> HIL 물질은, 홀전송 물질이라 할지라도, 그러한 HIL 물질이 실질적으로 통상의 홀전송 물질의 홀 유동성보다 적을 수 있는 홀 유동성을 가지는 OLED 의 홀 전송층에서 전형적으로 사용되는 통상의 홀 전송물질과 구별된다. 예를 들어, m-MTDATA 는 예를 들어 α -NPD 또는 TPD 로 이루어진 HTL 로 ITO 로부터 홀의 주사를 증대시키는데 효과적인 것으로 확인되었다. 가능하게, HTL HOMO 준위/ITO 오프셋 에너지의 감소나, 또는 ITO 표면의 습윤화에 기인하여, HIL 은 효과적으로 홀을 주사할 수 있다. HIL 물질 m-MTDATA 는 α -NPD 와 TPD 각각의 $5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V sec}$, $9 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V sec}$ 의 홀 유동성에 비해서 약 $5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{V sec}$ 의 홀 유동성을 가지는 것으로 믿어진다. 그래서, m-MTDATA 물질은 통상적으로 사용되는 HTL 물질 α -NPD 와 TPD 보다 적어도 한 오더 이상 적은 홀 유동성을 가진다.
- <53> 다른 HIL 물질은 프탈로시아닌(phthalocyanine) 화합물, 일예로, 코퍼 프탈로시아닌, 또는 일예로 폴리-3,4-에틸렌디옥시시오펜("PEDOT") 또는 폴리(에텐-디옥시시오펜):폴리(스타이렌 설폰산)(PEDOT:PSS) 를 포함하는, 에노드로부터 HIL물질로, 그리고 결과적으로 HTL로 홀의 주사를 증가시키는데 효과적인 다른 물질을 포함한다.
- <54> 본 발명의 HIL 의 두께는 에노드 층을 표면을 평탄화하거나 또는 습윤시키기에 충분한 두께를 요구한다. 예를 들어, 10 nm 만큼 적은 HIL 두께는 매우 매끄러운 에노드 표면으로 수용가능하다. 그러나, 에노드 표면이 매우 거친 경향이 있으므로, 일부의 경우 50 nm 까지의 HIL 두께가 바람직하다.
- <55> 적절한 전극(즉 에노드와 캐소드) 물질은 금속, 금속 합금과 같은 전도성 물질, 또는 ITO 와 같이 전기적으로 전도성인 산화물을 포함하며, 이들은 전기적 접촉을 연결한다. 전기적 접촉의 침착은 증착이나 또는 다른 적절한 금속 침적 기법을 이용하여 성취될 수 있다. 이들 전기적인 접촉은 예를 들어, 인듐, 마그네슘, 플레티늄, 금, 은 또는 이들의 조합, 일예로 Ti/Pt/Au, Cr/Au, 또는 Mg/AG 로부터 만들어 질 수 있다.
- <56> 상부 전극층(즉, 캐소드 또는 에노드, 전형적으로 캐소드), 즉, 기관으로부터 가장 먼 OLED 측에 전극을 침적시킬 때, 유기층에 대한 손상을 피해야 한다. 예를 들어, 유기층은 이들의 유리 전이 온도 이상으로 가열되어서는 안된다. 상부 전극은 바람직하게 기관에 실질적으로 수직인 방향으로부터 침적되어야 한다.
- <57> 에노드로서 기능하는 전극은 바람직하게 고 일함수 금속(high work function metal)($\geq 4.5 \text{ eV}$), 또는 투명한 전도성 산화물, 일예로 인듐 틸 옥사이드(ITO), 징크 틸 옥사이드, 등등을 포함한다.
- <58> 바람직한 실시예에서, 캐소드는 바람직하게 저 일함수, 전자 주사 물질, 일예로 금속층이다. 바람직하게, 캐소드 물질은 약 4 eV 보다 적은 일함수를 가진다. 금속 캐소드 층은 캐소드 층이 불투명하다면 실질적으로 더 두꺼운 물질로 구성될 수 있다. 만일 캐소드가 투명한 것으로 의도되면, 얇은 저일함수 금속이 전도성 산화물, 일예로 ITO와 조합되어 사용될 수 있다. 그러한 투명한 캐소드는 50 - 400 Å, 바람직하게는 약 100 Å 의 금속층을 가질 수 있다. 투명한 캐소드, 일예로 LiF/Al 가 또한 사용될 수 있다.
- <59> 상부-방사 장치에 있어서, 여기서 참고 문헌으로 도입된 미국 특허 제 5,703,436 호 또는 동시 계류중인 미국 특허 출원 US 시리얼 번호 08/964863 및 09/054,707 호에 공개된 것과 같은 투명한 캐소드가 사용될 수 있다. 투명한 캐소드는 광전송 특성을 가져서, OLED 가 적어도 약 50 % 의 광학적 전송을 가지게 된다. 바람직하게, 투명한 캐소드는 OLED 가 적어도 약 70 %, 보다 바람직하게는 적어도 약 85%의 광학적 전송율을 가지게 하는 광전송특성을 가진다.
- <60> 본 발명에 따른 기관은 불투명, 또는 실질적으로 투명이거나, 또는 단단하거나 유연하고, 및/또는 플라스틱, 금속, 또는 유리일 수 있다. 여기서 언급된 두께 범위에 제한되지는 않더라도, 기관은 유연한 플라스틱, 또는 금속 포일 기관으로 존재시 10 μm 만큼 얇을 수 있으며, 또한 단단하고, 투명하거나 또는 불투명한 기관으로 존재하거나 또는 기관이 실리콘으로 만들어진다면 실질적으로 더 두꺼울 수 있다.
- <61> 본 발명의 OLED 구조의 한 대표적인 실시예는 도 1 에서 보여진다. 장치는 유리 기관, 에노드 층(ITO), 홀 전송층(α -NPD), 홀차단층(BCP), 호스트(TAZ)와 두개의 인광성 도펀트를 별개의 밴드 또는 층에 방사층내에서 포함

하는 방사층(Ir(ppy)_3 및 $\text{Btp}_2\text{Ir(acac)}$), 트리스(8-하이드록시퀴놀린알루미늄(Alq_3))를 포함하는 전자 전송층, 및 캐소드층을 포함하며, 여기서 캐소드 층은 리튬 플ورا이드 (" LiF ")층 및 알루미늄 (" Al ")층을 포함한다. 광 방사층으로부터 발광은 전압이 캐소드층과 애노드층에 걸쳐 가해질 때 발생한다. 장치에서 사용되는 물질들은 발명의 한 실시예의 예이며, 각각의 층의 기능을 수행할 수 있는 어떤 적절한 물질을 포함할 수 있다.

<62> 용어 "영역"은 여기서 복수층으로 이루어진 영역 또는 동일한 영역내에서 선택적으로 밴드로서 언급되는, 상이하게 도프된 층으로 이루어진 영역을 언급하기 위해서 사용될 수 있다. 예를 들어, 방사층은 별개의 그리고 구분된 밴드에 함유된 각 인광성 도펀트를 가지는 복수의 인광성 도펀트로 도프된 단일 호스트 물질로 이루어질 수 있으며, 여기서 방사 영역내 도프된 밴드는 상이한 인광성 도펀트에 의해서 도프된 각각 별개의 구별되는 층을 가진 호스트 물질의 별개의 구별된 층으로 생각될 수 있다. 또한, 하나 이상의 이들 밴드내 호스트 물질은 한 밴드와 다음이 상이할 수 있다. 선택적으로, 방사영역은 별개의 형광층과 하나 이상의 인광성 도펀트에 의해서 도프된 호스트층으로 이루어질 수 있다. 다른 실시예에서, 방사 영역은 인광성 도펀트에 의해서 도프된 호스트 물질을 포함할 수 있으나, 인광성 도펀트는 별개의 구별된 밴드내로 도프되지 않을 수 있다. 오히려, 인광성 도펀트의 도프된 영역은 다른 인광성 도펀트의 도프된 영역과 겹치거나, 또는 한 인광성 도펀트의 도프된 영역이 다른 인광성 도펀트의 도프된 영역내에 그 전체가 함유될 수 있다. 사실, 복수층은 전체 장치 효율을 증대시키기 위해서 잇점의 조합을 성취하도록 사용될 수 있다.

<63> 하기 열거된 물질들은 단지 예시적인 목적에 불과하다. 장치는 전형적으로 투명하거나 또는 불투명한 물질, 일 예로 유리, 퀴츠, 사파이어, 또는 플라스틱일 수 있는 기판위에서 제조된다. 기판은 예를 들어, 단단하거나 유연성, 성형가능할 수 있으며, 및/또는 소정의 형상으로 성형될 수 있다. 투명한 OLED 또는 상부-방사 OLED를 위해서, 미국특허 제 5,703,436 호 또는 함께 계류중인 미국 출원 일련 번호 08/964,863 호 및 09/054,707 호에서 공개된 투명한 캐소드가 사용될 수 있다. 투명한 캐소드는 광 전송 특성을 가짐으로서, OLED 가 적어도 50 %의 광학적 전송율을 가지게 된다. 바람직하게, 투명한 캐소드는 OLED 가 적어도 약 70 %, 보다 바람직하게는 적어도 약 85 %의 광학적 전송율을 가지도록 광학적 전송특성을 가진다. 상부-방사 장치는 광이 단지 장치의 상부로부터 생산되는 것이지, 기판을 통한 것이 아닌 것이다. 기판 및 그러한 상부-방사 장치의 하부 전극은 상대적으로 두꺼운 금속층인 전극을 가지는 불투명, 및/또는 반사성 물질로 구성된다. 이들 기판들은 전형적으로 장치의 하부에 있는 것으로 언급된다.

<64> 어떤 상기 언급된 층의 적층 기법과 물질들은 공지된 기술들이다. 예를 들어, OLED 층들을 적층하는 대표적인 기법은 열 증착 또는 유기 증기상 증착(OVPD)이며, 일 예로 Baldo et al., "Organic Vapor Phase Deposition," Advanced Materials, vol. 10, no.18(1998) pp.1505-1514 에 공개된 것이다. 만일 폴리머 층이 사용된다면, 폴리머는 스핀 코팅될 수 있다. 금속층을 증착시키는 한 대표적인 방법은 열적 또는 전기적-빔 증발이다. 인듐 틴 옥사이드의 대표적인 적층 방법은 전자-빔 증발 또는 스퍼터링(sputtering)이다.

<65> 그래서, 본 발명의 한 실시예에서, 전기인광 OLED 는 복수의 인광성 도펀트를 포함하는 방사층을 포함하며, 여기서 각 인광성 도펀트는 호스트 방사 영역내에서 밴드에 존재하며, 각 밴드의 두께, 각 밴드의 위치, 및 각 밴드내 각 인광성 도펀트의 농도는 OLED로부터 소정의 칼라와 밝기의 빛이 방사되도록 조절된다. 발명의 한 특정 실시예에서, 밴드는 별개이거나 또는 겹칠 수 있다. 본 발명의 한 실시예로서, 겹치는 밴드는 에너지 효율을 향상시키면서, 캐스케이드 에너지 전단을 방해하는 호스트 물질을 사용할 수 있다.

