(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0064362
(43) 공개일자 2025년05월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 85/10 (2023.01) *H10K 10/46* (2023.01)
H10K 71/40 (2023.01) *H10K 77/10* (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 85/113 (2023.02)
H10K 10/46 (2023.02)
(21) 출원번호 10-2023-0149976
(22) 출원일자 2023년11월02일
심사청구일자 2023년11월02일

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
이병훈
서울특별시 서대문구 이화여대8길 123, 101동 1507호 (북아현동, 힐스테이트 신촌)
박가연
경기도 평택시 지제동삭1로 91, 108동 1501호 (세교동, 힐스테이트 지제역)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

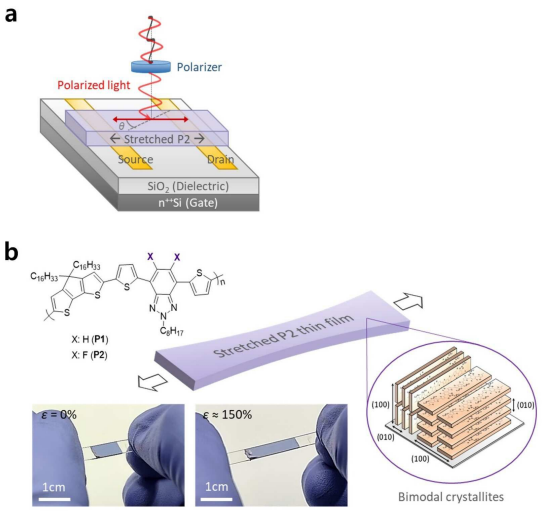
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **배향된 신축성 고분자 반도체 박막 및 이를 포함하는 유기 편광 트랜지스터**

(57) 요 약

본원은 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 유기 편광 트랜지스터에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H10K 71/40 (2023.02)
H10K 77/111 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711183671
과제번호 2022R1A4A2000835
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 집단연구지원
연구과제명 엑시톤 나노구조의 양자 물성 제어 연구실
기 여 율 7/10
과제수행기관명 이화여자대학교
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711160847
과제번호 2019R1C1C1010426
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 배향된 고분자 반도체의 전하 이동 특성 연구
기 여 율 2/10
과제수행기관명 이화여자대학교
연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711157166
과제번호 2019M3C1B8090804
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 휴먼플러스융합연구개발챌린지사업
연구과제명 모바일 플렉서블 다중생체신호 측정센서 및 머신러닝기반 수면단계분석기술 개발
기 여 율 1/10
과제수행기관명 이화여자대학교
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

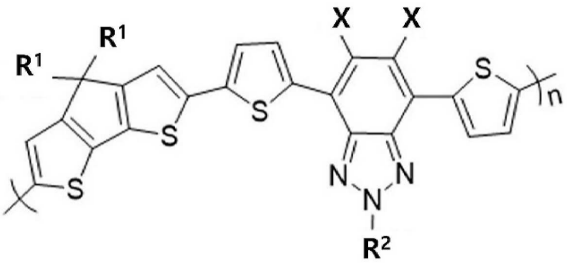
청구범위

청구항 1

하기 화학식 1로서 표시되는 고분자를 포함하는,

유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막:

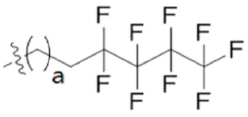
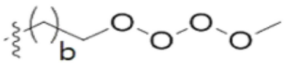
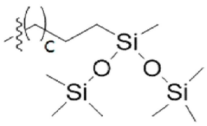
[화학식 1]



;

상기 화학식 1에서,

X는 H, F, Cl, Br, 또는 I이고,

R^1 및 R^2은, 각각 독립적으로, 탄소수 1 내지 20의 선형 또는 분지형 알킬기,  ,  , 또는  이고,

a, b, 및 c는, 각각 독립적으로, 0 내지 10의 정수이고,

n은 5 내지 100의 정수임.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 고분자는 바이모달 구조인 것인, 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 고분자는 신축성 고분자 및/또는 결정성 고분자인 것인, 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 고분자의 연신율은 0% 초과 내지 250%인 것인, 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막.

청구항 5

상기 화학식 1로서 표시되는 고분자를 열처리한 후 연신시키는 것을 포함하는,

제 1 항에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 제조방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 열처리는 50℃ 내지 500℃에서 수행되는 것인, 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 제조방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 열처리는 0 시간 초과 내지 12 시간 동안 수행되는 것인, 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 제조방법.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 고분자의 연신율은 0% 초과 내지 250%인 것인, 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 제조방법.

청구항 9

제 1 항에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막을 포함하는, 유기 편광 트랜지스터.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 이색비(dichroic ratio)는 2 내지 5인 것인, 유기 편광 트랜지스터.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막을 포함하는 배향막은 광활성층인 것인, 유기 편광 트랜지스터.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

선편광 입사 방향에 따라 광전류가 조절되는, 유기 편광 트랜지스터.

청구항 13

제 9 항에 있어서,

건식 접촉 전달법으로 제조되는, 유기 편광 트랜지스터.

청구항 14

제 9 항에 따른 유기 편광 트랜지스터를 포함하는, 소자.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

광학 보안, 의료기기, 헬스케어, 광통신, 바이오 이미징, 자율주행, 품질 검사 또는 로보틱스에 사용되는 것인, 소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본원은 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 유기 편광 트랜지스터에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 21세기 정보통신의 발달과 개인 휴대용 통신기기에 대한 욕구는 작고, 가볍고, 얇고, 편리한 정보 통신 기기를 가능하게 하는 초미세 가공, 초고집적회로를 제작할 수 있는 고성능 전기전자재료 및 신개념의 디스플레이를 가능케 하는 새로운 정보통신 재료를 필요로 하고 있다. 그 중에서도 유기 박막 트랜지스터는 휴대용 컴퓨터, 액정표시소자, 스마트 카드, 전자 태그, 호출기, 휴대전화 등의 디스플레이 구동기, 및 현금 거래 시, 인식표 등의 메모리 소자 등의 플라스틱 회로부의 중요한 구성요소로 사용될 수 있다.

[0003] 특히, 유기 반도체를 이용한 유기 박막 트랜지스터는 지금까지의 비정질 실리콘 및 폴리 실리콘을 이용한 박막 트랜지스터에 비해 제조공정이 간단하고, 저비용으로 생산할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 플렉시블 디스플레이의 구현을 위한 플라스틱 기판들과 호환성이 뛰어나다는 장점으로 인해, 이를 중심으로 한 유기 박막 트랜지스터의 연구가 활발히 진행되고 있다.

[0004] 편광은 난해하게 반사와 굴절을 거듭하는 자연광이 편광자를 통하여 한 방향으로만 투과되어 특정한 방향으로만 진동하는 빛의 파동을 말하는 것으로서, 편광 센서는 헬스케어, 자율주행, 광학보안 등 다양한 분야에서 필요로 하는 소자 기술이다. 다양한 소자 구조 중 트랜지스터 기반의 편광 트랜지스터는 다이오드와 비교하여 낮은 암전류 구현이 가능하여 높은 감도를 기대할 수 있다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0005] (비특허문헌 0001) Donghai Zhang et al., "Enhanced polarization sensitivity by plasmonic-cavity in graphene phototransistors", Volume 126, Issue 7, J. Appl. Phys. 126, 074301.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본원은 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막, 이의 제조방법, 및 이를 포함하는 유기 편광 트랜지스터를 제공하

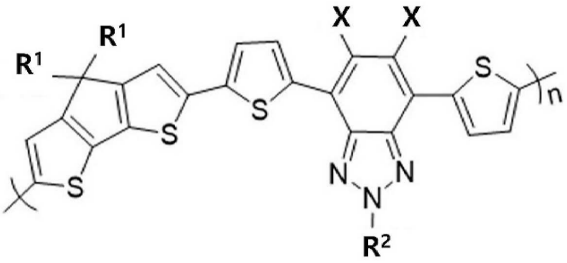
고자 한다.

[0007] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본원의 제 1 측면은, 하기 화학식 1로서 표시되는 고분자를 포함하는, 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막을 제공한다:

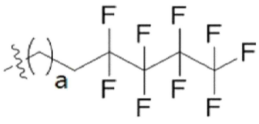
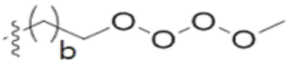
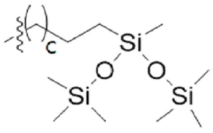
[0009] [화학식 1]



[0010] ;

[0011] 상기 화학식 1에서,

[0012] X는 H, F, Cl, Br, 또는 I이고,

[0013] R^1 및 R^2은, 각각 독립적으로, 탄소수 1 내지 20의 선형 또는 분지형 알킬기,  ,  , 또는  이고,

[0014] a, b, 및 c는, 각각 독립적으로, 0 내지 10의 정수이고,

[0015] n은 5 내지 100의 정수임.

[0016] 본원의 제 2 측면은, 상기 화학식 1로서 표시되는 고분자를 열처리하고 연신시키는 것을 포함하는, 제 1 측면에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 제조방법을 제공한다.

[0017] 본원의 제 3 측면은, 제 1 측면에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막을 포함하는, 유기 편광 트랜지스터를 제공한다.

[0018] 본원의 제 4 측면은, 제 3 측면에 따른 유기 편광 트랜지스터를 포함하는, 소자를 제공한다.

발명의 효과

[0019] 본원의 구현예들에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막은 높은 신축성 및 전하 이동도를 갖는 것일 수 있다.

[0020] 본원의 구현예들에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막은 단축 연신 후 높은 광학적 이색비를 보이며 트랜지스터에 적용시 선편광 입사 방향에 따라 광전류가 조절되는 것일 수 있다.

[0021] 본원의 구현예들에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막은 기계적 신축성이 우수하여 최대 약 250%까지 연신되어 이색비(dichroic ratio)가 약 4를 나타낼 수 있다.

