

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2023년 2월 23일 (23.02.2023)

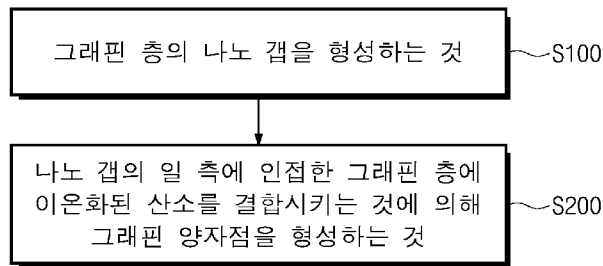


(10) 국제공개번호
WO 2023/022294 A1

- (51) 국제특허분류: *H01L 51/50* (2006.01) *H01L 51/56* (2006.01) *H01L 51/00* (2006.01) 문로 145 806호, Seoul (KR). 강석원 (**KANG, Seokwon**); 16894 경기도 용인시 기흥구 구성로 395 703동 503호, Gyeonggi-do (KR).
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2021/014590 (74) 대리인: 특허법인 고려 (**KORYO IP & LAW**); 06239 서울시 강남구 테헤란로 8길 41 6층, Seoul (KR).
- (22) 국제출원일: 2021년 10월 19일 (19.10.2021)
- (25) 출원언어: 한국어 (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2021-0109988 2021년 8월 20일 (20.08.2021) KR
- (71) 출원인: 경희대학교 산학협력단 (**UNIVERSITY-INDUSTRY COOPERATION GROUP OF KYUNGHEE UNIVERSITY**) [KR/KR]; 17104 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, Gyeonggi-do (KR).
- (72) 발명자: 김영덕 (**KIM, Youngduck**); 13596 경기도 성남시 분당구 성남대로 449 C동 2504호, Gyeonggi-do (KR). 조민현 (**CHO, Min Hyun**); 02403 서울시 동대문구 이
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE,

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING GRAPHENE LIGHT SOURCE, ORGANIC LIGHT-EMITTING DEVICE COMPRISING GRAPHENE LIGHT SOURCE, AND METHOD FOR MANUFACTURING ORGANIC LIGHT-EMITTING DEVICE

(54) 발명의 명칭: 그래핀 광원의 제조 방법, 상기 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자 및 상기 유기 발광 소자의 제조 방법



S100 ... Forming nanogap of graphene layer
S200 ... Forming graphene quantum dots by binding ionized oxygen to graphene layer adjacent to one side of nanogap

(57) Abstract: The present invention provides: a method for manufacturing a graphene light source, the method comprising: forming a graphene layer and electrodes in contact with both sides of the graphene layer; forming a nanogap of the graphene layer; and forming a graphene oxide layer by binding ionized oxygen to a portion of the graphene layer adjacent to one side of the nanogap; an organic light-emitting device comprising the graphene light source; and a method for manufacturing the organic light-emitting device.

[다음 쪽 계속]



LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(57) 요약서: 본 발명은 그래핀 층 및 상기 그래핀 층의 양 측에 접촉하는 전극들을 형성하는 것, 상기 그래핀 층의 나노 갭을 형성하는 것, 및 상기 나노 갭의 일 측에 인접한 상기 그래핀 층의 일부에 이온화된 산소를 결합시키는 것에 의해 산화 그래핀 층을 형성하는 것을 포함하되, 상기 산화 그래핀 층은 녹색 광 또는 청색 광을 방출하는 그래핀 광원의 제조 방법, 상기 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자 및 상기 유기 발광 소자의 제조 방법을 제공한다.

명세서

발명의 명칭: 그래핀 광원의 제조 방법, 상기 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자 및 상기 유기 발광 소자의 제조 방법 기술분야

- [1] 본 발명은 그래핀 광원의 제조 방법, 상기 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자 및 상기 유기 발광 소자의 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 포토닉스 기술을 이용한 다양한 광 소자들은 일반적으로 SOI(silicon-on-insulator) 웨이퍼를 기반으로 제작된다. 이러한 광 소자들로는 광원(light source), 광 검출기(photodetector), 광 변조기(optical modulator), 광 다이오드(photodiode), 편광 회전기(polarization rotator), 편광 스플리터(polarization splitter), 파장 다중화 장치(wavelength division multiplexer), 파장 역 다중화 장치(wavelength division demultiplexer), 광 분배기(optical power splitter) 등이 있다.
- [3] 한편, 그래핀(graphene)은 탄소 원자들이 sp² 결합을 통해 벌집 모양의 육각형 형태로 연결된 2차원 평면 구조의 물질이다. 그래핀은 높은 전자 이동도, 높은 광 투과도 및 우수한 열 전도도 특성을 가지고 있기 때문에 반도체를 비롯해 에너지, 디스플레이 등의 산업 분야에서 다양한 용도로 활용될 수 있다. 특히, 그래핀을 포토닉스 기술을 이용한 다양한 광 소자들에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

발명의 상세한 설명 기술적 과제

- [4] 본 발명의 일 기술적 과제는 그래핀 양자점(graphene quantum dot; GQD)을 형성하는 것을 포함하는 그래핀 광원의 제조 방법, 상기 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자 및 상기 유기 발광 소자의 제조 방법을 제공하는 데 있다.
- [5] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [6] 상술한 기술적 과제들을 해결하기 위하여 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 제조 방법은 그래핀 층 및 상기 그래핀 층의 양 측에 접촉하는 전극들을 형성하는 것, 상기 그래핀 층의 나노 갭을 형성하는 것, 및 상기 나노 갭의 일 측에 인접한 상기 그래핀 층의 일부에 이온화된 산소를 결합시키는 것에 의해 산화 그래핀 층을 형성하는 것을 포함하되, 상기 산화 그래핀 층은 녹색 광 또는 청색 광을 방출할 수 있다.
- [7] 상기 나노 갭을 형성하는 것은 상기 전극들에 제1 전압을 인가하는 것을 포함할

수 있다.

- [8] 상기 나노 갭을 형성하는 것은 상기 그래핀 층에 대한 패터닝 공정을 수행하는 것을 포함할 수 있다.
- [9] 상기 패터닝 공정은 전자 빔 리소그래피(E-beam lithography) 공정일 수 있다.
- [10] 상기 나노 갭을 형성하는 것은 상기 전극들에 제1 전압을 인가하는 것을 포함하고, 상기 산화 그래핀 층을 형성하는 것은 상기 전극들에 제2 전압을 인가하는 것을 포함하고, 상기 제1 전압 및 상기 제2 전압은 5V 내지 40V일 수 있다.
- [11] 상기 전극들에 제3 전압을 인가하는 것에 의해 상기 산화 그래핀 층을 환원시키는 것을 포함하고, 상기 제3 전압은 상기 제1 전압 및 상기 제2 전압보다 작을 수 있다.
- [12] 상기 제3 전압은 5V 내지 30V일 수 있다.
- [13] 상기 전극들은 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고, 상기 그래핀 층은 상기 제1 전극에 인접하는 제1 부분, 상기 제2 전극에 인접하는 제2 부분, 상기 제1 부분과 연결되며 상기 제2 부분을 향해 갈수록 폭이 감소하는 제3 부분, 상기 제2 부분과 연결되며 상기 제1 부분을 향해 갈수록 폭이 감소하는 제4 부분, 및 상기 제3 부분 및 상기 제4 부분 사이에 제공되는 제5 부분을 포함할 수 있다.
- [14] 상기 나노 갭을 형성하는 것은 상기 그래핀 층의 상기 제5 부분을 제거하는 것일 수 있다.
- [15] 상기 나노 갭의 폭은 0.6 nm 내지 10 nm일 수 있다.
- [16] 상기 그래핀 층에 질소를 포함하는 가스를 주입하는 것을 더 포함하고, 상기 그래핀 층은 불순물이 도핑되지 않은 그래핀 또는 질소가 도핑된 그래핀을 포함할 수 있다.
- [17] 상기 나노 갭은 상기 그래핀 층의 형상 또는 제조 공정에 따라 미리 결정된(predetermined) 위치에 형성될 수 있다.
- [18] 상술한 기술적 과제들을 해결하기 위하여 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자는 기판, 상기 기판 상의 정공 주입층, 상기 정공 주입층 상의 정공 수송층, 상기 정공 수송층 상의 산화 그래핀 층, 상기 산화 그래핀 층 상의 전자 수송층, 상기 전자 수송층 상의 전자 주입층, 상기 정공 주입층과 전기적으로 연결되는 제1 전극, 및 상기 전자 주입층과 전기적으로 연결되는 제2 전극을 포함하되, 상기 산화 그래핀 층은 그래핀 양자점을 포함하고, 상기 산화 그래핀 층은 녹색 광 또는 청색 광을 방출하도록 구성될 수 있다.
- [19] 상기 그래핀 양자점은 이온화된 산소 원자들을 포함할 수 있다.
- [20] 상기 그래핀 층은 불순물이 도핑되지 않은 그래핀 또는 질소가 도핑된 그래핀을 포함할 수 있다.
- [21] 상기 산화 그래핀 층은 단일 층 구조(monolayer) 또는 2개 내지 10개의 층들이 적층된 다층 구조(multi-layer)를 가질 수 있다.

- [22] 상기 산화 그래핀 층은 탄소 원자에 결합된 산소 작용기(functional group)를 갖는 수산기(hydroxyl)를 포함할 수 있다.
- [23] 상술한 기술적 과제들을 해결하기 위하여 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자의 제조 방법은 기판 상에 정공 주입층, 정공 수송층 및 그래핀 층을 차례로 형성하는 것, 상기 그래핀 층의 양 측에 접촉하는 전극들을 형성하는 것, 상기 그래핀 층에 그래핀 양자점을 형성하는 것, 상기 정공 주입층, 상기 정공 수송층 및 상기 그래핀 층에 대한 패터닝 공정을 수행하는 것, 상기 그래핀 층의 상기 그래핀 양자점 상에 전자 수송층 및 전자 주입층을 차례로 형성하는 것, 및 상기 전극들을 상기 정공 주입층 및 상기 전자 주입층에 전기적으로 연결하는 것을 포함하되, 상기 그래핀 양자점을 형성하는 것은 상기 그래핀 층의 나노 갭을 형성하는 것, 및 상기 나노 갭의 일 측에 인접한 상기 그래핀 층의 일부에 이온화된 산소를 결합시키는 것에 의해 산화 그래핀 층을 형성하는 것을 포함할 수 있다.
- [24] 상기 패터닝 공정에 의해 상기 나노 갭의 타 측에 인접한 상기 그래핀 층이 제거될 수 있다.
- [25] 상기 산화 그래핀 층은 녹색 광 또는 청색 광을 방출하도록 구성될 수 있다.

