



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년07월16일
(11) 등록번호 10-1283912
(24) 등록일자 2013년07월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/052 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0036867

(22) 출원일자 2012년04월09일

심사청구일자 2012년04월09일

(56) 선행기술조사문헌

논문제목: Trapping light with micro lenses in thin film organic photovoltaic cells, (Optics Express 16, 21608-21615, 2008)

(73) 특허권자

한국과학기술원

대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)

(72) 발명자

이정용

대전광역시 유성구 구성동 한국과학기술원 EEWS 대학원, KI-A511

조창순

경상남도 산청군 단성면 청계리 353-23번지 청호제 109호

(74) 대리인

특허법인명문

전체 청구항 수 : 총 17 항

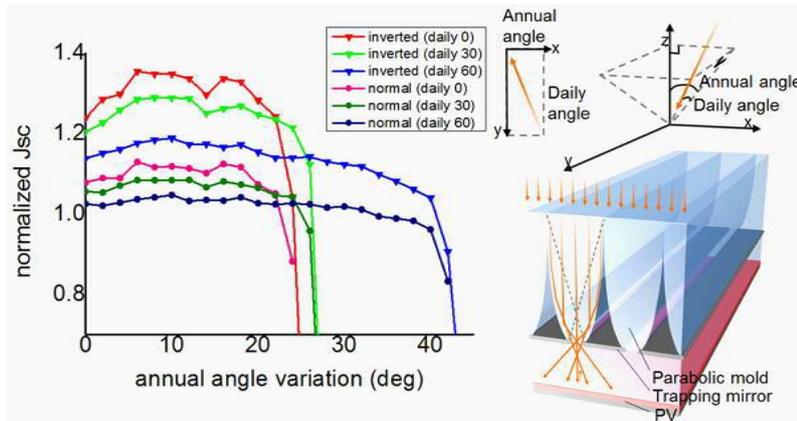
심사관 : 최진호

(54) 발명의 명칭 태양 전지의 전력 변환 효율 증가를 위한 집광기 일체형 빛 가둠 장치

(57) 요약

본 발명은 CPT(Compound Parabolic Trapper) 배열 등을 평면형이 아닌 1차원 선형 배열하여 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이도 태양전지(셀)(PV, Photovoltaic Cells)의 전력 변환 효율을 증가시킬 수 있으며, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)를 사용함으로써 허용입사각을 더 작게 줄일 수 있으며 이에 따른 빛 가둠 효과를 더욱 증대시킬 수 있는 집광기 일체형 빛 가둠 장치에 관한 것이다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

빛을 태양 전지(PV)로 전달하기 위한 집광기 일체형 빛 가둠 장치에 있어서,
 주기적인 1차원 배열의 구성요소들을 갖는 광학계(optical component)를 포함하되,
 상기 광학계는, 상기 구성요소들로서 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 1차원 배열을 포함하며,
 상기 광학계는 태양 전지(PV) 위의 일정 공간(space) 상에 설치되어, 입사된 빛을 상기 공간에 가두어 상기 태양 전지(PV)에서 전력 변환 효율을 개선하기 위한 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 성형물은 장축이 동서(East-to-West) 방향이 되도록 정렬되는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 성형물은 유리 또는 플라스틱류를 포함하는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 태양 전지(PV) 쪽의 상기 성형물의 각 포물형의 하부쪽에 일정 폭으로 개구가 마련되며, 상기 개구를 통해 입사된 빛을 상기 공간에 가두기 위해 하부에 금속 코팅이 된 가둠 미러(trapping mirror)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 성형물은 속이 채워진 형태로 제작된 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,
 상기 성형물의 포물형 양측 곡면에 금속 코팅이 된 형태로 제작된 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 7

제1항에 있어서,
 상기 성형물은 내부가 비어 있고, 상기 성형물의 포물형 양측 곡면에 금속 코팅이 된 형태로 제작된 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,
 단면이 포물형인 상기 성형물은 양측의 곡면이 서로 다른 경사각의 곡면을 갖는 비대칭형으로 제작된 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 1차원 배열 위로 수직하게 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 제2의 1차원 배열을 더 포함하거나, 상기 성형물의 장축 방향 끝에, 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 제2의 1차원 배열을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 10