[0022] 본원의 구현예들에 따른 유기 편광 트랜지스터는, 종래의 무기물 기반 편광 트랜지스터와 비교하여, 최대 약 8에 달하는 광전류비(고분자 반도체 연신 방향과 편광의 입사 방향이 수직인 경우의 광전류 대비 평행한 경우의 광전류 비율)를 나타낼 수 있다.

[0023] 본원의 구현예들에 따른 유기 편광 트랜지스터는 제조 공정이 간단하고 유연한 유기 전자소자를 사용함으로써 다양한 산업 분야에서 활용될 수 있다.

[0024] 본원의 구현예들에 따른 유기 편광 트랜지스터는 오프(off) 상태에서 암전류가 굉장히 작아 빠른 응답속도와 낮은 소비전력을 나타낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1의 a 및 b은, 본원의 일 실시예에 있어서, 신축성 및 결정성을 갖는 고분자를 단축으로 연신 시킨 필름을 포함하는 유기 편광 트랜지스터; 및 상기 고분자의 화학식 및 구조의 모식도로서, 도 1의 P1은 폴리(4-(5-(4,4-다이헥사데실-4H-사이클로펜타[1,2-b:5,4-b″]다이싸이오펜-2-일)싸이오펜-2-일)-2-옥틸-7-(싸이오펜-2-일)-2H-벤조[d][1,2,3]트리아졸) (poly(4-(5-(4,4-dihexadecyl-4H-cyclopenta[1,2-b:5,4-b″]dithiophen-2-yl)thiophen-2-yl)-2-octyl-7-(thiophen-2-yl)-2H-benzo[d][1,2,3]triazole; PCDTBTA)이며, P2는 폴리(4-(5-(4,4-다이헥사데실-4H-사이클로펜타[1,2-b:5,4-b']다이싸이오펜-2-일)싸이오펜-2-일)-5,6-다이플루오로-2-옥틸-7-(싸이오펜-2-일)-2H-벤조[d][1,2,3]트리아졸) (poly(4-(5-(4,4-dihexadecyl-4H-cyclopenta[1,2-b:5,4-b']dithiophen-2-yl)thiophen-2-yl)-5,6-difluoro-2-octyl-7-(thiophen-2-yl)-2H-benzo[d][1,2,3]triazole; PCDTFBTA)이다.

도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, P1 및 P2 고분자 필름의 연신율(0%, 50%, 100%, 150%, 및 200%)에 따른 표면 광학 현미경 이미지이다.

도 3은, 본원의 일 실시예에 있어서, 열처리 전후의 P1 및 P2 고분자의 균형 발생 변형의 평균값 및 표준편차 그래프이다.

도 4는, 본원의 일 실시예에 있어서, P1 및 P2 고분자 필름 연신(100% 및 200%) 전후의 흡광도 그래프이다.

도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, 635 nm 파장의 빛에서의 연신율(0%, 50%, 100%, 150%, 및 200%)에 따른 P1 및 P2 고분자의 이색비(dichroic ratio) 그래프이다.

도 6의 a 및 b은, 본원의 일 실시예에 있어서, 각각, 스핀-코팅한 P1 및 P2 고분자 필름을 사용하여 제조된 전계효과 트랜지스터의 전달 특성 곡선이다.

도 7의 a 및 b는, 본원의 일 실시예에 있어서, 각각, 스핀-코팅한 P1 및 P2 고분자 필름을 사용하여 제조된 전계효과 트랜지스터의 출력 특성 곡선이다.

도 8의 a 내지 d은, 본원의 일 실시예에 있어서, 스핀-코팅한 P1 및 P2 고분자 필름을 사용하여 제조된 광트랜지스터의 광반응성(photoresponsitivity; R), 광민감성(photosensitivity; P), 외부 양자 효율(external quantum efficiency; EQE) 및 특정 검출도(specific detectivity; D^*) 그래프이다.

도 9의 a 및 b는, 본원의 일 실시예에 있어서, 각각, 스핀-코팅한 P1 및 P2 고분자 필름을 사용하여 제조된 광트랜지스터의 과도 응답 그래프이다.

도 10는, 본원의 일 실시예에 있어서, 스핀-코팅한 P1 및 P2 고분자 필름을 사용하여 제조된 광트랜지스터의 광량에 따른 표준화한 반응 시간 그래프이다.

도 11는, 본원의 일 실시예에 있어서, 건식 접촉 전달법으로 P2 고분자를 포함하는 유기 편광 트랜지스터를 제조하는 방법을 나타내는 개략도이다.

도 12는, 본원의 일 실시예에 있어서, 건식 접촉 전달법을 이용하여 제조된 유기 편광 트랜지스터의 전달 특성 곡선이다.

도 13는, 본원의 일 실시예에 있어서, 건식 접촉 전달법을 이용하여 제조된 유기 편광 트랜지스터의 성능 지수(R 값 및 P 값) 그래프이다.

도 14는, 본원의 일 실시예에 있어서, 건식 접촉 전달법을 이용하여 제조된 유기 편광 트랜지스터의 성능 지수(EQE 및 D^*) 그래프이다.

도 15는, 본원의 일 실시예에 있어서, 건식 접촉 전달법을 이용하여 제조된 유기 편광 트랜지스터의 각도에 따른 광전류 그래프이다.

도 16는, 본원의 일 실시예에 있어서, 건식 접촉 전달법을 이용하여 제조된 유기 편광 트랜지스터의 과도 응답 그래프이다.

도 17는, 본원의 일 실시예에 있어서, 건식 접촉 전달법을 이용하여 제조된 유기 편광 트랜지스터의 표준화된 과도 응답 그래프이다.

도 18는, 본원의 일 실시예에 있어서, P2 고분자 필름의 연신율에 따른 유기 편광 트랜지스터의 반응 시간 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0027] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.

[0028] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.

[0029] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0030] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.

[0031] 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 “~ 하는 단계” 또는 “~의 단계”는 “~를 위한 단계”를 의미하지 않는다.

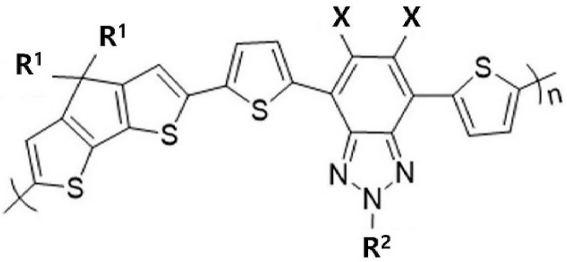
[0032] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합(들)"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.

[0033] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.

[0035] 이하, 본원의 구현예를 상세히 설명하였으나, 본원이 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0037] 본원의 제 1 측면은, 하기 화학식 1로서 표시되는 고분자를 포함하는, 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막을 제공한다:

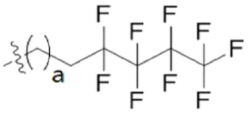
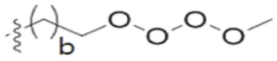
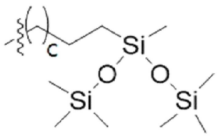
[0038] [화학식 1]



[0039] ;

[0040] 상기 화학식 1에서,

[0041] X는 H, F, Cl, Br, 또는 I이고,

[0042] R^1 및 R^2은, 각각 독립적으로, 탄소수 1 내지 20의 선형 또는 분지형 알킬기,  ,  , 또는  이고,

[0043] a, b, 및 c는, 각각 독립적으로, 0 내지 10의 정수이고,

[0044] n은 5 내지 100의 정수임.

[0045] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자는 폴리(4-(5-(4,4-다이헥사데실-4H-사이클로펜타[1,2-b:5,4-b′]다이싸이오펜-2-일)싸이오펜-2-일)-2-옥틸-7-(싸이오펜-2-일)-2H-벤조[d][1,2,3]트리아졸) (poly(4-(5-(4,4-dihexadecyl-4H-cyclopenta[1,2-b:5,4-b′]dithiophen-2-yl)thiophen-2-yl)-2-octyl-7-(thiophen-2-yl)-2H-benzo[d][1,2,3]triazole; PCDTBTA); 및/또는 폴리(4-(5-(4,4-다이헥사데실-4H-사이클로펜타[1,2-b:5,4-b']다이싸이오펜-2-일)싸이오펜-2-일)-5,6-다이플루오로-2-옥틸-7-(싸이오펜-2-일)-2H-벤조[d][1,2,3]트리아졸) (poly(4-(5-(4,4-dihexadecyl-4H-cyclopenta[1,2-b:5,4-b']dithiophen-2-yl)thiophen-2-yl)-5,6-difluoro-2-octyl-7-(thiophen-2-yl)-2H-benzo[d][1,2,3]triazole; PCDTFBTA)일 수 있다.

[0046] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자는 바이모달 구조인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자는 엣지-온(edge-on) 및 페이스-온(face-on) 결정구조가 동시에 존재하는 구조인 것일 수 있다.

[0047] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자는 신축성 고분자 및/또는 결정성 고분자인 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0048] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 0% 초과 내지 약 250%인 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 0% 초과 내지 약 250%, 0% 초과 내지 약 210%, 0% 초과 내지 약 170%, 0% 초과 내지 약 130%, 0% 초과 내지 약 90%, 0% 초과 내지 약 50%, 약 40% 내지 약 250%, 약 40% 내지 약 210%, 약 40% 내지 약 170%, 약 40% 내지 약 130%, 약 40% 내지 약 90%, 약 80% 내지 약 250%, 약 80% 내지 약 210%, 약 80% 내지 약 170%, 약 80% 내지 약 130%, 약 120% 내지 약 250%, 약 120% 내지 약 210%, 약 120% 내지 약 170%, 약 160% 내지 약 250%, 또는 약 160% 내지 약 210%인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 약 50%인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 약 100%인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 약 150%인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 약 200%인 것일 수 있다.

[0050] 본원의 제 2 측면은, 상기 화학식 1로서 표시되는 고분자를 열처리한 후 연신시키는 것을 포함하는, 제 1 측면에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 제조방법을 제공한다.

