



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0154581
(43) 공개일자 2023년11월09일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10K 30/00 (2023.01) G01R 22/06 (2006.01)
G01R 31/392 (2019.01) G01R 31/52 (2020.01)
G01R 31/56 (2020.01) H10K 30/80 (2023.01)
H10K 99/00 (2023.01)

(52) CPC특허분류

H10K 30/20 (2023.02)
G01R 22/06 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2022-0054170

(22) 출원일자 2022년05월02일

심사청구일자 2022년05월02일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

심재원

서울특별시 성동구 매봉길 15, 103동 601호(옥수동, 래미안 옥수 리버젠)

김태혁

서울특별시 광진구 독성로 702(자양동) 삼부빌딩 402호

(74) 대리인

송인호, 윤형근, 최관락

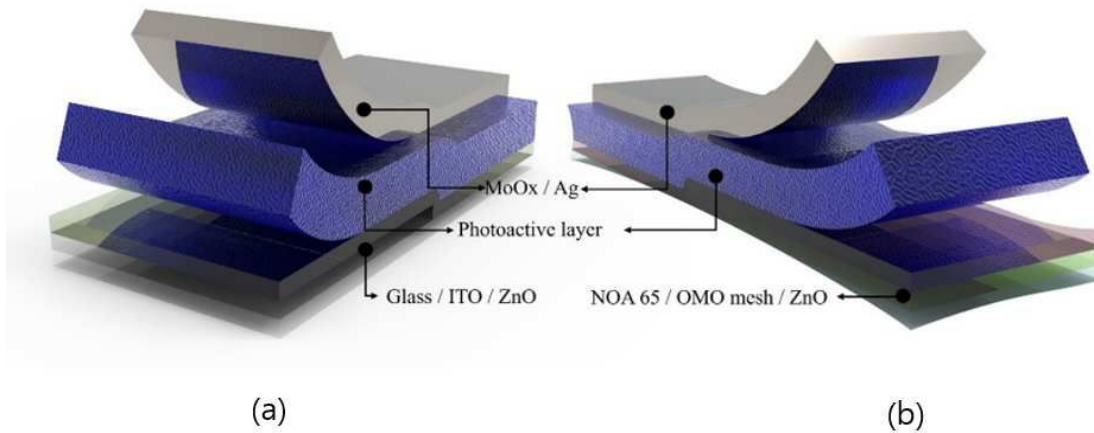
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 유기물 반도체층 기반 인공 실내 광전지 및 이의 성능 평가 방법

(57) 요약

본 발명은 유기물 반도체층 기반 인공 실내 광전지 및 이의 성능 평가 방법을 개시한다. 본 발명에 따르면, 실내 광이 통과하는 투명전극; PM6(PBDB-T-2F), Y6(BTP-4F), PM7(PBDB-T-2C1) 및 PC71BM로 구성되어 상기 실내 광에 의해 여기자를 생성하고 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 억셉터층을 포함하는 유기물 반도체층; 상기 음전하를 흡수하는 금속전극을 포함하는 인공 실내 광전지가 제공된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01R 31/392 (2019.01)

G01R 31/52 (2022.01)

G01R 31/56 (2022.01)

H10K 30/451 (2023.02)

H10K 30/82 (2023.02)

H10K 71/70 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415173367
과제번호	20011336
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재부품기술개발(R&D)
연구과제명	고신축특성을 가지는 고신뢰성고내구성 점착필름 및 대면적 코팅 공정 기술 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711154874
과제번호	2022R1A2C2009523
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	전일 동작 광전지 개발을 위한 약광 발전 한계 돌파 연구
기 여 율	1/3
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711059730
과제번호	2016M1A2A2940912
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기후변화대응기술개발
연구과제명	염료기반 반투과형 유기태양전지 소재 및 소자 기술 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	동국대학교산학협력단
연구기간	2016.12.01 ~ 2022.03.31

명세서

청구범위

청구항 1

인공 실내 광전지로서,

실내 광이 통과하는 투명전극;

PM6(PBDB-T-2F), Y6(BTP-4F), PM7(PBDB-T-2C1) 및 PC71BM로 구성되어 상기 실내 광에 의해 여기자를 생성하고 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 엑셉터층을 포함하는 유기물 반도체층; 및

상기 음전하를 흡수하는 금속전극을 포함하는 인공 실내 광전지.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 PM6 및 상기 PM7은 상기 도너층을 형성하고, 상기 Y6 및 상기 PC71BM은 상기 엑셉터층을 형성하는 인공 실내 광전지.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 투명전극은 ITO/ZnO 또는 산화물/금속/산화물(OMO) mesh 중 하나로 구성되는 인공 실내 광전지.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 인공 실내 광전지는,

미리 설정된 온도의 할로겐 램프를 미리 설정된 시간 동안 조사하여 얻어진 전력 변환 효율(PCE), 충전율(FF) 및 단락전류밀도(J)와, 라만 스펙트럼 조사 결과 및 상기 유기물 반도체층의 반치 전폭(full width at half maximum)을 통해 광열 안정성 평가가 수행되는 인공 실내 광전지.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 인공 실내 광전지는,

미리 설정된 횟수 이상의 스트레칭 테스트를 통해 얻어진 전력 변환 효율(PCE), 충전율(FF) 및 단락전류밀도(J)를 통해 기계적 안정성 평가가 수행되는 인공 실내 광전지.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 인공 실내 광전지는,

상기 스트레칭 테스트를 통한 방목 입사 X선 산란(Grazing-Incidence Wide-Angle X-ray Scattering, GIWAXs)의 결정 간섭 길이(Crystal coherence length, CCL) 및 분자 적층 거리(d-spacing)를 통해 기계적 안정성 평가가 수행되는 인공 실내 광전지.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 인공 실내 광전지는,

상기 스트레칭 테스트를 통한 기계적 변형 전후의 표면 거칠기 및 표면 입자의 수를 통해 기계적 안정성 평가가 수행되는 인공 실내 광전지.