발명의 효과

- [26] 본 발명에 따른 그래핀 광원의 제조 방법은 인-시츄(in-situ) 공정으로 수행될 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 그래핀 광원의 제조 방법은 CMOS 공정에 적용될(compatible) 수 있으며, 대면적화가 용이할 수 있다.
- [27] 또한, 본 발명에 따르면 나노 갭의 형성 위치 및 이에 따른 발광 위치를 제어할 수 있다. 보다 구체적으로, 그래핀 층의 형상 또는 제조 공정에 따라 나노 갭을 미리 결정된(predetermined)(또는 원하는(desired)) 위치에 형성할 수 있고, 이에 따라 발광 위치를 제어할 수 있다.
- [28] 또한, 본 발명에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자는 상술한 그래핀 광원을 발광층으로 이용하는 점으로 인하여, 도핑된 그래핀 층을 통해 원하는 파장 범위의 광을 방출할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 유기 발광 소자는, 2차원 소재를 이용하며 간단한 공정으로 제조 가능한 점으로 인하여, 제조 비용이 감소될 수 있고 플렉서블 디스플레이 소자에 적용될 수도 있다.

도면의 간단한 설명

- [29] 도 1은 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 제조 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [30] 도 2a, 도 2b, 도 2c 및 도 2d는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 제조 방법을 설명하기 위한 사시도들이다.
- [31] 도 3a, 도 3b 및 도 3c는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 녹색 발광 원리를 설명하기 위한 도면들이다.
- [32] 도 4a, 도 4b 및 도 4c는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 청색 발광

원리를 설명하기 위한 도면들이다.

- [33] 도 5a는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자를 설명하기 위한 사시도이다.
- [34] 도 5b는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자를 설명하기 위한 단면도로, 도 5a를 II' 선으로 자른 단면에 대응된다.
- [35] 도 6a, 도 6b 및 도 6c는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자의 제조 방법을 설명하기 위한 단면도들로, 각각 도 5a를 II' 선으로 자른 단면에 대응된다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [36] 본 발명의 구성 및 효과를 충분히 이해하기 위하여, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.
- [37] 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라, 여러 가지 형태로 구현될 수 있고 다양한 수정 및 변경을 가할 수 있다. 단지, 본 실시예의 설명을 통해 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위하여 제공되는 것이다. 첨부된 도면에서 설명의 편의를 위하여 각 구성 요소의 비율은 과장되거나 축소될 수 있다.
- [38] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예를 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 또한 본 명세서에서 사용되는 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 통상적으로 알려진 의미로 해석될 수 있다.
- [39] 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 '포함한다(comprises)' 및/또는 '포함하는(comprising)'은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [40] 본 명세서에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 영역, 방향, 형상 등을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 영역, 방향, 형상이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 소정 영역, 방향 또는 형상을 다른 영역, 방향 또는 형상과 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시예에서 제1 부분으로 언급된 부분이 다른 실시예에서는 제2 부분으로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예는 그것의 상보적인 실시예도 포함한다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호로 표시된 부분들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [41] 이하, 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 제조 방법, 상기 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자 및 상기 유기 발광 소자의 제조 방법에 대하여 상세히 설명한다.

[42]

[43] 도 1은 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 제조 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[44] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 그래핀 광원의 제조 방법은, 그래핀 층 및 그래핀 층의 양 측에 접촉하는 전극들을 형성하는 것, 그래핀 층의 나노 갭을 형성하는 것(S100), 및 나노 갭의 일 측에 인접한 그래핀 층의 일부에 이온화된 산소를 결합시키는 것에 의해 그래핀 양자점을 형성하는 것(S200)을 포함할 수 있다. 이하에서, 도 2a, 도 2b, 도 2c 및 도 2d를 참조하여, 본 발명에 따른 그래핀 광원의 제조 방법에 대하여 상세히 설명한다.

[45] 도 2a, 도 2b, 도 2c 및 도 2d는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 제조 방법을 설명하기 위한 사시도들이다.

[46] 도 2a를 참조하면, 기판(100) 상에 그래핀 층(GL)이 제공될 수 있다. 기판(100)은, 예를 들어, 실리콘 등을 포함하는 반도체 기판 또는 실리콘 산화물을 포함하는 SOI(silicon-on-insulator) 기판일 수 있다. 다만, 이는 예시적인 것일 뿐 본 발명은 이에 제한되지 않으며, 기판(100)은 실시예들에 따라 사파이어(sapphire) 또는 알루미늄(Al_2O_3) 등 다양한 물질들을 포함할 수 있다. 기판(100)은 제1 방향(D1) 및 제1 방향(D1)과 교차하는 제2 방향(D2)과 나란하고, 제3 방향(D3)과 직교하는 상면을 가질 수 있다. 제1 내지 제3 방향들(D1, D2, D3)은, 예를 들어, 서로 직교하는 방향들일 수 있다.

[47] 그래핀 층(GL)은, 예를 들어, 단일 층 구조(monolayer) 또는 2개 내지 10개의 층들이 적층된 다층 구조(multi-layer)를 가질 수 있다. 다시 말하면, 그래핀 층(GL)은 실질적으로 2차원 구조를 가질 수 있다. 그래핀 층(GL)은, 일 예로, 탄소 원자만을 포함하며 불순물이 도핑되지 않은 그래핀을 포함할 수 있다. 그래핀 층(GL)은, 다른 일 예로, 불순물(예를 들어, 질소)이 도핑된 그래핀을 포함할 수도 있다. 도시되지 않았으나, 기판(100)과 그래핀 층(GL) 사이에 다른 층들이 개재될 수도 있다.

[48] 그래핀 층(GL)은 제1 전극(EL1)에 인접하는 제1 부분(p1), 제2 전극(EL2)에 인접하는 제2 부분(p2), 제1 부분(p1)과 연결되며 제2 방향(D2)으로 갈수록 제1 방향(D1)으로의 폭이 감소하는 제3 부분(p3), 제2 부분(p2)과 연결되며 제1 방향(D1)으로 제2 방향(D2)으로 갈수록 제1 방향(D1)으로의 폭이 증가하는 제4 부분(p4), 및 제3 부분(p3)과 제4 부분(p4) 사이의 제5 부분(p5)을 포함할 수 있다. 제1 부분(p1), 제2 부분(p2) 및 제5 부분(p5) 각각은 제1 방향(D1)으로의 폭이 일정할 수 있다. 제1 부분(p1)의 제1 방향(D1)으로의 폭은 제2 부분(p2)의 제1 방향(D1)으로의 폭과 실질적으로 동일할 수 있다. 제5 부분(p5)의 제1 방향(D1)으로의 폭은 제1 부분(p1) 및 제2 부분(p2) 각각의 제1 방향(D1)으로의 폭보다 작을 수 있다.

[49] 그래핀 층(GL)은, 일 예로, 상술한 것과 같은 제1 내지 제5 부분들(p1-p5)을 포함하는 보타이(bow-tie) 형상을 가질 수 있으나, 이는 예시적인 것일 뿐 본

- 발명은 이에 제한되지 않으며, 그래핀 층(GL)은 다양한 형상을 가질 수 있다.
- [50] 그래핀 층(GL)의 양 측에 제2 방향(D2)으로 인접하는 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2)이 제공될 수 있다. 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2)은 서로 제2 방향(D2)으로 이격될 수 있다. 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2) 각각의 제3 방향(D3)으로의 두께는 그래핀 층(GL)의 제3 방향(D3)으로의 두께보다 클 수 있다. 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2) 각각은 금속 물질을 포함할 수 있다. 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2) 각각은 도전 배선 및/또는 추가 전극과 연결될 수 있다.
- [51] 도 2a 및 도 2b를 참조하면, 그래핀 층(GL)의 나노 갭(NG)이 형성될 수 있다. 그래핀 층(GL)은 나노 갭(NG)을 사이에 두고 제2 방향(D2)으로 서로 이격되는 두 부분들로 나누어질 수 있다. 도 2a를 참조하면, 그래핀 층(GL)의 제5 부분(p5)이 제거되어 나노 갭(NG)이 형성될 수 있고, 제3 부분(p3) 및 제4 부분(p4)은 제2 방향(D2)으로 서로 이격될 수 있다. 나노 갭(NG)의 제2 방향(D2)으로의 폭은, 예를 들어, 약 0.1 nm 내지 20 nm일 수 있다. 나노 갭(NG)의 제2 방향(D2)으로의 폭은, 보다 바람직하게는, 약 0.6 nm 내지 10 nm일 수 있다.
- [52] 일 예로, 제2 전극(EL2)에 제1 전압(V1)이 인가됨에 따라(즉, 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2) 사이에 제1 전위 차가 발생함에 따라) 그래핀 층(GL)의 전류 밀도가 증가할 수 있고(즉, 그래핀 층(GL)에 전하가 주입될 수 있고), 그래핀 층(GL)은 줄 히팅(Joule heating)으로 인한 열 방사(thermal radiation) 특성을 나타낼 수 있다. 열 방사 및 일렉트로마이그레이션(electromigration) 현상으로 인해 그래핀 층(GL)의 탄소 결합 중 일부가 끊어져 나노 갭(NG)이 형성될 수 있다.
- [53] 다른 일 예로, 그래핀 층(GL)에 대한 패터닝 공정에 의해 나노 갭(NG)이 형성될 수도 있다. 패터닝 공정은, 예를 들어, 전자 빔 리소그래피(E-beam lithography) 공정일 수 있다. 패터닝 공정에 의해 나노 갭(NG)을 형성하는 경우, 그래핀 층(GL)은 형상의 제약으로부터 보다 자유로울 수 있다.
- [54] 도 2b 및 도 2c를 참조하면, 제2 전극(EL2)에 제2 전압(V2)이 인가됨에 따라(즉, 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2) 사이에 제2 전위 차가 발생함에 따라) 제2 전극(EL2)과 접촉하는 그래핀 층(GL)에 플라즈마에 의해 이온화된 산소 원자가 결합될 수 있고(oxygen adsorption)(즉, 그래핀 층(GL)이 산화될 수 있고), 산화 그래핀 층(GO)이 형성될 수 있다. 즉, 제2 전극(EL2)에 제2 전압(V2)이 인가됨에 따라 그래핀 양자점이 형성될 수 있다. 그래핀 양자점은 이온화된 산소 원자들을 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 그래핀 층(GL)의 탄소 원자들 중 열 방사로 인해 결합이 끊어진 것들에 땀글링 본드(dangling bond)가 형성될 수 있고, 산소 원자는 땀글링 본드에 결합될 수 있다.
- [55] 제2 전압(V2)은 제1 전압(V1)과 실질적으로 동일할 수 있다. 제1 전압(V1) 및 제2 전압(V2) 각각은, 예를 들어, 약 5V 내지 40V일 수 있다. 나노 갭(NG)을 형성하는 것 및 산화 그래핀 층(GO)을 형성하는 것은 실질적으로 동시에 수행될

수 있다.