빛을 태양 전지(PV)로 전달하기 위한 집광기 일체형 빛 가둠 장치에 있어서,

주기적인 1차원 배열의 구성요소들을 갖는 광학계(optical component)를 포함하되,

상기 광학계는, 상기 구성요소들로서 주기적인 1차원 배열의 MLA(Micro Lens Array)를 포함하고,

상기 광학계는 태양 전지(PV) 위의 일정 공간(space) 상에 설치되어, 입사된 빛을 상기 공간에 가두어 상기 태양 전지(PV)에서 전력 변환 효율을 개선하기 위한 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 MLA의 각 렌즈의 초점 거리에 일정 폭으로 개구가 마련되며, 상기 개구를 통해 입사된 빛을 상기 공간에 가두기 위한 가둠 미러(trapping mirror)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 12

제10항에 있어서,

상기 1차원 배열의 MLA의 장축 방향 끝에, 제2의 1차원 배열의 MLA를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 13

제1항 또는 제10항에 있어서,

상기 태양 전지(PV)는 통상 구조 또는 도립 구조이며, 해당 활성층은 결정질 실리콘(c-Si), 유기물이나 염료감응형 고분자 물질, 비정질 실리콘(a-Si), CdTe, 또는 CIGS 를 포함한 박막형이나, 결정질 실리콘(c-Si)을 포함한 벌크셀 형을 포함하는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 14

제1항 또는 제10항에 있어서,

상기 태양 전지(PV)와 상기 광학계(optical component) 사이에서 집광 배율이 $n/\sin(\Theta_a/2)$ 이며, 여기서, Θ_a 는 빛의 허용 입사각(acceptance angle), n 은 상기 광학계에서의 굴절율인 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 15

제1항 또는 제10항에 있어서,

연중의 태양 고도를 추적하는 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)를 더 포함하고, 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이 동작하며,

상기 연중 빛 추적 장치의 제어에 따라 상기 집광기 일체형 빛 가둠 장치 전체 시스템이 태양 방향으로 움직이는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 집광기 일체형 빛 가둠 장치의 구성요소들이 허용 입사각 47° 이하의 빛을 받도록 제작되는 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치.

청구항 17

빛을 태양 전지(PV)로 전달하기 위한 집광기 일체형 빛 가둠 장치의 제조 방법에 있어서,

주기적인 1차원 배열의 구성요소들을 갖는 광학계(optical component)를 제작하되, 금속 주형(mold)에 성형물을 위한 해당 재질의 용융액을 부어 넣고 고형으로 냉각시켜서, 상기 구성요소들로서 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 1차원 배열이 포함된 상기 광학계를 제작하는 단계; 및

제작된 상기 광학계를 태양 전지(PV) 위의 일정 공간(space) 상에 설치하는 단계를 포함하고,

상기 광학계는 입사된 빛을 상기 공간에 가두어 상기 태양 전지(PV)에서 전력 변환 효율을 개선하기 위한 것을 특징으로 하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치의 제조 방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 태양전지 셀로 빛을 공급하는 집광기 일체형 빛 가둠 장치에 관한 것으로서, 특히 CPT(Compound Parabolic Trapper) 배열 등을 평면형이 아닌 1차원 선형 배열하여 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이도 태양전지(셀)(PV, Photovoltaic Cells)의 전력 변환 효율을 증가시킬 수 있으며, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus) 역시 없어도 되지만, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)에 의해 허용입사각을 더 작게 줄일 수 있으며 이에 따른 빛 가둠 효과를 더욱 증대시킬 수 있는 집광기 일체형 빛 가둠 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 박막형 태양전지의 연구는 세계적 추세이며, 수많은 기업들이 높은 효율의 박막형 태양전지를 구현하기 위해 투자를 아끼지 않고 있다. 우리나라의 경우 지금은 기업차원의 투자가 상대적으로 저조하지만, 세계적 추세에 비추어 볼 때 향후 투자 확대는 필연적 흐름이며, 고효율 박막형 태양전지를 선점하기 위한 경쟁은 갈수록 치열해지고 있다.