<66> 한 특정 실시예에서, 여기자는 홀 차단층의 한 측면에서 여기자 생성 존에서 생성되어, 홀 차단층을 통해서, 방사층으로 확산될 수 있다. 선택적으로, 여기자는 방사층의 애노드 측이나 또는 방사층의 캐소드 층 상에서 형성될 수 있다. 발명은 밝기, 효율성, 칼라, 또는 이들 특성의 조합을 최적화하는 효율적인 디자인이나 장치의 설계를 여기서 형성 존의 위치에 대해서 방사 영역내 층들을 쌓고, 순서화함으로써 가능하게 한다.

<67> 발명의 선택적인 실시예는 복수의 인광성 도펀트를 포함하는 방사층을 포함하며, 여기서 각 인광성 도펀트는 적어도 일부의 호스트 물질내에서 하나 이상의 다른 인광성 도펀트와 혼합되고, 여기서 호스트 물질은 캐스케이드 에너지 전달을 감소시키도록 선택되며, 그리고 밴드 두께와 각 인광성 도펀트의 농도는 소정 칼라의 빛이 독립적으로 전기 인광 OLED로부터 방사되도록 선택된다.

<68> 본 발명은 안정하고, 효율적이며, 밝은, 모노크롬, 다칼라, 또는 전칼라의, 어떤 크기의 평판 디스플레이를 제공할 수 있다. 그러한 디스플레이에서 창조된 이미지는 각 OLED의 크기에 의존하는 어떤 해상도의 텍스트 또는 전칼라의 일러스트레이션일 수 있다. 본 발명의 디스플레이 장치는 그러므로 빌보드 및 사인, 컴퓨터 모니터, 또는 컴퓨터 디스플레이, 및 전화와 같은 통신 장치, 텔레비전, 큰 면적의 벽 스크린, 극장 스크린, 스타디움 스크린을 포함하는 매우 넓은 범위의 응용분야에 적절하다. 여기서 언급된 구조는 예를 들어 발광 장

치에서 복수의 픽셀 또는 단일 픽셀의 부분, 평판 배경광 장치, 또는 일반적인 사무실과 가정의 조명장치에 포함된다. 또한, 여기서 언급된 구조들은 레이저 장치의 부분으로 사용될 수 있다. 레이저 장치의 일부로서, OLED는 광 소스로서 레이저에 도입될 수 있다. 본 발명은 고 효율을 가지며, 그리고 또한 특정의 소정 파장의 빛을 전송하도록 조절될 수 있으며, 이들은 레이저 유용한 레이저 광원의 특성이다. 추가로, 광원은 진공-적층된 OLED로서 값싸게 유기 레이저내로 도입될 수 있다.

<69> 일반적인 OLED, 그리고 특히 통상의 무기 LED와 비교하여 인광계 OLED에 대해서 가능한 예외적으로 높은 발광 효율성 때문에, 본 발명의 인광계 OLEDs가 조명 분야에 광원으로 사용될 수 있다. 그러한 광원은 조명 분야에서 어떤 타입의 통상의 형광이나 백열 램프를 대체 할 수 있다. 그러한 인광계 OLEDs는 예를 들어, 백색을 포함하여, 소정의 칼라의 조명을 생산하는 큰 배경 평면 광원에서 사용될 수 있다.

<70> 전부 여기서 참고문헌으로 도입된 하기 특허나 동시계류중인 특허 출원은 여기서 공개된 유기 발광 장치의 도입으로부터 이룰 수 있다. [5,703,436; 5,707,745; 5,721,160 ; 5,757,026; 5,757,139; 5,811,833; 5,834,893; 5,844,363; 5,861,219; 5,874,803; 5,917,280; 5,922,396; 5,932,895; 5,953,587; 5,981,306; 5,986,268; 5,986,401; 5,998,803; 6,005,252; 6,013,538; and 6,013,982; and co-pending U. S. Patent Application Nos. 08/779,141; 08/821,380; 08/977,205; 08/865,491; and 08/928, 800]. 여기서 이들 특허 및 동시계류 특허 출원에서 공개된 물질, 방법, 및 장치는 또한 본 발명의 OLED를 만들기 위해서 사용될 수 있다.

<71> 존재하는 층들의 순서, 두께, 수, 타입의 실질적인 변형이 OLED 층들의 인버트 시퀀스가 존재하는가의 여부, 또는 다른 디자인 변화가 사용되는가의 여부에 따라서 있을 수 있다. 당업자는 여기서 기술되고 예시된 발명의 실시예의 다양한 변형을 인식할 수 있을 것이다. 그러한 변형은 본 발명의 영역에 의해서 커버되는 것으로 인식되어야 한다. 즉, 발명이 어떤 특정 실시예에 대해서 상세하게 기재되었다 할지라도, 당업자는 청구항의 영역내에서 발명의 다른 실시예가 있다는 것이 인식될 것이다.

<72> 이 발명은 이제 어떻게 이들의 어떤 특정의 대표적인 실시예가 만들어질 수 있는가를 보여주는 관점에서 상세하게 기술될 것이며, 물질, 장치 및 공정 단계가 단지 예시적으로 이해되는 실시예로서 이해될 것이다. 특히, 발명은 방법, 물질, 조건, 공정 파라미터, 장치, 여기서 상세하게 인용된 것 등등에 제한되는 것으로 이해되지 않아야 한다.

실시예

<73> 본 발명의 대표적인 실시예에서, 유기층은 고진공(10^{-6} Torr) 열 증착에 의해서 장치의 에노드로 사용되고, 20 Ω /스퀘어의 시트 저항을 가지는 인듐 틴 옥사이드(ITO)로 선회된 깨끗한 유리 기판상에 적층되었다. 필름 침착전에, 기판은 용매탈지되고, 그리고 UV-오존 챔버에서 적층 시스템에 들어가기 전에 세척되었다. 폴리(에틸렌-디옥시시오펜):폴리(스타이렌 설펜산)(PEDOT:PSS)가 OLED 누전을 감소시키고 OLED 제조 수율을 향상시키기 위해서 사용되며, 이들은 4000 rpm으로 40 초간 ITO 상에 스핀되고, 그리고 120 $^{\circ}\text{C}$ 에서 15 분간 구워졌으며, 대략 40 nm의 두께에 도달하였다.

<74> 장치 1. 본 발명의 한 실시예는 효율적인 유기 백색발광 장치이며, 상부로부터(캐소드측) 알루미늄 캐소드 층(500 nm), 박막 LiF 전자 주사층(0.5 nm), Alq_3 전자 전송층(50 nm), 8 중량 %의 농도의 인광성 적색-방사 $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 의 20 nm 두께 밴드, 및 8 중량 %의 농도의 인광성 녹색-방사 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 의 10 nm 두께 밴드로 도프된 TAZ의 진공 증착 방사 영역(30 nm)을 순서대로 포함한다. 방사 영역은 2,9-디메틸-4,7-디페닐-1,10-페난트롤린(BCP)(6 nm)의 홀 차단 층과 용매탈지 및 세척된 ITO 층에 진공 증착된 α -NPD(50 nm)층에 의해서 홀전송 층으로부터 분리되었다.

<75> 장치 1에서, 여기자가 α -NPD 층에서 형성되고, 그리고 다음 여기자의 많은 분량이 TAZ 층으로 BCP 홀 차단층을 가로질러 전달된다고 믿어진다. 충분한 분량의 여기자는 형광 방사가 α -NPD 호스트 물질로부터 직접 생산될 수 있게 한다. TAZ 층의 여기자는 순차적으로 TAZ로부터 인광성 도펀트로 전달되고, 결국 $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 및 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 로부터 전기 인광성에 이르게 된다. 기술한대로 층의 두께를 선택함으로써, 백색 방사가 나타난다.

<76> 장치 1은 실질적으로 Commission Internationale d'Eclairage(CIE) 크로마토시티 좌표($X=0.36$, $Y=0.45$)를 가지는 백색방사를 생산하였다. 스펙트럼은 구동 전류에 매우 민감하지 않았으며, 장치는 약 10^4 cd/m^2 의 최대 조도를 약 600 mA/cm^2 에서 가졌다. 100 cd/m^2 의 조도에서, 양자 효율은 각각 약 2 %이며, 3 lm/W이다. 장치의

높은 광도와 높은 양자효율은 실질적으로 부분적으로 홀전송 α -NPD 층과 인광성 도펀트 TAZ 층 사이에 BCP 홀 차단층의 존재함에 기인할 수 있다고 믿어진다. 특히, BCP 층은 실질적으로 홀-전자 재조합이 BCP 층을 통해서 홀의 불충분한 손실과 함께 α -NPD 층에서 발생하게 한다고 믿어진다. 인광성에 의해서 가시 광선을 방출하는 $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 및 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 분자상에 삼중체 여기자를 생산하도록, BCP 층은 다음에 형성된 삼중체 여기자의 많은 분율이 TAZ 층으로 확산되게 한다.

<77> BCP 층은 그래서 동시에 홀 차단층과 여기자 전송층으로서의 역할을 한다고 믿어지며, 이것은 장치의 인광성 준과 장치의 홀 전송 영역 사이에 존재하며, 여기서 실질적으로 모든 홀-전자 재조합이 발생하며, 그러나 단지 적은 분량의 발광이 형광 방사로써 발생된다. 각 층에서 사용된 물질을 적절히 선택함으로써, 그리고 다음 층 두께와 인광성 도펀트 농도를 조절함으로써, 방사는 실질적으로 소정의 컬러를 생산하도록 조절될 수 있다. 예를 들어, 가장 낮은 에너지 전달 효율을 가지는 인광성 도펀트를 장치의 여기자 형성 준으로도 또한 언급되는 홀-전자 재조합 준에 바로 인접 또는 근접한 밴드에 위치시키고, 가장 높은 에너지 전달 효율을 가진 인광성 도펀트를 장치의 홀-전자 재조합 준으로부터 말단의 밴드에 위치시킴으로써, 각각 상이한 칼라를 발광하는 각 인광성 도펀트의 상대적인 방사 기여가, 전기 인광 OLED로부터 소정 칼라의 발광을 발생시키기 위해서 요구됨에 따라, 각층의 두께와 각층에서 도펀트의 농도를 조절함으로써 조절될 수 있다. 그러한 장치는 인광성에 상응하는 삼중체 여기자가 수백 나노미터 이상의 확산 길이를 가지며, 반면 형광성, 단일 여기자가 10 나노미터를 거의 넘기지 못하는 확산 길이를 가지고 있기 때문에, 적어도 하나의 인광성 도펀트를 이용하여 이들이 제조될 수 있기만 하면, 그러한 장치는 상업적으로 유용하다고 믿어진다. 그러므로, 삼중체 여기자를 이용하는 방법은 상업적으로 유용한 장치에 필요한 밝기와 효율을 성취할 수 있다.