[0051] 본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 2 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있다.

[0052] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자는 열처리 후 바이모달 구조를 갖는 것일 수 있다.

[0053] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자는 열처리 후 신축성 및/또는 결정성을 갖는 것일 수 있다.

[0054] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 열처리는 약 50℃ 내지 약 500℃에서 수행되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 열처리는 약 50℃ 내지 약 500℃, 약 50℃ 내지 약 450℃, 약 50℃ 내지 약 400℃, 약 50℃ 내지 약 350℃, 약 100℃ 내지 약 500℃, 약 100℃ 내지 약 450℃, 약 100℃ 내지 약 400℃, 약 100℃ 내지 약 350℃, 약 150℃ 내지 약 500℃, 약 150℃ 내지 약 450℃, 약 150℃ 내지 약 400℃, 약 150℃ 내지 약 350℃, 약 200℃ 내지 약 500℃, 약 200℃ 내지 약 450℃, 약 200℃ 내지 약 400℃, 약 200℃ 내지 약 350℃, 약 250℃ 내지 약 500℃, 약 300℃ 내지 약 450℃, 약 300℃ 내지 약 400℃, 또는 약 300℃ 내지 약 350℃에서 수행되는 것일 수 있다.

[0055] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 열처리는 0 시간 초과 내지 약 12 시간 동안 수행되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 열처리는 0 시간 초과 내지 약 12시간, 0 시간 초과 내지 약 11시간, 0 시간 초과 내지 약 10 시간, 0 시간 초과 내지 약 9 시간, 0 시간 초과 내지 약 8 시간, 0 시간 초과 내지 약 7 시간, 0 시간 초과 내지 약 6 시간, 0 시간 초과 내지 약 5 시간, 0 시간 초과 내지 약 4 시간, 0 시간 초과 내지 약 3 시간, 0 시간 초과 내지 약 2 시간, 또는 0 시간 초과 내지 약 1 시간 동안 수행되는 것일 수 있다.

[0056] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 0% 초과 내지 약 250%인 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 0% 초과 내지 약 250%, 0% 초과 내지 약 210%, 0% 초과 내지 약 170%, 0% 초과 내지 약 130%, 0% 초과 내지 약 90%, 0% 초과 내지 약 50%, 약 40% 내지 약 250%, 약 40% 내지 약 210%, 약 40% 내지 약 170%, 약 40% 내지 약 130%, 약 40% 내지 약 90%, 약 80% 내지 약 250%, 약 80% 내지 약 210%, 약 80% 내지 약 170%, 약 80% 내지 약 130%, 약 120% 내지 약 250%, 약 120% 내지 약 210%, 약 120% 내지 약 170%, 약 160% 내지 약 250%, 또는 약 160% 내지 약 210%인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 약 50%인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 약 100%인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 약 150%인 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자의 연신율은 약 200%인 것일 수 있다.

[0057] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막은 스핀-코팅 방법으로 제조되는 것일 수 있다.

[0059] 본원의 제 3 측면은, 제 1 측면에 따른 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막을 포함하는, 유기 편광 트랜지스터를 제공한다.

[0060] 본원의 제 1 측면 및 제 2 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면 및 제 2 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 3 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있다.

[0061] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유기 편광 트랜지스터는 기판, 상기 기판 상에 형성된 소스 전극 및 드레인 전극, 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 상에 형성된 상기 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막을 포함하는 것일 수 있다.

[0062] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기판은 실리콘, 유리, 및 플라스틱에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기판은 실리콘 기반일 수 있다. 예를 들어, 상기 기판은 $n^{++}Si/SiO_2$ 일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기판은 게이트 및 게이트 유전체 층의 역할을 하는 것일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 기판은 게이트 및 게이트 유전체 층의 역할을 하는 금속 층 및 유전체 층으로 구성되어 있는 경우, 제한되지 않고 사용될 수 있다.

[0063] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 소스 전극은 금(Au), 은(Ag), 크롬(Cr), 티타늄(Ti), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 탄탈륨 (Ta), 몰리브데늄(Mo), 텅스텐(W), 니켈(Ni), 팔라듐(Pd), 칼슘(Ca), 바륨(Ba), 및 백금(Pt)에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 소스 전극은 니켈/금일 수 있다. 상기 니켈/금에 포함되는 니켈은 상기 니켈/금에 포함되는 금과 상기 기판의 표면과의 접착력을 향상시키는 역할을 할 수 있다.

[0064] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 드레인 전극은 금(Au), 은(Ag), 크롬(Cr), 티타늄(Ti), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 탄탈륨 (Ta), 몰리브데늄(Mo), 텅스텐(W), 니켈(Ni), 팔라듐(Pd), 칼슘(Ca), 바륨(Ba), 및 백금(Pt)에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 드레인 전극은 금일 수 있다.

[0065] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 이색비(dichroic ratio)는 약 2 내지 약 5인 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 이색비는 약 2 내지 약 5 또는 약 3 내지 약 5일 수 있다. 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막의 이색비는 약 4일 수 있다.

[0066] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유기 편광 트랜지스터용 고분자 박막을 포함하는 배향막은 광활성층인 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0067] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유기 편광 트랜지스터는 선편광 입사 방향에 따라 광전류가 조절되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0068] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 유기 편광 트랜지스터는 건식 접촉 전달법으로 제조되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0070] 본원의 제 4 측면은, 제 3 측면에 따른 유기 편광 트랜지스터를 포함하는, 소자를 제공한다.

[0071] 본원의 제 1 측면, 제 2 측면 및 제 3 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면, 제 2 측면 및 제 3 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 4 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있다.

[0072] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 소자는 광학 보안, 의료기기, 헬스케어, 광통신, 바이오 이미징, 자율주행, 품질 검사 또는 로보틱스에 사용되는 것일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0074] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하지만, 하기 실시예는 본원의 이해를 돕기 위하여 예시하는 것일 뿐, 본원의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0076] **[실시예]**

[0077] **1. 기판 처리**

[0078] 포토리소그래피 및 전자 빔 증발법(E-beam evaporation)을 사용하여 n-타입 Si(500 μm)/SiO_2(300 nm) 기판 표면에 니켈(5 nm)/금(50 nm) 소스 및 드레인 전극을 제작하였다. 채널 길이와 폭은 각각 10 μm 및 1,000 μm이다. Si/SiO_2 기판을 아세톤과 이소프로필 알코올을 사용하여 각각 10 분 동안 세척한 후, 100℃에서 오븐에서 하룻밤 동안 건조시켰다. 건조된 기판은 10 분 동안 UV 오존 처리 후, 80℃에서 20 분 동안 톨루엔을 사용하여 10 μL mL^{-1}의 n-DTS(dithiasuccinoyl) 용액으로 SiO_2 표면에 자기조립단층(self-assembled monolayer; SAM)을 형성하였다.

[0079] **2. 소자 제조**

[0080] 고분자로서 폴리(4-(5-(4,4-다이헥사데실-4H-사이클로펜타[1,2-b:5,4-b']다이싸이오펜-2-일)싸이오펜-2-일)-5,6-다이플루오로-2-옥틸-7-(싸이오펜-2-일)-2H-벤조[d][1,2,3]트리아졸) (poly(4-(5-(4,4-dihexadecyl-4H-cyclopenta[1,2-b:5,4-b']dithiophen-2-yl)thiophen-2-yl)-5,6-difluoro-2-octyl-7-(thiophen-2-yl)-2H-benzo[d][1,2,3]triazole) (PCDTFBTA); P2)을 사용하여 아래 제조 과정을 수행하였다.

[0081] 톨루엔을 용매로 사용하여 제조된 농도 10 mg/mL의 P2 용액으로 800 rpm으로 1 분 동안 스핀 코팅한 후, 310℃에서 3 분 동안 열처리하였다. PCDTFBTA는 열처리 후 바이모달(bimodal) 구조가 되며 신축성 및 결정성을 갖게 된다. 열처리된 필름은 PDMS 기판으로 이전되어 다양한 스트레인(strain)으로 연신한 후 건식 접촉 전달법을 사용하여 SAM 층이 형성된 Si/SiO_2 기판 위로 이동시켜 연신된 고분자 필름을 포함하는 유기 편광 트랜지스터를 제조하였다.

[0082] **[비교예]**

[0083] 스핀 코팅된 필름으로 제작된 일반적인 광트랜지스터의 경우, 농도가 5 mg mL^{-1}인 고분자 용액을 SAM 층이 형성된 Si/SiO_2 기판 위에 1 분 동안 2,000 rpm으로 스핀 코팅하였다. 상기 고분자로서 폴리(4-(5-(4,4-다이헥사데실-4H-사이클로펜타[1,2-b:5,4-b″]다이싸이오펜-2-일)싸이오펜-2-일)-2-옥틸-7-(싸이오펜-2-일)-2H-벤조[d][1,2,3]트리아졸) poly(4-(5-(4,4-dihexadecyl-4H-cyclopenta[1,2-b:5,4-b″]dithiophen-2-yl)thiophen-2-yl)-2-octyl-7-(thiophen-2-yl)-2H-benzo[d][1,2,3]triazole; (PCDTBTA); P1)을 사용하였다. PCDTBTA 필름의 경우 150℃에서 3 분 동안 열처리하였다.

[0084] **[실험예]**

[0085] 질소 조건으로 이루어진 글러브 박스에서 반도체 파라미터 분석기 및 광트랜지스터 측정 소프트웨어를 사용하여 성능 분석을 수행하였으며, 광 조사 시 635 nm 레이저를 사용하였다. 유기 편광 트랜지스터의 경우, 편광판을 추가적으로 사용하였으며, 측정 시 광량은 8.4 mW/cm^2이었다.

[0086] PCDTBTA 및 PCDTFBTA 필름은, 각각, 150℃ 및 310℃에서 열처리하였을 때, 최고의 전계효과 트랜지스터의 성능(전달 및 특성 출력 곡선)을 나타내었다.