[0003] 태양전지는 결정질 실리콘(c-Si)을 이용해 벌크 셀 형태로 제작되거나, 비정질 실리콘(a-Si), 유기물 등을 이용해 박막형으로 제작되고 있고, 저비용, 공정 단순화, 수명 연장 등에 대한 연구뿐만 아니라, 태양전지에서 흡광도를 향상시키기 위하여, 물질 개발 등 다양한 노력이 이루어지고 있는데, 특히 빛가둠 기술이 그 대안이 될 수 있으며, 집광기를 이용한 빛가둠 장치는 효과적인 빛 가둠으로 인해 뛰어난 전력 변환 효율을 보이고 있다.

[0004] 2008년 Tvingstedt 등은 도 5a와 같은 집광기 일체형 빛 가둠 장치 구조에서, 1차원 또는 2차원 배열의 MLA(Micro Lenses Array, 마이크로 렌즈 배열)를 이용해 박막형 태양전지 셀(Active Layer)로의 빛 가둠 효과를 증대시켰고 단락 전류를 25% 증가시켰다. 이와 같은 1차원 또는 2차원 배열의 MLA 구조에서 모두 광 추적 장치가 필요하며, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)로도 해결될 수 없는 문제가 있어서 개선이 필요한 실정이며 고비용이 요구된다. 자세한 내용은 논문 "Trapping light with micro lenses in thin film organic photovoltaic cells,"(Optics Express 16, 21608-21615, 2008)을 통해서 잘 알 수 있다.

[0005] 또한, 2000년 Peumans 등은 도 5b와 같은 집광기 일체형 빛 가둠 장치 구조에서, 2차원 배열의 CPC(Compound Parabolic Concentrator, 복합 포물형 집광기)를 이용한 빛 가둠 방식을 제안하였다. 자세한 내용은 논문 "Efficient photon harvesting at high optical intensities in ultrathin organic double-heterostructure photovoltaic diodes,"(Applied Physics Letters 76, 2650-2652, 2000)을 통해서 잘 알 수 있다.

[0006] 이와 같이 기존에 MLA나 CPC를 이용한 집광기 일체형 빛 가둠 장치들은, 입사각에 매우 민감하고 따라서 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus)가 수반되어야 하는 단점이 있어 상용화에 한계를 나타내었다. 박막형 태양전지들이 대부분 저가형임을 감안하면, 비용이 많이 드는 빛 추적 장치를 적용하기에는 어려움이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 따라서, 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은, CPT(Compound Parabolic Trapper) 배열 등을 평면형이 아닌 1차원 선형 배열하여 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이도 태양전지(셀)(PV, Photovoltaic Cells)의 전력 변환 효율을 증가시킬 수 있으며, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus) 역시 없어도 되지만, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)에 의해 허용입사각을 더 작게 줄일 수 있으며 이에 따른 빛 가둠 효과를 더욱 증대시킬 수 있는 집광기 일체형 빛 가둠 장치를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 먼저, 본 발명의 특징을 요약하면, 본 발명의 일면에 따른, 빛을 태양 전지(PV)로 전달하기 위한 집광기 일체형 빛 가둠 장치는, 주기적인 1차원 배열의 구성요소들을 갖는 광학계(optical component)를 포함하되, 상기 광학계는, 상기 구성요소들로서 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 1차원 배열을 포함하며, 상기 광학계는 태양 전지(PV) 위의 일정 공간(space) 상에 설치되어, 입사된 빛을 상기 공간에 가두어 상기 태양 전지(PV)에서 전력 변환 효율을 개선하기 위한 것을 특징으로 한다.

[0009] 상기 성형물은 장축이 동서(East-to-West) 방향이 되도록 정렬되며, 상기 성형물은 유리 또는 플라스틱류 등 다양한 재질로 이루어질 수 있다.

[0010] 상기 태양 전지(PV) 쪽의 상기 성형물의 각 포물형의 하부쪽에 일정 폭으로 개구가 마련되며, 상기 개구를 통해 입사된 빛을 상기 공간에 가두기 위한 하부에 금속 코팅이 된 가둠 미러(trapping mirror)를 더 포함할 수 있다. 여기서, 상기 성형물의 각 포물형은 설계에 따라 필요한 만큼 일정 각도 기울어져 있으며, 상기 개구 부분은 반대편 상기 성형물의 포물형의 초점에 위치한다.