- [56] 산화 그래핀 층(GO)은 제1 전극(EL1)과 접촉하는 그래핀 층(GL)과 나노 갭(NG)을 사이에 두고 제2 방향(D2)으로 서로 이격될 수 있다. 산화 그래핀 층(GO)은 탄소 원자에 결합된 수산기(hydroxyl)를 포함할 수 있다. 산화 그래핀 층(GO)의 수산기는 다양한 산소 작용기(functional group)를 가질 수 있다.
- [57] 도 2c 및 도 2d를 참조하면, 제2 전극(EL2)에 제3 전압(V3)이 인가됨에 따라(즉, 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2) 사이에 제3 전위 차가 발생함에 따라) 산화 그래핀 층(GO)이 환원될 수 있다. 제3 전압(V3)은 제2 전압(V2)보다 작을 수 있다. 제3 전압(V3)은, 예를 들어, 약 5V 내지 30V일 수 있다. 보다 구체적으로, 제2 전압(V2)보다 낮은 제3 전압(V3)이 제2 전극(EL2)에 인가됨에 따라 일렉트로마이그레이션 현상이 적게 일어나서 산화 그래핀 층(GO)은 산소 원자를 잃을 수 있다.
- [58] 추가로, 그래핀 층(GL) 및 산화 그래핀 층(GO) 사이에 브릿지(BR)가 형성될 수도 있다. 브릿지(BR)는 산화 그래핀 층(GO)이 환원되는 과정에서 그래핀 층(GL)의 탄소 원자들 중 일부와 산화 그래핀 층(GO)의 탄소 원자들 중 일부가 서로 연결되는 것에 의해 형성될 수 있다.
- [59] 산화 그래핀 층(GO)은 녹색 광 또는 청색 광을 방출할 수 있다. 즉, 이온화된 산소 원자들을 포함하는 그래핀 양자점은 녹색 광 또는 청색 광을 방출할 수 있다. 일 예로, 불순물이 도핑되지 않은 그래핀을 이용하는 경우, 산화 그래핀 층(GO)은 녹색 광을 방출할 수 있다(즉, 본 발명에 따른 그래핀 광원은 녹색 광원이 될 수 있다). 다른 일 예로, 질소가 도핑된 그래핀을 이용하는 경우, 산화 그래핀 층(GO)은 청색 광을 방출할 수 있다(즉, 본 발명에 따른 그래핀 광원은 청색 광원이 될 수 있다).
- [60] 질소가 도핑된 그래핀을 이용하는 경우, 본 발명에 따른 그래핀 광원의 제조 방법은 그래핀 층(GL)에 질소를 포함하는 가스를 주입하는 것을 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 질소를 포함하는 가스를 주입하는 것은 그래핀 층(GL)의 나노 갭(NG)을 형성하는 것 이전에 수행될 수 있으나, 본 발명은 이에 제한되지 않는다. 가스는, 예를 들어, 피리딘(pyridine) 등의 화합물 가스일 수 있다.
- [61] 본 발명에 따른 그래핀 광원의 제조 방법은 인-시츄(in-situ) 공정으로 수행될 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 그래핀 광원의 제조 방법은 CMOS 공정에 적용될(compatible) 수 있으며, 대면적화가 용이할 수 있다. 또한, 본 발명에 따르면 나노 갭(NG)의 형성 위치 및 이에 따른 발광 위치를 제어할 수 있다. 보다 구체적으로, 그래핀 층(GO)의 형상 또는 제조 공정에 따라 나노 갭(NG)을 미리 결정된(predetermined)(또는 원하는(desired)) 위치에 형성할 수 있고, 이에 따라 발광 위치를 제어할 수 있다.
- [62]
- [63] 도 3a는 그래핀 층의 양 측에 접촉하는 전극들에 인가되는 바이어스 전압(bias voltage)에 따른 그래핀 층의 전류(I_{ds}) 특성을 나타내는 그래프 및 전류가

변화하는 단계들 각각에서의 그래핀 층의 발광 현상을 보여주는 사진들을 도시한다. 도 3b 및 도 3c는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 녹색 발광 원리를 설명하기 위한 개념도들이다. 도 3a의 그래프에서 바이어스 전압의 단위는 볼트(V)이고, 전류의 단위는 밀리암페어(mA)이다. 도 3c는 도 2d의 X 부분에 대응된다.

[64] 도 3a는 그래핀 층(GL)이 불순물이 도핑되지 않은 그래핀을 포함하는 경우에 대해 측정 및 촬영된 것이다. 도 2a 내지 도 2d, 및 도 3a를 참조하면, 제2 전극(EL2)에 인가되는 전압이 증가하면 그래핀 층(GL)에 흐르는 전류가 증가한다(S1). 약 15 V 이상의 전압이 인가되는 경우 열 방사(thermal radiation) 특성이 나타난다(F11). 이후, 약 16 V의 전압에서 열적 효과(thermal effect)에 의한 붕괴(breakdown)가 나타나며(즉, 전류가 급격히 감소하며)(S2), 이때 나노 갭(NG) 및 산화 그래핀 층(GO)이 형성된다. 즉, 그래핀 양자점이 형성된다. 이후, 제2 전극(EL2)에 인가되는 전압이 감소하면 산화 그래핀 층(GO)에 흐르는 전류가 증가하다가 감소한다(S3). 약 10 V 내지 20 V의 전압 범위에서 그래핀 양자점이 형성된 산화 그래핀 층(GO)은 녹색 광(G)을 방출한다(F12).

[65] 도 2a 내지 도 2d, 도 3b 및 도 3c를 참조하면, 산화 그래핀 층(GO)은 탄소 원자(Carbon) 및 가장자리에 위치한 탄소 원자(Carbon)에 결합된 수산기(Hydroxyl)를 포함할 수 있다. 그래핀 양자점에서 전자는 최저 비 점유 분자 궤도(lowest unoccupied molecular orbital; 이하 LUMO)보다 낮은 제1 궤도(O1)로부터 최고 점유 분자 궤도(highest occupied molecular orbital; 이하 HOMO)로 떨어지면서 약 2.43 eV의 밴드 갭에 해당하는 녹색 광(G)을 방출할 수 있다.

[66]

[67] 도 4a는 그래핀 층의 양 측에 접촉하는 전극들에 인가되는 바이어스 전압에 따른 그래핀 층의 전류 특성을 나타내는 그래프 및 전류가 변화하는 단계들 각각에서의 그래핀 층의 발광 현상을 보여주는 사진들을 도시한다. 도 4b 및 도 4c는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원의 청색 발광 원리를 설명하기 위한 개념도들이다. 도 4a의 그래프에서 바이어스 전압의 단위는 볼트(V)이고, 전류의 단위는 밀리암페어(mA)이다. 도 4c는 도 2d의 X 부분에 대응된다.

[68] 도 4a는 그래핀 층(GL)이 질소가 도핑된 그래핀을 포함하는 경우에 대해 측정 및 촬영된 것이다. 도 2a 내지 도 2d, 및 도 4a를 참조하면, 제2 전극(EL2)에 인가되는 전압이 증가하면 그래핀 층(GL)에 흐르는 전류가 증가한다(S1). 약 11 V 이상의 전압이 인가되는 경우 열 방사(thermal radiation) 특성이 나타난다(F21). 이후, 약 13 V의 전압에서 열적 효과(thermal effect)에 의한 붕괴(breakdown)가 나타나며(즉, 전류가 급격히 감소하며)(S2), 이때 나노 갭(NG) 및 산화 그래핀 층(GO)이 형성된다. 즉, 그래핀 양자점이 형성된다. 이후, 제2 전극(EL2)에 인가되는 전압이 감소하면 산화 그래핀 층(GO)에 흐르는 전류가 증가하다가 감소한다(S3). 약 10 V 내지 20 V의 전압 범위에서 그래핀 양자점이 형성된 산화

그래핀 층(GO)은 청색 광(B)을 방출한다(F22).

- [69] 도 2a 내지 도 2d, 도 4b 및 도 4c를 참조하면, 산화 그래핀 층(GO)은 탄소 원자(Carbon), 탄소 원자(Carbon) 사이에 도핑된 질소 원자(Nitrogen) 및 가장자리에 위치한 탄소 원자(Carbon)에 결합된 수산기(Hydroxyl)를 포함할 수 있다. 그래핀 양자점에서 전자는 LUMO보다 낮은 제2 궤도(O2)로부터 HOMO로 떨어지면서 약 3.35 eV의 밴드 갭에 해당하는 청색 광(B)을 방출할 수 있다. 제2 궤도(O2)는 상술한 제1 궤도(O1)보다 LUMO에 가까울 수 있다.

[70]

- [71] 도 5a는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자를 설명하기 위한 사시도이다. 도 5b는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자를 설명하기 위한 단면도로, 도 5a를 II' 선으로 자른 단면에 대응된다.

- [72] 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 본 발명에 따른 유기 발광 소자는 기판(100), 기판(100) 상의 제1, 제2 및 제3 정공 주입층들(111, 112, 113), 제1, 제2 및 제3 정공 주입층들(111, 112, 113) 각각의 상의 제1, 제2 및 제3 정공 수송층들(131, 132, 133), 제1 정공 수송층(131) 상의 산화 그래핀 층(GO), 산화 그래핀 층(GO) 상의 전자 수송층(210) 및 전자 주입층(230), 제1 정공 주입층(111)과 전기적으로 연결되는 제1 전극(EL1), 및 전자 주입층(230)과 전기적으로 연결되는 제2 전극(EL2)을 포함할 수 있다. 산화 그래핀 층(GO)은 그래핀 광원 또는 유기 발광 소자의 발광층으로 지칭될 수 있다. 산화 그래핀 층(GO)은 도 2a 내지 도 2d를 참조하여 설명한 것과 실질적으로 동일한 방법으로 형성될 수 있고, 실질적으로 동일한 구조를 가질 수 있다.

- [73] 본 발명에 따른 유기 발광 소자는 제1 전극(EL1) 및 제2 전극(EL2) 각각으로부터 주입되는 정공 및 전자가 발광층에서 재결합하여 발광하는 원리로 색상을 구현할 수 있는 것으로서, 주입된 정공 및 전자가 결합한 엑시톤(exiton)이 여기 상태에서부터 기저 상태로 떨어질 때 발광한다.