<78> 장치 2. 본 발명의 다른 실시예에서, 청, 녹, 적의 인광성 방사층들은 다중 방사층, 유기 발광 장치에서 조합되어 효율적인 백색광을 생산할 수 있다. 4,4'-N,N'-디카바졸-바이페닐(CBP) 상에 도펀트 청 인광 인듐(III)비스(4,6-디-플로로페닐)-피리디나토-N,C²) 피콜리네이트("FIrpic")가 청방사 밴드로 사용되었으며, 녹색 방사 밴드로는 CBP 에 도펀트 fac 트리스(2-페닐피리딘)인듐($\text{Ir}(\text{ppy})_3$), 적색 방사 밴드로는 CBP 에 도펀트 비스(2-(2'-벤조[4,5-a]티에닐)피리디나토-N,C³)이리듐(아세틸아세토네이트)($\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$)가 사용되었다.

<79> 본 발명의 다른 실시예는 다중 방사 층에서 결합된 청, 녹, 적색 인광성 방사층을 가지는 백색 방사 OLED를 제조하는 공정을 포함한다. 장치 2 에서, OLEDs 는 20 Ω/sq 의 시트 저항을 가지는 인듐-틴-옥사이드 (ITO)로 선회 코팅된 유리 기판상에 성장한다. 어떤 유기층을 적층 또는 코팅하기 전에, 기판은 용매로 탈지되고 그리고 다음 산소 플라즈마로 8 분간 20 W 로 약 150 mTorr에서 처리되었다. 폴리(에틸렌-디옥시시오펜)/폴리(스타이렌설폰산)(PEDOT:PSS)가 4000 rpm 에서 40 초간 ITO 상에 스핀되고, 그리고 10 분간 120 °C 에서 구워졌다. PEDOT:PSS 가 누전을 감소시키기 위해서 사용되었다[D. J. Milliron, I. G. Hill, C. Shen, A. Kahn and J. Schwartz, J. Appl. Phys. 87,572 (2000); and T. M. Brown and F. Cacialli, IEE PROC.-OPTOELECTRON 148,74 (2001)]. 모든 작은 분자 유기층들이 10⁻⁶ Torr 이하의 기본 압력에서 열적으로 연속적으로 증발되었다. 먼저 400 nm 두께의 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐-아미노]바이페닐 (α -NPD)홀전송층(HTL)이 증착되었다. 다음, 8 중량 % 의 이리듐(III)비스(4,6-디-플로로페닐)-피리디나토-N,C²)피콜리네이트(FIrpic)로 도펀트 10 nm 두께층의 4,4'-N,N'-디카바졸-바이페닐(CBP), 이어서 8 중량 %의 비스(2-(2'-벤조[4,5-a]티에닐)피리디나토 N,C³)이리듐(아세틸아세토네이트) $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 층으로 도펀트 10 nm 두께의 CBP 층, 및 다음 8 중량 % fac 트리스(2-페닐피리딘)인듐($\text{Ir}(\text{ppy})_3$) 으로 도펀트 10 nm 두께의 CBP 층으로 이루어진 방사층(EMR)이 성장되었다. 방사 컬러와 장치 효율은 층이 도펀트는 순서에 달려있다는 것이 발견되었으며, 그리고 백색 방사는 여기서 기술된 공정을 이용하여 얻을 수 있다. 10 nm 두께 2,9-디메틸-4,7-디페닐-1,10-펜난트롤린(BCP) 전자 전송/홀 차단층(ETL)이 적층된 최종 유기층이었다. 유기층의 적층후, 증발 챔버가 질소로 청소되고, 시료가 물과 산소를 1 ppm 이하 함유하는 질소분위기하에서 1 mm-직경 오프닝을 가지는 웨도우 마스크가 시료에 첨부된 질소 글로브박스 이전되었다. 마지막으로, 5 Å 두께 LiF 층과 이어지는 100 nm Al 로 이루어진 캐소드가 적층되었다. 시료는 단지 테스트될 때만 공기에 노출되었다. 장치 구조는 도 9 에서 보여진다.

<80> 각 컬러 성분의 방사를 조절함으로써, 도 9 에서 장치는 효과적으로 백색을 생산할 수 있다. 방사성(k_r)과 비방사성(k_{nr}) 재조합율, 확산계수, 및 호스트와 게스트 사이의 공명 에너지 전달 속도(k_{tr})가 장치에서 각 층에 대해서 고려하기 위한 변수이다. 도펀트의 농도를 변화시키고, 여기자가 발생하는 계면에 관련하여 상이한 컬러 영

역의 위치를 변화시키고 그리고 각 층의 두께를 독립적으로 변화시킴으로서, 발명자는 다중 방사층 OLED의 컬러/CIE 좌표를 조절할 수 있다.

- <81> 장치 2 에서, 인광성 도펀트의 농도가 효율적이고 그리고 얇은 장치를 성취하기 위해서 약 (8 ± 2) 중량 %에서 대략적으로 일정하게 유지된다. 호스트와 인광체 (k_{tr}) 사이의 전달 속도와 k_t 가 약 6 중량 % 에서 약 9 중량 % 사이에서 도핑 수준에서 최대화된다는 것을 보고하고 있다[C. Adachi, M. A. Baldo, M. E. Thompson, R. C. Kwong, M. E. Thompson and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 78,1622 (2001); and C. Adachi, M. A. Baldo, S. R. Forrest and M. E. Thompson, Appl. Phys. Lett. 77,904 (2000)]. 더 낮은 도핑 수준은 더 낮은 k_{tr} 을 가지며, 그리고 퀸칭(quenching) 농도는 더 높은 도핑 수준에서 k_r 을 감소시킨다.
- <82> 각 방사 밴드의 두께 및 이들의 적층 순서를 변화시키는 것과 결합한 삼중체의 긴 확산 길이는 장치 2 의 각 세 방사 밴드로부터 방사의 제어를 가능하게 하였다. (0.31, 0.35)의 CIE 좌표를 가지는 백색, $(4.0 \pm 0.4)\%$ 의 외부 양자 효율 및 $(36,000 \pm 4000)\text{cd/m}^2$ 의 최대 광도가 얻어졌다.
- <83> OLED 장치에서, 여기체는 잉여 전하의 발생이 물질중 하나에서 일어나는 두 물질 사이의 계면에서 발생한다. 잉여 전하는 일반적으로 물질들의 유동성 사이에서 오더 단위의 차이 또는 계면에서 전하 전달의 큰 에너지 장벽에 기인하는 물질의 하나에서 일반적으로 존재한다. 여기자 형성 존(EZF)의 위치는 복수 방사층 구조에 대해서 장치의 효율 및 컬러에 영향을 미치며; 장치 디자인에 중요하다.
- <84> 각 개개 방사층에 대한 k_{nr} 의 k_r 에 대한 비율 또는 역은 EZF 에 관련하여 방사층의 각 위치를 결정하는데 사용할 수 있다. 한 바람직한 실시예에서, 방사층은 k_{nr} 의 k_r 에 대한 비가 EZF 근방에서 가장 높고 EZF 로부터 먼 곳에서 가장 낮은 방식으로 정렬되었다. 이 층 배열은 백색 광 방사, 전기인광 OLED의 장치 효율을 증대시켰다고 믿어진다.
- <85> CBP 에 의한 홀 전송 및 전자 전송에서 증가에 기인하여, 여기자 형성 존이 어디에 위치되는가에 관한 도 10 에서 보여진 에너지 준위 다이어그램으로부터 명백하지 않다. 홀은 가능하게 CBP:BCP 계면에 축적될 수 있으며, 또는 전자가 NPD:CBP 계면에 축적될 수 있다. EZF 의 위치를 연구하기 위해서, 두계면의 하나에 위치한 8 중량 % Ir(ppy)₃:CBP층을 가지면서, 장치 2와 같이 제조된 발명의 두 실시예가 기술되었다. 발명자는 Ir(ppy)₃ 가 두 실시예에서 사용된 세 인광체중 가장 효율적인 것이며, 그러므로, Ir(ppy)₃ 가 EZF 에 놓여질 때 주도적인 주피크를 가져야 한다고 믿는다. 도 11 은 Ir(ppy)₃ :CBP 층이 NPD 다음에 위치될 때, $\lambda = 470 \text{ nm}$ 에서의 주 FIrpic 피크에 비해서 $\lambda=520 \text{ nm}$ 에서의 Ir(ppy)₃ 피크가 더 강하다는 것을 보여준다. $\lambda = 500 \text{ nm}$ 에서의 피크는 Ir(ppy)₃ 의 방사와 $\lambda=500 \text{ nm}$ 에서 FIrpic 서브피크와의 조합이다. Ir(ppy)₃ :CBP 층이 BCP 층 다음에 위치될 때, $\lambda=520 \text{ nm}$ 에서의 Ir(ppy)₃ 피크는 $\lambda=470 \text{ nm}$ 에서 주 FIrpic 피크에 대해서 상대적으로 더 낮다. 그러므로, 발명자는 EZF 가 NPD:CBP 계면에 위치되었다고 믿는다. 그러므로, 발명의 바람직한 실시예는 약 8 중량 %의 농도를 가지는 FIrpic:CBP 층을 백색 방사 OLED 의 효율을 증가시키기 위해서 이 계면에 놓는다. 도 9 에서 보여지는 순서로 적층되고, 각 방사층이 약 10 nm 의 두께의 층을 가지는 본 발명의 이 바람직한 실시예에 대한 결과는 CIE 좌표(0.31,0.35)를 가지는 것이다. 장치의 외부 양자 효율은 도 12 에서 그 전류 밀도의 함수로서 보여진다. 램버시안(lambertian) 강도 프로파일을 가정하고, 그리고 최대 외부 양자 효율을 계산하여, η_P 는 $(4.0 \pm 0.4 \%)$ 및 $(3.3 \pm 0.3)\text{lm/W}$ 의 광도 또는 15.8 V 에서 $(36000 \pm 4000)\text{cd/m}^2$ 에 상응하는 η_P 값을 양산한다. 외부 양자 효율은 도 12 에서 나타난 바와 같이 상응하는 3 오더 크기의 전류 밀도에 거쳐 적어도 3 % 이상이었다. 적은 값의 전류 밀도에서 상대적으로 낮은 외부 효율이 누전에 의해서 야기된 것으로 믿고 있으며, 반면 고 전류 밀도 $J>10 \text{ mA/cm}^2$ 에서는 이전에 삼중체-삼중체 소멸에 대해서 물-오프가 기술되었다[M. A. Baldo, C. Adachi and S. R. Forrest, Phys. Rev. B 62,10967 (2000)]. 테스트된 특정 실시예가 $\lambda=550 \text{ nm}$ 에서 $\lambda=600 \text{ nm}$ 사이로 방사 비율을 감소시키고, 그리고 루멘이 $\lambda=550 \text{ nm}$ 에서 피크값이 있는 포토픽 리스펜스 커브를 기반으로 한 경우를 제외하고는, η_P 값은 훨씬 더 클 것이다.
- <86> 본 발명의 실시예에서 캐소드를 첨부한 것인 진공에서 파열은 또한 장치 효율을 제한한 것으로 믿어지는데, 진공 파열이 질소 분위기에 노출중 비-방사 결합 상태를 도입하는 경향이 있기 때문이다. 발명자는 제조 공정을 통해서 초진공 조건을 이용하여보다 높은 장치 효율을 기대할 것이다. 제조 공정의 바람직한 실시예에서, 캐소

드층은 초고진공 환경에서 어떤 파열이 없이 침적된다.