[0011] 상기 성형물은 속이 채워진 형태로 제작될 수 있고, 내부가 비어 있는 형태로 제작될 수도 있으며, 각각에 대하여 포물형 양측 곡면에 금속 코팅이 된 형태로 제작될 수도 있다.

[0012] 단면이 포물형인 상기 성형물은 양측의 곡면이 서로 다른 경사각의 곡면을 갖는 비대칭형으로 제작될 수 있다.

[0013] 상기 1차원 배열 위로 수직하게 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 제2의 1차원 배열을 더 포함하거나, 상기 성형물의 장축 방향 끝에, 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 제2의 1차원 배열을 더 포함할 수 있다.

[0014] 그리고, 본 발명의 다른 일면에 따른, 빛을 태양 전지(PV)로 전달하기 위한 집광기 일체형 빛 가둠 장치는, 주기적인 1차원 배열의 구성요소들을 갖는 광학계(optical component)를 포함하되, 상기 광학계는, 상기 구성요소들로서 주기적인 1차원 배열의 MLA(Micro Lens Array)를 포함하고, 상기 광학계는 태양 전지(PV) 위의 일정 공간(space) 상에 설치되어, 입사된 빛을 상기 공간에 가두어 상기 태양 전지(PV)에서 전력 변환 효율을 개선하기 위한 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 MLA의 각 렌즈의 초점 거리에 일정 폭으로 개구가 마련되며, 상기 개구를 통해 입사된 빛을 상기 공간에 가두기 위한 가둠 미러(trapping mirror)를 더 포함할 수 있다.

[0016] 상기 1차원 배열의 MLA의 장축 방향 끝에, 제2의 1차원 배열의 MLA를 더 포함할 수 있다.

[0017] 상기 태양 전지(PV)는 통상 구조 또는 도립 구조이며, 해당 활성층은 결정질 실리콘(c-Si), 유기물(OPV(Organic PV)용으로서, 폴리머, 저분자(small molecule) 화합물 등)이나 염료감응형 고분자 물질, 비정질 실리콘(a-Si), CdTe, 또는 CIGS 를 포함한 박막형이나, 결정질 실리콘(c-Si)을 포함한 벌크셀 형을 포함할 수 있다.

[0018] 연중의 태양 고도를 추적하는 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)를 더 포함할 수 있으며, 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이 동작하며, 상기 연중 빛 추적 장치의 제어에 따라 상기 집광기 일체형 빛 가둠 장치 전체 시스템이 태양 방향으로 움직이도록 할 수 있다.

[0019] 상기 태양 전지(PV)와 상기 광학계(optical component) 사이에서 집광 배율이 $n/\sin(\theta_a/2)$ 이며(포물형 CPT 2차원 배열에서는 $n^2/\sin^2(\theta_a/2)$ 가능), 여기서, θ_a 는 빛의 허용 입사각(acceptance angle), n은 상기 광학계에

서의 굴절율이다.

[0020] 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이 동작하며, 허용입사각 47° 이상에서 상기 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)가 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들이 허용 입사각 47° 이하의 빛을 받도록 제작되면 상기 연중 빛 추적 장치를 통해 더욱 성능을 높일 수 있다.

[0021] 그리고, 본 발명의 또 다른 일면에 따른, 빛을 태양 전지(PV)로 전달하기 위한 집광기 일체형 빛 가둠 장치의 제조 방법은, 주기적인 1차원 배열의 구성요소들을 갖는 광학계(optical component)를 제작하되, 금속 주형(mold)에 성형물을 위한 해당 재질의 용융액을 부어 넣고 고품으로 냉각시켜서, 상기 구성요소들로서 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 1차원 배열이 포함된 상기 광학계를 제작하는 단계; 및 제작된 상기 광학계를 태양 전지(PV) 위의 일정 공간(space) 상에 설치하는 단계를 포함하고, 상기 광학계는 입사된 빛을 상기 공간에 가두어 상기 태양 전지(PV)에서 전력 변환 효율을 개선하기 위한 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 따른 집광기 일체형 빛 가둠 장치에 따르면, CPT(Compound Parabolic Trapper) 배열이나 MLA(Micro Lens Array) 배열을 평면형이 아닌 1차원 선형 배열하여 빛을 작은 입구에 모으고 그 아래에서 빠져나오지 못하도록 가두어, 박막형 태양전지의 전력 변환 효율을 개선할 수 있으며, 경우에 따라서는 수직으로 또는 수평으로 다른 1차원 배열을 추가하여 1차원 배열만에 비교하여 성능이 증가하면서 허용입사각을 유지할 수 있는 효과가 있다.