[0087] 도 2 및 3를 참조하면, PCDTFBTA는 열처리 후 200% 이상 늘어날 수 있음을 확인하였다. 도 4 및 5를 참조하면, 자외선-가시선-근적외선 분광광도계와 편광판을 사용하여 편광 각도별 흡광도를 측정하였으며, 그 결과, PCDTBTA의 이색비는 약 2 이하였으나, PCDTFBTA는 약 4에 달하는 높은 이색비를 나타내어 편광에 대해 엑시톤 생성이 다를 수 있음을 확인하였다.

[0088] 도 6 및 7을 참조하면, PCDTFBTA 필름을 포함하는 광 트랜지스터는 광량의 증가에 따라 광전류가 증가하는 양상을 보였으며, 상기 광 트랜지스터가 정상적으로 구동되는 것을 확인하였다.

[0089] 도 8을 참조하면, PCDTFBTA의 높은 결정성과 전하 이동도로 인해 이상적인 엑시톤의 형성, 분리 및 전하 캐리어의 이동이 가능하여 광반응성(photoresponsivity; R), 광민감성(photosensitivity; P), 외부 양자 효율(external quantum efficiency; EQE), 및 특정 검출도(specific detectivity; D^*)에서 의미 있는 수치를 나타내었다. 또한, 도 9 및 10을 참조하면, 과도 응답에서 주기의 반복에도 안정적으로 구동되어 광 센서로서의 적용 가능성을 확인하였다.

[0090] 건식 접촉 전달법을 사용하여 연신된 PCDTFBTA 필름을 포함하는 편광 감지 유기 광트랜지스터를 제조하였다 (도 11 참조).

[0091] 도 12 내지 15를 참조하면, 고분자 필름의 연신 방향(고분자의 배향 단축)에 대해 입사하는 빛의 각도가 평행할 때에 비해 수직일 때, 더 낮은 광전류의 생성 및 광트랜지스터 성능을 나타내었다.

[0092] 도 16 내지 18을 참조하면, 과도 응답에서도 빛의 각도가 고분자 필름의 연신 방향에 대해 평행할 때에 비해 수직일 때 낮은 광전류 생성 강도와 느린 반응 시간을 보여 편광 감지 센서로의 적용 가능성을 확인하였다.

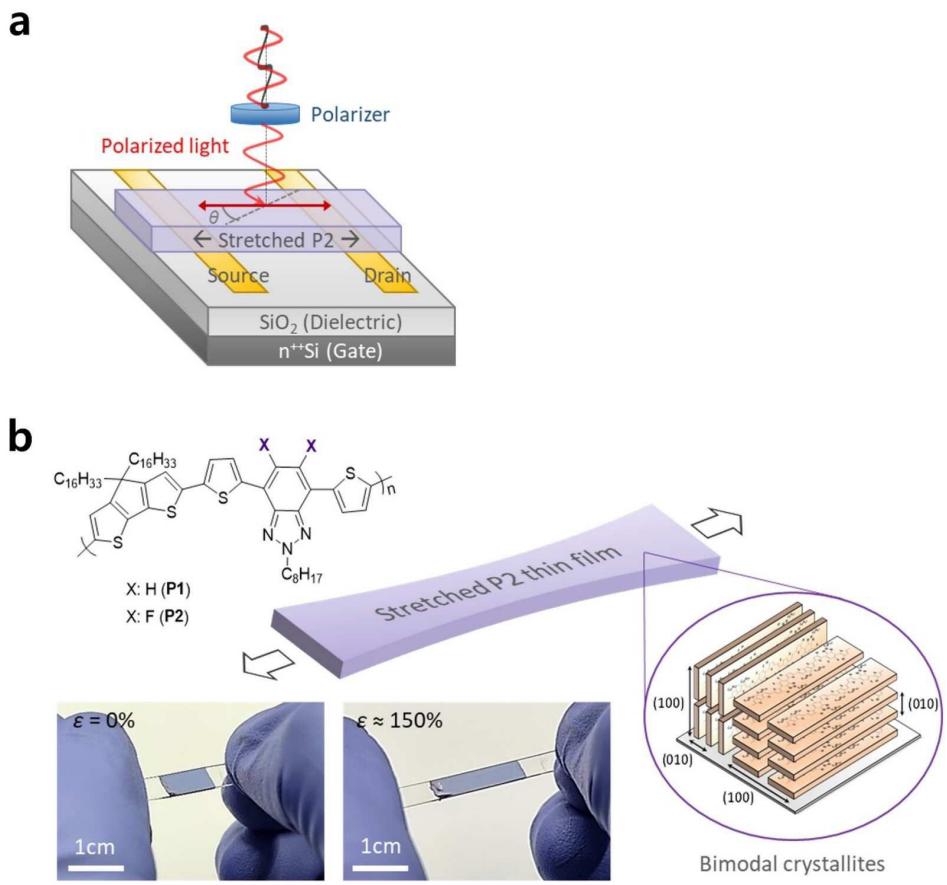
[0093] 본 실시예를 통하여 제조된 유기 편광 트랜지스터는 종래의 무기물 기반 편광 감지 트랜지스터 대비 약 8의 높은 광전류비(고분자 반도체 연신 방향과 편광의 입사 방향이 수직인 경우의 광전류 대비 평행한 경우의 광전류 비율)를 나타내었다.

[0095] 전술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수도 있다.

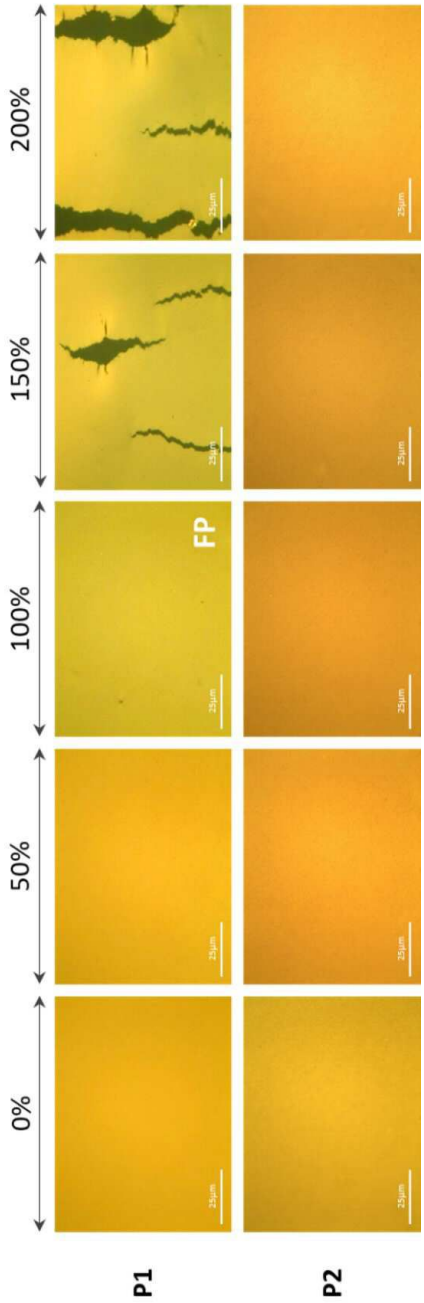
[0096] 본원의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위, 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본원의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

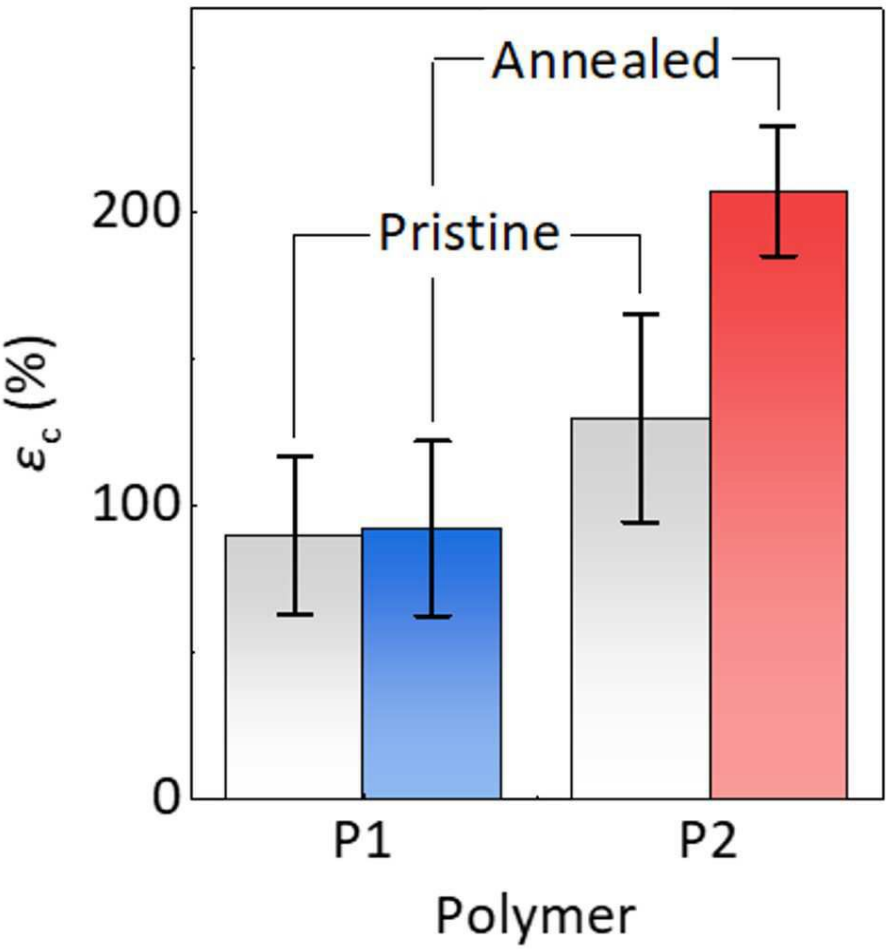
도면1


a
Polarizer
Polarized light
θ
Stretched P2
Source
Drain
SiO2 (Dielectric)
n++Si (Gate)
b
C16H33
C16H33
X
X
S
n
N
N
N
C8H17
X: H (P1)
X: F (P2)
Stretched P2 thin film
ε = 0%
ε ≈ 150%
1cm
1cm
(100)
(010)
(010)
(100)
Bimodal crystallites