청구항 8

투명전극, 유기물 반도체층 및 금속전극을 포함하는 인공 실내 광전지의 성능 평가 방법으로서,

미리 설정된 온도의 할로겐 램프를 미리 설정된 시간 동안 조사하여 얻어진 전력 변환 효율(PCE), 충전율(FF) 및 단락전류밀도(J)와, 라만 스펙트럼 조사 결과 및 상기 유기물 반도체층의 반치 전폭(full width at half maximum)을 통해 광열 안정성을 평가하는 단계; 및

미리 설정된 횟수 이상의 스트레칭 테스트를 통해 얻어진 전력 변환 효율(PCE), 충전율(FF) 및 단락전류밀도(J)를 통해 기계적 안정성 평가를 수행하는 단계를 포함하되,

상기 유기물 반도체층은 PM6(PBDB-T-2F), Y6(BTP-4F), PM7(PBDB-T-2C1) 및 PC71BM로 구성되어 상기 투명전극을 통해 조사된 실내 광에 의해 여기자를 생성하고 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 억셉터층을 포함하는 인공 실내 광전지 성능 평가 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 기계적 안정성 평가를 수행하는 단계는, 상기 스트레칭 테스트를 통한 방목 입사 X선 산란(Grazing-Incidence Wide-Angle X-ray Scattering, GIWAXs)의 결정 간섭 길이(Crystal coherence length, CCL) 및 분자 적층 거리(d-spacing)를 통해 기계적 안정성 평가를 수행하는 단계를 포함하는 인공 실내 광전지 성능 평가 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 기계적 안정성 평가를 수행하는 단계는, 상기 스트레칭 테스트를 통한 기계적 변형 전후의 표면 거칠기 및 표면 입자의 수를 통해 기계적 안정성 평가를 수행하는 단계를 포함하는 인공 실내 광전지 성능 평가 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유기물 반도체층 기반 인공 실내 광전지 및 이의 성능 평가 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 유기물 반도체층 기반 실내 인공 광전지에 적용되는 실내 광은 태양광(분광조사강도: $100\text{mW}/\text{cm}^2$)에 비해 광량이 극히 낮음에도 불구하고 유기물 반도체층의 손상을 초래한다.

[0003] 실내 광 중 할로겐 램프($7.0\text{mW}/\text{cm}^2$)는 55°C 이상의 강한 빛과 열을 방출하므로 유기물 반도체층의 기능 상실에 영향을 주며, 또한 폼팩터(Form-Factor)한 실내 환경에서 자유로운 형상을 위한 기계적 견고성의 최적화가 시급하다.

[0004] 일반적으로 실내 인공 광전지는 강한 빛과 열에 노출될 때 초기에 빠른 성능 저하(burn-in)가 나타나며, 빛에 의해 도입된 에너지가 확산을 일으킬 때 유기물 반도체층의 형태학적 변화가 발생하게 된다.

[0005] 또한, 재결정화로 인한 분자 변화는 실내 인공 광전지의 안정성 감소에 심각한 영향을 초래하며, 이에 따라 빛과 열 그리고 기계적 안정성 향상을 위해 다성분계 유기물 기반 실내 인공 광전지의 개발이 요구되고 있다.

[0006] 최근 고성능으로 알려진 Non-Fullerene Acceptor(NFA)인 Y6(BTP-4F)와 polymer donor, PM6(PBDB-T-2F)를 이용한 실내 인공 광전지는 LED 램프 아래에서 720시간 동안 초기 효율의 90% 이상을 안정적으로 유지한다.

[0007] 그러나, 램프의 온도가 30°C 미만이고 출력 스펙트럼이 가시광선에 제한적이기 때문에 실사용을 위한 광열 안

정성의 영향을 보장하기에 충분하지 않다.