[0023] 또한, CPT의 집광배율을 줄이면 허용입사각을 늘일 수 있는데, 1차원 배열에서 허용입사각이 ±23.5° 가 될 경우 약 3.8배의 집광이 가능하며, 이는 곧 연중 태양고도의 변화를 모두 허용하는 것이고, 1차원 집광기 배열을 동-서로 향하게 놓으면 일일 빛 추적 장치 없이 빛가둠효과를 구현할 수 있다.

[0024] 또한, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus) 역시 없어도 되지만, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)에 의해 허용입사각을 더 작게 줄일 수 있으며 이에 따른 빛 가둠 효과를 더욱 증대시킬 수 있다.

[0025] 그리고, 차세대 에너지원으로 크게 각광받고 있는 박막형 태양전지는 큰 상품성과 수많은 응용 가능성에도 불구하고 10% 정도의 낮은 전력 변환 효율 때문에 아직 연구단계에 머물러있다. 현재 많은 연구가 전력 변환 효율을 높일 수 있는 흡광 물질의 합성에 초점을 맞춰 이뤄지고 있지만, 본 발명을 통해 주어진 물질에 대해 20% 안팎의 효율 증가를 끌어낸다면 이는 박막형 태양전지의 상용화를 크게 앞당길 것이다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 optical component, space, photovoltaic, back reflector를 구비하는 본 발명의 일실시예에 따른 집광기 일체형 빛 가둠 장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 2a는 escape probability P_{esc} 의 감소에 따른 통상 구조인 normal polymer PV의 활성층에서 기대된 흡수 정도, 도 2b는 기관에서 진행 각도에 따른 normal polymer PV의 P_{esc} 에 따른 J_{sc} 의 변화, 도 2c는 normal polymer PV, 비정질 실리콘 PV, 도립 구조 polymer PV에서 P_{esc} 에 따른 J_{sc} 의 변화, 도 2d는 두께 CuPc(6.5nm)/C₆₀(20nm), CuPc(10nm)/C₆₀(31nm), CuPc(14nm)/C₆₀(38nm)에 대한 small molecular PV에서 P_{esc} 에 따른 J_{sc} 의 변화이다.

도 3은 도립 구조 및 통상 구조 polymer PV에서의 연간 매일 0°, 30° 및 60°로 변하는 각도에 대한 정규화된 J_{sc} 의 변화를 나타내는 그래프이다.

도 4는 도립 구조 및 통상 구조 polymer PV에서 각각 1D MLA를 이용한 연간 입사각 변화에 따른 정규화된 J_{sc} 의 변화이다.

도 5a와 도 5b는 각각 MLA(Micro Lenses Array)와 CPC를 이용한 종래의 집광기 일체형 빛가둠 기술을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하지

만, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0028] <흡광 향상>

[0029]

[0030] 도 1은 optical component, space, photovoltaic, back reflector를 구비하는 본 발명의 일실시예에 따른 집광기 일체형 빛 가둠 장치(100)를 설명하기 위한 도면이다.

[0031] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 집광기 일체형 빛 가둠 장치(100)는, 후면 반사판(back reflector) 위에 설치된 태양 전지(셀)(PV, Photovoltaic), 태양 전지(PV) 위에 공간(space)을 두고 설치된 광학계(optical component)를 포함한다.

[0032] 입사되는 빛이 태양 전지(PV)와 광학계(optical component) 사이에서 내부 반사를 일으켜 더 많은 빛이 태양 전지(PV)의 활성층(active layer)에서 흡수될 수 있도록 한다. 태양 전지(PV)와 광학계(optical component) 사이에서 반사되는 바운스(bounce)의 수(또는 집광 배율) N_{ref} 는 [수학식 1]과 같이 탈출 확률(escape probability) P_{esc} 를 이용(n 은 굴절율)하여 나타낼 수 있다.