- [74] 제1 전극(EL1)은 제3 정공 수송층(133) 상에 제공되는 제1 부분(EL11) 및 기판(100) 상에 제공되며 제1 정공 주입층(111)의 측벽과 접촉하는 제2 부분(EL12)을 포함할 수 있다. 제1 전극(EL1)의 제1 부분(EL11) 및 제2 부분(EL12)은 와이어 등의 도전 구조체를 통해 서로 전기적으로 연결될 수 있다.

- [75] 제2 전극(EL2)은 제2 정공 수송층(132) 상에 제공되는 제1 부분(EL21) 및 전자 주입층(230) 상에 제공되는 제2 부분(EL22)을 포함할 수 있다. 제2 전극(EL2)의 제1 부분(EL21) 및 제2 부분(EL22)은 와이어 등의 도전 구조체를 통해 서로 전기적으로 연결될 수 있다.

- [76] 제1, 제2 및 제3 정공 주입층들(111, 112, 113)은 서로 제2 방향(D2)으로 이격될 수 있고, 제1, 제2 및 제3 정공 수송층들(131, 132, 133)은 서로 제2 방향(D2)으로 이격될 수 있다.

- [77] 다만, 이는 예시적인 것일 뿐 본 발명은 이에 제한되지 않으며, 제1, 제2 및 제3

정공 주입층들(111, 112, 113), 제1, 제2 및 제3 정공 수송층들(131, 132, 133), 전자 수송층(210), 전자 주입층(230), 제1 및 제2 전극들(EL1, EL2)의 각 부분들의 위치 및 형상은 본 발명에 따른 유기 발광 소자의 발광을 구현할 수 있도록 다양하게 변경될 수 있다.

- [78] 본 발명에 따른 유기 발광 소자는 상술한 그래핀 광원을 발광층으로 이용하는 점으로 인하여, 도핑된 그래핀을 통해 원하는 파장 범위의 광을 방출할 수 있다. 또한, 본 발명에 따른 유기 발광 소자는, 2차원 소재를 이용하며 간단한 공정으로 제조 가능한 점으로 인하여, 제조 비용이 감소될 수 있고 플렉서블 디스플레이 소자에 적용될 수도 있다.
- [79]
- [80] 도 6a, 도 6b 및 도 6c는 본 발명의 실시예들에 따른 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자의 제조 방법을 설명하기 위한 단면도들로, 각각 도 5a를 II' 선으로 자른 단면에 대응된다.
- [81] 도 5a 및 도 6a를 참조하면, 기판(100) 상에 정공 주입층(110) 및 정공 수송층(130)이 형성될 수 있다. 정공 수송층(130) 상에 제1 및 제2 전극들(EL1, EL2), 제1 및 제2 전극들(EL1, EL2) 사이에서 제2 방향(D2)으로 연장되는 그래핀 층(GL)이 형성될 수 있다. 그래핀 층(GL)은, 예를 들어, 단일 층 구조(monolayer) 또는 2개 내지 10개의 층들이 적층된 다층 구조(multi-layer)로 형성될 수 있다.
- [82] 도 5a 및 도 6b를 참조하면, 제2 전극(EL2)에 전압을 인가하는 것을 통해 나노 갭(NG)이 형성될 수 있다. 이와 동시에, 그래핀 층(GL), 및 그래핀 층(GL)과 제2 방향(D2)으로 이격되는 산화 그래핀 층(GO)이 형성될 수 있다. 이후, 산화 그래핀 층(GO)에 그래핀 양자점이 형성될 수 있다. 산화 그래핀 층(GO)을 형성하는 것은 도 2a 내지 도 2d를 참조하여 설명한 것과 실질적으로 동일한 공정을 통해 수행될 수 있다.
- [83] 도 5a, 도 6b 및 도 6c를 참조하면, 그래핀 층(GL), 산화 그래핀 층(GO), 정공 주입층(110) 및 정공 수송층(130)에 대한 패터닝 공정이 수행될 수 있다. 패터닝 공정에 의해, 서로 제2 방향(D2)으로 이격되는 제1, 제2 및 제3 정공 주입층들(111, 112, 113) 및 서로 제2 방향(D2)으로 이격되는 제1, 제2 및 제3 정공 수송층들(131, 132, 133)이 형성될 수 있고, 산화 그래핀 층(GO)은 제2 전극(EL2)과 제2 방향(D2)으로 이격될 수 있으며, 그래핀 층(GL)은 제거될 수 있다. 이후, 산화 그래핀 층(GO) 상에 전자 수송층(210) 및 전자 주입층(230)이 차례로 형성될 수 있다.
- [84] 다시 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 기판(100) 상에 제1 전극(EL1)의 제2 부분(EL12)이 형성될 수 있고, 제1 전극(EL1)의 제2 부분(EL12)은 제3 정공 수송층(133) 상의 제1 전극(EL1)의 제1 부분(EL11)과 전기적으로 연결될 수 있다. 또한, 전자 주입층(230) 상에 제2 전극(EL2)의 제2 부분(EL22)이 형성될 수 있고, 제2 전극(EL2)의 제2 부분(EL22)은 제2 정공 수송층(132) 상의 제2 전극(EL2)의 제1 부분(EL21)과 전기적으로 연결될 수 있다.

[85]

[86] 이상, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

청구범위

- [청구항 1] 그래핀 층 및 상기 그래핀 층의 양 측에 접촉하는 전극들을 형성하는 것; 상기 그래핀 층의 나노 갭을 형성하는 것; 및 상기 나노 갭의 일 측에 인접한 상기 그래핀 층의 일부에 이온화된 산소를 결합시키는 것에 의해 산화 그래핀 층을 형성하는 것을 포함하되, 상기 산화 그래핀 층은 녹색 광 또는 청색 광을 방출하는 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 2] 청구항 1에 있어서, 상기 나노 갭을 형성하는 것은 상기 전극들에 제1 전압을 인가하는 것을 포함하는 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 3] 청구항 1에 있어서, 상기 나노 갭을 형성하는 것은 상기 그래핀 층에 대한 패터닝 공정을 수행하는 것을 포함하는 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 4] 청구항 3에 있어서, 상기 패터닝 공정은 전자 빔 리소그래피(E-beam lithography) 공정인 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 5] 청구항 1에 있어서, 상기 나노 갭을 형성하는 것은 상기 전극들에 제1 전압을 인가하는 것을 포함하고, 상기 산화 그래핀 층을 형성하는 것은 상기 전극들에 제2 전압을 인가하는 것을 포함하고, 상기 제1 전압 및 상기 제2 전압은 5V 내지 40V인 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 6] 청구항 5에 있어서, 상기 전극들에 제3 전압을 인가하는 것에 의해 상기 산화 그래핀 층을 환원시키는 것을 더 포함하고, 상기 제3 전압은 상기 제1 전압 및 상기 제2 전압보다 작은 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 7] 청구항 6에 있어서, 상기 제3 전압은 5V 내지 30V인 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 8] 청구항 1에 있어서, 상기 전극들은 제1 전극 및 제2 전극을 포함하고, 상기 그래핀 층은:
상기 제1 전극에 인접하는 제1 부분;
상기 제2 전극에 인접하는 제2 부분;
상기 제1 부분과 연결되며 상기 제2 부분을 향해 갈수록 폭이 감소하는 제3 부분;

상기 제2 부분과 연결되며 상기 제1 부분을 향해 갈수록 폭이 감소하는 제4 부분; 및

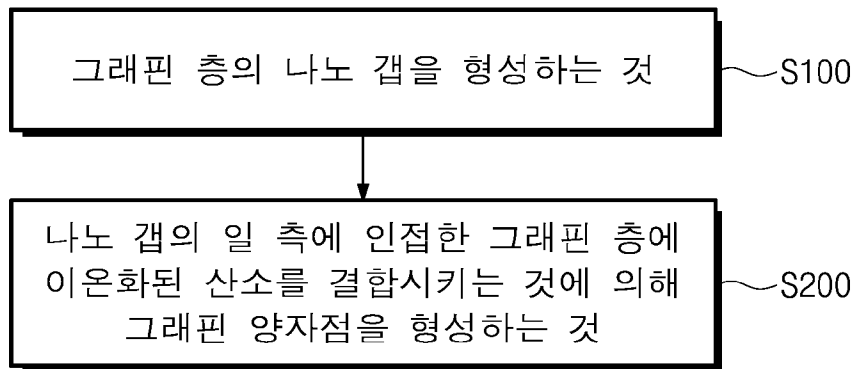
상기 제3 부분 및 상기 제4 부분 사이에 제공되는 제5 부분을 포함하는 그래핀 광원의 제조 방법.

- [청구항 9] 청구항 8에 있어서,
상기 나노 갭을 형성하는 것은 상기 그래핀 층의 상기 제5 부분을 제거하는 것인 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 10] 청구항 1에 있어서,
상기 나노 갭의 폭은 0.6 nm 내지 10 nm인 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 11] 청구항 1에 있어서,
상기 그래핀 층에 질소를 포함하는 가스를 주입하는 것을 더 포함하고,
상기 그래핀 층은 불순물이 도핑되지 않은 그래핀 또는 질소가 도핑된 그래핀을 포함하는 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 12] 청구항 1에 있어서,
상기 나노 갭은 상기 그래핀 층의 형상 또는 제조 공정에 따라 미리 결정된(predetermined) 위치에 형성되는 그래핀 광원의 제조 방법.
- [청구항 13] 기판;
상기 기판 상의 정공 주입층;
상기 정공 주입층 상의 정공 수송층;
상기 정공 수송층 상의 산화 그래핀 층;
상기 산화 그래핀 층 상의 전자 수송층;
상기 전자 수송층 상의 전자 주입층;
상기 정공 주입층과 전기적으로 연결되는 제1 전극; 및
상기 전자 주입층과 전기적으로 연결되는 제2 전극을 포함하되,
상기 산화 그래핀 층은 그래핀 양자점을 포함하고,
상기 산화 그래핀 층은 녹색 광 또는 청색 광을 방출하도록 구성되는,
그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자.
- [청구항 14] 청구항 13에 있어서,
상기 그래핀 양자점은 이온화된 산소 원자들을 포함하는, 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자.
- [청구항 15] 청구항 13에 있어서,
상기 그래핀 층은 불순물이 도핑되지 않은 그래핀 또는 질소가 도핑된 그래핀을 포함하는, 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자.
- [청구항 16] 청구항 13에 있어서,
상기 산화 그래핀 층은 단일 층 구조(monolayer) 또는 2개 내지 10개의 층들이 적층된 다층 구조(multi-layer)를 갖는, 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자.
- [청구항 17] 청구항 13에 있어서,