- [0008] 게다가, 새로운 유기물 반도체층인 PBDB-T: m-ITIC-O-EH는 할로겐 램프 조명 아래에서 12시간 동안 최대 80% 이상 초기 효율을 유지하나, 12시간만 지속되는 안정성 결과는 상용화를 위한 실용성 측면에서 충분하지 않다.
- [0009] 뿐만 아니라, 실내 인공 광전지의 낮은 기계적 견고성은 '휘고 말고 접는' 폼팩터한 실내 환경에 적용하는데 한계가 있다.
- [0010] 기존 연구에서 전도성 고분자인 PEDOT: PSS를 신축성 전극으로 활용하여 실내 광(LED lamp) 아래에서 전력 변환 효율을 20% 이상 달성하였지만, 기계적 변형에 대한 형태학적 진화 및 분자간 배열 변화가 심도있게 관찰되지 않았다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) KR 등록특허 제10-2248034호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명은 전력 변환 효율 및 기계적 견고성이 우수한 유기물 반도체층 기반 인공 실내 광전지 및 이의 성능 평가 방법을 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 인공 실내 광전지로서, 실내 광이 통과하는 투명전극; PM6(PBDB-T-2F), Y6(BTP-4F), PM7(PBDB-T-2C1) 및 PC71BM로 구성되어 상기 실내 광에 의해 여기자를 생성하고 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 억셉터층을 포함하는 유기물 반도체층; 및 상기 음전하를 흡수하는 금속전극을 포함하는 인공 실내 광전지가 제공된다.
- [0014] 상기 PM6 및 상기 PM7은 상기 도너층을 형성하고, 상기 Y6 및 상기 PC71BM은 상기 억셉터층을 형성할 수 있다.
- [0015] 상기 투명전극은 ITO/ZnO 또는 산화물/금속/산화물(OMO) mesh 중 하나로 구성될 수 있다.
- [0016] 상기 인공 실내 광전지는, 미리 설정된 온도의 할로겐 램프를 미리 설정된 시간 동안 조사하여 얻어진 전력 변환 효율(PCE), 충전율(FF) 및 단락전류밀도(J)와, 라만 스펙트럼 조사 결과 및 상기 유기물 반도체층의 반치 전폭(full width at half maximum)을 통해 광열 안정성 평가가 수행될 수 있다.
- [0017] 상기 인공 실내 광전지는, 미리 설정된 횟수 이상의 스트레칭 테스트를 통해 얻어진 전력 변환 효율(PCE), 충전율(FF) 및 단락전류밀도(J)를 통해 기계적 안정성 평가가 수행될 수 있다.
- [0018] 상기 인공 실내 광전지는, 상기 스트레칭 테스트를 통한 방목 입사 X선 산란(Grazing-Incidence Wide-Angle X-ray Scattering, GIWAXs)의 결정 간섭 길이(Crystal coherence length, CCL) 및 분자 적층 거리(d-spacing)를 통해 기계적 안정성 평가가 수행될 수 있다.
- [0019] 상기 인공 실내 광전지는, 상기 스트레칭 테스트를 통한 기계적 변형 전후의 표면 거칠기 및 표면 입자의 수를 통해 기계적 안정성 평가가 수행될 수 있다.
- [0020] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 투명전극, 유기물 반도체층 및 금속전극을 포함하는 인공 실내 광전지의 성능 평가 방법으로서, 미리 설정된 온도의 할로겐 램프를 미리 설정된 시간 동안 조사하여 얻어진 전력 변환 효율(PCE), 충전율(FF) 및 단락전류밀도(J)와, 라만 스펙트럼 조사 결과 및 상기 유기물 반도체층의 반치 전폭(full width at half maximum)을 통해 광열 안정성을 평가하는 단계; 및 미리 설정된 횟수 이상의 스트레칭 테스트를 통해 얻어진 전력 변환 효율(PCE), 충전율(FF) 및 단락전류밀도(J)를 통해 기계적 안정성 평가를 수행하는 단계를 포함하되, 상기 유기물 반도체층은 PM6(PBDB-T-2F), Y6(BTP-4F), PM7(PBDB-T-2C1) 및 PC71BM로 구성되어 상기 투명전극을 통해 조사된 실내 광에 의해 여기자를 생성하고 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 억셉터층을 포함하는 인공 실내 광전지 성능 평가 방법이 제공된다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, PM6(PBDB-T-2F), Y6(BTP-4F), PM7(PBDB-T-2C1) 및 PC71BM로 구성되는 4성분계 유기물 반도체층을 제공하여 광열 안정성 및 기계적 안정성을 확보할 수 있고, 다양한 방식으로 인공 실내 광전지의 성능을 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 실내 인공 광전지의 상세 구조를 도시한 도면이다.
 도 2는 본 실시예에 따른 유기물 반도체층에 사용되는 구성물질의 화학 구조를 나타낸 도면이다.
 도 3은 유기물 반도체층에 사용되는 각 구성물질의 종류 및 에너지 밴드를 나타낸 도면이다.
 도 4는 유기물 반도체층의 흡수 스펙트럼을 나타낸 도면이다.
 도 5는 광원의 스펙트럼 조사 강도를 도시한 도면이다.
 도 6은 실내 조명 중 할로겐 램프 아래에서 1000시간 동안 조사된 각 다성분계 유기물 반도체층을 포함하는 시스템의 안정성 결과를 나타낸 도면이다.
 도 7은 각 다성분계 유기물 반도체층의 라만 스펙트럼 조사 결과를 나타낸 도면이다.
 도 8은 소정 조명 조건에서 각 다성분계 유기물 반도체층의 반치 전폭(full width at half maximum, 할로겐 조명 1000시간 동안, 온도 55 °C 이상)을 나타낸 도면이다.
 도 9는 다성분계 유기물 반도체층을 포함하는 유연 실내 인공 광전지의 기계적 스트레스 후 견고성 그래프를 나타낸 것이다.
 도 10은 본 실시예에 따른 각각의 다성분계 유기물 반도체층의 기계적 안정성 향상을 관찰하기 위한 방목 입사 X선 산란(Grazing-Incidence Wide-Angle X-ray Scattering, GIWAXs)의 결정 간섭 길이(Crystal coherence length, CCL) 및 분자 적층 거리(d-spacing)를 나타낸 도면이다.
 도 11은 본 실시예에 따른 각각의 다성분계 유기물 반도체층의 표면 거칠기 (roughness, R_{RMS})를 관찰한 도면이다.
 도 12는 본 실시예에 따른 각각의 다성분계 유기물 반도체층의 입자 수를 나타낸 도면이다.
 도 13 내지 도 14은 실내 인공 광전지의 전류전압 특성 평가(Air mass 1.5 global, AM1.5G 및 Halogen, FL 1000lux)를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.

[0024] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변형, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0026] 본 실시예에서는 유기물 반도체층을 다성분계로 제공하고, 그에 따른 형태학적 변화 관찰을 통한 광열 및 기계적 안정성 조사를 위해 실내 광 조사 환경에서 성능 평가를 진행한다.

[0027] 실내 인공 광전지는 투명전극, 유기물 반도체층(광활성층) 및 전극으로 구성된다.

[0028] 유기물 반도체층을 포함하는 실내 인공 광전지의 동작 원리는 다음과 같다.

[0029] (1) 빛 흡수, (2) 여기자(exciton) 생성, (3) 여기자 이동, (4) 여기자 양전하 및 음전하 분리, (5) 전극의 음전하 흡수

[0030] 실내 인공 광전지의 동작 중 장시간 빛과 열의 조사는 여기자 생성, 이동 및 양전하와 음전하로 분리시키는 유기물 반도체층의 재결정화 및 상 분리(phase separation) 변화를 야기하여 여기자 이동을 방해하며, 유기물 반

도체층의 반복적인 기계적 변형은 표면 결함 및 분자간 배열에 영향을 주어 여기자 이동과 전극으로의 전하 흡수를 방해한다.