[0033] [수학식 1]

$$N_{ref} = \sum_{n=1}^{\infty} n P_{esc} (1 - P_{esc})^{n-1} = 1 / P_{esc}$$

[0034]

[0035] 예를 들어, Lambertian 표면을 갖는 텍스처 처리된(textured) 셀은 $P_{esc}=1/n^2$, 이고 $N_{ref}=n^2$ 이다. 벌크 셀에서의 최대 빛의 경로 길이(바운스 수)는 Yablonovitch limit인 $4n^2$ 으로 알려져 있다. 이와 같은 평면 벌크 셀에서의 최대 빛의 경로 길이는 메탈층에 의한 후면 반사와 비스듬한 빛의 진행을 고려할 때 획득될 수 있다. 후면 반사를 위한 본 발명의 박막형 태양 전지(PV)는 메탈층과 유사할 수 있다. 비스듬한 빛의 진행이 박막형 태양 전지(PV)에서의 흡광에 영향을 미칠 수 있다. 다만, 벌크 셀과는 달리 이러한 박막형 태양 전지(PV)에서는 진행각도 증가에 따른 빛의 경로 길이 개선 효과를 기하학적으로 간단히 얻을 수 없다. 벌크 셀에서는 활성층에 의해 비스듬한 빛의 진행으로부터 흡광을 증가시킬 수 있지만, 박막형 태양 전지(PV)에서는, 투명 전극으로 이루어지고 Fresnel 반사를 일으키는 전면층인 광학계(optical component)와 태양 전지(PV)의 박막 사이의 공간(space)에 의한 cavity 효과가 고려되어야 한다. 따라서, 본 발명에서는, 박막형 태양 전지(PV)에서 후면 반사가 항상 존재하므로 이에 의한 경로 개선이나, 위와 같은 비스듬한 빛의 진행 시에 복잡하게 나타나는 Fresnel 반사나 cavity 효과를 고려한 경로 개선(진행 경로 길이의 증가)에 대한 것 보다는, N_{ref} 의 향상에 더 기반을 두고자 하였다.

[0036] 표면 텍스처 처리된(textured) 실리콘($n=3.5$) 벌크 셀에 대해 $N_{ref}=n^2$ 이 12 이상인 반면, 유리($n=1.5$) 기판 상의 박막형 태양 전지(PV)에 대해서는 그 값이 2.25정도이다. 이는 박막형 태양 전지(PV)에서 흡광을 현저히 증가시키기에 충분하지 않은 값이다. 사실상 빛의 좁은 입사 범위를 통해 흡광을 증가시킬 수는 있다. 제한된 입사각도에 대해서 알려져 있는 이론으로서, 입사되는 빛의 허용 입사각(acceptance angle)가 θ_a 내에서 변할 때 N_{ref} 의 이론적 한계치는 $n^2/\sin^2(\theta_a/2)$ 일 수 있다. 이러한 한계치는 도 5b와 같은 2차원 CPC(Compound Parabolic Concentrator, 복합 포물형 집광기) 배열과 입사 빛을 입구로 가이드하고 바닥면에서 반사되는 빛을 차단하기 위한 광학계(reflective undercoat/reflecting cathode)를 이용해 획득될 수 있다.

[0037] 보통 평면 또는 텍스처 처리된 셀은 180° 의 빛의 허용 입사각(acceptance angle)를 갖는다. 그러나, 이러한 입사 범위 전체가 필요한 것은 아니며, 왜냐하면 북-남 방향으로 태양의 고도 변화가 연간 $\pm 23.5^\circ$ 이내이기 때문이다. 만일, 본 발명의 광학계(optical component)로서 허용 입사각(acceptance angle)를 줄이기 위해 도 3과 같이 본 발명의 1차원 CPT 배열이 사용되면, 탈출 확률(escape probability) P_{esc} 는 $\sin(\theta_a/2)/n$ 이다. 따라서, N_{ref} 가 $n/\sin(\theta_a/2)$ 로, $n^2/\sin^2(\theta_a/2)$ 보다는 작지만, 빛(태양) 추적 장치가 불필요한 장점이 있다. 예를 들어, 허용 입사각(acceptance angle) 47° 에 대해 그 값은 3.76까지 증가될 수 있다. CPT 배열 이외에, 빛(태

양) 추적 장치 없이 N_{ref} 를 증가시킬 수 있는 다양한 광학계(optical component) 구성이 있을 수 있다. 하기하는 바와 같이 빛 가둠(light trapping)과 허용 입사각(acceptance angle) 간의 타협점을 제어할 광학계(optical component) 구성들을 설명할 것이다.

