(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0171539
(43) 공개일자 2023년12월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/0216 (2014.01) *C09J 171/00* (2006.01)
C09J 7/30 (2018.01) *G03F 7/00* (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/02168 (2013.01)
C09J 171/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0071754
(22) 출원일자 2022년06월13일
심사청구일자 2022년06월13일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
강성민
경기도 광명시 광명역로 26, 102동 903호 (일직동, 광명역파크자이)
최지성
대전광역시 동구 동부로 10번길 55 삼정그린코아 109동 1901호
(74) 대리인
김태완, 이재명

전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **초박막 반사 방지 스티커의 제작방법 및 초박막 반사 방지 스티커**

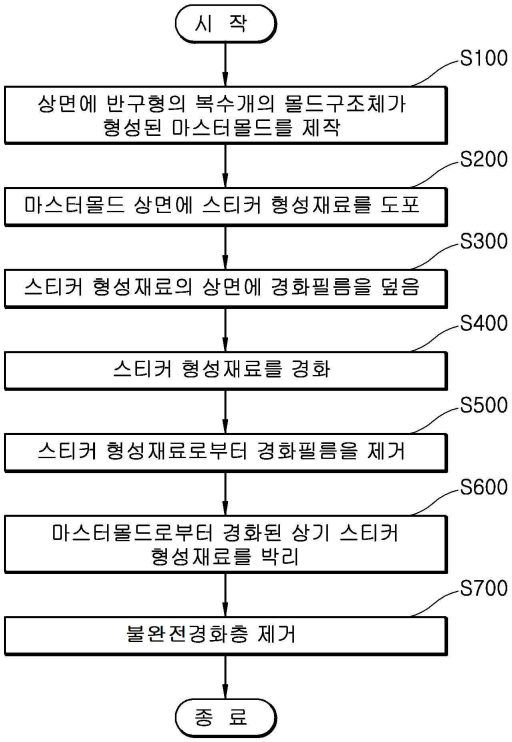
(57) 요 약

본 발명은 소프트 리소그래피(soft-lithography) 공정으로 단일층의 초박막 반사 방지 스티커를 제작하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법 및 초박막 반사 방지 스티커에 관한 것이다.

이를 위하여, 본 발명은 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법에 있어서, 상면에 반구형의 복수개의 몰드구조체가

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



형성된 마스터몰드를 제작하는 마스터몰드 제작단계와, 상기 마스터몰드 상면에 스티커 형성재료를 도포하는 스티커재료 도포단계와, 상기 스티커 형성재료의 상면에 경화필름을 덮는 경화필름 커버단계와, 상기 스티커 형성재료를 경화시키는 경화단계와, 상기 스티커 형성재료로부터 경화필름을 제거하는 경화필름 제거단계와, 상기 마스터몰드로부터 경화된 상기 스티커 형성재료를 박리하되, 박리된 상기 스티커 형성재료는 상면에 복수개의 반사 방지 구조체가 형성된 단일층의 초박막 반사 방지 스티커로 형성되는 스티커 박리단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법을 제공한다.

(52) CPC특허분류
C09J 7/30 (2018.01)
G03F 7/0002 (2013.01)
H01L 31/18 (2021.01)
C09J 2301/20 (2020.08)
Y02E 10/50 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345347709
과제번호 2020R1I1A3054824
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 지역대학우수과학자지원사업
연구과제명 다공성 하이브리드 유연/투명 페로브스카이트 태양전지 방진망 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 충남대학교
연구기간 2020.06.01 ~ 2024.05.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711161813
과제번호 2021R1A4A1032762
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기초연구실지원사업
연구과제명 멀티스케일 광제어 기초연구실
기 여 율 1/2
과제수행기관명 충남대학교
연구기간 2021.06.01 ~ 2024.02.29

명 세 서

청구범위

청구항 1

초박막 반사 방지 스티커의 제작방법에 있어서,

상면에 반구형의 복수개의 몰드구조체가 형성된 마스터몰드를 제작하는 마스터몰드 제작단계;

상기 마스터몰드 상면에 스티커 형성재료를 도포하는 스티커재료 도포단계;

상기 스티커 형성재료의 상면에 경화필름을 덮는 경화필름 커버단계;

상기 스티커 형성재료를 경화시키는 경화단계;

상기 스티커 형성재료로부터 경화필름을 제거하는 경화필름 제거단계;

상기 마스터몰드로부터 경화된 상기 스티커 형성재료를 박리하되, 박리된 상기 스티커 형성재료는 상면에 복수개의 반사 방지 구조체가 형성된 단일층의 초박막 반사 방지 스티커로 형성되는 스티커 박리단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 스티커재료 도포단계에서 상기 스티커 형성재료는 퍼플루오르폴리에테르(PFPE, perfluorinated polyether)인 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 경화필름 커버단계에서 상기 경화필름은 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET, Polyethylene terephthalate) 재질인 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 경화필름 커버단계는,

상기 스티커 형성재료의 상면의 전영역에 상기 경화필름을 덮는 커버단계;

상기 경화필름이 상기 스티커 형성재료를 가압하여 상기 스티커 형성재료의 두께를 조절하는 두께 조절단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 스티커 박리단계에서 상기 초박막 반사 방지 스티커의 상면에 형성된 상기 반사 방지 구조체는 반구형의 홈 형상을 형성하는 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법.

청구항 6

초박막 반사 방지 스티커에 있어서,

평평한 판 형상으로 형성된 베이스부;

상기 베이스부의 상면으로부터 돌출형성되어, 반구형의 홈 형상을 형성하는 복수개의 반사 방지 구조체;를 포함하되,

상기 베이스부와 상기 반사 방지 구조체는 일체형으로 형성되고, 동일한 재질로 구성되는 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법 및 초박막 반사 방지 스티커에 관한 것으로, 소프트 리소그래피(soft-lithography) 공정으로 단일층의 초박막 반사 방지 스티커를 제작하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법 및 초박막 반사 방지 스티커에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 스티커형 반사방지 필름은 빛 투과 효율(LTE, Light transmittance Efficiency)을 높여 페로브스카이트 태양전지(PSC)의 효율을 높이는데 활용됐다.

[0003] 여기서, 페로브스카이트 태양 전지(PSC)는 높은 전력 변환 효율(PCE), 쉬운 제조와 같은 우수한 특성으로 인해 유망한 미래 에너지원으로 전 세계적으로 주목받고 있다.

[0004] 이러한 페로브스카이트 태양 전지에 스티커형 반사방지 필름을 부착하면 페로브스카이트 태양 전지 손상 없이 우수한 광전이효율이 가능하며, 이때, 광전이효율은 장치에 전달되는 외부 빛의 양으로 정의된다.

[0005] 외부 태양광을 페로브스카이트 태양 전지에 효율적으로 전달하기 때문에 페로브스카이트 태양 전지의 외부 양자 효율(EQE)이 전체 파장에 걸쳐 증가하며, 이는 단락 전류 밀도(Jsc)의 증가를 의미하고, 따라서 페로브스카이트 태양 전지에 우수한 스티커형 스티커형 반사방지 필름을 적용하는 것이 태양광 장치의 전력 변환 효율을 높이는 가장 효과적이고 쉬운 접근 방식이다.

[0006] 이로 인하여, 스티커형 스티커형 반사방지 필름은 광전이효율이 높고 투명 기판에 쉽게 적용할 수 있어 페로브스카이트 태양 전지의 상용화와 함께 지속적으로 개발되고 있다.

[0007] 효과적인 스티커형 스티커형 반사방지 필름을 제작하기 위해서는 굴절률이 낮은 재료를 선택하는 것이 유리하며, 이에 따라 굴절률이 낮은 재료로 스티커형 반사방지 필름을 제작함으로써 반자방지 효과를 극대화시킬 수 있다.

[0008] 일반적으로 반사방지 필름의 재질은 굴절률이 1.43인 폴리디메틸실록산(PDMS, Polydimethylsiloxane)으로 구성되며, 표면 패터닝을 통한 구조적 광학효과를 활용하여 페로브스카이트 태양전지에 사용되었다.