- [0031] 이에, 빛과 열 그리고 기계적 안정성 향상을 위해 유기물 반도체층의 형태학적 분석은 필수적이며, 본 실시예에서는 이러한 점을 고려하여 다성분계 유기물 반도체층을 설계하여 고효율 및 고안정성 실내 인공 광전지를 제공하고, 이에 대한 성능 평가 방법을 제안한다.
- [0032] 도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 실내 인공 광전지의 상세 구조를 도시한 도면이다.
- [0033] 도 1a에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 실내 인공 광전지는 투명기판(Glass), 투명전극(ITO/ZnO), 유기물 반도체층으로 구성되는 광활성층(Photoactive layer) 및 금속전극(MoO₃/Ag)을 포함할 수 있다.
- [0034] 도 1b는 유연한 성질을 갖는 실내 인공 광전지를 나타낸 것으로서, 투명기판이 Glass가 아닌 산화물/금속/산화물(OMO) mesh로 대체된다.
- [0035] 도 2는 본 실시예에 따른 유기물 반도체층에 사용되는 구성물질의 화학 구조를 나타낸 도면이고, 도 3은 유기물 반도체층에 사용되는 각 구성물질의 종류 및 에너지 밴드를 나타낸 도면이다.
- [0036] 도 2 내지 도 3에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 유기물 반도체층은 PM6(PBDB-T-2F), Y6(BTP-4F), PM7(PBDB-T-2C1) 및 PC₇₁BM을 적어도 2이상 포함할 수 있으며, 바람직하게는 4개를 모두 포함하는 4성분계(Quaternary)로 형성될 수 있다.
- [0037] 여기서, PM6 및 PM7이 도너층을 구성하고, Y6 및 PC₇₁BM이 억셉터층을 구성할 수 있다.
- [0038] 도 4는 유기물 반도체층의 흡수 스펙트럼을 나타낸 도면이다.
- [0039] 도 4를 참조하면, Y6의 흡수는 700-950 nm 파장 영역, PM6 및 PM7은 상보적 흡수 스펙트럼(400-600 nm, 피크 흡수 약 580 nm)을 나타내며, 가시광 및 적외선 영역에서의 낮은 PC₇₁BM의 흡수는 대부분 전하 수송 매체로 간주된다.
- [0040] 도 5는 광원의 스펙트럼 조사 강도를 도시한 도면이다.
- [0041] 도 5를 참조하면, 실내 광은 실외 광보다 크기가 작지만 여전히 유기물 반도체층을 손상시킬 가능성이 있으며, 성능 저하 및 수명 단축을 초래하는 것으로 알려져 있다.
- [0042] 다성분계 유기물 반도체층 형성은 상보적 흡수 스펙트럼을 보이며, 이는 실내 인공 광전지의 성능 파라미터 중 단락전류밀도(Short circuit current density, J_{sc})와 곡선 인자(V)에 영향을 줄 수 있다.
- [0043] 또한, 유기물 반도체층의 성분계가 증가할수록 엔트로피가 증가하는 방향을 보이는데, 일반적으로 엔트로피는 무질서 상태이며, 분자의 복잡도가 증가하면 분자운동이 활발해지고 그 결과 내부구조의 복잡성이 증가하여 엔트로피는 증가한다.
- [0044] 이에 다성분계의 수에 비례하여 엔트로피가 증가하므로 광열적으로 안정된 복합체를 형성할 수 있다.
- [0045] 이는 깁스 자유 에너지(Gibbs Free energy, $\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T\Delta S_{mix}$)의 온도 의존적인 식을 통하여 추출할 수 있다.
- [0046] 도 6은 실내 조명 중 할로젠 램프 아래에서 1000시간 동안 조사된 각 다성분계 유기물 반도체층을 포함하는 시스템의 안정성 결과를 나타낸 도면이고, 도 7은 각 다성분계 유기물 반도체층의 라만 스펙트럼 조사 결과를 나타낸 도면이고, 도 8은 소정 조명 조건에서 각 다성분계 유기물 반도체층의 반치 전폭(full width at half maximum, 할로젠 조명 1000시간 동안, 온도 55 °C 이상)을 나타낸 도면이다.
- [0047] 도 6을 참조하면, Binary(2성분계), Ternary(3성분계) 그리고 Quaternary(4성분계)로 각 성분계가 진화할수록 초기 성능을 유지하고, Quaternary 구조에서 90% 이상의 초기 전력 변환 효율을 보이며, Binary 구조에서 52% 감소율을 나타낸다.
- [0048] 도 7 내지 도 8과 같이 성분계가 증가할수록 광열 안정성 향상이 이루어진다는 점을 확인할 수 있다.
- [0049] 각각의 라만 이동(Raman shift)은 분자의 진동수를 나타내며, 사용된 반도체층들은 고유의 진동수를 가진다.
- [0050] 하지만, 광 조사 이후(Non-radiated → Halogen 1000 h) 변화하는 라만 강도(Raman intensity)는 광화학 분해를

통한 분자의 재배열의 결과로 소자 성능 저하를 초래한다. 이는, Binary 구조에서 두드러지게 나타났으며 Quaternary 구조로 갈수록 초기 분자 진동수를 유지함으로써 안정성 향상에 기여하였음을 추측할 수 있다.

- [0051] 도 8을 참조하면, 라만 이동이 가장 두드러지게 나타나는 1429cm^{-1} 에서 반치 전폭이 관찰되며, Quaternary 구조에서 광열 조사 이후의 작은 반치 전폭의 변화는 안정적인 분자 배열과 상 분리 억제를 통한 실내 광전지 안정성에 향상에 기여하였음을 확인할 수 있다.
- [0052] 도 9는 다성분계 유기물 반도체층을 포함하는 유연 실내 인공 광전지의 기계적 스트레스 후 견고성 그래프를 나타낸 것이다.
- [0053] 도 9에서 견고성은 다성분계 시스템의 정규화를 통한 기계적 안정성(평균 소자 10개)은 형광등(FL: 1000lux) 하에서 스트레칭 테스트(1000번, 인장률 10%)를 통해 조사되었다.
- [0054] 도 9에 도시된 바와 같이, Open Circuit Voltage(V_{oc} , 개방전압)는 Binary 구조에서 Quaternary 구조로 진화에 따른 변화가 관찰되지 않는다. 이는 각 성분계의 화학 구조의 변화가 기계적 변형 조건에서 관찰되지 않음을 시사한다.
- [0055] 한편, J_{sc} (단락전류밀도) 및 FF(Fill Factor, 충전율)은 성분계가 증가할수록 상대적으로 작은 감소율을 보인다.
- [0056] 이는 Quaternary 구조에서 복잡한 분자 구성으로 인한 서로 간의 결합력이 강화되어 안정성 증가를 나타내기 때문인 것으로 보인다.
- [0057] 실내 광전지 성능 지표를 통해 얻은 전력 변환 효율($PCE=(V_{oc} \times J_{sc} \times FF)/P_{in}$)은 Quaternary 구조에서 초기 효율의 82%를 유지함을 알 수 있으며, 기계적 견고성이 우수함을 확인할 수 있다.
- [0058] 도 10은 본 실시예에 따른 각각의 다성분계 유기물 반도체층의 기계적 안정성 향상을 관찰하기 위한 방목 입사 X선 산란(Grazing-Incidence Wide-Angle X-ray Scattering, GIWAXs)의 결정 간섭 길이(Crystal coherence length, CCL) 및 분자 적층 거리(d-spacing)를 나타낸 도면이다.
- [0059] 도 10을 참조하면, 기계적 변형 이후에 분자 적층 거리 및 결정성 변화를 관찰하기 위한 GIWAXs 분석을 수행한 결과, 결정 상판 길이 및 결정성(분자 적층 거리)의 변화가 가장 작은 Quaternary 구조는 기계적 변형 이후에 우수한 안정성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 반면, 기계적 변형 후 가장 큰 기울기의 변화가 관찰되는 Binary 구조는 초기 결정성의 변화로 인한 불안정적인 특성을 확인할 수 있다.
- [0060] 도 11은 본 실시예에 따른 각각의 다성분계 유기물 반도체층의 표면 거칠기(roughness, R_{rms})를 관찰한 도면으로서, 도 11a는 기계적 변형 전, 도 11b는 기계적 변형 후의 표면 거칠기를 나타낸 것이다.
- [0061] 또한, 도 12는 본 실시예에 따른 각각의 다성분계 유기물 반도체층의 입자 수를 나타낸 도면으로서, 도 12a는 기계적 변형 전, 도 12b는 기계적 변형 후의 입자 수를 나타낸 것이다.
- [0062] 표면 거칠기의 증가는 전하의 재결합 및 소자 성능 저하를 초래하므로 안정성 분석에 중요한 지표이다.
- [0063] 도 11을 참조하면, 표면 거칠기는 기계적 변형 이후 각각의 성분계에서 before: 1.737~2.184 nm; after: 1.975~2.485 nm와 같이 관찰된다.
- [0064] 표면 거칠기에서는 성분계가 증가할수록 눈에 띄는 변화가 관찰되지 않지만, 표면 거칠기와 달리 표면 입자의 수는 기계적 변형 이후에 유의미한 결과를 보여준다.
- [0065] 도 12를 참조하면, 기계적 변형 이후 Binary 구조는 62.5%의 입자 수의 증가가 관찰되었고, Quaternary 구조는 상대적으로 작은 32.2%의 입자 수가 관찰된다.
- [0066] 일반적으로 입자의 수 증가는 같은 표면적에서의 작은 입자 크기를 나타내며 이는 더 큰 입자 경계(grain boundary)가 존재하고, 이는 더 많은 트랩 사이트(Trap sites)가 생성됨을 나타낸다.
- [0067] 이러한 트랩 사이트는 전하 수송을 방해하거나 전하 재조합을 형성하기 때문에 소자의 충전율을 감소시키는데 매우 중요한 역할을 한다. 따라서, 상대적으로 작은 입자 수 변화는 Quaternary 구조에서 우수한 기계적 안정성을 시사한다.
- [0068] 도 13 내지 도 14은 실내 인공 광전지의 전류전압 특성 평가(Air mass 1.5 global, AM1.5G 및 Halogen, FL