[0038] 증가된 N_{ref} 를 통해서 태양 전지(PV)의 활성층에서의 흡광이 향상된다. 공간(space) 내에서의 빛의 특정 파장의 특정 진행 각도(θ)에 대하여, 태양 전지(PV)의 활성층에서의 흡광 정도 A'_{act} 는 [수학식 2]와 같이 나타낼 수 있다.

[0039] [수학식 2]

$$A'_{act} = \frac{T_{inc}A_{act}}{A_{act} + A_{parasitic}}$$

[0040]

[0041] 여기서, A_{act} 는 double pass(활성층 내부에서 최초 입사된 빛에 의한 흡수와 반사된 빛에 의한 흡수)만을 갖는 활성층의 흡수 효율(absorption efficiency), $A_{parasitic}$ 는 활성층이 아닌 다른 기생적 층들에서의 흡수 효율, T_{inc} 는 광학계(optical component)에서의 투과율(transmittance)이다. 최대 흡광을 위해 P_{esc} 는 제로(zero)에 가까운 것이 좋다. 위와 같이 각 바운스 당 기생적 흡수 효율 $A_{parasitic}$ 에 대한 활성층의 흡수 효율 A_{act} 이, 태양 전지(PV)의 활성층에서의 최대 흡광 정도 A'_{act} 를 결정한다. 손실량 $A_{parasitic}$ 은 보통 단위 셀에서는 작지만, 빛 가둠에 의해 흡광이 증가될 때 손실량도 증가하므로 전체적인 기생적 흡수량은 무시할 수 없다. 위의 [수학식 2]는 특정 빛 진행 각도와 완벽한 빛 가둠 스킴을 통해 단위 셀에서 획득될 수 있는 최대 흡수 정도를 나타낸다.

[0042] 그러나, 실제 환경에서는 허용 입사각(acceptance angle)가 제로가 아니며 P_{esc} 가 제로가 아니다. 따라서, [수학식 3]과 같이 태양 전지(PV)의 활성층에서의 흡광 정도 A'_{act} 가 수정될 필요가 있다.

[0043] [수학식 3]

$$A'_{act} = \sum_{n=0}^{\infty} T_{inc}A_{act} [(1-P_{esc})(1-A_{act}-A_{parasitic})(1-A_{ref})]^n$$

$$= \frac{T_{inc}A_{act}}{1-(1-P_{esc})(1-A_{act}-A_{parasitic})(1-A_{ref})}$$

[0044]

[0045] 여기서, A_{ref} 는 광학계(optical component)에서 빛이 내부적으로 반사되는 광 손실량이다. A_{ref} 는 유리 상에서 제로이지만, 다른 반사재질의 광학계(optical component)(예, 금속 재질)가 설치될 때 제로가 아닐 수 있다. 예를 들어, 일반적인 평판 유리 기관 상에서의 Fresnel 반사에 의해, 빛의 일반적 입사에 대해 T_{inc} 와 P_{esc} 는 대략 0.96 정도이다.

[0046] <성능 향상>

[0047] 이하 폴리머(통상 구조/도립 구조), 비정질 실리콘(a-Si), 저분자(small molecule) 화합물(분자량이 작은 유기물) 등으로 활성층을 만든 태양 전지(PV)에 대해 분석하였다. 이러한 태양 전지(PV)를 포함한 집광기 일체형 빛 가둠 장치(100)의 기본 구조는 아래 표와 같다. 여기서 이와 같은 예들을 설명하지만, 본 발명의 집광기 일체형 빛 가둠 장치(100)에는 이와 같은 비정질 실리콘(a-Si)이나 OPV(Organic PV)용 유기물(폴리머, 저분자(small molecule) 화합물 등) 외에, 염료감응형 태양전지(DSSC)용 고분자 물질이나 결정질 실리콘(c-Si), CdTe, CIGS 등으로 만든 박막형 태양 전지(PV), 또는 결정질 실리콘(c-Si)으로 만든 벌크 셀형 태양 전지(PV) 등 다양한 태양 전지(PV)에 적용될 수 있다.