<87> 장치 3: 폴리(에틸렌-디옥시시오펜):폴리(스티렌 설펜산)(PEDOT:PSS)가 4000 rpm 에서 40 초간 ITO 상에 스핀되고, 그리고 10 분간 120 °C 에서 구워졌으며, 대략 40 nm 의 두께에 도달하였다. 먼저 30 nm 두께의 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐-아미노]바이페닐(α -NPD) 홀전송층(HTL)이 증착되었다. 장치 3 에 있어서, 다음, 6 중량 % 의 청색 방사 인광체, 이리듐(III)비스(4,6-디-플로로페닐)-피리디나토-N,C^{2'}피콜리네이트(FIrpic)로 도프된 20 nm 두께층의 1 차 전자 전도성 호스트 4,4'-N,N'-디카바졸-바이페닐(CBP), 이어서 8 중량 %의 적색 인광체, 비스(2-(2'-벤조[4,5-a]시에닐)피리디나토 N,C^{3'})이리듐(아세틸아세토네이트)Btp₂Ir(acac)로 도프된 2 nm 두께의 CBP 층, 및 8 중량 %의 노란색 인광체, 비스(2-페닐 벤조시오텔라토 N,C^{2'})이리듐(아세틸아세토네이트)(Bt₂Ir(acac)로 도프된 2 nm 두께의 CBP 층으로 이루어진 방사층(EMR)이 성장되었다. BCP 는 모든 장치상에 침적된 최종유기층이었으며, 홀/여기자 차단제와 전자 전송층(ETL)으로 작용하였다. 유기층의 적층후, 시료가 물과 산소를 1 ppm 이하 함유하는 질소충진 글로브박스로 증발 챔버로부터 이전되었다. 시료에 1 mm 직경 오프닝을 가진 마스크를 고정시킨 후, 이들은 제 2 진공 챔버(<10⁻⁷ Torr)로 이송되고, 거기서 캐소드가 마스크를 통해서 적층되었다. 캐소드는 5 Å 의 LiF 와 이어지는 100 nm 의 Al 로 이루어진다.

<88> 장치 4. 폴리(에틸렌-디옥시시오펜):폴리(스티렌 설펜산)(PEDOT:PSS)가 4000 rpm 에서 40 초간 ITO 상에 스핀되고, 그리고 10 분간 120 °C 에서 구워졌으며, 대략 40 nm 의 두께에 도달하였다. 먼저 30 nm 두께의 4,4'-비스[N-(1-나프틸)-N-페닐-아미노]바이페닐(α -NPD) 홀전송층(HTL)이 증착되었다. 장치 4 에 있어서, EMR 은 6 중량 % 의 FIrpic로 도프된 20 nm 두께층의 CBP, 이어서 3 nm 두께의 2,9-디메틸-4,7-디페닐-1,10-펜안트롤린(BCP) 여기자 차단층, 및 8 중량 % 의 Btp₂Ir(acac)로 도프된 10 nm 두께의 CBP 층으로 구성된다. BCP 는 모든 장치상에 침적된 최종 유기층이었으며, 홀/여기자 차단제와 전자 전송층(ETL)으로 작용하였다. 유기층의 적층후, 시료가 물과 산소를 1 ppm 이하 함유하는 질소충진 글로브박스로 증발 챔버로부터 이전되었다. 시료에 1 mm 직경 오프닝을 가진 마스크를 고정시킨 후, 이들은 제 2 진공 챔버(<10⁻⁷ Torr)로 이송되고, 거기서 캐소드가 마스크를 통해서 적층되었다. 캐소드는 5 Å 의 LiF 와 이어지는 100 nm 의 Al 로 이루어진다.

<89> 삼중체 여기자의 확산 제어는 소정의 칼라 밸런스를 얻는 수단을 제공한다. 단일항보다 수 오더 크기가 더 긴 수명을 삼중체가 가지며, 때문에 이들은 더 긴 확산 길이를 가지며, 방사층이 > 10 nm 두께가 되도록 한다. 때문에, 소정의 방사 칼라를 성취하기 위해서, 상이한 인광체로 도프된 각 층의 두께는 HTL/EMR 계면에서 초기 형성된 여기자의 적절한 분율의 재조합 구역으로서 작동하도록 조절될 수 있다.

<90> 그러한 구조를 설계하기 위해서, CBP 삼중체 여기자 확산 길이, L_D 가 먼저 결정된다. 이는 도 13 에서 나타난 구조에서 30 nm 두께 CBP 층 내 fac 트리스(2-페닐피리딘)인듐(Ir(ppy)₃)인광체 도프된 영역의 두께(d)를 변화시킴으로서 행해진다. 다양한 장치의 효율이 Ir(ppy)₃ 로 도프된 전 CBP 영역을 가지는 장치의 효율과 비교되었다. 즉, 위치 x 와 x + Δx 사이에서 여기자 농도와 영역으로부터 방사되는 광의 양사이에 선형관계를 가정하여, CBP 여기자 밀도가

<91>
$$n(x) = n(30)(1 - e^{-d/L_D}) / (1 - e^{-d_0/L_D}) \quad (1)$$

<92> 를 통해서 녹색 Ir(ppy)₃ 에 관련되며, 여기서 n(d) 는 두께 d 로 도프된 CBP 층을 가지는 장치의 효율이며, n(30) 은 Ir(ppy)₃ 로 도프된 d₀ = 30 nm 를 가지는 장치의 효율이다. 도 13 에서 데이터의 치-스퀘어 피트(chi-square fit)(실선)를 이용하여 식 (1)에 대해 (8.3 ± 1) nm의 CBP 삼중체 확산 길이를 얻었다.

<93> 도펀트의 농도를 변화시킴으로서, 여기자 형성이 발생할 수 있는 HTL 계면에 관련한 상이한 컬러 영역의 위치, 각층의 두께, 및 방사층사이에 여기자 차단층을 삽입함으로 인해서, OLED 방사의 CIE 좌표가 넓은 범위에서 조절될 수 있다. 그러나, 대부분의 여기자를 쉽게 포집하는, 더 낮은 삼중체 에너지를 가지는 인광체가 여기자 생성 영역으로부터 가장 멀리 위치되어야 한다는 것을 주목한다. 이것은 여기자가 발광 영역을 통해서 확산될 수 있으며, 소정의 생산 칼라 밸런스를 생성한다는 것을 보여준다. 도 14 는 장치 3 의 전기인광 스펙트럼이 층 두께, 인광성 도핑 농도, 및 FIrpic 및 Btp₂Ir(acac) 도핑 영역사이에 차단층의 삽입에 의존한다는 것을 보여준다. 모든 스펙트럼은 10 mA/cm² 에서 기록되었으며, 400 - 800 cd/m² 의 발광 범위에 상응한다.