1000lux)를 나타낸 것으로서, 도 13은 다성분계 실내 인공 광전지 및 유연 실내 광전지의 전류밀도, 도 14는 외부양자효율(External quantum efficiency, EQE)을 나타낸다.

[0069] 도 13을 참조하면, 모든 광원 조건에서 Quaternary 구조는 상대적으로 높은 단락전류밀도와 충전율을 보이며, 이는 성분계의 증가로 인한 형태학적 최적화 및 분자 순서의 안정적 배열을 나타내기 때문이다.

[0070] 도 14에서 외부 양자 효율 분석은 흡수된 광자의 전류 기여 효율을 관찰하기 위해 분석된다. 성분계가 증가할수록 외부 양자 효율 증가는 더 많은 전류 생성에 기여하였음을 나타내며 이는 안정성 뿐만 아니라 고효율 실내 광전지를 구현함에 이점이 있음을 나타낸다.

[0071] 또한, 표 1과 2는 각 광원 들에서 평가된 다성분계 유기물 반도체층 실내 인공 광전지의 성능 지표를 요약하여 나타내며 Quaternary 구조에서 가장 우수한 성능이 확인될 수 있다.

[0072] 표 1은 실외 광(AM 1.5 G, light intensity: $100\text{mW}/\text{cm}^2$, HL 500lux: $4.2\text{mW}/\text{cm}^2$, HL 1000lux: $7.0\text{mW}/\text{cm}^2$) 조명에서 측정된 다성분계 유기물 반도체층 기반 실내 인공 광전지 성능 결과를 나타낸 것이고, 표 2는 실외 광(AM 1.5 G, light intensity: $100\text{mW}/\text{cm}^2$, FL 500lux: $0.15\text{mW}/\text{cm}^2$, FL 1000lux: $0.27\text{mW}/\text{cm}^2$) 조명에서 측정된 다성분계 유기물 반도체층 기반 유연 실내 광전지 성능 결과를 나타낸 것이다.

표 1

Light source	Structure (Glass/ITO)	V _{oc} (mV)	J _{sc} (AM1.5G: mA/cm ²) (Indoor: μA/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
AM1.5G (100mW/cm ²)	Binary	811 ± 3	27.9 ± 0.1	67.8 ± 0.1	15.3 ± 0.1
	Ternary	814 ± 5	27.1 ± 0.8	68.0 ± 0.9	15.1 ± 0.3
	Quaternary	821 ± 1	28.1 ± 0.1	68.7 ± 0.2	15.9 ± 0.1
Halogen 500 lx (4.2mW/cm ²)	Binary	680 ± 4	323.9 ± 3.9	64.3 ± 1.7	3.3 ± 0.1
	Ternary	692 ± 1	318.0 ± 1.6	71.0 ± 0.4	3.7 ± 0.1
	Quaternary	695 ± 1	327.5 ± 4.5	71.1 ± 0.3	3.8 ± 0.1
Halogen 1000 lx (7.0mW/cm ²)	Binary	710 ± 1	537.6 ± 1.1	71.6 ± 0.5	3.9 ± 0.1
	Ternary	715 ± 1	544.6 ± 0.9	70.6 ± 0.4	3.9 ± 0.1
	Quaternary	708 ± 2	551.7 ± 2.2	73.1 ± 0.2	4.0 ± 0.3

[0073]

표 2

Light source	Structure (ZAZNM)	V _{oc} (mV)	J _{sc} (AM1.5G: mA/cm ²) (Indoor: μA/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
AM1.5G (100mW/cm ²)	Binary	831 ± 4	22.3 ± 0.1	57.6 ± 1.9	10.7 ± 0.4
	Ternary	848 ± 5	23.4 ± 0.1	57.4 ± 0.2	11.4 ± 0.1
	Quaternary	832 ± 8	22.7 ± 0.3	64.1 ± 0.7	12.1 ± 0.4
FL 500 lx (0.15mW/cm ²)	Binary	667 ± 1	60.9 ± 0.4	65.8 ± 0.6	17.8 ± 0.1
	Ternary	668 ± 3	62.7 ± 0.1	66.4 ± 0.4	18.5 ± 0.1
	Quaternary	667 ± 2	63.7 ± 0.1	68.6 ± 0.2	19.4 ± 0.1
FL 1000 lx (0.27mW/cm ²)	Binary	698 ± 2	118.8 ± 0.1	65.6 ± 0.1	20.1 ± 0.1
	Ternary	696 ± 3	116.9 ± 4.2	67.0 ± 0.1	20.2 ± 0.7
	Quaternary	698 ± 1	125.2 ± 0.1	68.4 ± 0.7	22.1 ± 0.2