[0009] 그러나 기존의 폴리디메틸실록산으로 제작한 반사방지 필름은 이중층으로 구성되며, 이에 따라 제작 가능한 최소 두께가 200㎛로 제한되어 고효율 플렉서블 소자에 적용하기 어려운 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-2293742호(발명의 명칭: 태양전지용 보호필름 및 이의 제조방법, 공고일: 2021.08.26)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 상술한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 소프트 리소그래피(soft-lithography) 공정으로 단일층의 초박막 반사 방지 스티커를 제작하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법 및 초박막 반사 방지 스티커를 제공하는데에 그 목적이 있다.

[0012] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않는 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 상술한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법에 있어서, 상면에 반구형의 복수개의 몰드구조체가 형성된 마스터몰드를 제작하는 마스터몰드 제작단계와, 상기 마스터몰드 상면에 스티커 형성재료를 도포하는 스티커재료 도포단계와, 상기 스티커 형성재료의 상면에 경화필름을 덮는 경화필름 커버단계와, 상기 스티커 형성재료를 경화시키는 경화단계와, 상기 스티커 형성재료로부터 경화필름을 제거하는 경화필름 제거단계와, 상기 마스터몰드로부터 경화된 상기 스티커 형성재료를 박리하되, 박리된 상기 스티커 형성재료는 상면에 복수개의 반사 방지 구조체가 형성된 단일층의 초박막 반사 방지 스티커로 형성되는 스티커 박리단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법을 제공한다.

[0014] 여기서, 상기 스티커재료 도포단계에서 상기 스티커 형성재료는 퍼플루오르폴리에테르(PFPE, perfluorinated polyether)일 수 있다.

[0015] 또한, 상기 경화필름 커버단계에서 상기 경화필름은 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET, Polyethylene terephthalate) 재질일 수 있다.

[0016] 또한, 상기 경화필름 커버단계는 상기 스티커 형성재료의 상면의 전영역에 상기 경화필름을 덮는 커버단계와, 상기 경화필름이 상기 스티커 형성재료를 가압하여 상기 스티커 형성재료의 두께를 조절하는 두께 조절단계를 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 스티커 박리단계에서 상기 초박막 반사 방지 스티커의 상면에 형성된 상기 반사 방지 구조체는 반구형의 홈 형상을 형성할 수 있다.

[0018] 또한, 본 발명은 초박막 반사 방지 스티커에 있어서, 평평한 판 형상으로 형성된 베이스부와, 상기 베이스부의 상면으로부터 돌출형성되어, 반구형의 홈 형상을 형성하는 복수개의 반사 방지 구조체를 포함하되, 상기 베이스부와 상기 반사 방지 구조체는 일체형으로 형성되고, 동일한 재질로 구성되는 것을 특징으로 하는 초박막 반사 방지 스티커를 제공한다.

발명의 효과

[0019] 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법 및 초박막 반사 방지 스티커는 다음과 같은 효과가 있다.

[0020] 첫째, 상면에 복수개의 반사 방지 구조체가 형성된 단일층의 초박막 반사 방지 스티커를 제작할 수 있음에 따라, 고효율 플렉서블 소자에 적용할 수 있는 이점이 있다.

[0021] 둘째, 단일층으로 형성되며, 약 20㎛의 얇은 두께로 초박막 반사 방지 스티커를 제작할 수 있게 됨에 따라 페로브스카이트 층에 가해지는 응력 감소로 인해 유연한 페로브스카이트 태양 전지의 기계적 안정성이 향상되는 이점이 있다.

[0022] 셋째, 초박막 반사 방지 스티커 상면에 형성된 복수개의 반사 방지 구조체가 모스아이(moth-eye) 타입의 원추형 구조로 형성됨에 따라 공기에서 기판으로 입사광의 구조적 기울기를 이용하여 반사 방지 효과가 향상되는 이점이 있다.

[0023] 넷째, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 퍼플루오르폴리에테르(PFPE, perfluorinated polyether) 재료의 자체 특성 및 단일층의 얇은 두께에 의하여 별도의 접착층 또는 접착제의 도포 없이 태양전지 등 여러 장치의 외면에 부착 가능한 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법의 단계를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법의 단계별 과정을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 개략도를 도시한 도면이다.

도 4은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 SEM 및 AFM 이미지를 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티

커의 반사 방지 구조체의 빛 투과 효율 및 반사도를 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 기능적 특성을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 페로브스카이트 태양전지의 성능을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 8은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 안정성을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

도 9는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 장기 안정성을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0026] 본 명세서에서 사용된 용어는 특정 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이 단수 형태는 문맥상 다른 경우를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0027] 어떠한 구성 요소가 다른 구성 요소에 “연결되어” 있다거나 “접속되어” 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떠한 구성 요소가 다른 구성요소에 “직접 연결되어” 있다거나 또는 “직접 접속되어” 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하기 위한 다른 표현들도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0028] 본 명세서에서 사용되는 기술적이거나 과학적인 용어를 포함한 모든 용어들은, 다르게 정의되지 않는 한 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0029] 도 1은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법의 단계를 도시한 도면이며, 도 2는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법의 단계별 과정을 설명하기 위해 도시한 도면으로, 도 1 및 도 2에 따르면 본 발명은 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법은 마스터몰드 제작단계(S100), 스티커재료 도포단계(S200), 경화필름 커버단계(S300), 경화단계(S400), 경화필름 제거단계(S500), 스티커 박리단계(S600) 및 불완전경화층 제거단계(S700)를 포함한다.

[0030] 상기 마스터몰드 제작단계(S100)는 상면에 반구형의 복수개의 몰드구조체(1200)가 형성된 마스터몰드(1000)를 제작한다.

[0031] 이때, 상기 몰드구조체(1200)는 평판 형상의 몰드베이스부(1100) 상면에 반구형이 돌출된 형상으로 형성되며, 상기 몰드구조체(1200)의 직경은 280 내지 320㎚이며, 높이는 180 내지 220㎚로 형성될 수 있으나, 구체적으로 상기 몰드구조체(1200)의 직경은 300㎚이며, 높이는 200㎚로 형성되는 것이 바람직하다.

[0032] 또한, 상기 마스터몰드(1000)의 재질은 실리콘인 것이 바람직하다.

[0033] 상기 스티커재료 도포단계(S200)에서는 상기 마스터몰드(1000) 상면에 전체적으로 스티커 형성재료(2000)를 도포하며, 이때 상기 스티커 형성재료(2000)는 퍼플루오르폴리에테르(PFPE, perfluorinated polyether)로 구성된다.

[0034] 상기 경화필름 커버단계(S300)는 상기 마스터몰드(1000) 상면에 도포된 상기 스티커 형성재료(2000)의 상면에

경화필름(3000)을 덮으며, 구체적으로 상기 경화필름 커버단계(S300)는 커버단계 및 두께 조절단계를 포함한다.

[0035] 상기 커버단계에서는 상기 스티커 형성재료(2000)의 상면의 전영역에 상기 경화필름(3000)을 덮으며, 이때, 상기 경화필름의 재질은 투명한 재질인 PET로 구성되고, 이에 따라 후술하는 경화단계(S400)의 수행시 UV가 상기 경화필름을 통과하여 상기 스티커 형성재료(2000)로 침투가 가능하게 됨에 따라 상기 스티커 형성재료(2000)의 경화를 수행할 수 있다.

[0036] 상기 두께 조절단계에서는 상기 경화필름(3000)이 상기 스티커 형성재료(2000)를 가압하여 상기 스티커 형성재료(2000)의 두께를 조절한다.

[0037] 이때, 상기 두께 조절단계에서는 상기 스티커 형성재료(2000)의 총 두께가 20㎛가 될 때까지 상기 경화필름(3000)이 상기 스티커 형성재료(2000)를 가압함으로써 상기 스티커 형성재료(2000)의 두께를 조절할 수 있다.

[0038] 상기 경화단계(S400)에서는 상기 스티커 형성재료(2000)를 UV 경화시키며, 이때, 상기 경화단계(S400)가 수행됨에 따라, 상기 스티커 형성재료(2000)를 부분경화시켜 완전경화층(2100)과 불완전경화층(2200)을 생성한다.

[0039] 상기 스티커 형성재료(2000)의 재질인 퍼플루오르폴리에테르의 경우 UV 경화 시, 산소와 접촉하게 되면 UV 경화 과정을 거친 후에도 산소와 접촉된 면은 불완전경화된다.