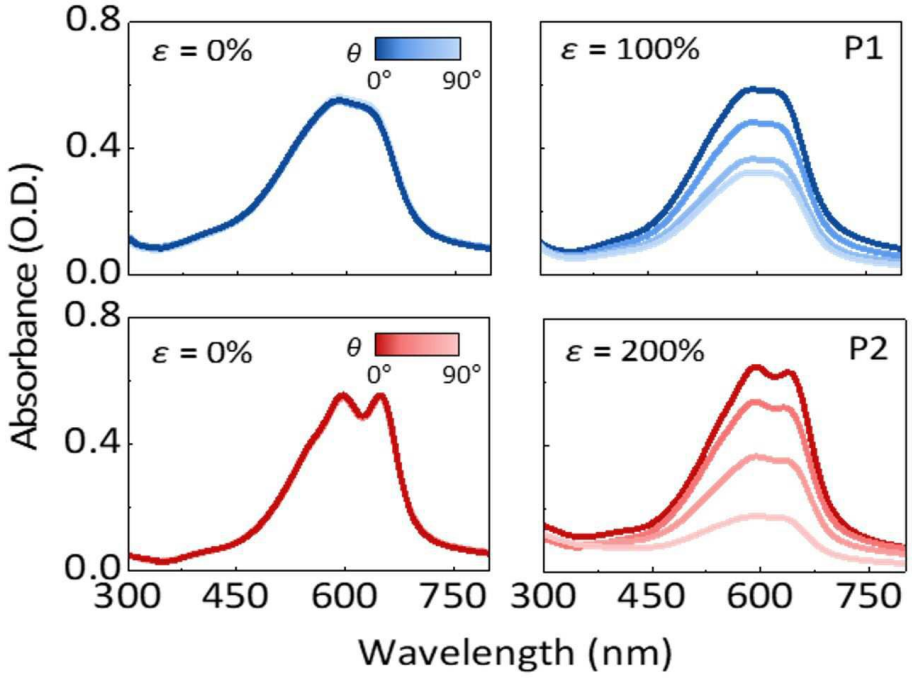
도면2



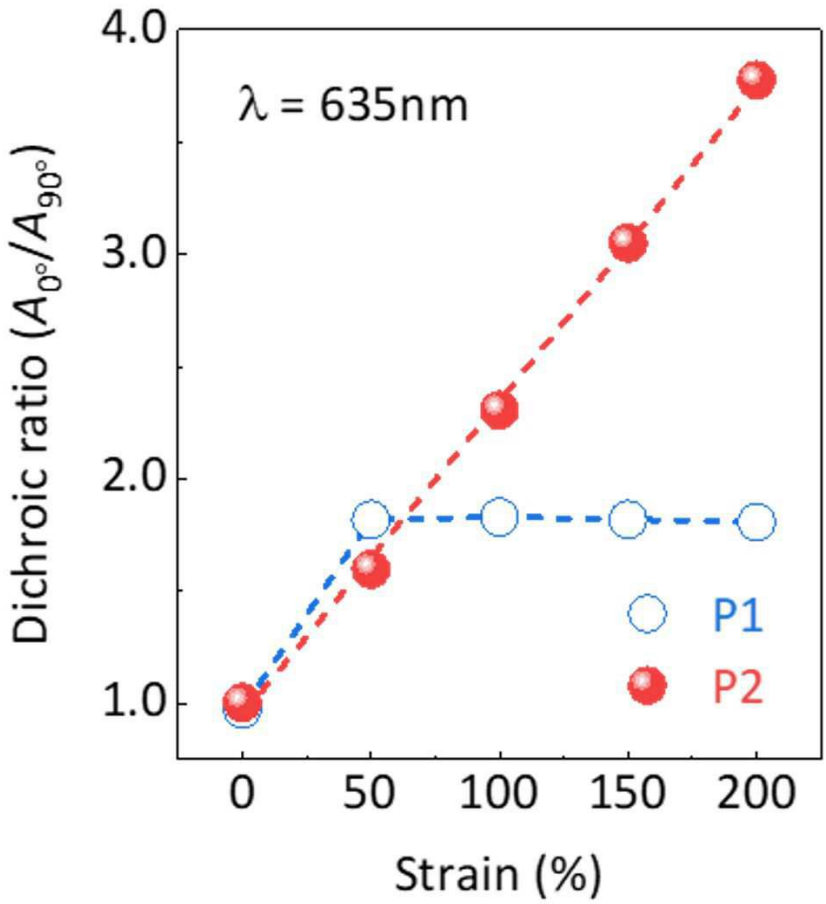
도면3


Annealed
Pristine
200
100
0
ε_c (%)
P1
P2
Polymer

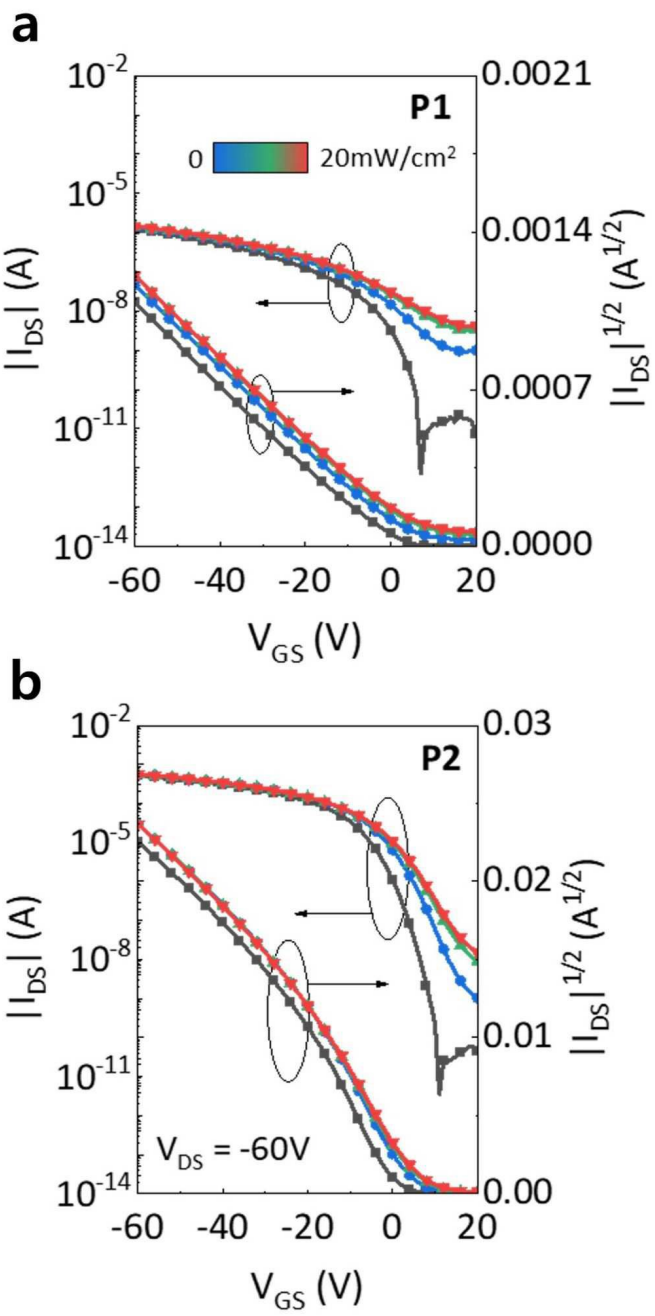
도면4


0.8
0.4
0.0
ε = 0%
θ
0°
90°
ε = 100%
P1
ε = 0%
θ
0°
90°
ε = 200%
P2
Absorbance (O.D.)
300
450
600
750
Wavelength (nm)

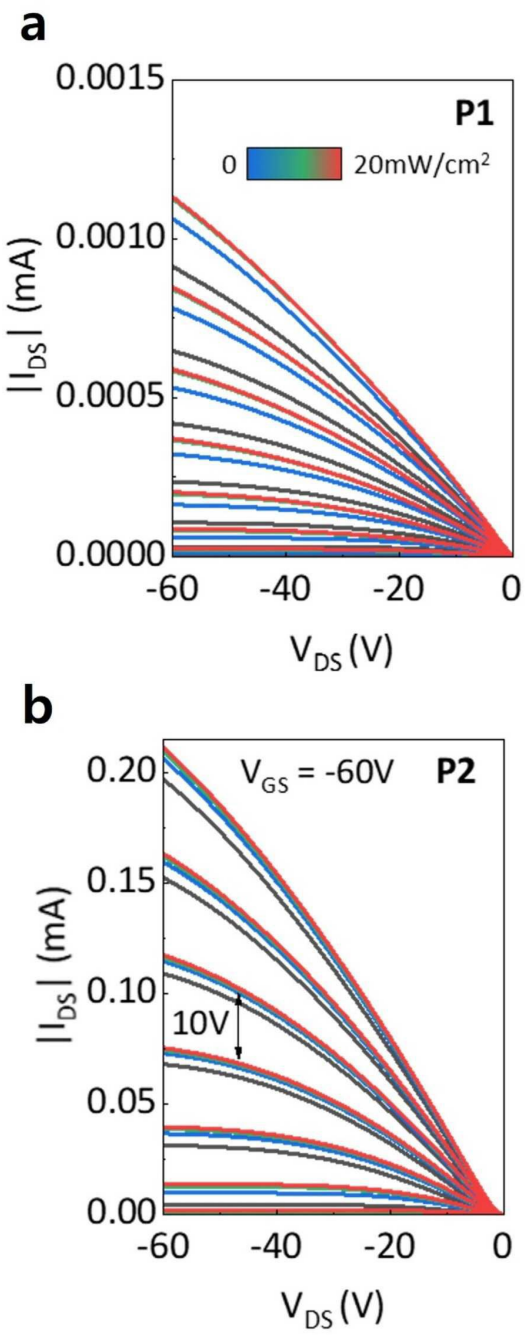
도면5


λ = 635nm
Dichroic ratio ($A_{0°}/A_{90°}$)
4.0
3.0
2.0
1.0
0
50
100
150
200
Strain (%)
P1
P2