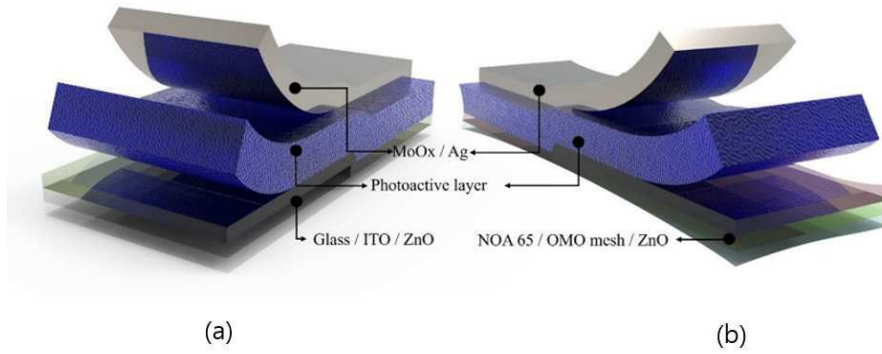
[0074]

[0075]

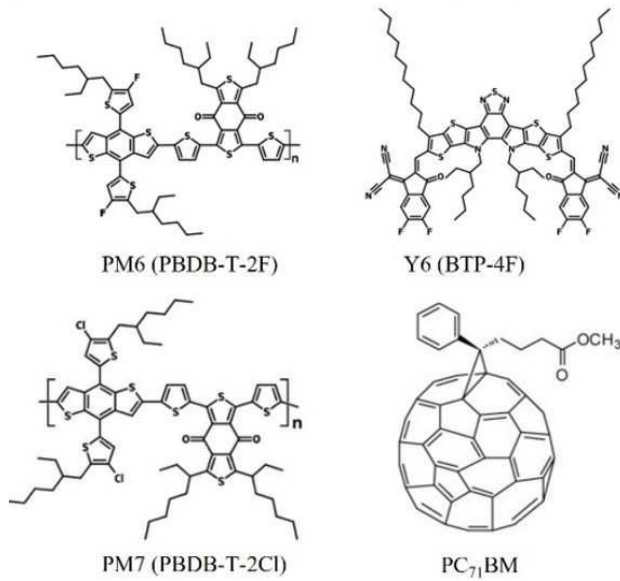
상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