[0040] 상기 커버단계를 통해 상기 스티커 형성재료(2000)의 상면의 전영역에 상기 경화필름(3000)가 덮힌 상태가 되지만, 상기 스티커 형성재료(2000)의 측면영역은 공기중에 노출된 상태가 되므로, 상기 스티커 형성재료(2000)의 측면영역이 불완전경화층(2200)으로 형성된다.

[0041] 구체적으로, 상기 스티커 형성재료(2000)의 상면에 전체적으로 도포된 상기 경화필름(3000)에 의하여, 상기 스티커 형성재료(2000)가 맞닿는 공기를 차단함으로써 상기 경화필름(3000)에 덮힌 영역은 상기 스티커 형성재료(2000)가 완전히 경화되는 완전경화층(2100)이 생성된다.

[0042] 동시에 상기 경화필름(3000)이 덮히지 않은 상기 스티커 형성재료(2000)의 측면 영역은 공기에 노출된 상태로, 상기 경화단계(S400)에서 상기 스티커 형성재료(2000)를 UV 경화시키더라도 산소와 접촉되므로 완전히 경화되지 않는 상태의 불완전경화층(2200)이 생성된다.

[0043] 상기 경화필름 제거단계(S500)에서는 상기 스티커 형성재료(2000)로부터 경화필름(3000)을 제거한다.

[0044] 이때, 상기 경화필름 제거단계(S500)에서는 마스터몰드(1000), 스티커 형성재료(2000) 및 경화필름(3000) 사이의 접착에너지를 기준으로 상기 스티커 형성재료(2000)로부터 경화필름(3000)을 제거한다.

[0045] 구체적으로, 상기 마스터몰드(1000)와 상기 스티커 형성재료(2000) 사이의 접착에너지(PFPE-silicon)는 최대 5.526μJ이며, 이때, 상기 마스터몰드(1000)와 상기 스티커 형성재료(2000)가 접착되는 영역의 형상, 즉 몰드구조체(1200)의 형상에 의해 상술한 접착에너지를 가지고, 상기 스티커 형성재료(2000)와 상기 경화필름(3000) 사이의 접착에너지(PET-PFPE)는 최대 3.683μJ로, 상기 스티커 형성재료(2000)와 상기 경화필름(3000)을 우선적으로 분리한다.

[0046] 또한, 상기 경화필름 제거단계(S500)에서 상기 스티커 형성재료(2000) 중 측면은 불완전경화층(2200)으로 형성됨에 따라 상기 마스터몰드(1000)와 상기 스티커 형성재료(2000)의 박리가 우선적으로 진행되는 것을 용이하게 하며, 상기 스티커 형성재료(2000)와 상기 마스터몰드(1000)의 측면으로부터 분리가 시작되면, 완전경화층(2100)에서도 상기 마스터몰드(1000)와 상기 스티커 형성재료(2000)의 박리가 용이하게 진행된다.

[0047] 상기 스티커 박리단계(S600)에서는 상기 마스터몰드(1000)로부터 경화된 상기 스티커 형성재료(2000)를 박리하며, 구체적으로 상기 스티커 박리단계(S600)는 솔벤트 분사단계 및 단일층스티커 형성단계를 포함한다.

[0048] 상기 솔벤트 분사단계에서는 상기 스티커 형성재료(2000)의 측면에 솔벤트(solvent)를 분사하고, 분사된 상기 솔벤트가 모세관 현상에 의하여 상기 마스터몰드(1000)와 상기 스티커 형성재료(2000) 측면영역의 사이 공간을 침투하여 상기 마스터몰드(1000)와 상기 스티커 형성재료(2000)의 측면영역의 접착력을 제거한다.

[0049] 이에 따라, 상기 솔벤트 분사단계에 의하여 상기 마스터몰드(1000)와 상기 스티커 형성재료(2000)의 측면영역의 접착력을 제거하지 않는 경우 발생되는, 강제 분리에 의하여 상기 스티커 형성재료(2000)가 찢어져 손상되는 현상을 방지할 수 있으며, 상기 솔벤트는 아세톤일 수 있다.

[0050] 상기 단일층스티커 형성단계에서는 접착력이 제거된 상기 마스터몰드(1000)와 상기 스티커 형성재료(2000)의 측면영역으로부터 경화된 상기 스티커 형성재료(2000)를 상기 마스터몰드(1000)에서 박리하며, 이때, 박리된 상기

스티커 형성재료(2000)는 상면에 복수개의 반사 방지 구조체(200)가 형성된 단일층의 초박막 반사 방지 스티커로 형성되며, 상기 초박막 반사 방지 스티커의 상세한 설명은 후술하도록 한다.

[0051] 상기 불완전경화층 제거단계(S700)에서는 상기 불완전경화층(2200)과 상기 솔벤트 분사단계에서 솔벤트에 의하여 손상된 상기 스티커 형성재료(2000)의 측면영역, 즉, 상기 초박막 반사 방지 스티커의 측면영역을 컷팅하여 제거함으로써, 상기 초박막 반사 방지 스티커의 전 영역이 균일한 반사방지 효과를 가지도록 한다.

[0052] 도 3은 상술한 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 개략도를 도시한 도면이며, 도 4은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 SEM 및 AFM 이미지를 도시한 도면으로, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 베이스부(100) 및 반사 방지 구조체(200)를 포함한다.

[0053] 상기 베이스부(100)는 평평한 판 형상으로 형성되며, 상기 베이스부(100)의 하면은 페로브스카이트 태양전지 등 반사 방지를 필요로 하는 제품에 부착된다.

[0054] 상기 반사 방지 구조체(200)는 상기 베이스부(100)의 상면으로부터 돌출형성되어 반구형의 홈 형상인 반사방지홈(300)을 형성하며, 복수개로 구성되어 일정간격으로 이격되어 배치된다.

[0055] 상기 반사방지홈(300)의 직경(D)은 280 내지 320nm이며, 높이(D)는 180 내지 220nm로 형성되며, 상기 반사방지홈(300)은 상술한 상기 몰드구조체(1200)에 의하여 형성되고, 상기 베이스부(100)와 상기 반사 방지 구조체(200)를 합한 두께(H)는 20㎛이다.

[0056] 이때, 상기 베이스부(100)와 상기 반사 방지 구조체(200)는 일체형으로 단일층으로 형성되며, 동일한 재질로 구성되고, 상기 베이스부(100)와 상기 반사 방지 구조체(200)의 재질은 경화된 퍼플루오르폴리에테르일 수 있다.

[0057] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 상면에 복수개의 반사 방지 구조체(200)가 형성되며, 단일층으로 형성됨에 따라 고효율 플렉서블 소자에 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 약 20㎛의 얇은 단일층 두께로 형성되어 부착되는 페로브스카이트 층에 가해지는 응력 감소로 인해 유연한 페로브스카이트 태양 전지의 기계적 안정성이 향상된다.

[0058] 또한, 상기 반사 방지 구조체(200)에 의하여 모스아이(moth-eye) 타입의 원추형 구조, 즉 반사방지홈(300)이 형성됨에 따라 공기에서 기판으로 입사광의 구조적 기울기를 이용하여 반사 방지 효과가 향상된다.

[0059] 도 5는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 반사 방지 구조체(200)의 빛 투과 효율 및 반사도를 설명하기 위해 도시한 도면이다.

[0060] 도 5의 (a)는 FTO glass에 반사 방지 구조체(200)가 형성되지 않은 일반 퍼플루오르폴리에테르 필름과 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 빛 투과 효율(Light transmittance efficiency)로, 일반 퍼플루오르폴리에테르 필름에 비교하여 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 빛 투과 효율이 높은 것을 확인할 수 있다.

[0061] 또한, 도 5의 (b)는 기존 반사방지 필름 및 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 두께와 반사도를 도시한 도면으로, 기존 반사방지 필름과 비교하여 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 두께는 월등히 얇으며, 반사도도 낮은 것을 확인할 수 있다.

[0062] 도 6은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 기능적 특성을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

[0063] 도 6의 (a)는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)과 비교 필름의 빛 투과 효율(Light transmittance efficiency)을 도시한 도면으로, 상기 비교 필름은 일반 퍼플루오르폴리에테르 필름, 반사 방지 구조체(moth-eye)가 형성된 폴리디메틸실록산(PDMS), 폴리우레탄아크릴레이트(PUA), Norland광학접착제(NOA) 필름이다.