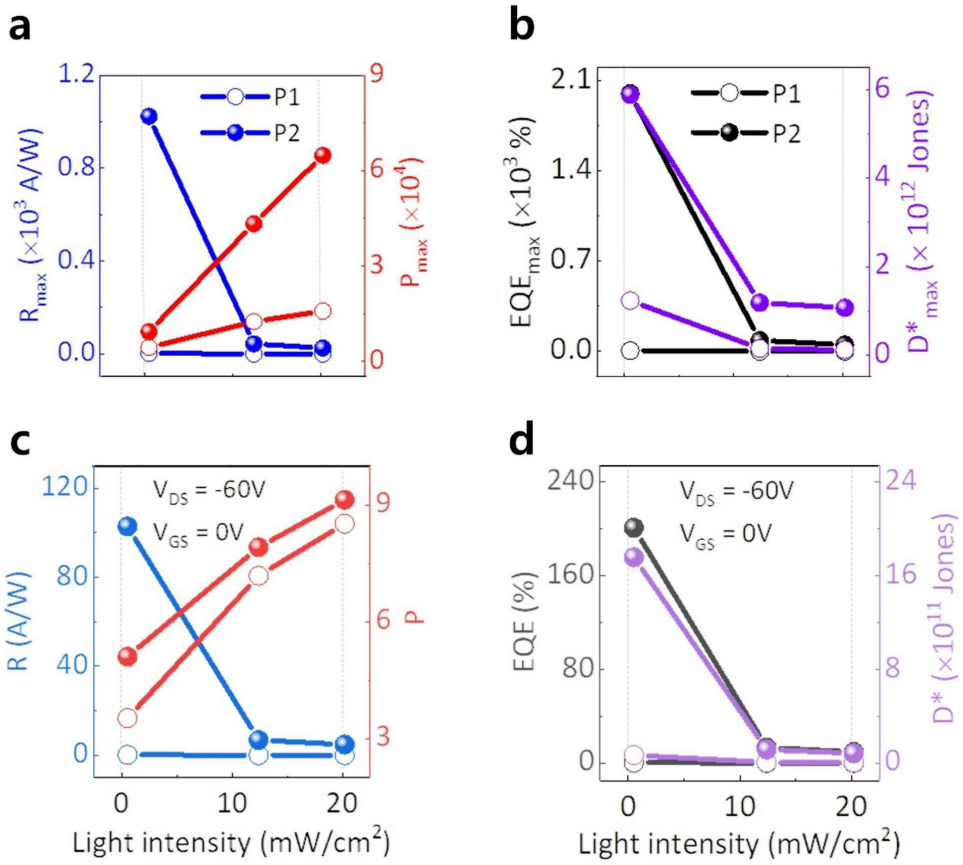
도면6


a
P1
0
20mW/cm²
10^{-2}
10^{-5}
10^{-8}
10^{-11}
10^{-14}
$|I_{DS}|$ (A)
0.0021
0.0014
0.0007
0.0000
$|I_{DS}|^{1/2}$ ($A^{1/2}$)
-60 -40 -20 0 20
V_{GS} (V)
b
P2
V_{DS} = -60V
0.03
0.02
0.01
0.00

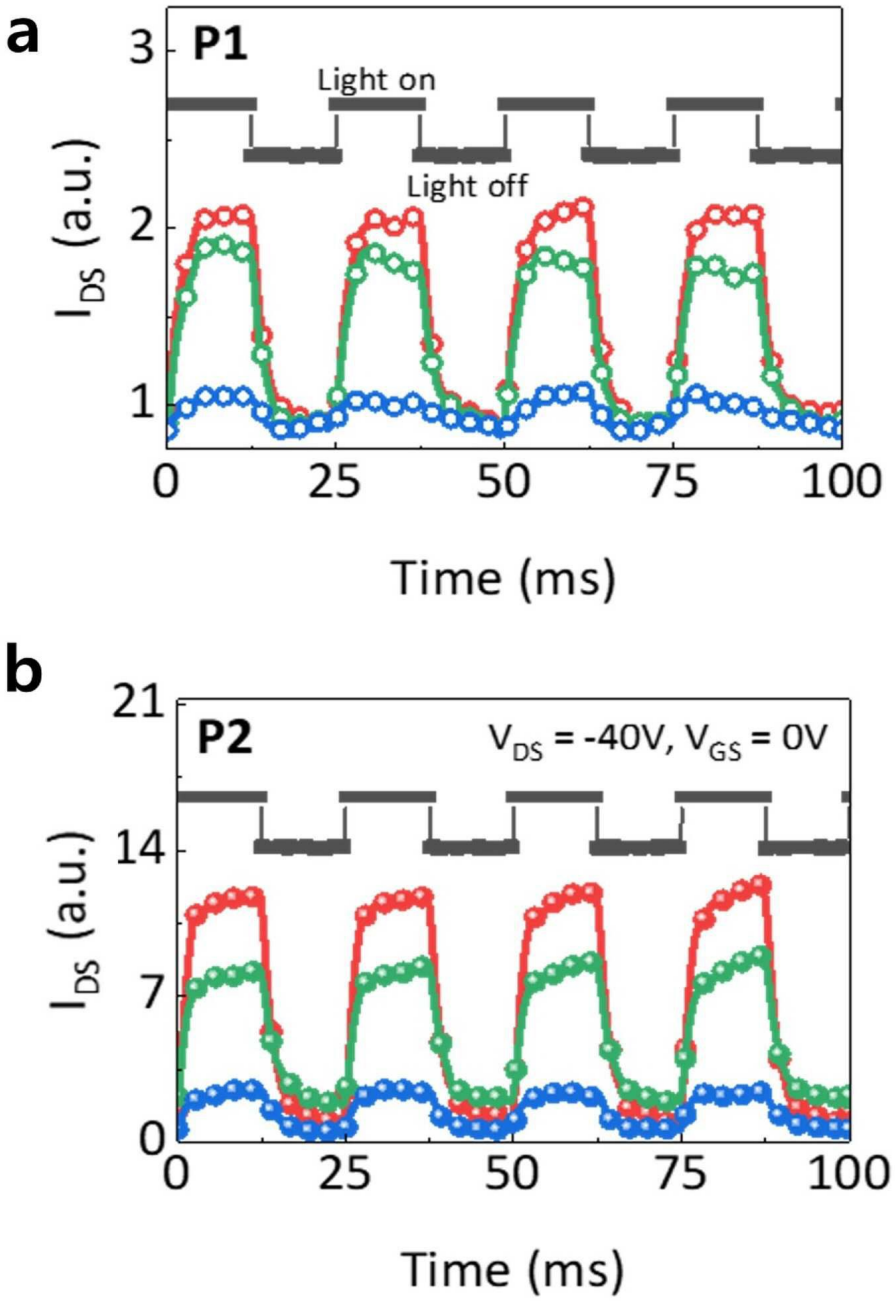
도면7


a
P1
0
20mW/cm²
0.0015
0.0010
0.0005
0.0000
|I_DS| (mA)
-60
-40
-20
0
V_DS (V)
b
V_GS = -60V
P2
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
10V
|I_DS| (mA)
-60
-40
-20
0
V_DS (V)

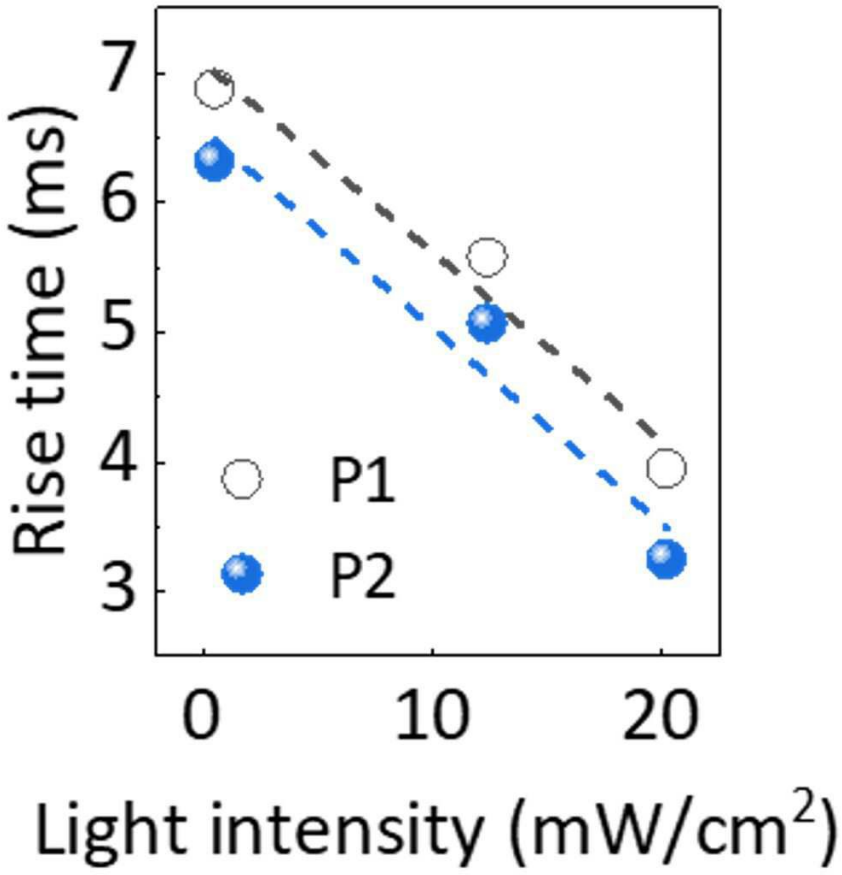
도면8


a
b
c
d
P1
P2
R_{max} ($\times 10^3$ A/W)
P_{max} ($\times 10^4$)
EQE_{max} ($\times 10^3$ %)
D^*_{max} ($\times 10^{12}$ Jones)
V_{DS} = -60V
V_{GS} = 0V
R (A/W)
P
EQE (%)
D* ($\times 10^{11}$ Jones)
Light intensity (mW/cm^2)