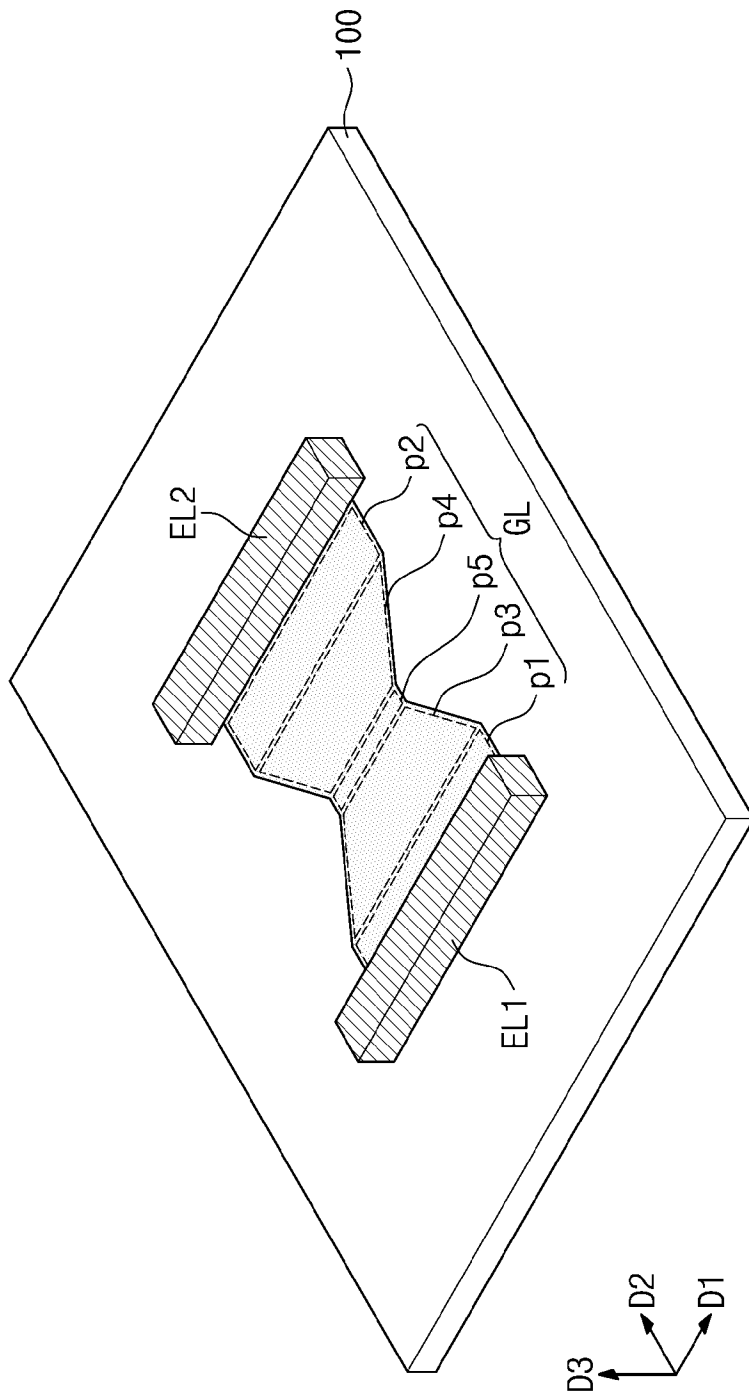
상기 산화 그래핀 층은 탄소 원자에 결합된 산소 작용기(functional group)를 갖는 수산기(hydroxyl)를 포함하는, 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자.

- [청구항 18] 기판 상에 정공 주입층, 정공 수송층 및 그래핀 층을 차례로 형성하는 것;
 상기 그래핀 층의 양 측에 접촉하는 전극들을 형성하는 것;
 상기 그래핀 층에 그래핀 양자점을 형성하는 것;
 상기 정공 주입층, 상기 정공 수송층 및 상기 그래핀 층에 대한 패터닝 공정을 수행하는 것;
 상기 그래핀 층의 상기 그래핀 양자점 상에 전자 수송층 및 전자 주입층을 차례로 형성하는 것; 및
 상기 전극들을 상기 정공 주입층 및 상기 전자 주입층에 전기적으로 연결하는 것을 포함하되,
 상기 그래핀 양자점을 형성하는 것은:
 상기 그래핀 층의 나노 갭을 형성하는 것; 및
 상기 나노 갭의 일 측에 인접한 상기 그래핀 층의 일부에 이온화된 산소를 결합시키는 것에 의해 산화 그래핀 층을 형성하는 것을 포함하는, 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자의 제조 방법.
- [청구항 19] 청구항 18에 있어서,
 상기 패터닝 공정에 의해 상기 나노 갭의 타 측에 인접한 상기 그래핀 층이 제거되는, 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자의 제조 방법.
- [청구항 20] 청구항 18에 있어서,
 상기 산화 그래핀 층은 녹색 광 또는 청색 광을 방출하도록 구성되는, 그래핀 광원을 포함하는 유기 발광 소자의 제조 방법.

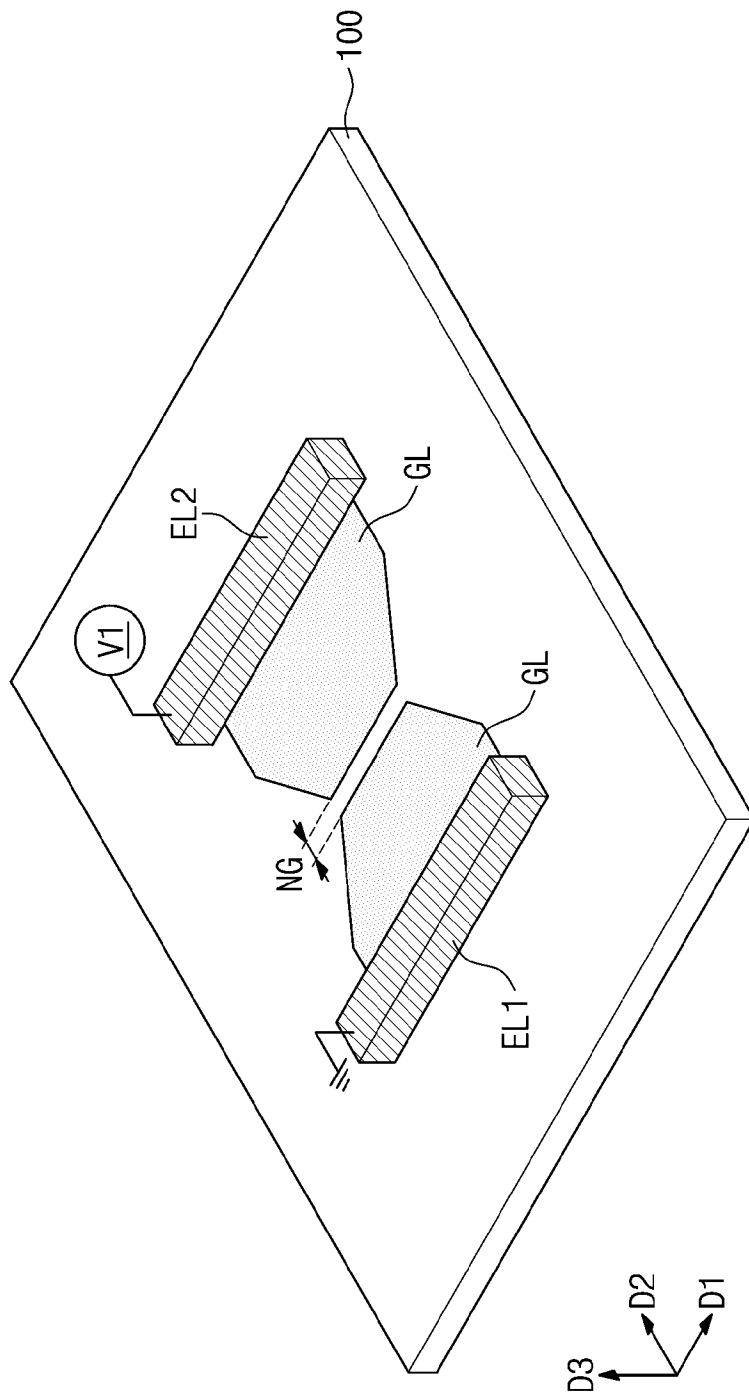
[도1]



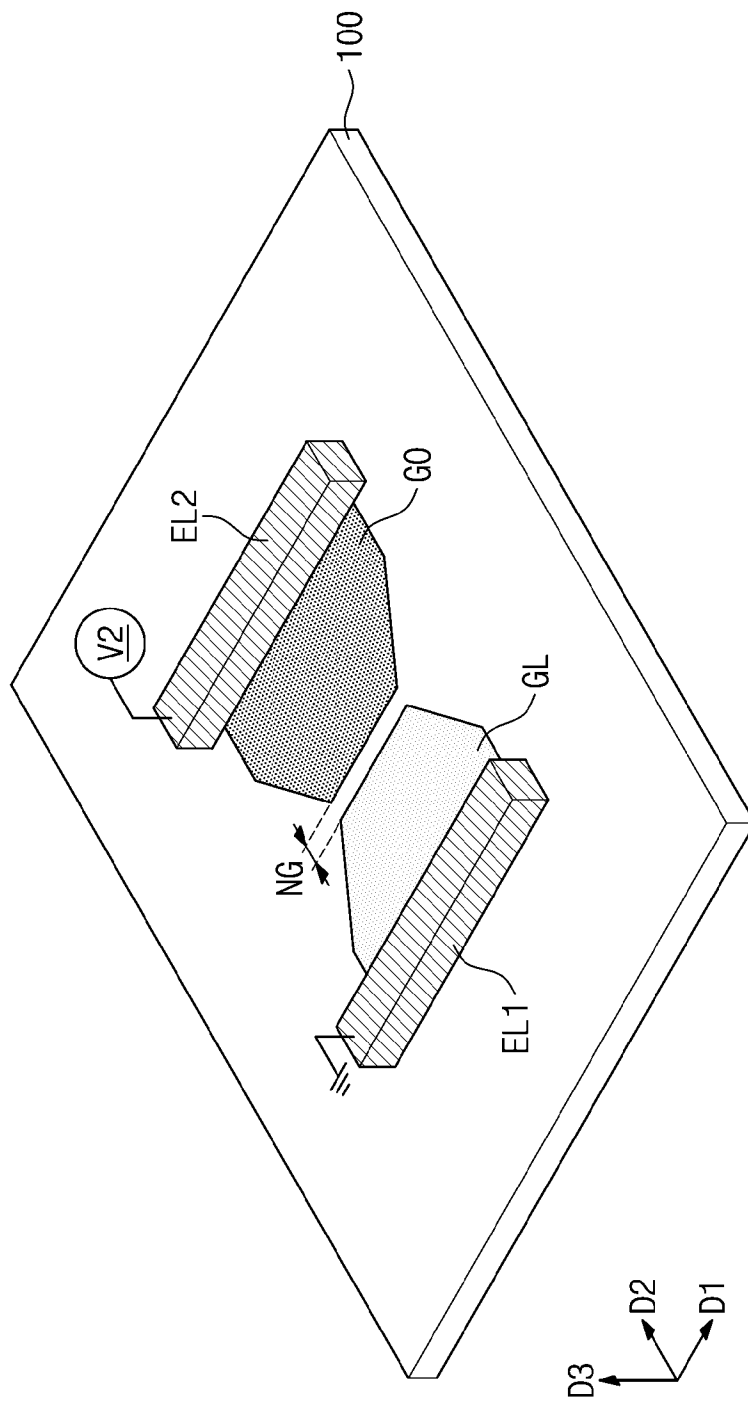
[도2a]