[0064] 도 6의 (a)에 따르면, 일반 퍼플루오르폴리에테르 필름의 표면 굴절률은 공기와 일반 퍼플루오르폴리에테르 필름 사이의 계면에서 갑자기 변화하는 반면(n = 1에서 1.337), 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)는 나노구조의 상단(높이 ~ 200 nm)에서 점차적으로 감소한다.

[0065] 특히 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)는 다양한 고분자 중 굴절률이 가장 낮은 퍼플루오르폴리에테르를 사용하여 효율적으로 점진적인 굴절률 변화를 보이며, 굴절률의 변화율이 가장 작은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)의 LTE가 99.97%로 가장 좋은 계산값을 나타내어 LTE 개선에 가장 효과적인 것을 확인할 수 있다.

[0066] 도 6의 (b)는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)와 비교 필름의 투과도 및 반사도를 도시한 도면으로, 상기 비교 필름은 유리(Bare glass), 반사 방지 구조체(moth-eye)가 형성된 폴리디메틸실록산(PDMS) 필름 및 상업용 방사방지 필름(Commercial AR film)이다.

[0067] 도 6의 (b)에 따르면, 상업용 방사방지 필름의 평균 투과율은 94.85%, 반사율은 4.20%이고, 폴리디메틸실록산(PDMS) 필름은 투과율 96.89%, 반사율 2.88%인 반면, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)는 투과율 98.43%, 반사율 1.43%로 뛰어난 광학적 특성을 갖고 있을뿐만 아니라, 비교 필름에 비해 전체 파장의 변화 없이 광학적 특성의 그래프선이 안정적인 것을 확인할 수 있다.

[0068] 도 6의 (c)는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)를 광학소자용 기판으로 사용되는 ITO(indium-tin oxide) 필름과 FTO 글래스 기판에 적용 시 투과도 및 반사도를 도시한 도면이다.

[0069] 도 6의 (c)에 따르면, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)는 ITO 필름에서 투과율을 4.59% 향상시키고 반사율을 7.54% 감소시키며, FTO 글래스에서 투과율은 6.93% 향상시키고 반사율은 2.59% 감소시키는 것을 확인할 수 있다.

[0070] 따라서 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)를 투명전극기판에 부착하면 페로브스카이트 태양전지로 전달되는 빛의 양에 따라 LTE를 증가시켜 단락 전류 밀도를 증가시키는 효과를 기대할 수 있다.

[0071] 도 6의 (d)는 퍼플루오르폴리에테르와 폴리디메틸실록산 재료의 두께에 따른 휨 강성을 도시한 도면으로, 폴리디메틸실록산 재료의 두께는 공정상의 제약으로 제작 가능한 최소 두께가 200㎛로 제한되어 있으며, 퍼플루오르폴리에테르 재료의 두께는 10㎛까지 제작할 수 있으나, 안정적인 수율과 제작의 편리성을 위하여 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)의 두께를 20㎛으로 제작하였고, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)의 휨 강성은 10nN·m이며, 반데르발스힘에 따라 접착력을 이용하여 스티커로 사용할 수 있게 됨으로써 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커(UAS)를 별도의 접착제 없이 페로브스카이트 태양전지에 부착할 수 있게 된다.

[0072] 도 7은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 페로브스카이트 태양전지의 성능을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

[0073] 도 7의 (a) 및 (b)는 강체(rigid) 페로브스카이트 태양전지의 전류 밀도-전압(current density-voltage) J-V 곡선과 외부 양자 효율(EQE, external quantum efficiency)을 도시한 도면이다.

[0074] 도 7의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 장치에 도달하는 빛의 양을 증가시켜 페로브스카이트 태양전지의 성능 향상시킨다.

[0075] 후술하는 대조용 태양전지 소자(강성 기판)는 고체 면내 성장법을 통해 2차원 페로브스카이트로 처리된 3차원 페로브스카이트층을 광흡수층으로 사용하였으며, SEM 이미지에서 확인된 광흡수층의 두께는 550 nm이다

[0076] 도 7의 (a) 및 (b)에 따르면, 대조용 태양전지 소자(강성 기판)에서는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 통해 단락 전류 밀도는 25.51mA/cm2(정방향 스캔: 25.53, 역방향 스캔: 25.48)로 증가하고 평균 효율은 1.28%로 24.31(정방향 스캔: 24.43, 역방향 스캔: 24.18)으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0077] 또한, 외부 양자 효율에서 계산된 단락 전류 밀도는 대조용 태양전지 소자(강성 기판)의 경우 24.47mA/cm2에서 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 장치의 경우 25.52mA/cm2로 증가했으며, 각 값은 J-V 곡선에서 직접 얻은 값과 유사한 것을 확인할 수 있다.

[0078] 즉, 400~800nm 범위에서 단락 전류 밀도가 균일하게 개선되며, 460nm에서는 98.4%까지 도달한다.

[0079] 결과적으로, 단락 전류 밀도 증가의 원인은 광 흡수 물질의 전달성과 같은 장치의 기본 요인이 아니라 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커가 외부에서 들어오는 빛의 반사를 억제하여 더 많은 광자가 페로브스카이트 층에 도달할 수 있도록 하는 것을 확인할 수 있다.

[0080] 도 7의 (c)는 세가지 조건에서의 페로브스카이트 태양전지의 단락 전류 밀도 (short-circuit current density,

Jsc) 향상률을 도시한 도면이다.

[0081] 도 7의 (c)에 따르면, 동일한 기기군에서 상용화된 반사방지 필름을 적용한 기기의 경우, 평균 0.80mA/cm2만큼의 개선을 보인 반면 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 기기는 평균 1.12mA/cm2 단락 전류 밀도 개선을 보여 더 높은 반사방지 효과를 확인할 수 있다.

[0082] 도 7의 (d) 및 (e)는 연성(flexible) 페로브스카이트 태양전지의 전류 밀도-전압(current density-voltage) J-V 곡선과 외부 양자 효율(EQE, external quantum efficiency)을 도시한 도면이다.

[0083] 도 7의 (d) 및 (e)에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 장치의 단락 전류 밀도는 26.63mA/cm2(정방향 스캔: 26.63, 역방향 스캔: 26.62)로 1mA/cm2 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커로 인하여 평균 효율도 23.05%(정방향 스캔: 22.87, 역방향 스캔: 23.32)에서 23.93%(정방향 스캔: 23.87, 역방향 스캔: 24.04)로 0.88% 향상된다.

[0084] 또한, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 장치의 외부 양자 효율은 350-850 nm 파장 범위에서 고르게 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0085] 결과적으로, 3차원 페로브스카이트의 조성이 다른 경우에도 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 더 많은 빛이 페로브스카이트 층에 도달하도록 한다.

[0086] 또한, 연성의 페로브스카이트 장치(Jsc: 21.92 mA/cm2, Voc: 1.072 V, FF: 80.20%, PCE: 18.84%, 평균)에 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 경우, 단락 전류 밀도(Jsc), 개방단자전압(Voc, open- circuit voltage), 전력변환효율(PCE, power conversion efficiency) 측면에서 제어장치의 성능이 향상(Jsc: 23.05mA/cm2, Voc: 1.078V, FF: 80.72%, PCE: 20.05%, 평균)된 것을 확인할 수 있다.

[0087] 도 7의 (f) 및 (g)는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커가 적용된 강체(rigid) 및 연성(flexible)의 페로브스카이트 태양전지의 광전 성능의 통계적 분포를 도시한 도면으로, 도 7의 (f) 및 (g)의 도시와 같이, 강체(rigid) 및 연성(flexible) 페로브스카이트 태양전지 장치 모두 단락 전류 밀도의 개선으로 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다.

[0088] 도 8은 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 안정성을 설명하기 위해 도시한 도면이다.

[0089] 도 8의 (a)는 필름의 두께에 따른 중성면의 변화에 의해 연성(flexible) 페로브스카이트 층의 안정성 결과를 도시한 도면이다.