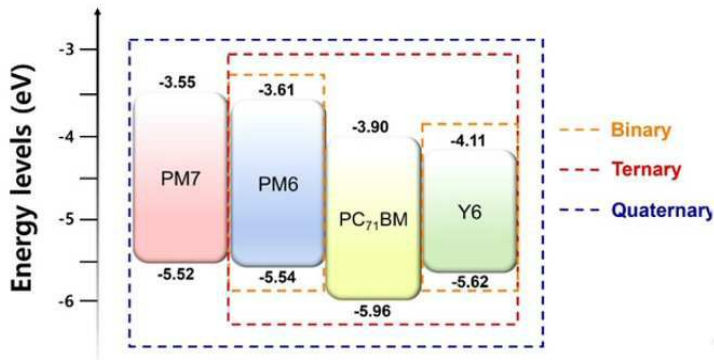
도면1



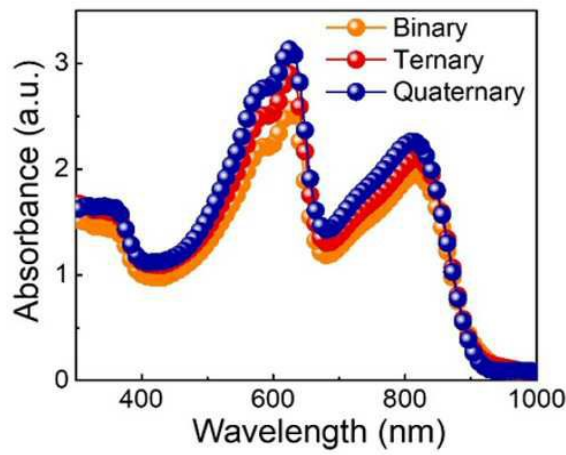
도면2



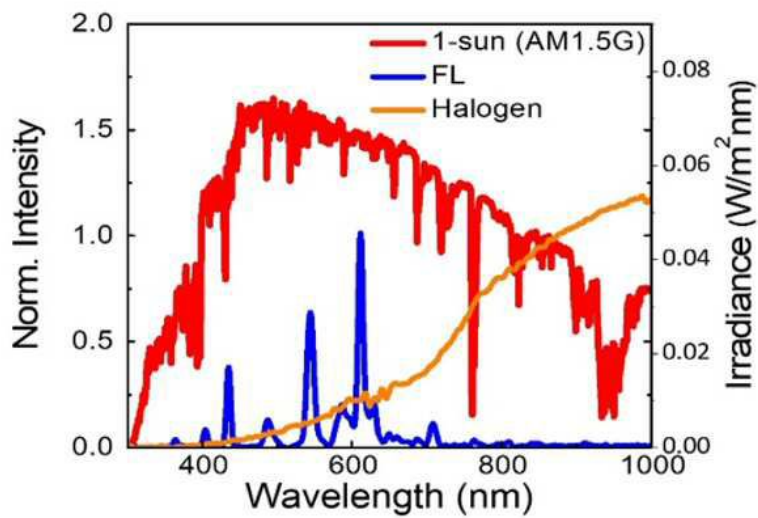
도면3



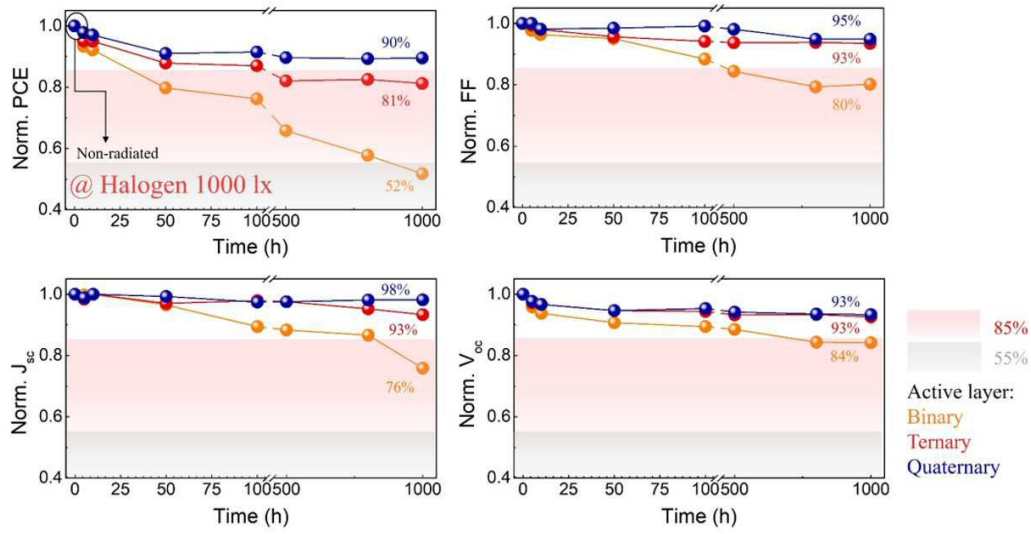
도면4



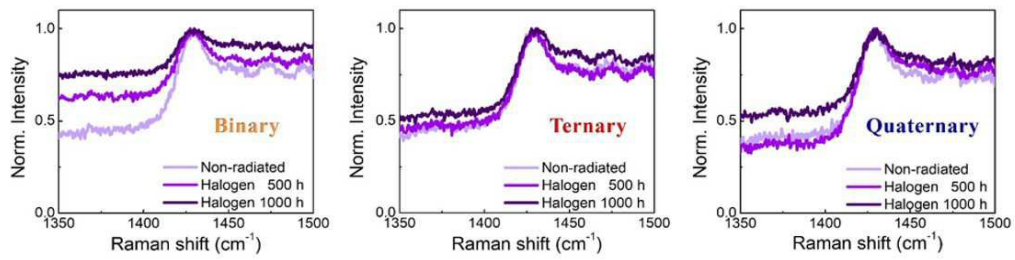
도면5



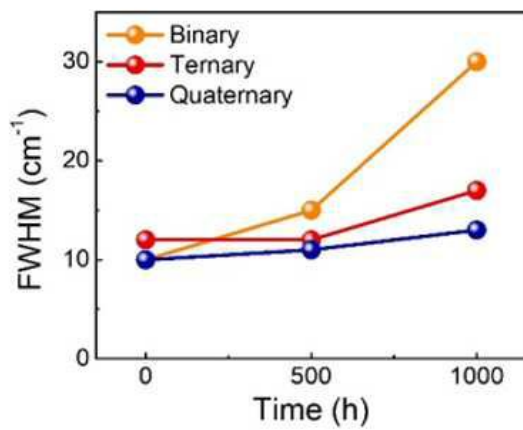
도면6



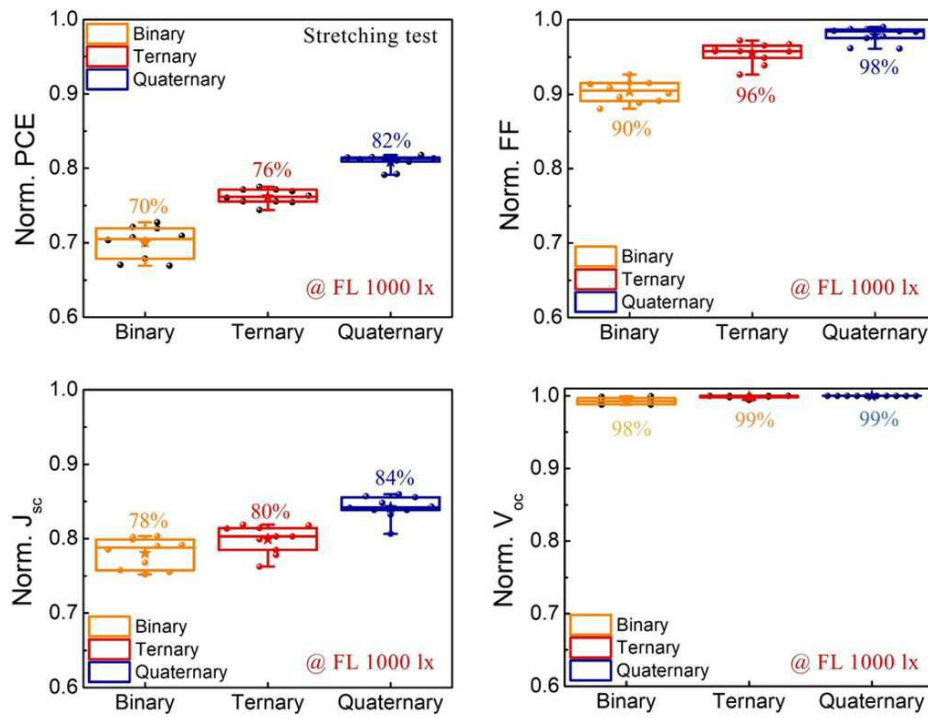