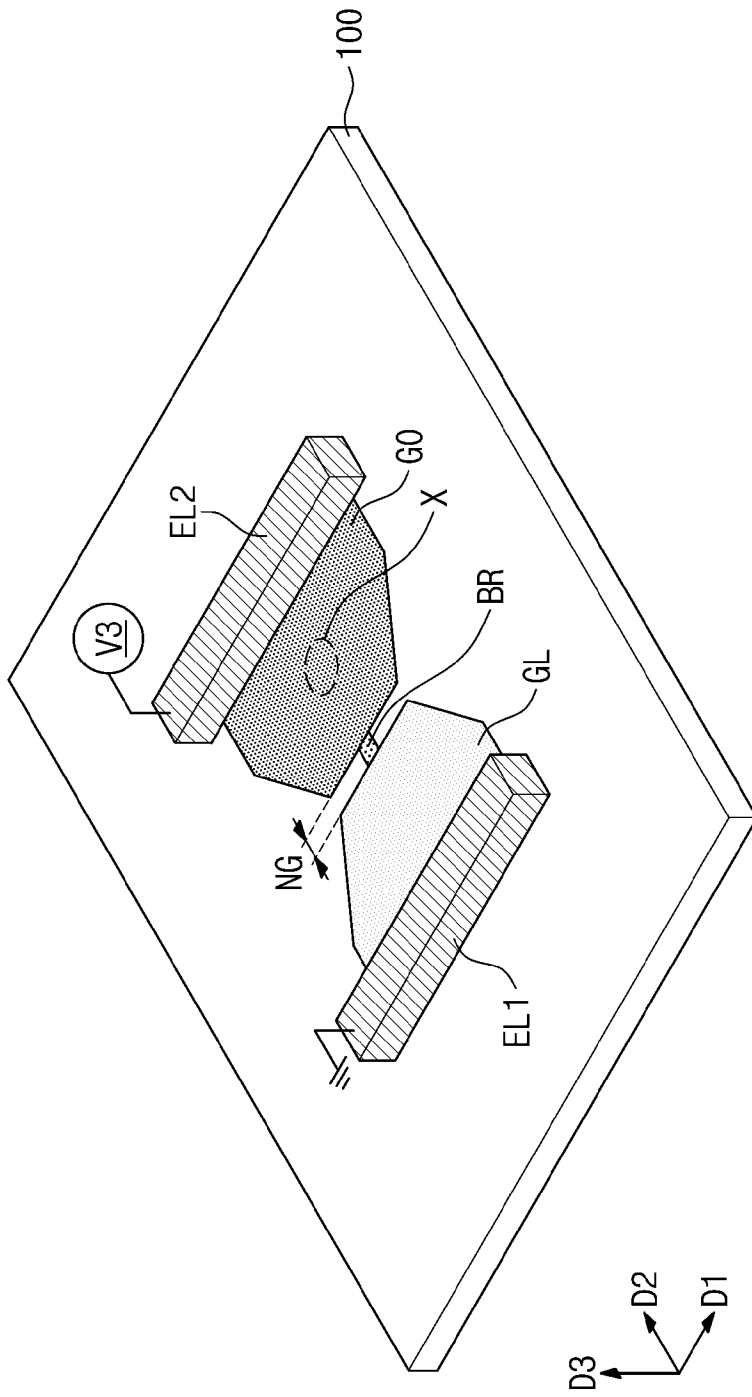
[도2b]



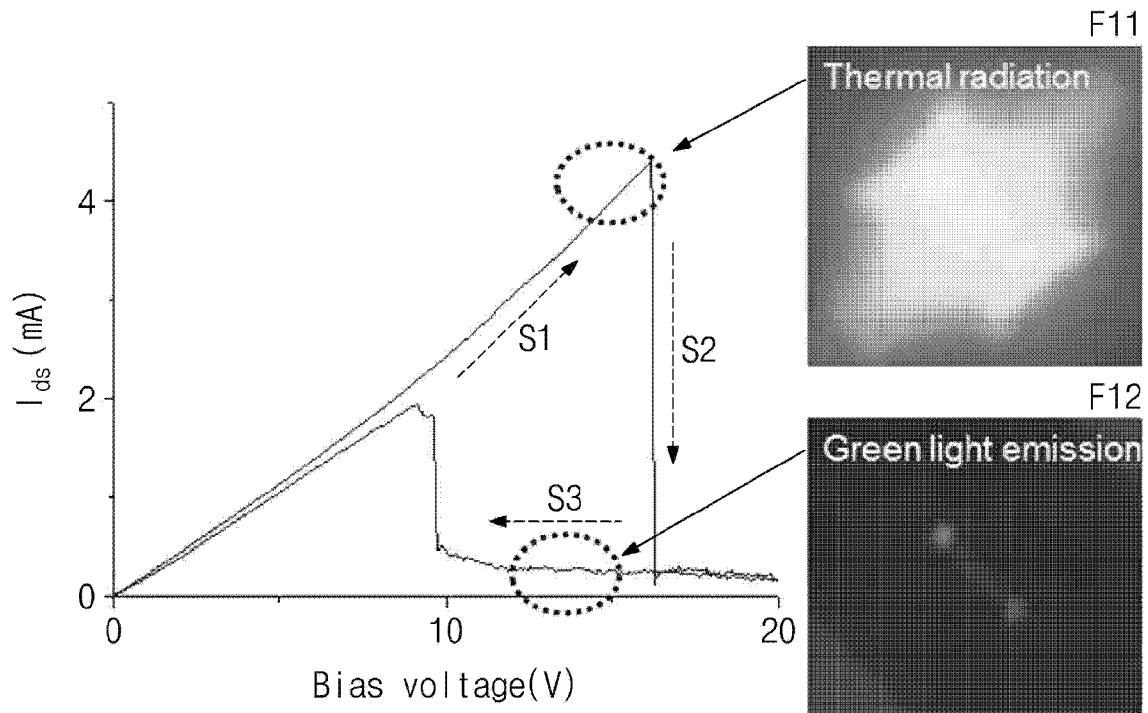
[도2c]



[도2d]

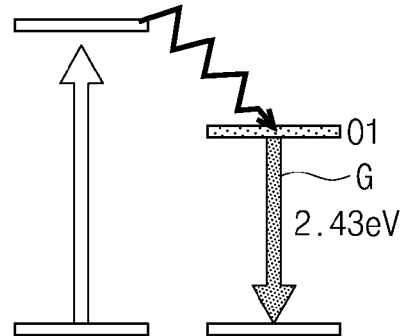


[도3a]



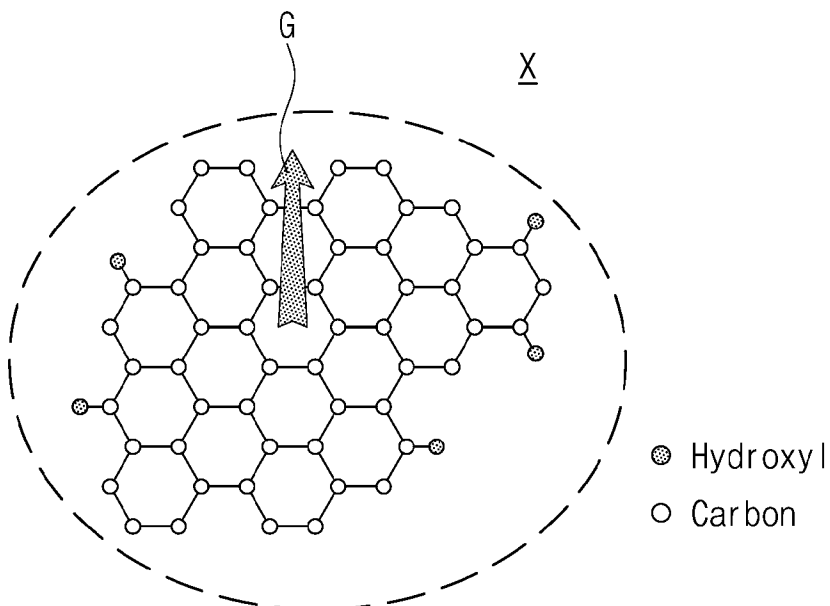
[도3b]

Lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)