- <94> $\lambda=620$ nm 에서 $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 방사에 관련된 도 14 에서 나타나는 $\lambda=472$ nm 와 $\lambda=500$ nm 의 FIrpic 방사 피크는 $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 및 $\text{Btp}_2(\text{acac})$ 의 도프된 층의 두께가 2 nm 로 감소시, 그리고 FIrpic 층이 20 nm 까지 증가시에 증가하는데, 이는 여기자의 총수의 보다 많은 분율이 FIrpic 층으로 확산되도, 때문에 약간 덜 효율적인 도펀트로부터 방사에 대해서 이용할 수 있기 때문이다. 그러나, 30 nm 두께를 초과하는 FIrpic 도프된 층의 $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 방사에 관련 FIrpic 방사는 증가하지 않는다. 이것은 FIrpic 방사가 증가하는 FIrpic 층 두께에 따라 모든 다른 인광성 방사에 관련하여 지속적으로 증가하기 때문에, 여기자 형성 존(EFZ)이 $\text{Ir}(\text{ppy})_3$ 를 이용하여 측정된 CBP 삼중체의 확산 프로파일에서 보여지는 HTL/EMR 계면에 있지 않다는 것을 보여준다. WOLED 에서 EFZ 의 정확한 위치는 확립하기가 어려운데, 이는 컬러 밸런스시 고려되는 몇몇 변수들에 따라서 이것이 이동하기 때문이다.
- <95> 컬러 밸런스(특히 청색 방사의 향상)는 얇은 BCP, 홀/여기자 차단층을 장치 4 의 FIrpic 및 $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 도프된 층에 삽입함으로써 향상될 수 있다. 이 층은 FIrpic 도프된 층으로부터 캐소드로의 홀의 흐름을 방해하고, 이에 의해서 보다 많은 여기자가 FIrpic 층에서 형성되도록 하며, 그리고 여기자가 FIrpic 층에서 형성된 후 캐소드로 확산되지 못하게 한다. 이들 두 효과는 $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 에 관련하여 FIrpic 방사를 증가시킨다.
- <96> $\lambda=563$ nm 에서 주요 $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 방사 피크는 주요 $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 와 겹치는 $\lambda=600$ nm 에서의 서브피크와 쉽게 구별된다(도 14). $\lambda=563$ nm 에서의 피크는 $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 의 도핑 농도가 8 중량 % 에서 1 중량 % 로 감소될 때 그리고 층 두께가 10 nm 에서 2 nm 로 감소시에 감소한다. 1 중량 % $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 에서, 호스트와 게스트 물질 사이의 삼중체의 전달이 방해되는 이는 $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 분율을 비례적으로 감소시키면서, 보다 적은 게스트 분자들이 호스트의 포스터 전달 반경(~ 30 Å)내에 존재하기 때문이다. 식(1)에 의해서 기술된 여기자 농도 프로파일에서, $n(2) < n(10)$ 인데, 도펀트가 두꺼운 도프된 영역에 대해서 많은 CBP 삼중체를 포획하기 때문이다. 때문에, $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 도프된 2 nm 두께층으로부터 방사는 10 nm 두께층보다 더 낮아야 하는데, 이는 보다 적은 CBP 여기자를 포획하기 때문이다.
- <97> 장치 3 및 4 전기인광 스펙트럼은 도 15 에서 비교된다. 장치 4 에 있어서, $\lambda = 520$ nm 에서 $\lambda=600$ nm 사이에서 거의 방사가 없지만, 반면, 장치 3 은 이 영역에서 $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 로부터 유의하게 더 많은 방사를 가진다. 장치 3 에서 스펙트럼의 노란영역의 향상은 CRI 를 50 에서 83 으로 증가시키고, 장치 4 에 관련하여 (0.35,0.35)에서 (0.37,0.40)으로 CIE 를 이동시킨다. 모든 장치의 x, y CIE 좌표는 60 에서 20000 ca/m^2 의 범위에서 광도에 상응하는 1 mA/cm^2 에서 500 mA/cm^2 사이에서 <10 % 까지 변화였다.
- <98> 장치 4 는 평판디스플레이에 유용한데, 이는 디스플레이로부터 흰색의 인간 인식이 스펙트럼의 노란색 영역에서 방사의 부족에 의해서 영향을 받지 않기 때문이다. 이론적으로, CBP 로 도프된 FIrpic 및 $\text{Btp}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 로 만들어진 가장 흰색은 (0.33,0.32)에 있으며, (0.35,0.36)의 장치 4 에 가깝다. 83 의 CRI 로, 장치3 은 평판 디스플레이에 사용될 수 있으며, 그러나 이것은 또한 조명원으로 사용될 수 있는데, 이는 이 높은 CRI 수치에서, 물체는 이들이 일광 조건에 있는 것처럼 보일 것이다. 장치 4 의 CRI 는 이론적으로 최대 88 까지 향상될 수 있지만, 그러나, 그러한 최적화된 장치의 CIE 는 (0.47, 0.40)이다. 인간의 눈이 가장 높은 광학적 효율을 가지는 노란색 방사를 확대시키고, 그리고 FIrpic 보다 높은 n_{ext} 를 가지는 $\text{Bt}_2\text{Ir}(\text{acac})$ 를 이용함으로써, 추가적으로 도프된 층은 또한 장치 3 에 비해서 장치 4 의 효율을 향상시킨다.
- <99> 램버시안 강도 프로파일을 가정하고, 그리고 도 15 의 삽입에서 보여지는 전류 밀도-전압 특성을 이용하여 n_{ext} , n_p (도 16 에서 보여지는), 광도를 계산한다. 표 2 는 장치 3 과 장치 4 에 대해서 결과를 보여준다. 여기서, 전류 밀도에서 세오더의 크기에 거쳐 n_{ext}^3 3.0 %, 및 n_{ext} 가 최대치까지 증가하고, 다음 고-전류 밀도에서 롤-오프(roll-off)되는 것이 발견된다. 초기 낮은 n_{ext} 는 가능하게 누전때문이며, 반면 높은 전류 밀도($J>10$ mA/cm^2)에서, 롤오프는 삼중체-삼중체 소멸에 기인한다. 장치 3 은 최대 광도 31000 ca/m^2 까지 14 V 에서 도달하며, 장치 4 는 13.4 V 에서 30 000 cd/m^2 를 방사한다.
- <100> 캐소드 영역을 한정하는데 필요한 진공에서의 파열은 모든-인광성 WOLED 의 효율을 제한하는데, 대기에 노출에 기인하여 비-방사 결합 도입 때문이다. CBP 와 FIrpic 사이의 여기자 전이는 특히 이러한 물질 시스템의 흡열

공정 특성에 기인하여 결함에 민감하다. 그러므로, 더 높은 효율이 만일 장치가 고 진공 조건하에서 성장하면 기대될 수 있다.

<101> 당업자는 여기서 기술되고 예시된 발명의 실시예에 대한 다양한 변형을 인식할 수 있을 것이며, 그리고 본 발명은 이러한 변형을 포함하고, 그리고 여기서 포함된 실시예들에 한정되어서는 않된다.

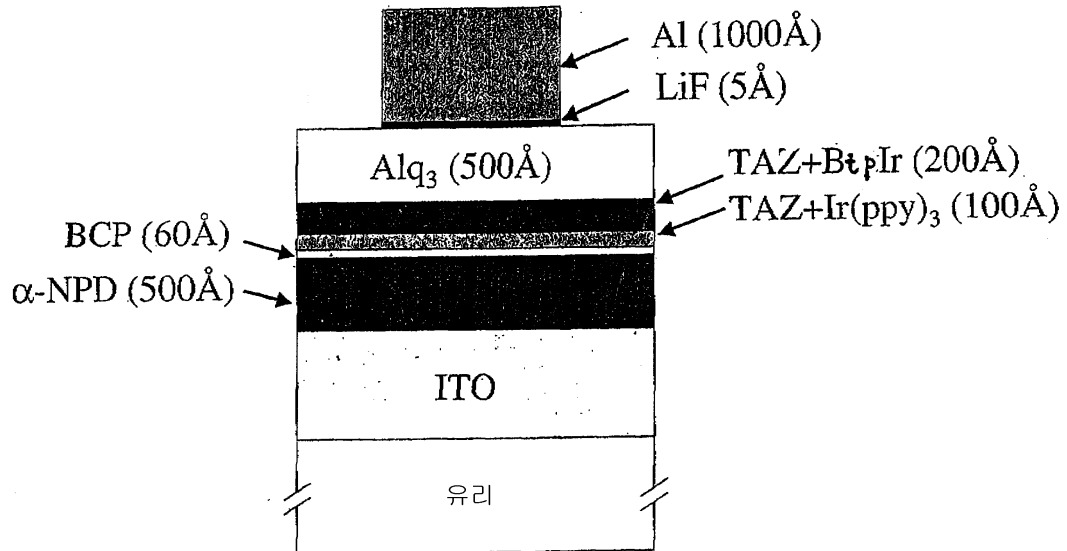
도면의 간단한 설명

- <11> 발명의 예시를 위해서, 대표적인 실시예가 도면을 수반하여 보여지며, 발명이 보여지는 정확한 배열이나 장치에 한정된다고 이해되서는 않된다.
- <12> 도 1 은 본 발명에 따른 OLED 구조의 실시예의 개략적인 표현을 보여준다.
- <13> 도 2 는 본 발명의 한 실시예에 대해서 전류 밀도의 함수로서 외부 양자 효율과 광도를 보여준다.
- <14> 도 3 은 발명의 한 실시예에 대해서 파장의 함수로서 전기인광 스펙트럼을 보여준다.
- <15> 도 4 는 발명의 한 실시예에 대해서 전압의 함수로서 전류밀도를 보여준다.
- <16> 도 5 는 본 발명에 따른 OLED 의 다른 실시예의 개략적인 표현을 보여준다.
- <17> 도 6 은 본 발명에 다른 OLED 구조의 다른 실시예의 에너지 준위의 개략적인 표현을 보여준다.
- <18> 도 7 은 도 6 에 보여진 구조에 따른 세 장치에 대해서, (a) 전기인광 스펙트럼 대 파장 및 (b) 광자 효율 및 광도 대 전류를 보여준다.
- <19> 도 8 은 도 9 에 나타난 장치 구조의 실시예에 따라서, (a)양자 효율 및 광도 대 전류밀도를 ITO 층상에 PEDOT:PSS 층의 유무로 보여주며, 그리고 (b) ITO 층상에 PEDOT:PSS 층 유무의 전류밀도를 보여준다.
- <20> 도 9 는 발명의 한 실시예의 장치 구조를 보여준다.
- <21> 도 10 은 모든 인광성 삼중체 방사 영역을 포함하며, FIrpic, Ir(ppy)₃, 및 Btp₂Ir(acac)를 이용한 백색 OLED에 대한 발명의 한 실시예의 에너지 준위 다이어그램을 보여준다. 여기자 생성 존은 NPD/CBP 계면에 있으며, 여기자는 여기자 차단 BCP 층으로 확산되는 것이 보여진다.
- <22> 도 11 은 도 9 에서 보여지는 발명의 실시예, 및 상호 교환된 FIrpic 및 Ir(ppy)₃ 도프된 영역의 위치를 가지는 유사한 장치 구조를 가지는 발명의 다른 실시예에 대한 전기발광 스펙트럼을 보여준다. 520 nm 에서 주요 Ir(ppy)₃ 피크가 여기자 형성 존에서 Ir(ppy)₃ 를 가지는 장치에 대해서 충분히 더 높으며, 이것은 NPD/CBP 계면에 있다. 500 nm 의 피크는 Ir(ppy)₃ 및 FIrpic 으로부터의 서브-피크에 기인한다. Btp₂Ir(acac)피크가 620 nm 및 675 nm 에 있다.
- <23> 도 12 는 전력과 외부 양자 효율 대 전류 밀도를 발명의 한 실시예로서 CIE 좌표(0.31,0.35), 및 도 9 에서 보여진 장치 구조를 가지는 것에 대해서 보여준다. 최대 외부 양자 효율, η_p 및 광도는 각각 ($4.0 \pm 0.4 \%$), (3.3 ± 0.3)lm/W, 및 ($36\ 000 \pm 4000$)cd/m² 이다.
- <24> 도 13 은 Ir(ppy)₃ 으로 도프된 300 Å CBP 장치와 비교하여 Ir(ppy)₃ 으로 도프된 300-d Å 의 CBP 의 상대적 장치 효율을 보여준다. 실선은 포인트의 치-스퀘어 피트이다. (83 ± 10)Å 의 CBP 삼중체 확산 길이가 피트로부터 얻어졌다. 삽입: 장치 구조는 CBP 에서 삼중체 여기자 농도를 탐침하곤 한다.
- <25> 도 14 는 장치 3 에 대해서 층 두께, 도펀트 농도, 및 FIrpic 및 Btp₂Ir(acac)도프된 층사이에 여기자/홀 차단 층의 삽입에 따른 전기발광 스펙트라에서 10 mA/cm² 에서 변화를 보여준다.
- <26> 도 15 는 10 mA/cm² 에서 장치 3 및 4 의 전기발광 스펙트럼을 보여준다. 삽입: 장치 3 및 4 의 전류 밀도 대 전압 특성.
- <27> 도 16 은 장치 3 및 4 에서 전력 및 외부 양자 효율 대 전류 밀도를 보여준다.
- <28> 도 17 은 Ir(ppy)₃, FIrpic, Bt₂Ir(acac), Btp₂Ir(acac)의 화학 구조를 보여준다.