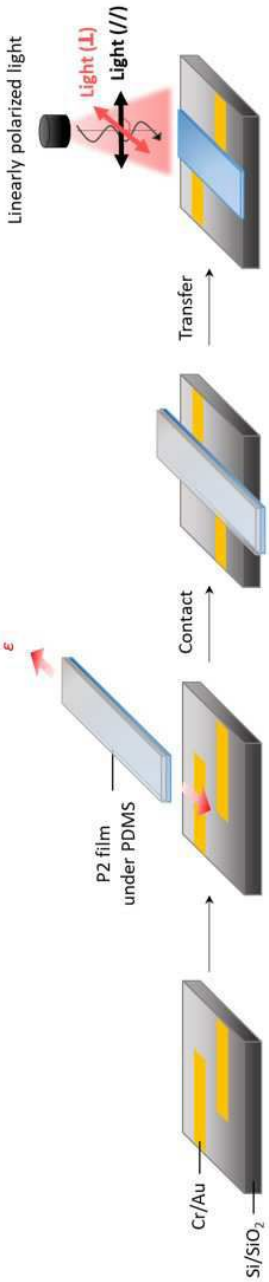
도면9


a
P1
Light on
Light off
I_{DS} (a.u.)
3
2
1
0
25
50
75
100
Time (ms)
b
P2
V_{DS} = -40V, V_{GS} = 0V
I_{DS} (a.u.)
21
14
7
0
0
25
50
75
100
Time (ms)

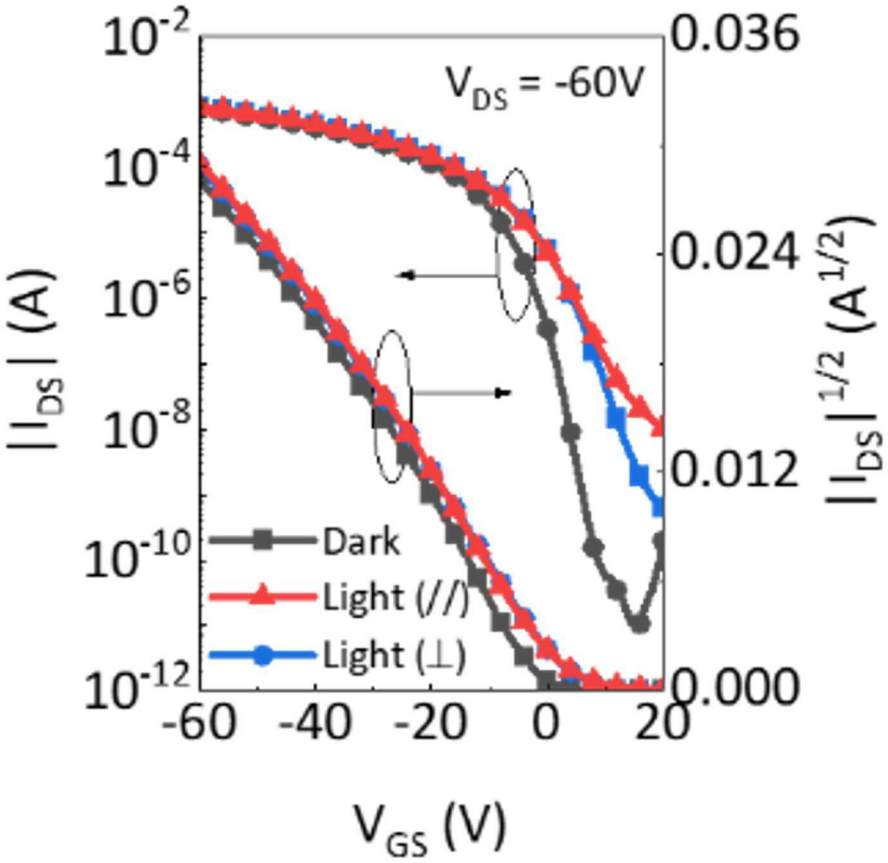
도면10



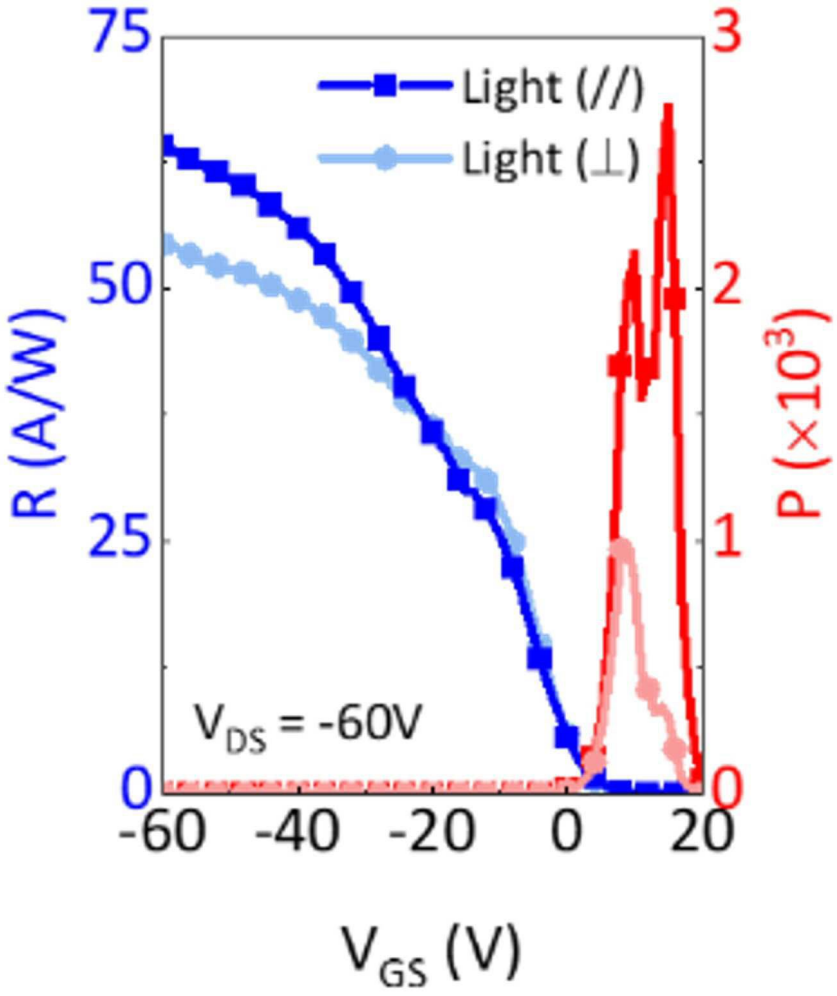
도면11


Linearly polarized light
Light (⊥)
Light (//)
Transfer
Contact
ε
P2 film
under PDMS
Cr/Au
Si/SiO2

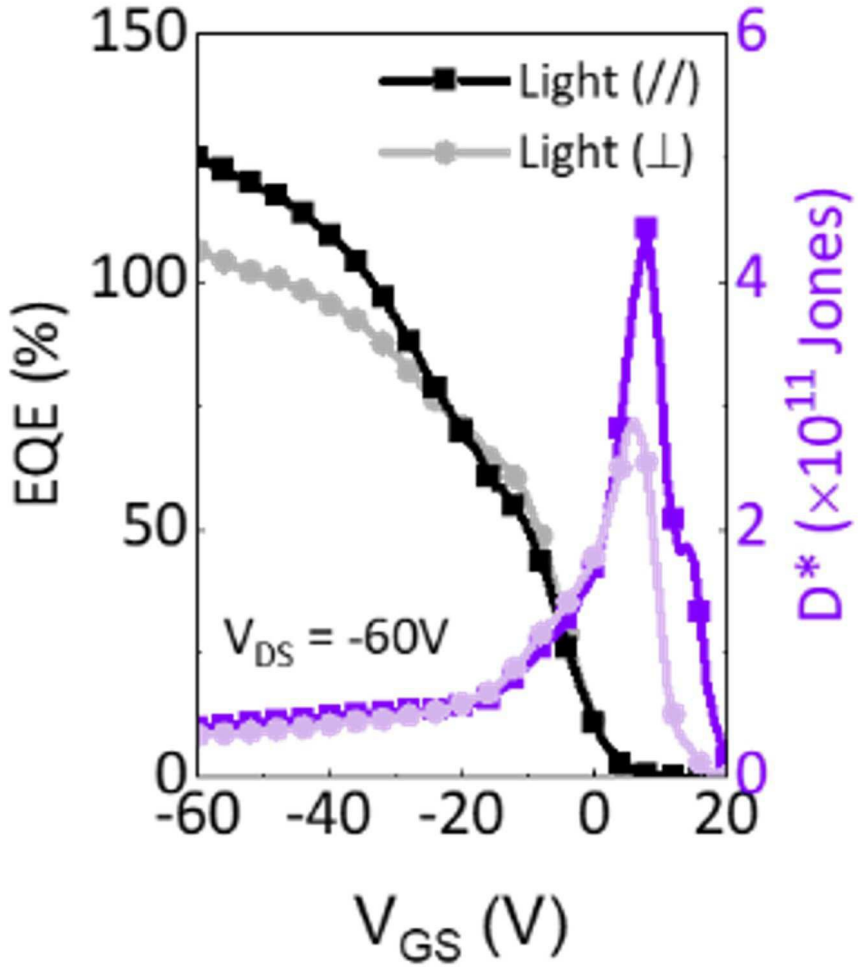
도면12


10^{-2}
10^{-4}
10^{-6}
10^{-8}
10^{-10}
10^{-12}
$|I_{DS}|$ (A)
V_{DS} = -60V
Dark
Light (//)
Light (⊥)
-60
-40
-20
0
20
V_{GS} (V)
0.036
0.024
0.012
0.000
$|I_{DS}|^{1/2}$ ($A^{1/2}$)