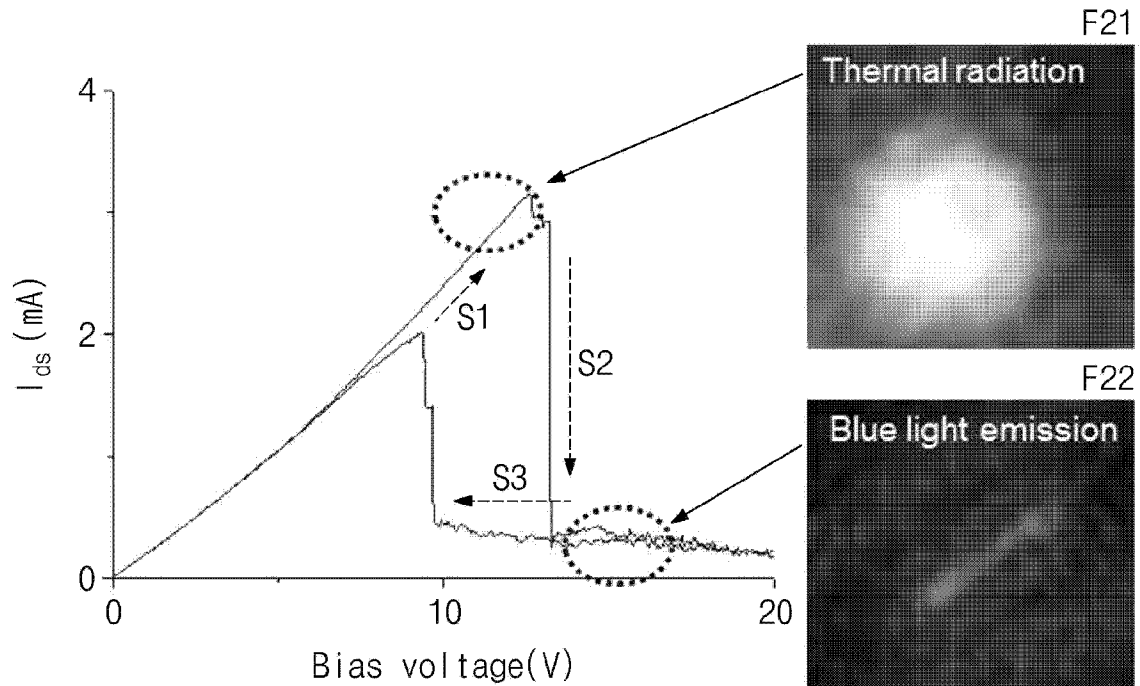


Highest occupied molecular orbital (HOMO)

[도3c]

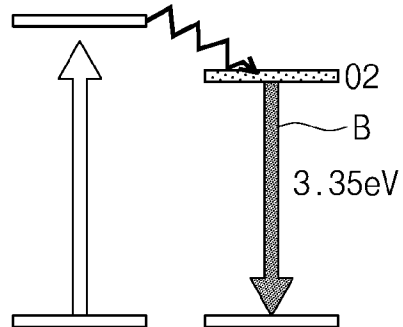


[도4a]



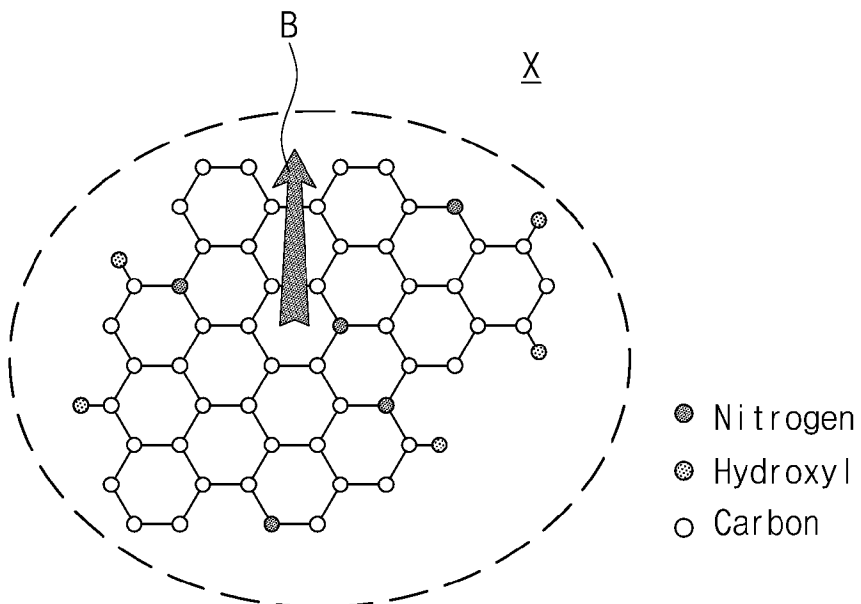
[도4b]

Lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)

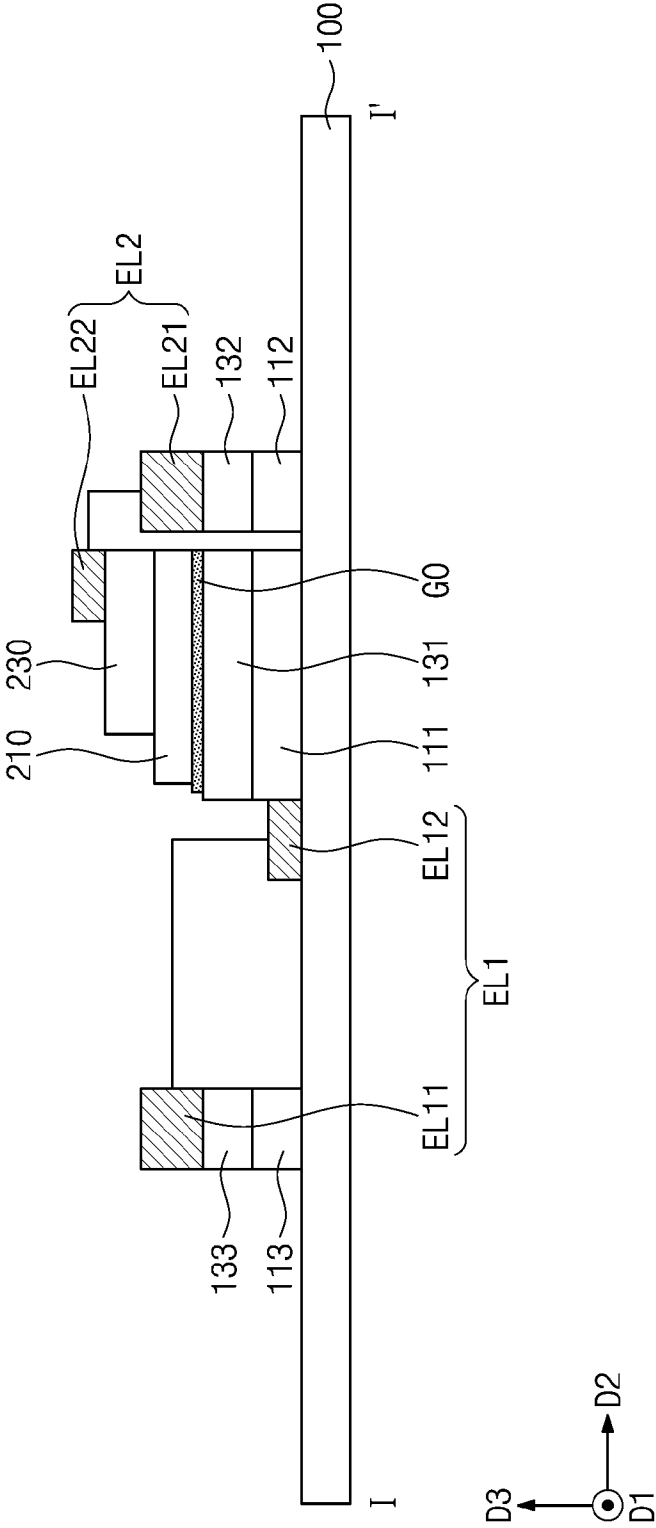


Highest occupied molecular orbital (HOMO)

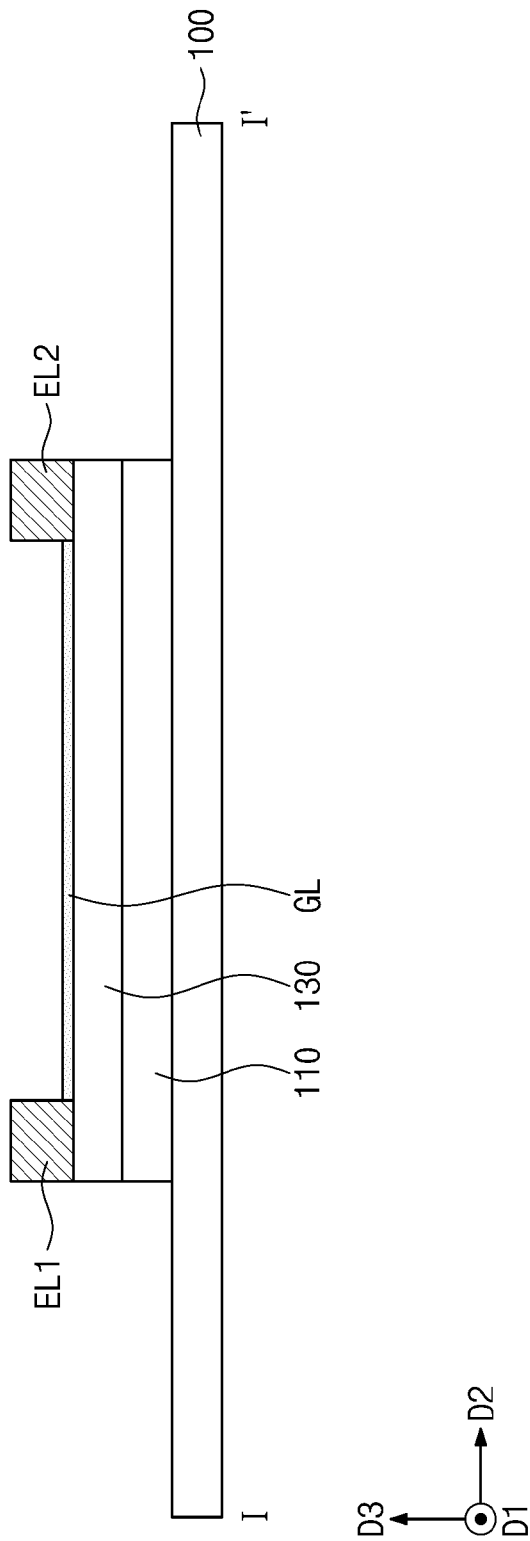
[도4c]