[0090] 일반적으로, 스티커형 반사방지 필름을 부착하여 광자 수확량을 높일 수 있으며, 이때, 중립면(neutral plane)과 페로브스카이트 층 사이의 거리를 늘려야 하므로, 반사방지 필름(초박막 반사 방지 스티커)의 두께를 최소화하는 것이 매우 중요하다.

[0091] 이때, 120㎛ 두께의 PFPE 필름은 200㎛의 제한된 두께를 가진 PDMS와 유사한 굽힘 강성을 갖으며, 공정 한계로 두께가 120㎛ 이상인 기존 반사방지 필름과 달리 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 20㎛의 얇은 두께로 제작할 수 있다.

[0092] 도 8의 (a)에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 퍼플루오르폴리에테르(PFPE, perfluorinated polyether)로 만들어지지만 페로브스카이트 층에 응력을 덜 유발하는 120㎛ 등가물 대신 20㎛ 두께의 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용할 경우 페로브스카이트 층과 기계적 중립면 사이의 거리가 480nm 감소하는 것을 확인할 수 있다.

[0093] 도 8의 (b)는 2mm와 4mm의 굽힘반경에서 반사방지 필름(초박막 반사 방지 스티커)의 두께에 따른 굽힘 테스트 결과를 도시한 도면이다.

[0094] 도 8의 (b)에 따르면, 굽힘 테스트를 수행할 때 ITO 전극은 페로브스카이트에 대한 응력의 영향을 더 잘 시각화하기 위해 기계적 내구성이 높은 전도성 폴리머(PH1000)로 교체되며, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커가 적용된 연성의 페로브스카이트 태양전지의 경우, 2mm 굽힘 반경에서 10000번의 굽힘 테스트 후에도 초기 효율을 유지한 것을 확인할 수 있다.

[0095] 반면, 120㎛ 두께의 초박막 반사 방지 스티커의 경우에는 동일한 조건에서 초기 효율의 52%로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

[0096] 실제로 2㎜의 곡률 반경에서 10000번의 굽힘 테스트를 수행한 후 20㎛ 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 장치의 페로브스카이트 필름의 형태는 거의 변하지 않은 반면 120㎛ 두께의 초박막 반사 방지 스티커를 적용한 경우 균열이 발생한 것을 확인할 수 있다(도 5의 (a) 도시 참조).

[0097] 결과적으로, 20㎛의 얇은 두께로 형성된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 연성의 페로브스카이트 태양전지의 효율성을 높일 뿐만 아니라 기존의 반사방지 스티커 사용 시 불가피하게 발생하는 기계적 내구성에 대한 부정적인 영향을 최소화할 수 있다.

[0098] 도 8의 (c)는 초박막 반사 방지 스티커의 외부 극한 환경에서의 안정성 테스트 결과를 도시한 도면이며, 도 8의 (d)는 1000시간 동안 85℃/85% 습열 테스트 후 페로브스카이트 태양전지에 적용한 필름의 광학 안정성 결과를 도시한 도면이다.

[0099] 도 8의 (c) 및 (d)에 따르면, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 대기, 물, 강한 빛(22501m), 고온(85° C) 및 85° C/85% 상대 습도(85/85 습열 테스트)의 다양한 환경에서 168시간 동안 배치되어 안정성 테스트를 진행하였으며, 상술한 테스트를 진행한 이후, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 광학적 내구성은 투과율과 반사율을 유지하였으며, 제작 직후 측정한 기존 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커와 비교하여 확인할 수 있다.

[0100] 또한, 태양전지에 적용하기 위해서는 도 8의 (d)와 같이 85℃/85% 습열 테스트를 통과해야 하는데, 이러한 테스트 조건에서 1000시간 노출된 후 사용된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 경우, 제작 직후 측정한 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커와 거의 유사한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

[0101] 결과적으로, 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커는 열악한 외부 환경에서도 장기간 페로브스카이트 태양전지의 고효율을 유지할 수 있다.

[0102] 도 9는 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 제작방법으로 제작된 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 장기 안정성을 설명하기 위해 도시한 도면으로, 제작 직후의 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커와 제작 후 6개월이 지난 본 발명에 따른 초박막 반사 방지 스티커의 경우, 투과율과 반사율이 비슷한 수준을 유지하는 것을 확인할 수 있다.

[0103] 상술한 바와 같이 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시예에 한정되지 아니하며, 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시예들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어서는 안 될 것이다.