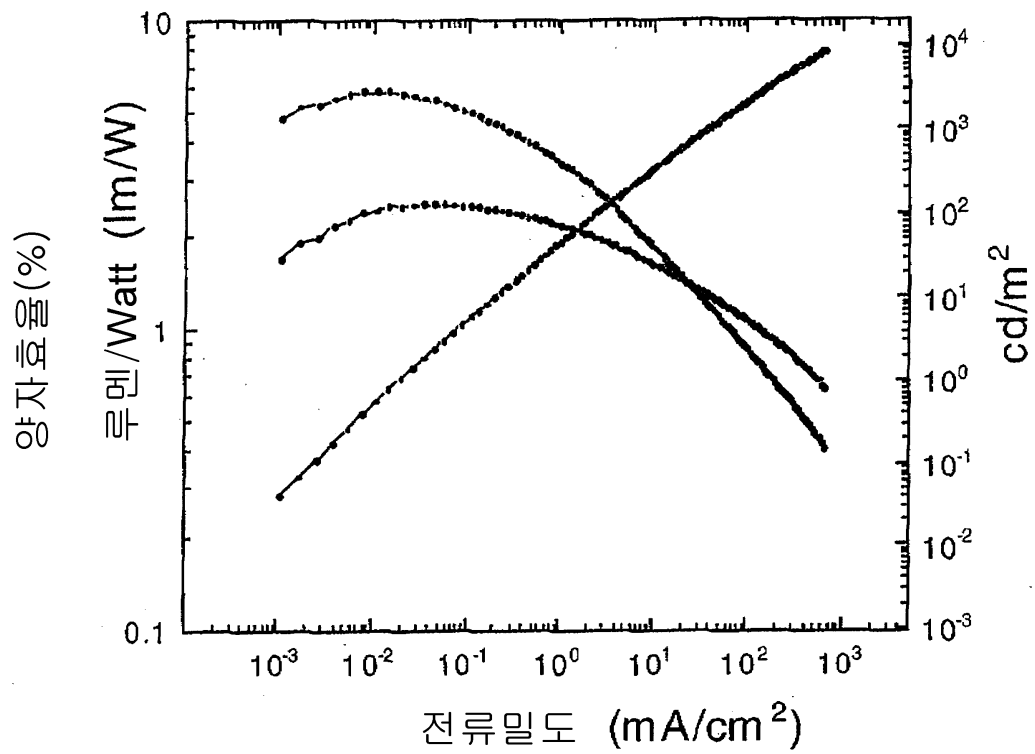
도면

도면1

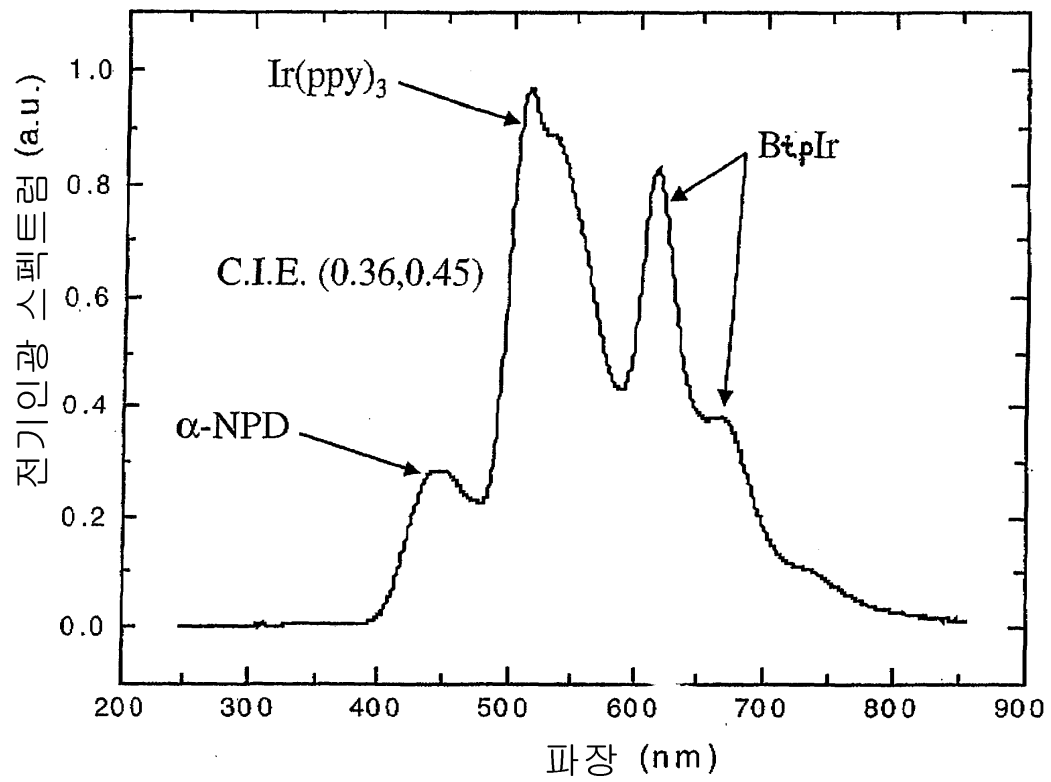
장치구조



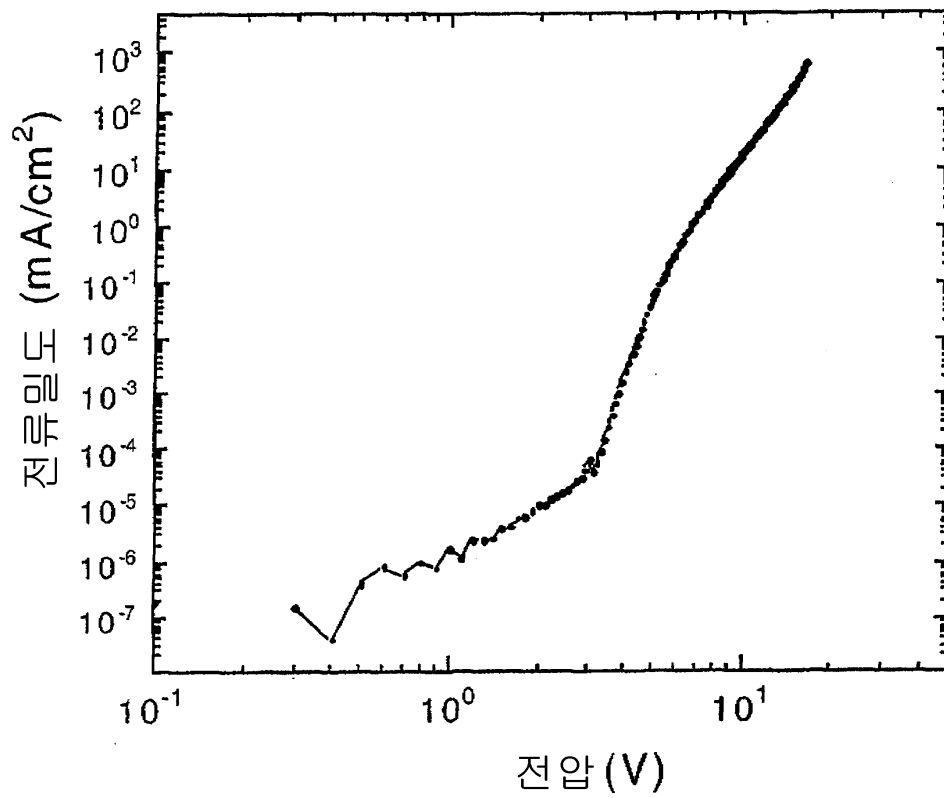
도면2



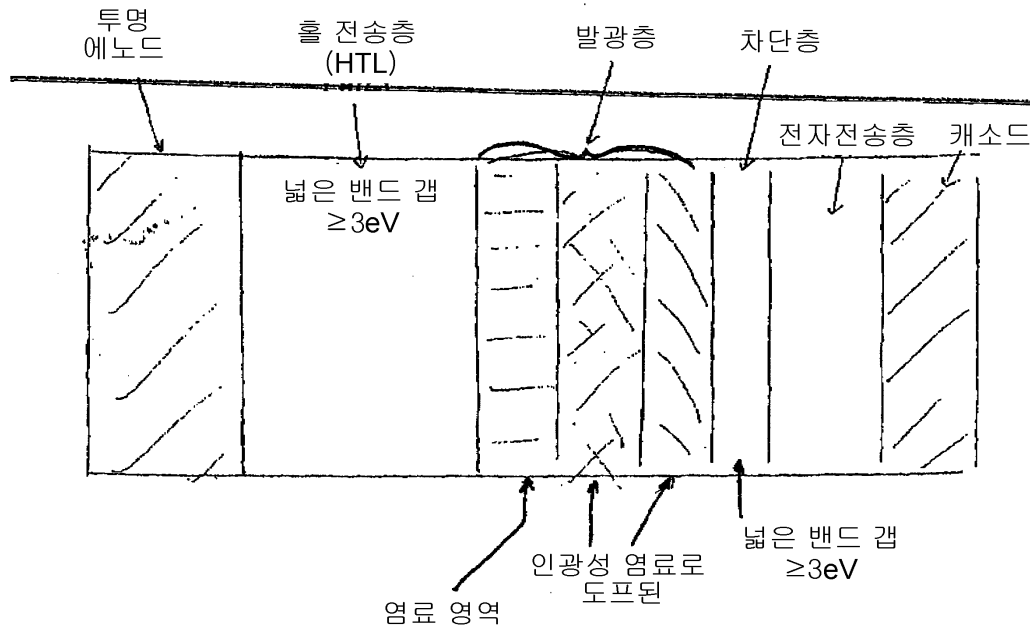
도면3



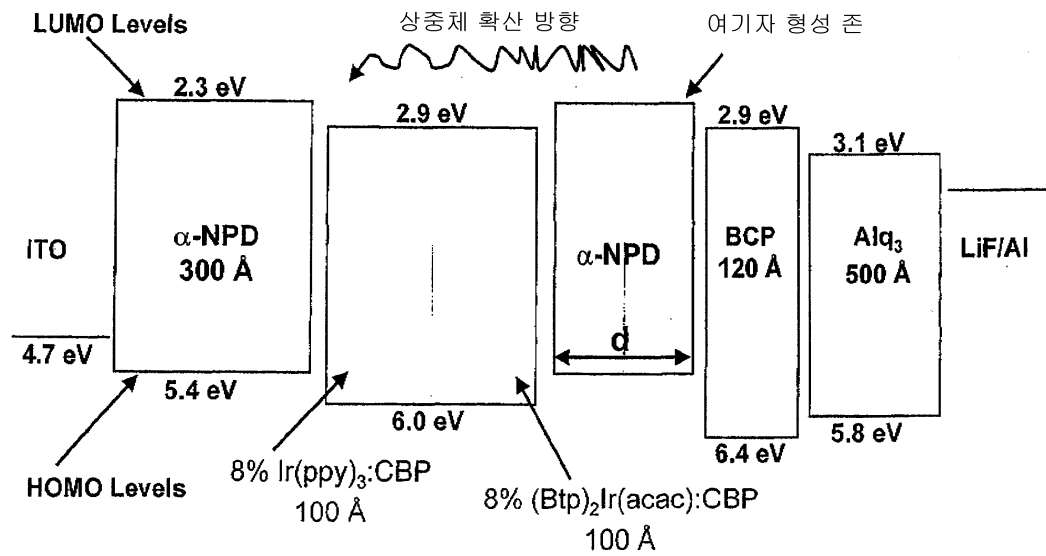
도면4



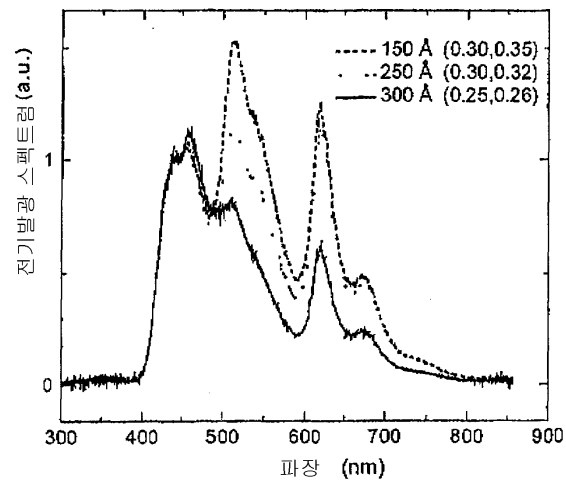