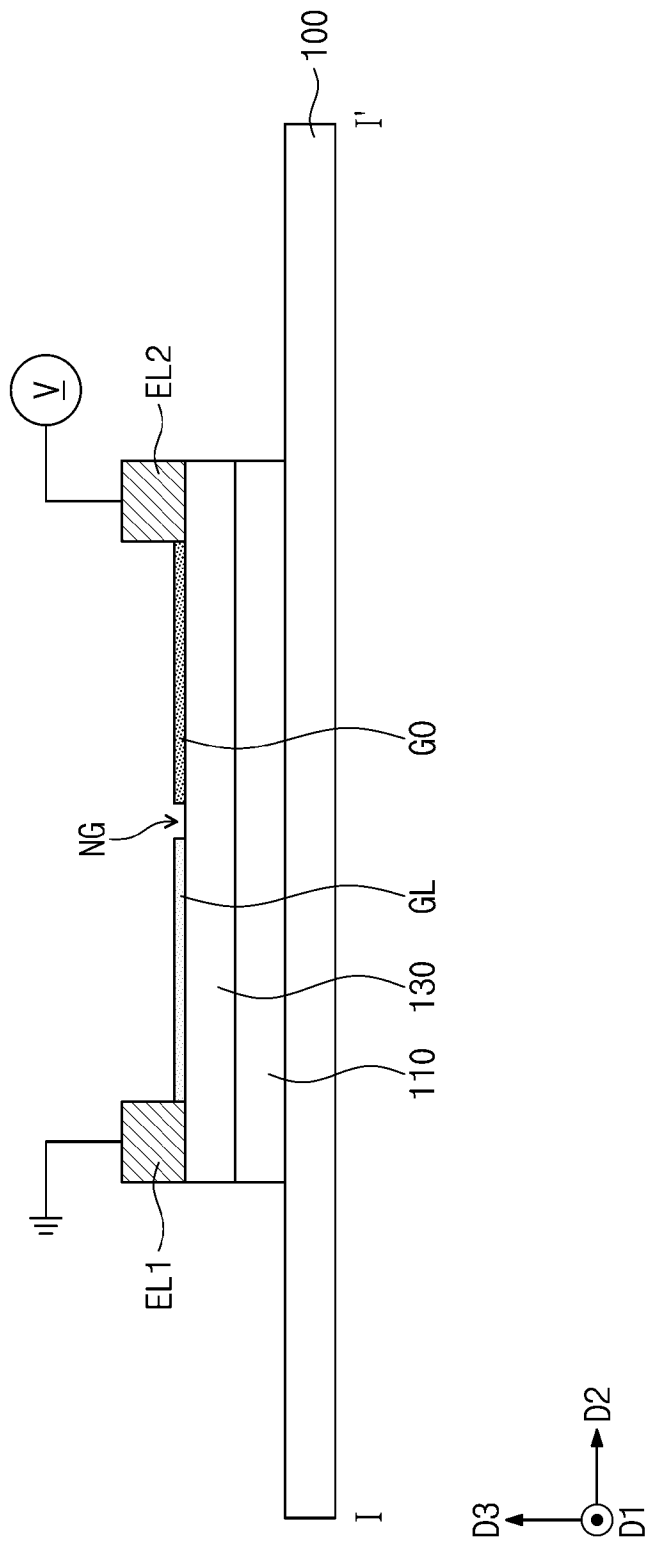
[도5b]



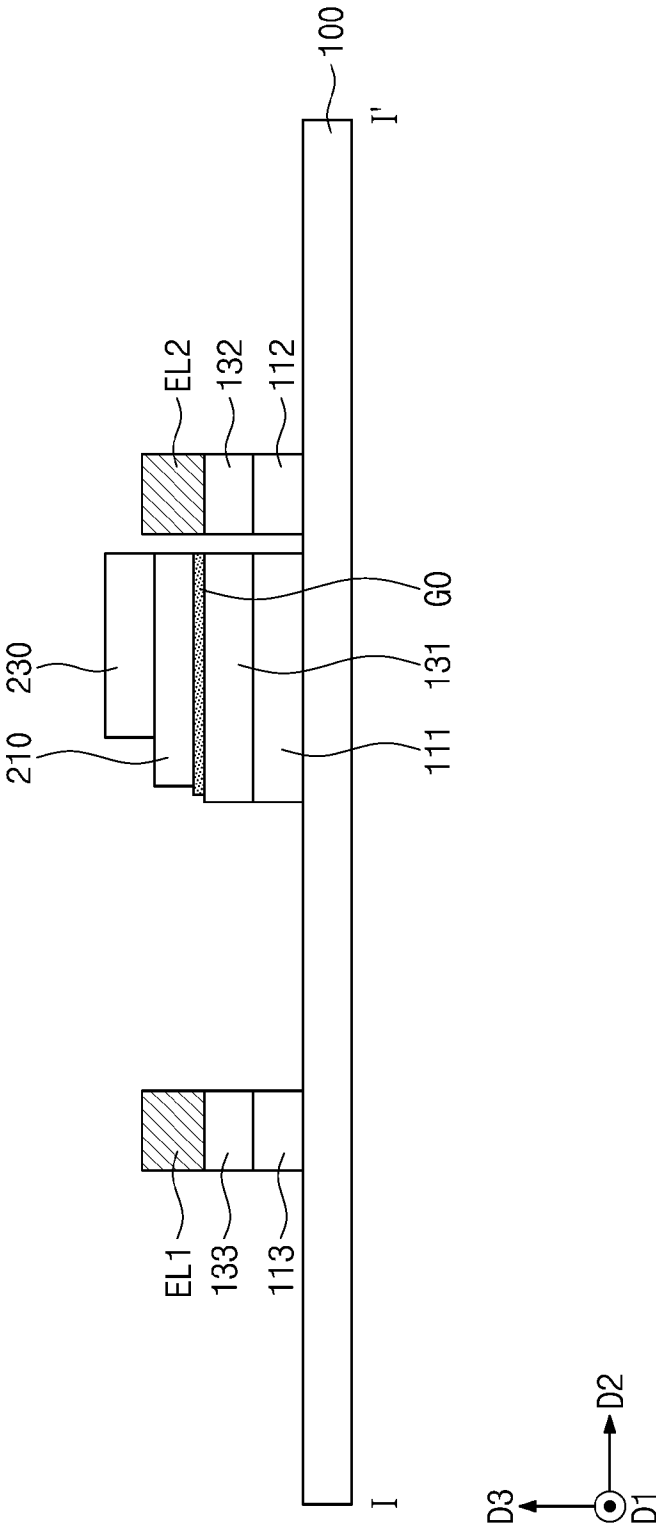
[도6a]



[E6b]



[도6c]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/014590

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L 51/50(2006.01)i; H01L 51/00(2006.01)i; H01L 51/56(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L 51/50(2006.01); C01B 31/04(2006.01); C09K 11/06(2006.01); G01T 1/20(2006.01); G01T 1/202(2006.01); H01L 33/04(2010.01); H01L 33/16(2010.01) Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models: IPC as above Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 산화 그래핀(graphene oxide), 전극(electrode), 나노 갭(nano gap), 이온화된 산소(ionized oxygen), 광원(light source), 그래핀 양자점(graphene quantum dot)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KR 10-2016-0025337 A (RESEARCH & BUSINESS FOUNDATION SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY et al.) 08 March 2016 (2016-03-08) See paragraphs [0027], [0041] and [0049]; claims 1 and 14; and figure 1.	13-16
Y		17
A		1-12,18-20
Y	KR 10-2012-0029339 A (SAMSUNG LED CO., LTD.) 26 March 2012 (2012-03-26) See paragraphs [0049]-[0050] and [0074]-[0080]; and figures 5-6 and 18-20.	17
A	KR 10-1687526 B1 (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE) 19 December 2016 (2016-12-19) See paragraphs [0049]-[0057]; and figure 3.	1-20
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 11 May 2022		Date of mailing of the international search report 13 May 2022
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208 Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/014590**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-1873627 B1 (IUCF-HYU (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY)) 03 July 2018 (2018-07-03) See paragraphs [0056]-[0067]; and figure 6.	1-20
A	KR 10-2012-0067158 A (SAMSUNG LED CO., LTD.) 25 June 2012 (2012-06-25) See paragraphs [0019]-[0030]; and figure 1.	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2021/014590

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	10-2016-0025337	A	08 March 2016	US	2016-0064681	A1	03 March 2016
KR	10-2012-0029339	A	26 March 2012	CN	102403430	A	04 April 2012
				CN	102403430	B	03 August 2016
				JP	2012-064944	A	29 March 2012
				JP	5904734	B2	20 April 2016
				KR	10-1850538	B1	20 April 2018
				US	2012-0068152	A1	22 March 2012
				US	9166099	B2	20 October 2015
KR	10-1687526	B1	19 December 2016	US	10408948	B2	10 September 2019
				US	2018-0196147	A1	12 July 2018
				WO	2017-007108	A1	12 January 2017
KR	10-1873627	B1	03 July 2018	KR	10-2017-0082680	A	17 July 2017
KR	10-2012-0067158	A	25 June 2012	None			

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) H01L 51/50(2006.01)i; H01L 51/00(2006.01)i; H01L 51/56(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) H01L 51/50(2006.01); C01B 31/04(2006.01); C09K 11/06(2006.01); G01T 1/20(2006.01); G01T 1/202(2006.01); H01L 33/04(2010.01); H01L 33/16(2010.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 산화 그래핀(graphene oxide), 전극(electrode), 나노 갭(nano gap), 이온화 된 산소(ionized oxygen), 광원(light source), 그래핀 양자점(graphene quantum dot)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	KR 10-2016-0025337 A (성균관대학교산학협력단 등) 2016.03.08 단락 [0027], [0041], [0049]; 청구항 1, 14; 및 도면 1	13-16
Y		17
A		1-12, 18-20
Y	KR 10-2012-0029339 A (삼성엘이디 주식회사) 2012.03.26 단락 [0049]-[0050], [0074]-[0080]; 및 도면 5-6, 18-20	17
A	KR 10-1687526 B1 (한국원자력연구원) 2016.12.19 단락 [0049]-[0057]; 및 도면 3	1-20
A	KR 10-1873627 B1 (한양대학교 산학협력단) 2018.07.03 단락 [0056]-[0067]; 및 도면 6	1-20
A	KR 10-2012-0067158 A (삼성엘이디 주식회사) 2012.06.25 단락 [0019]-[0030]; 및 도면 1	1-20
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2022년05월11일(11.05.2022)		국제조사보고서 발송일 2022년05월13일(13.05.2022)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 한인호 전화번호 +82-42-481-3362

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2016-0025337 A	2016/03/08	US 2016-0064681 A1	2016/03/03
KR 10-2012-0029339 A	2012/03/26	CN 102403430 A	2012/04/04
		CN 102403430 B	2016/08/03
		JP 2012-064944 A	2012/03/29
		JP 5904734 B2	2016/04/20
		KR 10-1850538 B1	2018/04/20
		US 2012-0068152 A1	2012/03/22
		US 9166099 B2	2015/10/20
KR 10-1687526 B1	2016/12/19	US 10408948 B2	2019/09/10
		US 2018-0196147 A1	2018/07/12
		WO 2017-007108 A1	2017/01/12
KR 10-1873627 B1	2018/07/03	KR 10-2017-0082680 A	2017/07/17
KR 10-2012-0067158 A	2012/06/25	없음	