부호의 설명

[0104] 100: 베이스부

200: 반사 방지 구조체

300: 반사방지홈

1000: 마스터몰드

1100: 몰드베이스부

1200: 몰드구조체

2000: 스티커 형성재료

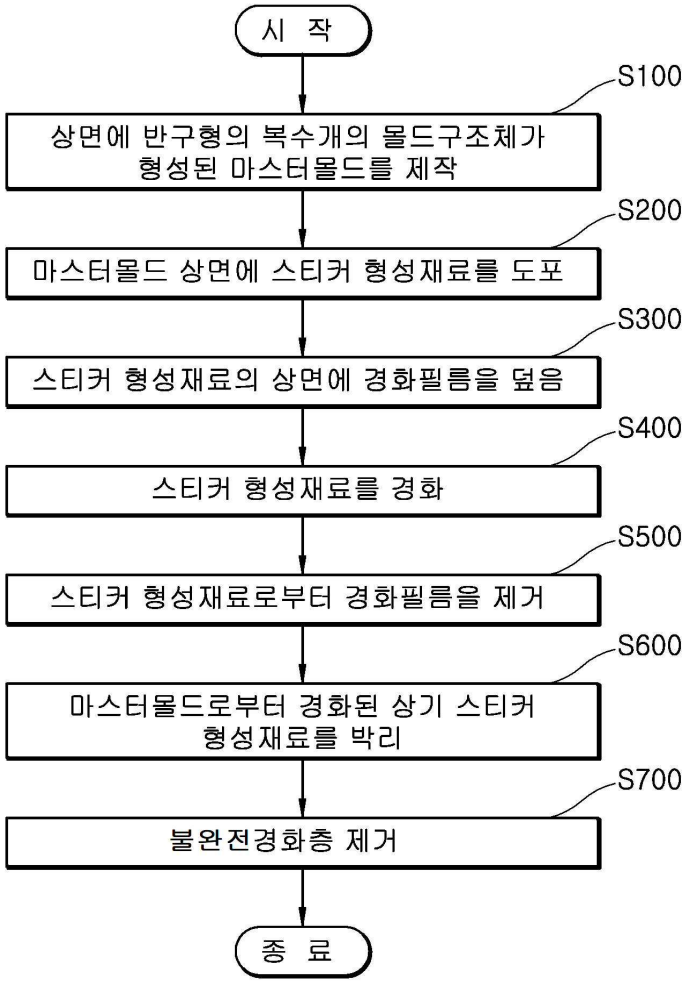
2100: 완전경화층

2200: 불완전경화층

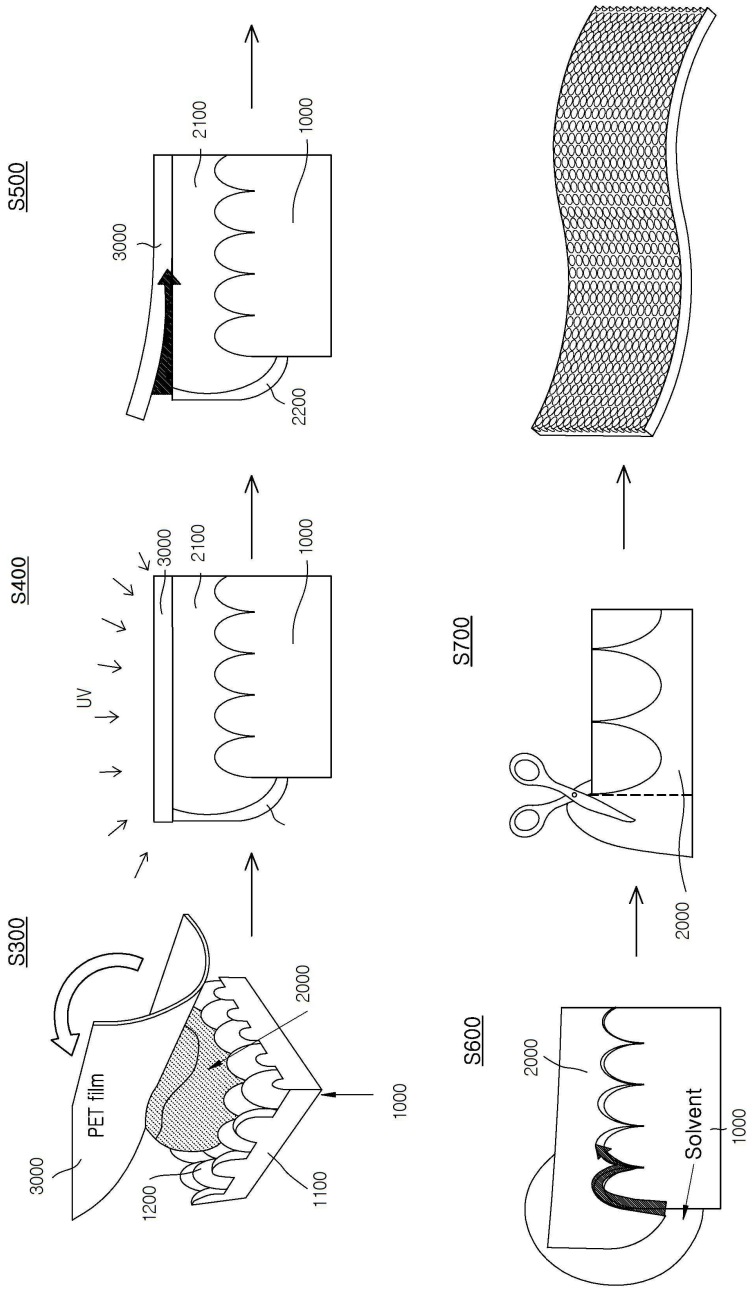
3000: 경화필름

도면

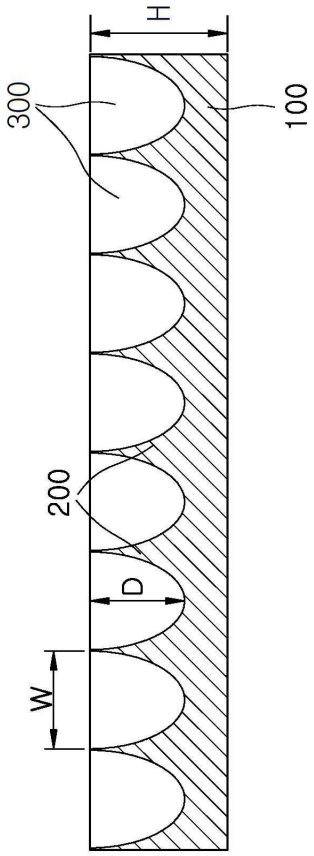
도면1


시 작
S100
상면에 반구형의 복수개의 몰드구조체가 형성된 마스터몰드를 제작
S200
마스터몰드 상면에 스티커 형성재료를 도포
S300
스티커 형성재료의 상면에 경화필름을 덮음
S400
스티커 형성재료를 경화
S500
스티커 형성재료로부터 경화필름을 제거
S600
마스터몰드로부터 경화된 상기 스티커 형성재료를 박리
S700
불완전경화층 제거
종 료

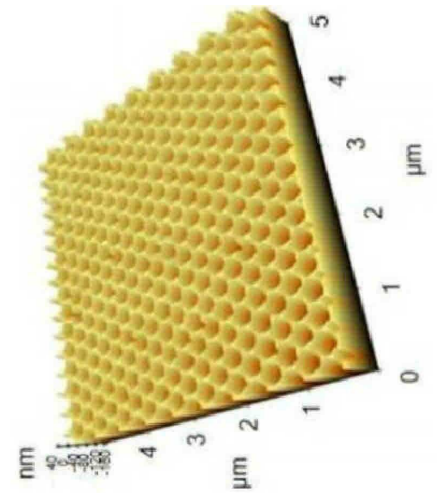
도면2


S500
2100
1000
3000
2200
S400
3000
2100
1000
UV
S300
2000
PET film
1000
3000
1200
1100
S700
2000
S600
2000
Solvent
1000

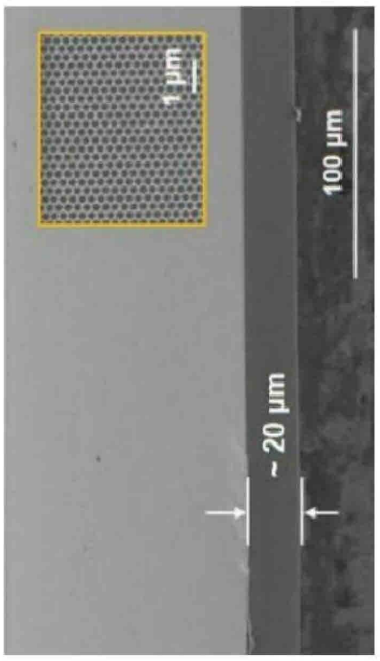
도면3



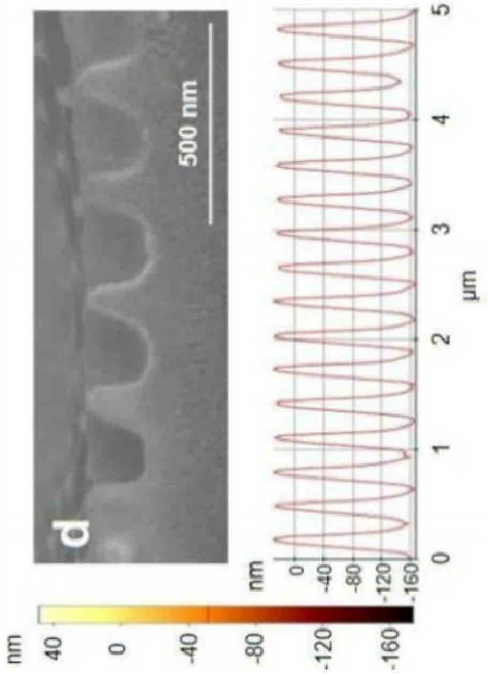
도면4


nm
μm
μm

(b)


1 μm
100 μm
~ 20 μm

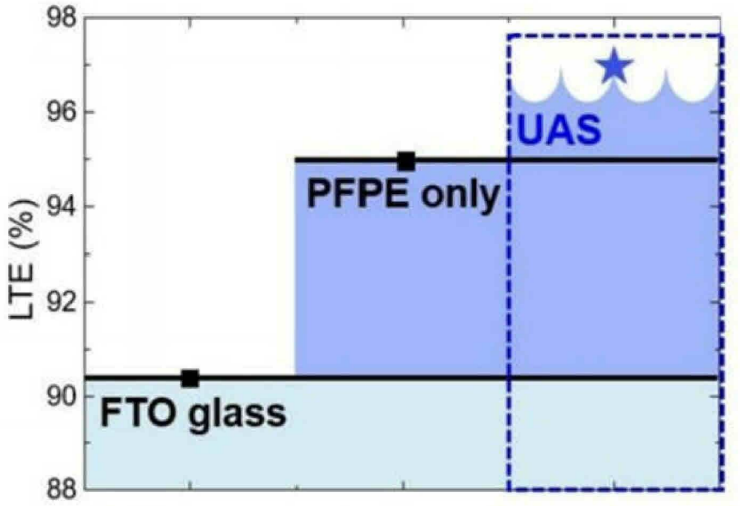
(a)


500 nm
d
nm
40
0
-40
-80
-120
-160
nm
0
-40
-80
-120
-160
μm

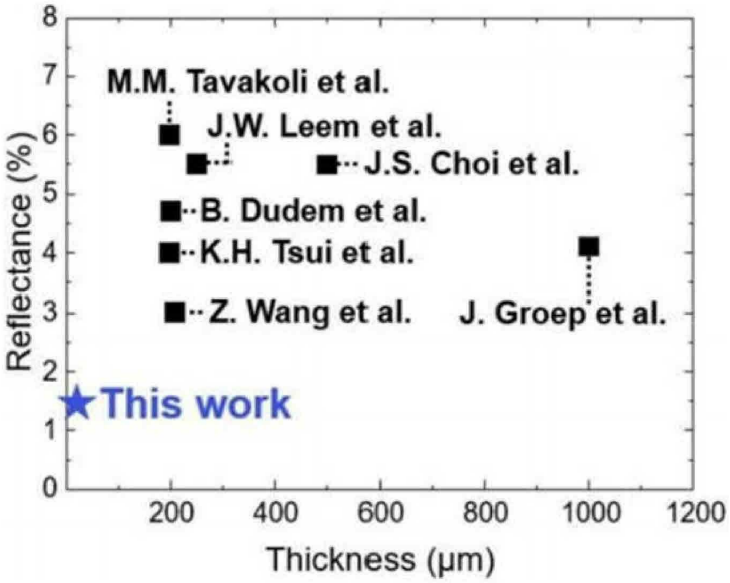
(c)