도면5



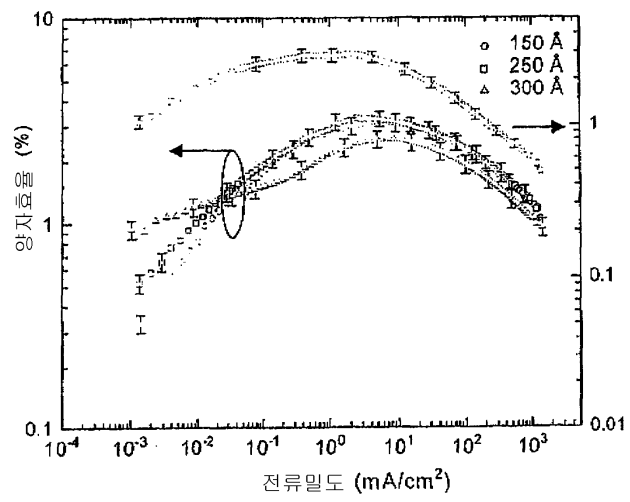
도면6



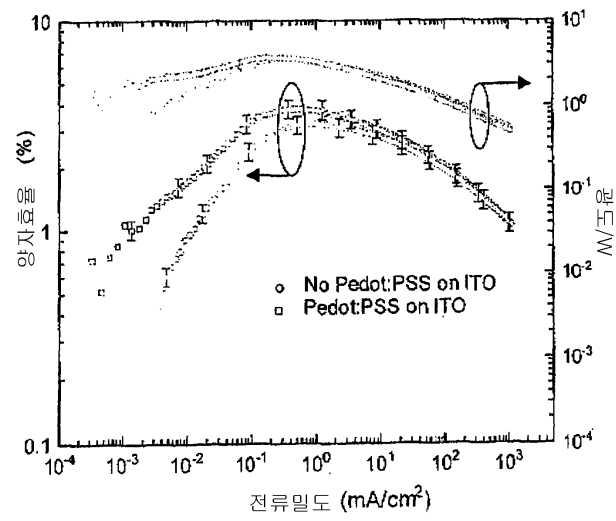
도면7a



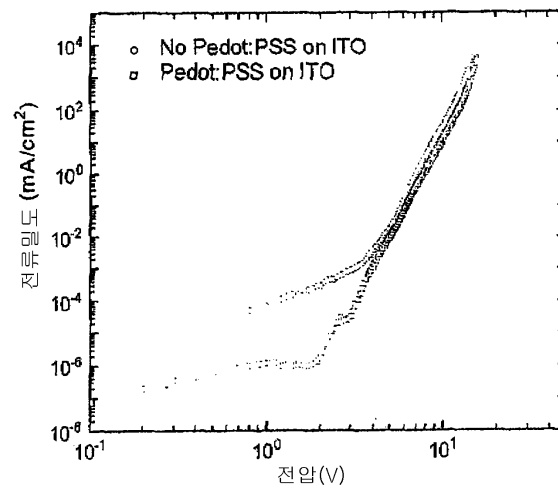
도면7b



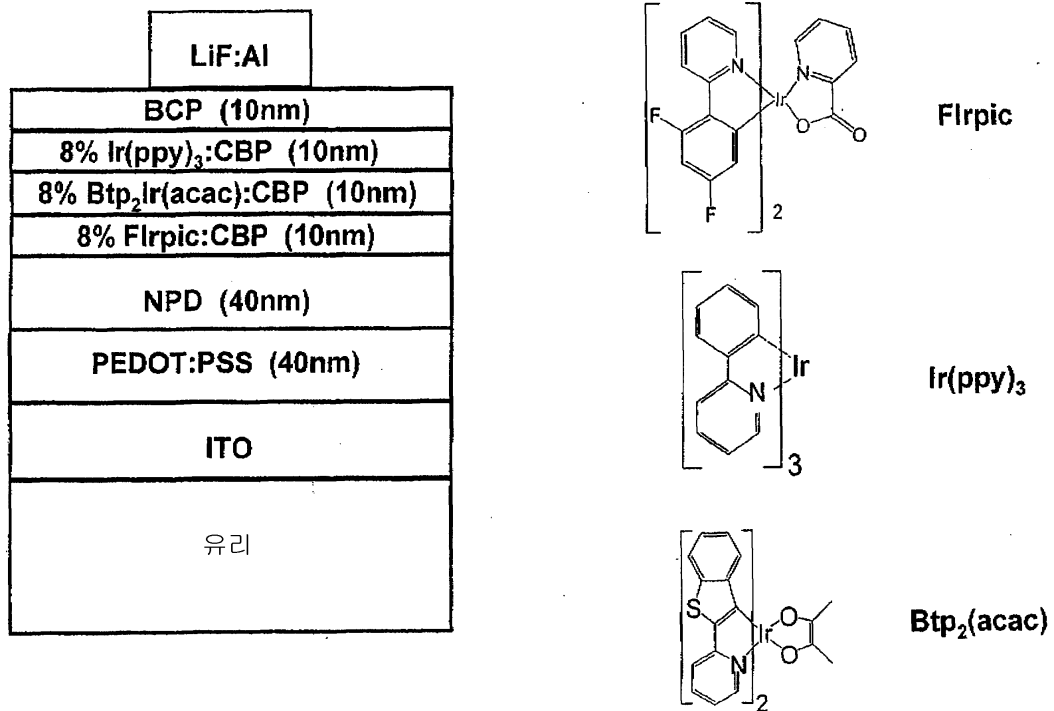
도면8a



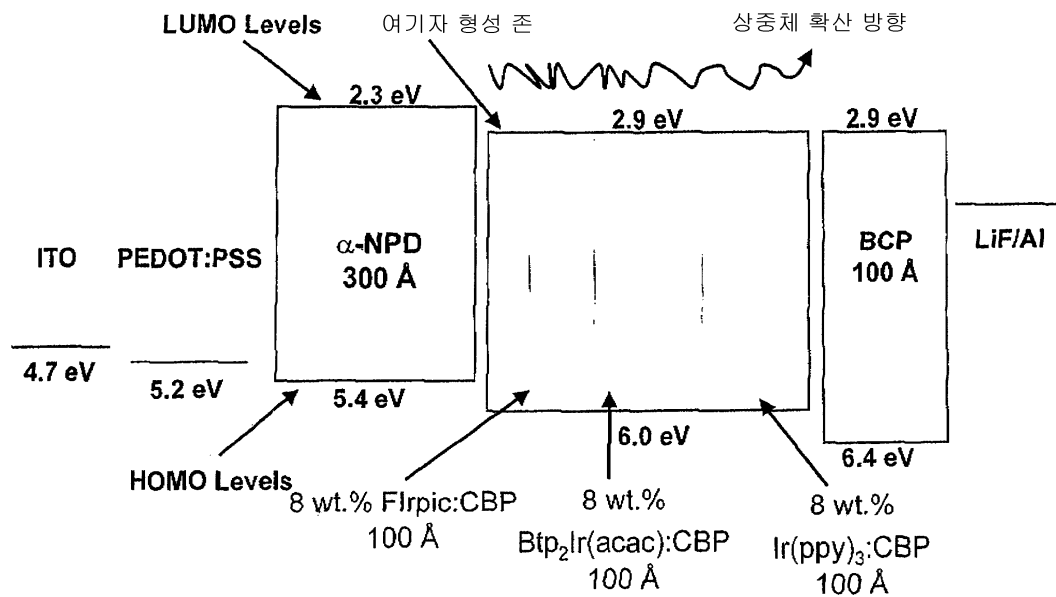
도면8b



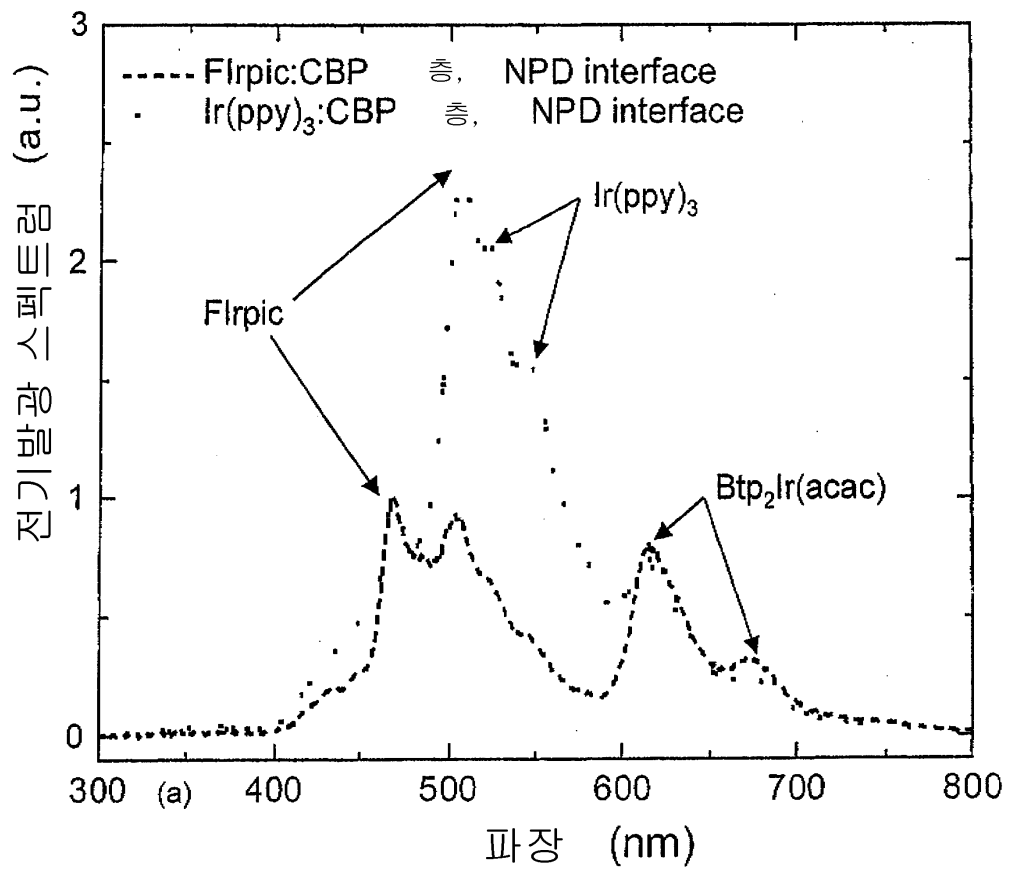