도면7



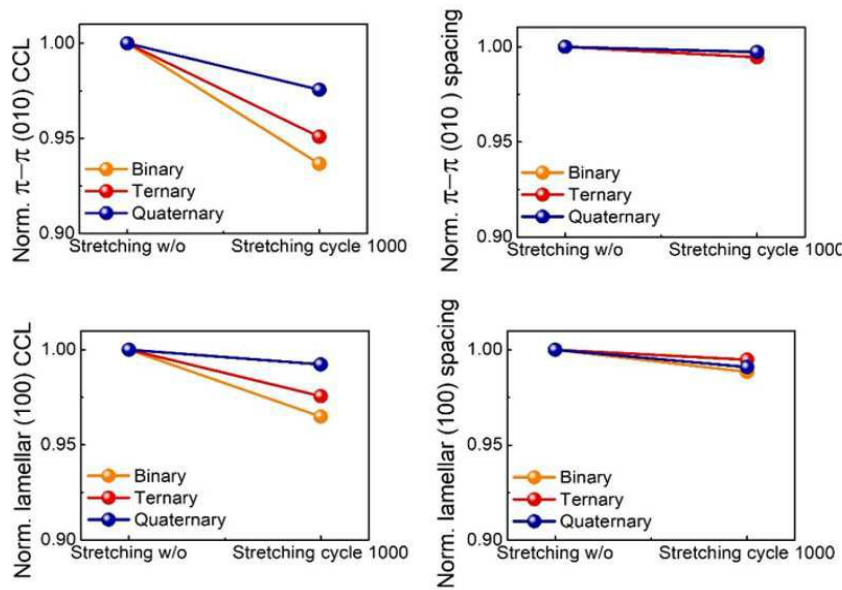
도면8



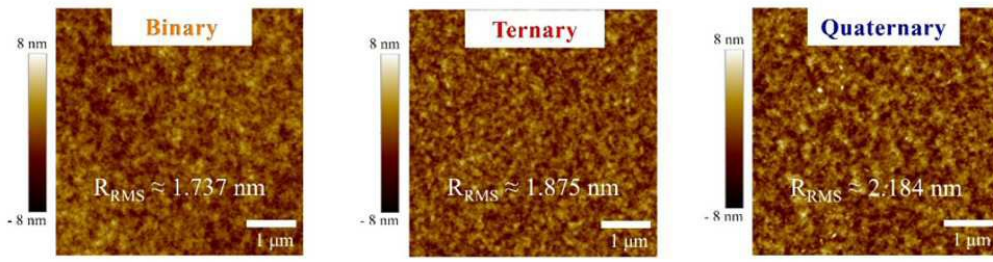
도면9



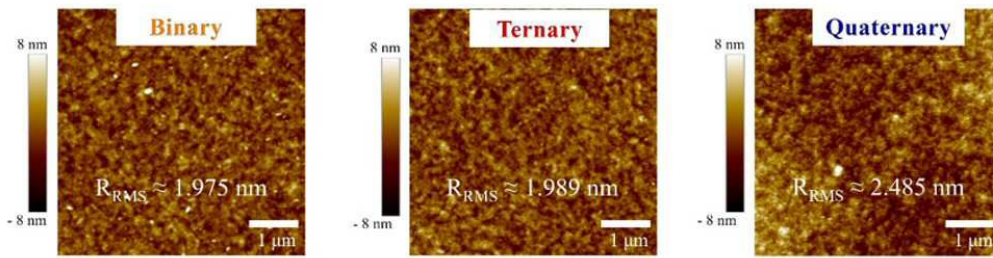
도면10



도면11

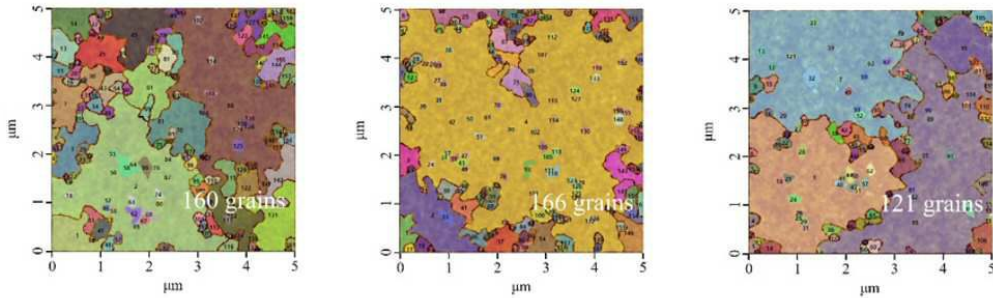


(a)

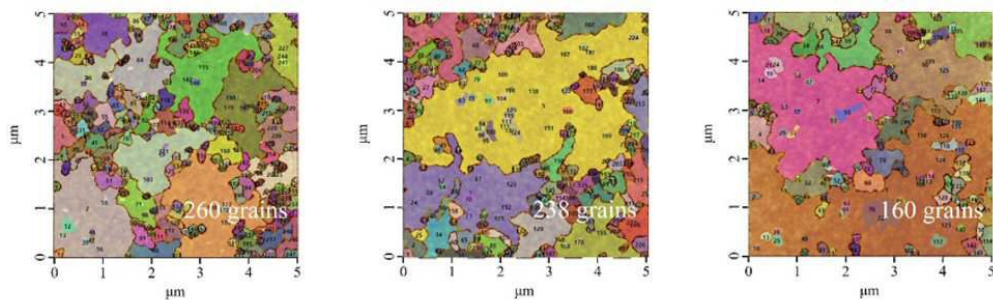


(b)

도면12

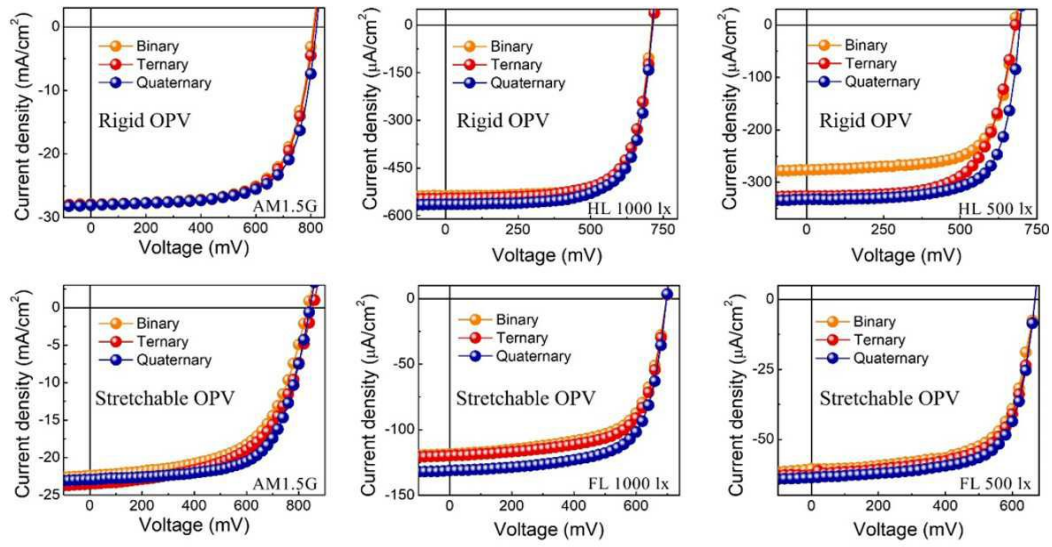


(a)



(b)

도면13



도면14