도면5

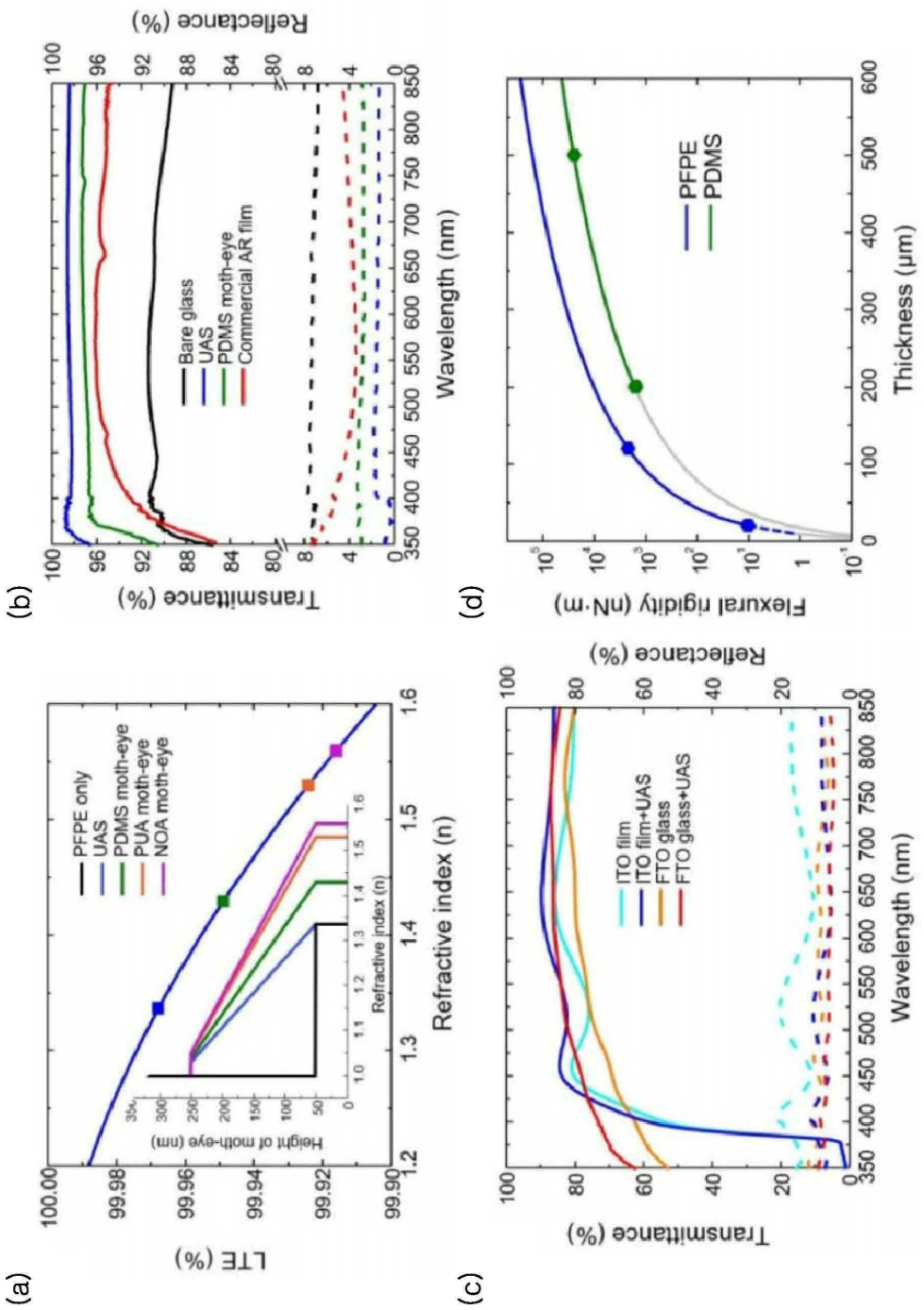
(a)


98
96
94
92
90
88
LTE (%)
UAS
PFPE only
FTO glass

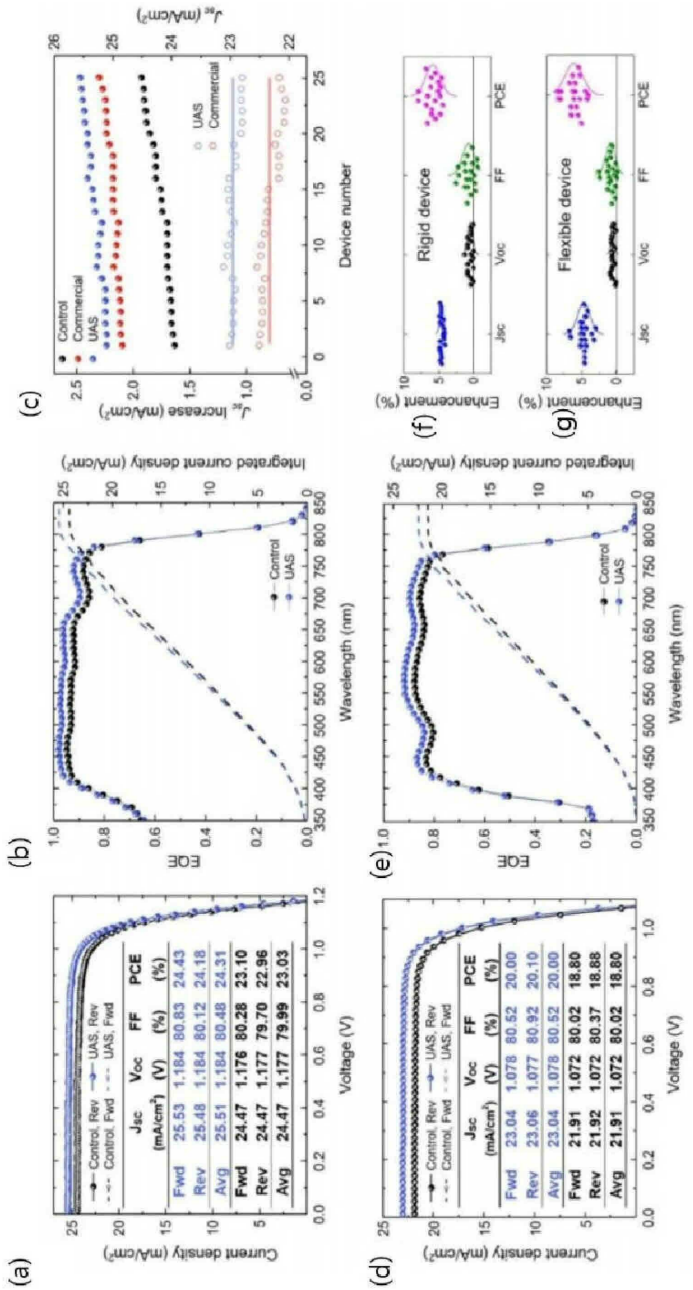
(b)


8
7
6
5
4
3
2
1
0
Reflectance (%)
M.M. Tavakoli et al.
J.W. Leem et al.
J.S. Choi et al.
B. Dudem et al.
K.H. Tsui et al.
Z. Wang et al.
J. Groep et al.
This work
200
400
600
800
1000
1200
Thickness (μm)