도면9



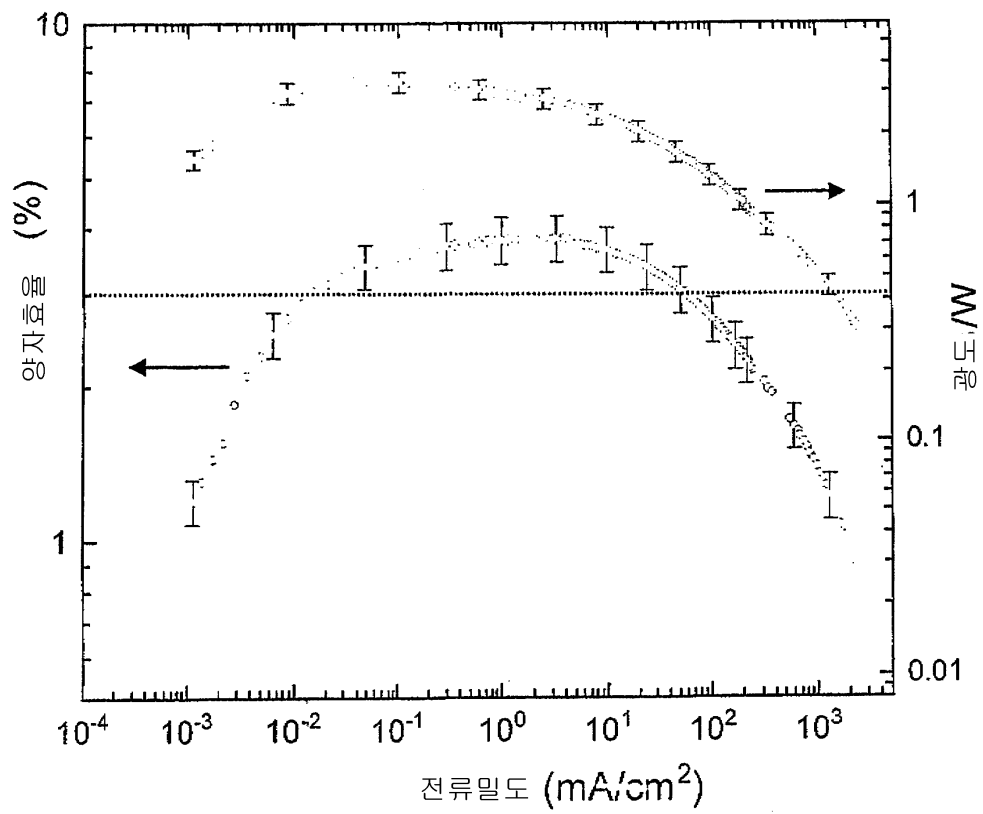
도면10



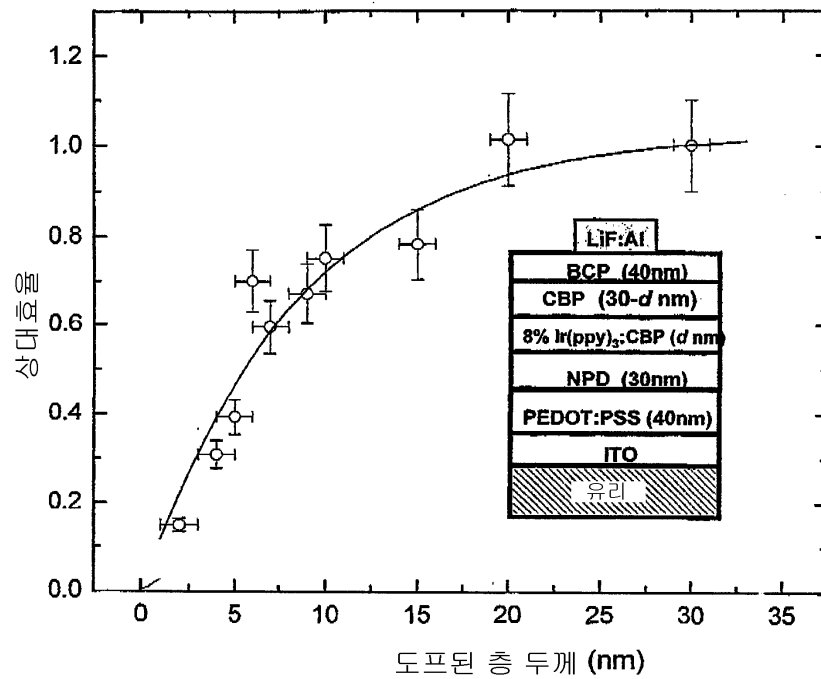
도면11



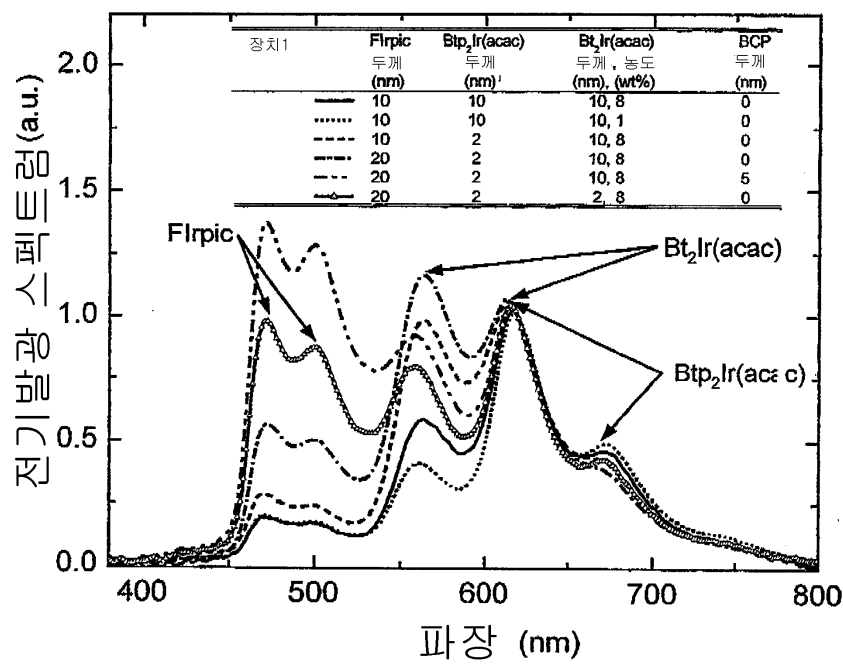
도면12



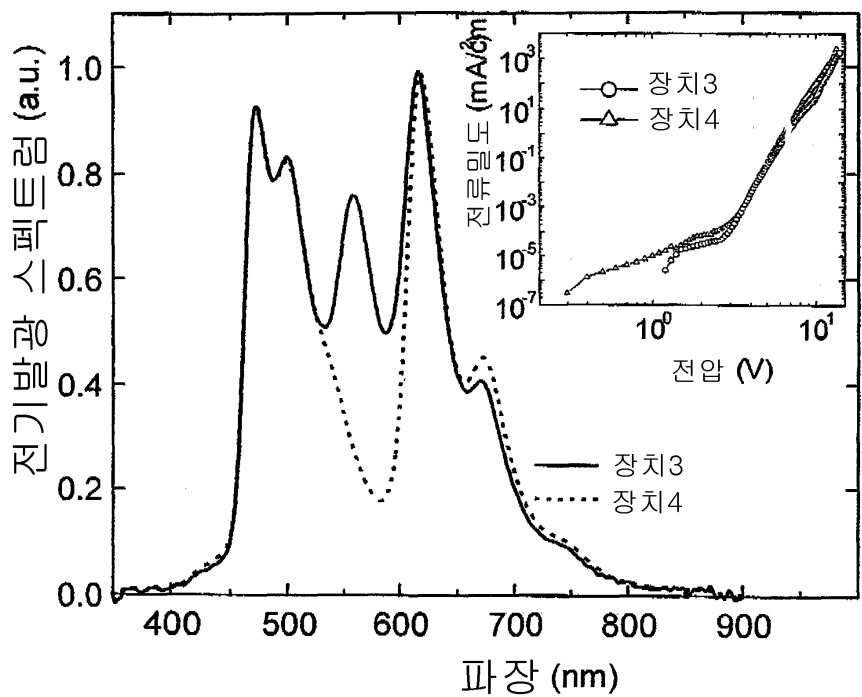
도면13



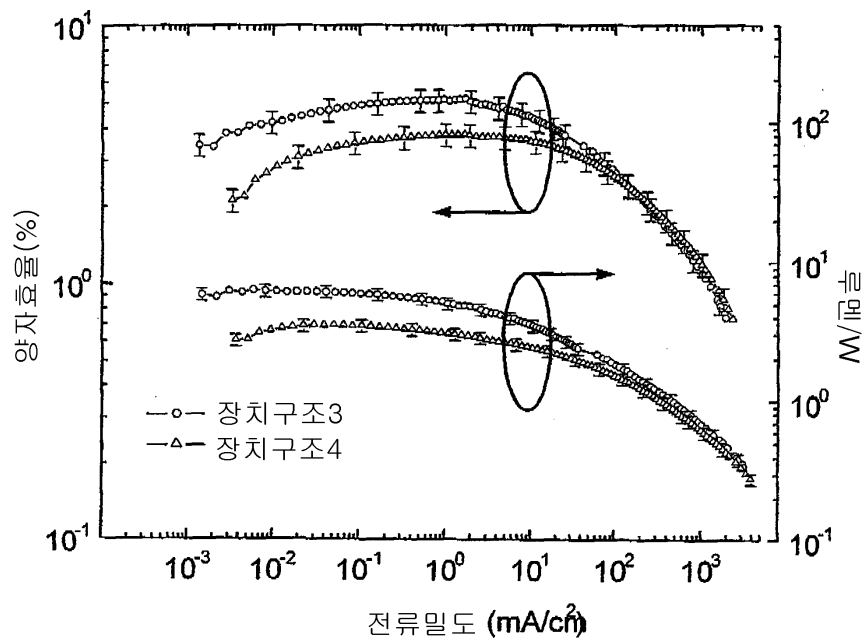
도면14



도면15



도면16



도면17