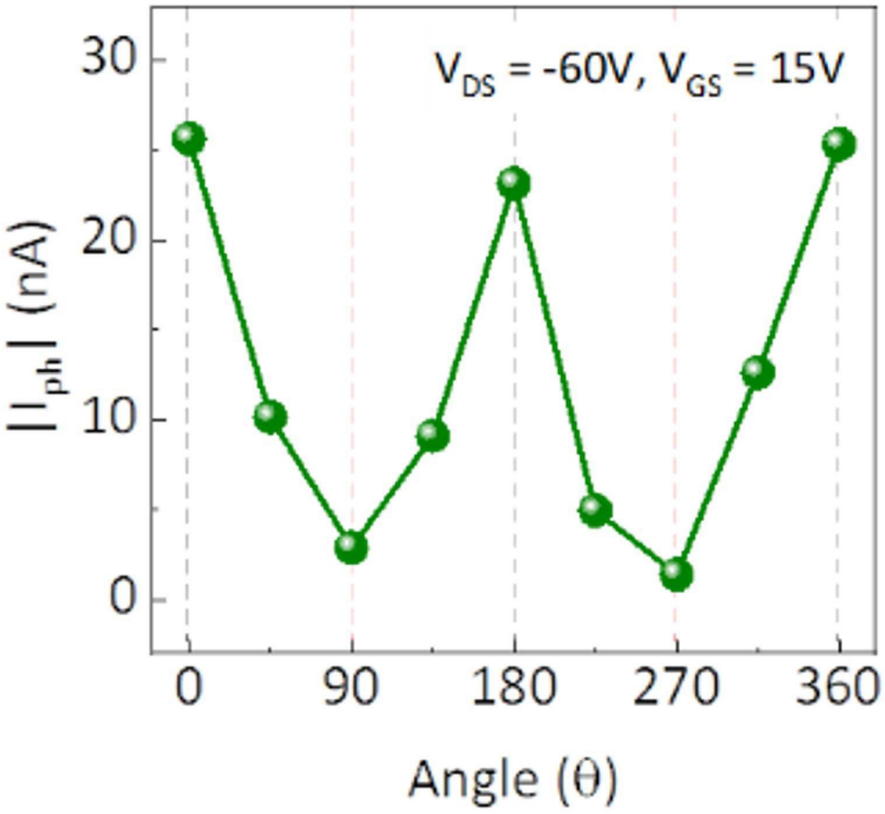
도면13



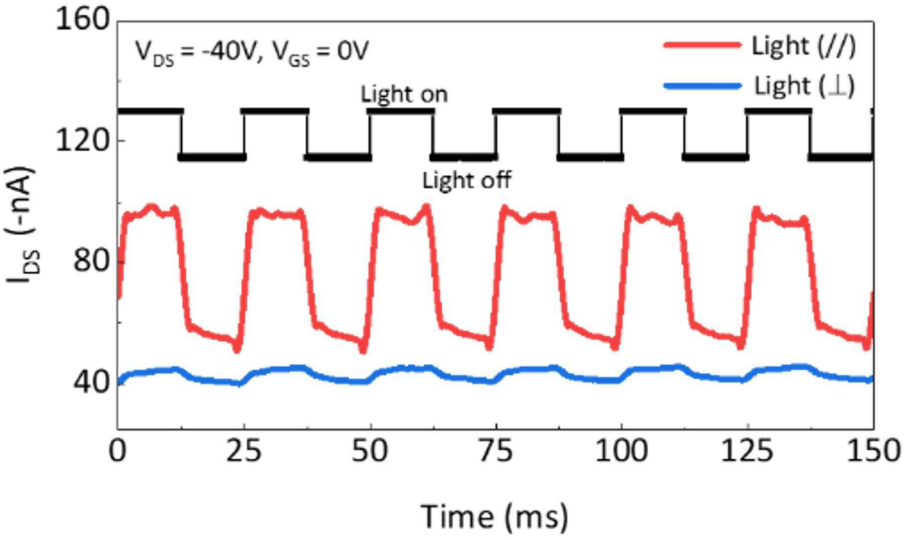
도면14


150
100
50
0
EQE (%)
6
4
2
0
D* (×10^11 Jones)
Light (//)
Light (⊥)
V_DS = -60V
-60
-40
-20
0
20
V_GS (V)

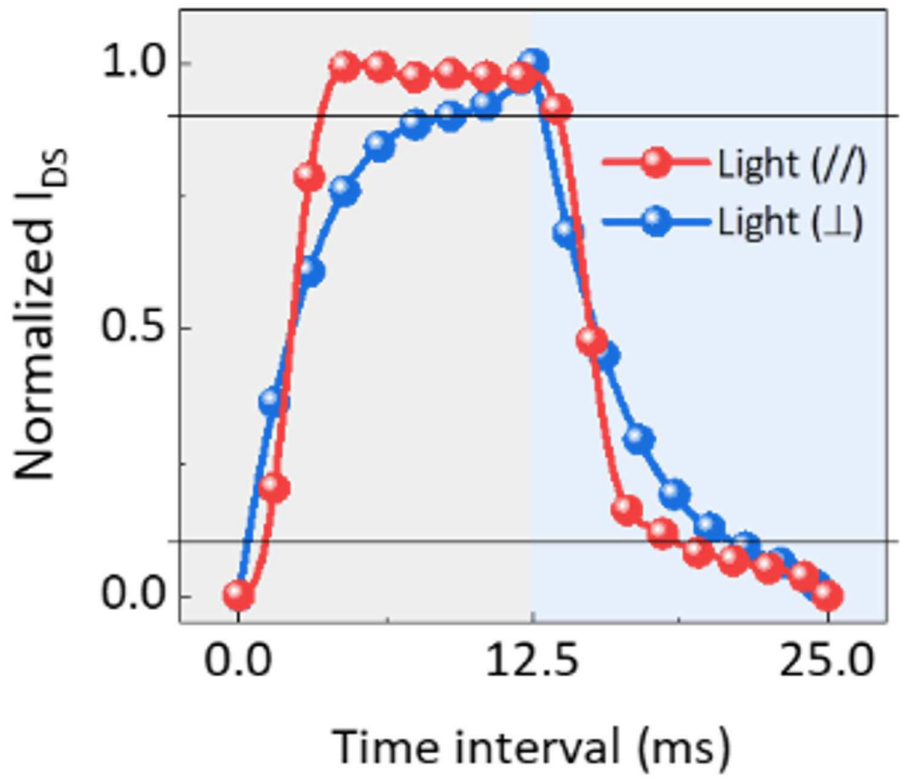
도면15


V_{DS} = -60V, V_{GS} = 15V
$|I_{ph}|$ (nA)
30
20
10
0
0
90
180
270
360
Angle (θ)

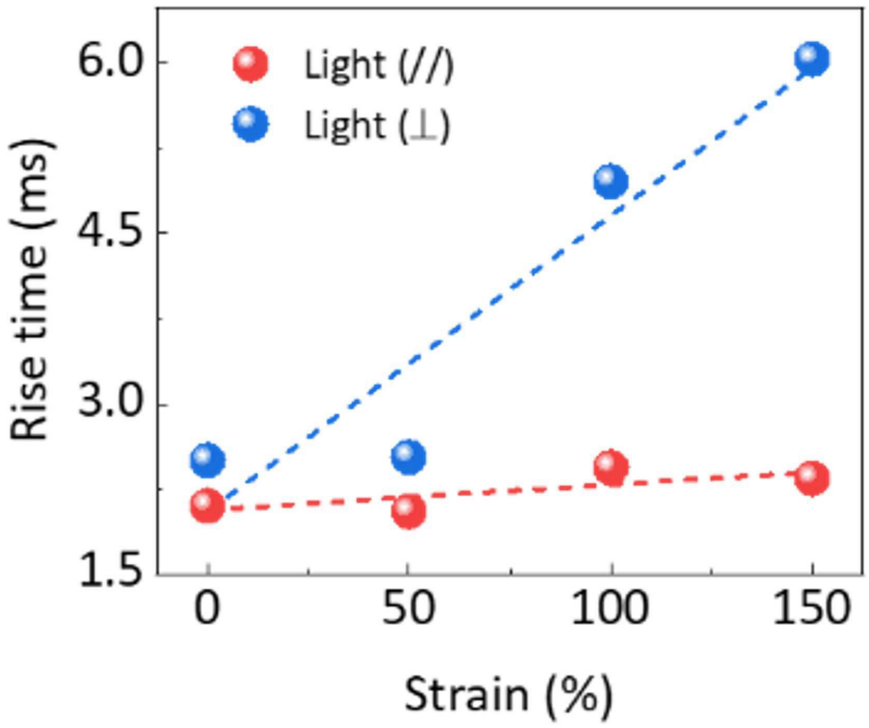
도면16


V_{DS} = -40V, V_{GS} = 0V
Light (//)
Light (⊥)
Light on
Light off
I_{DS} (-nA)
160
120
80
40
0
25
50
75
100
125
150
Time (ms)

도면17


1.0
0.5
0.0
Normalized I_{DS}
Light (//)
Light (⊥)
0.0
12.5
25.0
Time interval (ms)

도면18


6.0
4.5
3.0
1.5
Rise time (ms)
Light (//)
Light (⊥)
0
50
100
150
Strain (%)