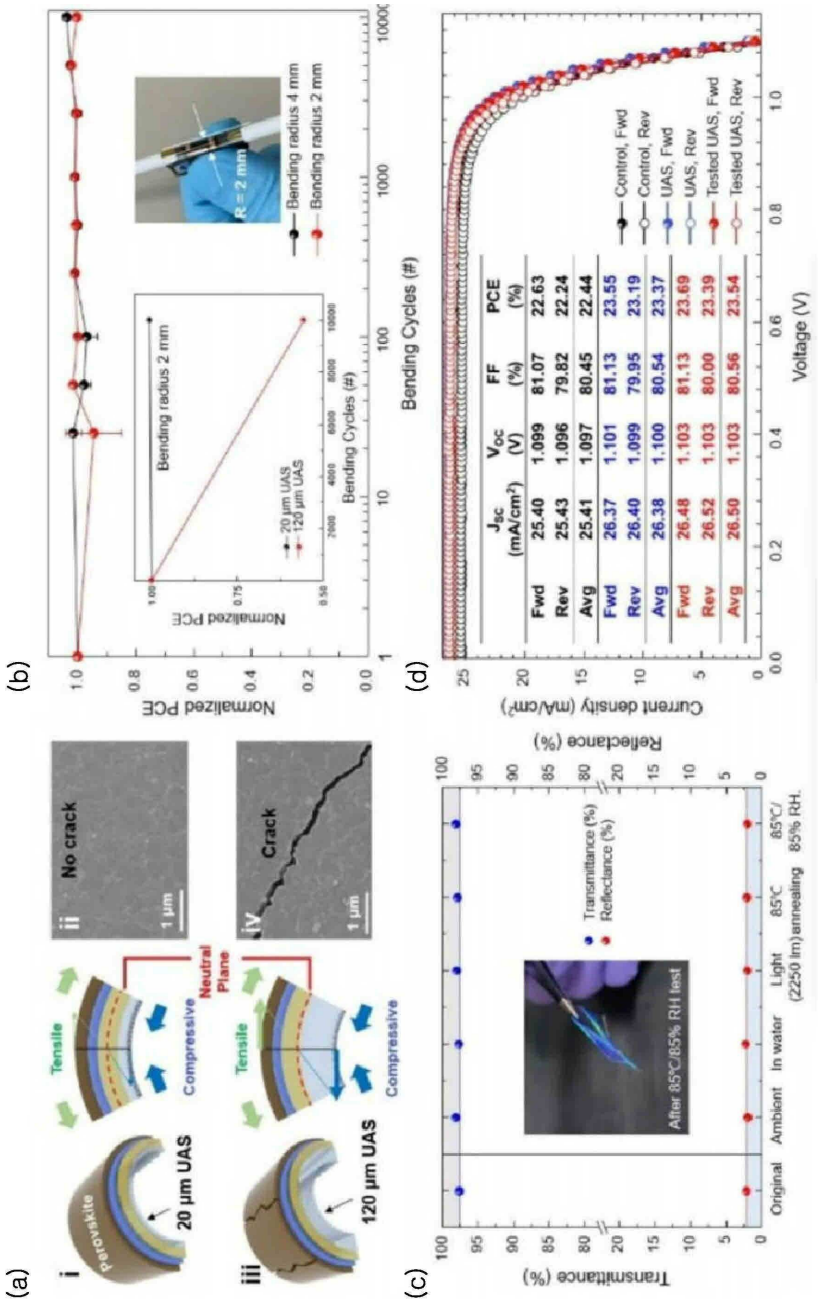
도면6


(a)
LTE (%)
Refractive index (n)
PFPE only
UAS
PDMS moth-eye
PUA moth-eye
NOA moth-eye
Height of moth-eye (nm)
Refractive index (n)
(b)
Transmittance (%)
Reflectance (%)
Wavelength (nm)
Bare glass
UAS
PDMS moth-eye
Commercial AR film
(c)
Transmittance (%)
Reflectance (%)
Wavelength (nm)
ITO film
ITO film+UAS
FTO glass
FTO glass+UAS
(d)
Flexural rigidity (nN·m)
Thickness (μm)
PFPE
PDMS

도면7

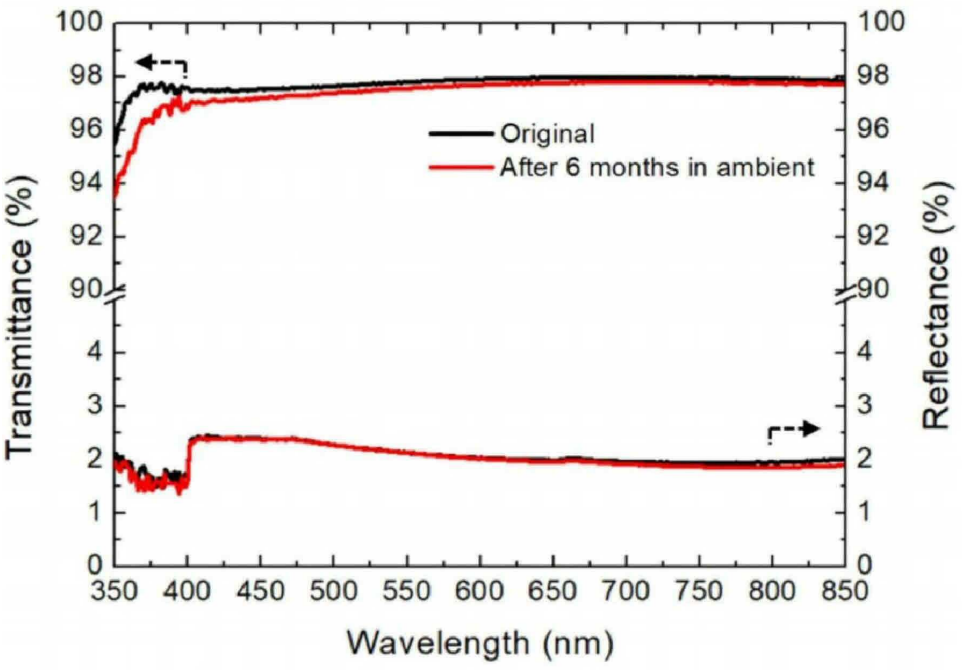

(a)
Current density (mA/cm²)
Voltage (V)
Control, Rev
UAS, Rev
Control, Fwd
UAS, Fwd
Jsc (mA/cm²) Voc (V) FF (%) PCE (%)
Fwd 25.53 1.184 80.83 24.43
Rev 25.48 1.184 80.12 24.18
Avg 25.51 1.184 80.48 24.31
Fwd 24.47 1.176 80.28 23.10
Rev 24.47 1.177 79.70 22.96
Avg 24.47 1.177 79.99 23.03
(b)
EQE
Integrated current density (mA/cm²)
Wavelength (nm)
Control
UAS
(c)
Jsc increase (mA/cm²)
Jsc (mA/cm²)
Device number
Control
Commercial
UAS
UAS
Commercial
(d)
Current density (mA/cm²)
Voltage (V)
Control, Rev
UAS, Rev
Control, Fwd
UAS, Fwd
Jsc (mA/cm²) Voc (V) FF (%) PCE (%)
Fwd 23.04 1.078 80.52 20.00
Rev 23.06 1.077 80.92 20.10
Avg 23.04 1.078 80.52 20.00
Fwd 21.91 1.072 80.02 18.80
Rev 21.92 1.072 80.37 18.88
Avg 21.91 1.072 80.02 18.80
(e)
EQE
Integrated current density (mA/cm²)
Wavelength (nm)
Control
UAS
(f)
Enhancement (%)
Rigid device
Jsc
Voc
FF
PCE
(g)
Enhancement (%)
Flexible device
Jsc
Voc
FF
PCE

도면8



	J_{sc} (mA/cm²)	V_{oc} (V)	FF (%)	PCE (%)
Fwd	25.40	1.099	81.07	22.63
Rev	25.43	1.096	79.82	22.24
Avg	25.41	1.097	80.45	22.44
Fwd	26.37	1.101	81.13	23.55
Rev	26.40	1.099	79.95	23.19
Avg	26.38	1.100	80.54	23.37
Fwd	26.48	1.103	81.13	23.69
Rev	26.52	1.103	80.00	23.39
Avg	26.50	1.103	80.56	23.54

도면9


Transmittance (%)
Reflectance (%)
Wavelength (nm)
Original
After 6 months in ambient
100
98
96
94
92
90
4
3
2
1
0
350
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850