[0048] A_{ref} 는 제로로 가정되었고, T_{inc} 는 0.96(일반적인 빛 입사에 대한 유리-공기 투과율)으로 가정하였다. 단위 셀에 대한 시뮬레이션에서, 흡광은 transfer-matrix formalism (TMF)에 의해 획득된다. 회로 단락 전류 밀도

(short-circuit current densities)(J_{sc})를 계산하기 위하여, IQE는 폴리머(통상 구조/도립 구조) 구조와 비정질 실리콘(a-Si) 구조에서 0.9인 것으로 가정했다. 특히, 저분자(small molecule) 화합물 구조에서 IQE는 엑시톤(exciton) 확산 방정식으로부터 계산되는데, 여기서 확산 길이는 CuPc에 대해 10 nm, C₆₀에 대해 20nm인 것으로 가정하였다. CuPc, C₆₀, ITO, PEDOT:PSS, TiO_x 굴절율은 ellipsometry로 획득되며, 유리 기판은 1.52로 가정된다. PCDTBT:PCBM, a-Si, cathode materials(Ag, Al등) 등의 굴절율은 잘 알려져 있는 바와 같다.

[0049] [표]

| Type | structure |
|-------------------|--|
| Polymer(normal) | Glass / ITO(130nm) / PEDOT:PSS(40nm) / PCDTBT:PC ₇₀ BM(60nm) / TiO _x (20nm) / Al |
| a-Si | Glass / ITO(130nm) / PEDOT:PSS(40nm) / a-Si(400nm) / Al |
| Small molecule | Glass / ITO(130nm) / CuPc / C ₆₀ / BCP(8nm) / Ag |
| Polymer(inverted) | Glass / ITO(130nm) / TiO _x (20nm) / PCDTBT:PC ₇₀ BM(60nm) / PEDOT:PSS(30nm) / Ag |

[0050]

[0051] 도 2a는 escape probability P_{esc} 의 감소에 따른 통상 구조인 normal polymer PV의 활성층에서 기대된 흡수 정도(기생적 흡수효율 $P_{esc}=1$ 에 대하여만 나타냄), 도 2b는 기판에서 진행 각도에 따른 normal polymer PV의 P_{esc} 에 따른 J_{sc} 의 변화, 도 2c는 normal polymer PV, 비정질 실리콘 PV, 도립 구조 polymer PV에서 P_{esc} 에 따른 J_{sc} 의 변화, 도 2d는 두께 CuPc(6.5nm)/ C₆₀(20nm), CuPc(10nm)/ C₆₀(31nm), CuPc(14nm)/ C₆₀(38nm)에 대한 small molecular PV에서 P_{esc} 에 따른 J_{sc} 의 변화이다. 도 2b, 도 2c, 도 2d에서 $P_{esc}=0.266$ 위치를 표시하였다.

[0052] 도 2a와 같이, normal polymer PV 구조에서 일반적인 입사각에 대한 흡광 정도로부터, P_{esc} 감소에 따라 흡광 정도가 증가함을 확인하였다. 다만, PEDOT:PSS와 후면 반사판(back reflector)인 메탈층(Ag, Al 등)과 같은 다른 층들에 의한 기생적 흡광 손실로 인해 T_{inc} 에 이르지 못하는 못하였다. 파장 500nm 근처에서, 단위 셀의 흡광이 매우 높으므로, 이 파장에서의 흡광 개선정도(수학식 3 참조)는 상대적으로 작은 편이다. 또한, 파장 700nm 이상에서도 흡광이 작으며 활성층에서 흡수되기 보다 기생적 흡수에 의해 손실량이 크므로, 흡광 정도(수학식 3 참조)가 크게 증가될 수 없다. 따라서, PV 구조들에서 빛 가둠을 향상시키기 위하여, 활성층 물질로서 광범위 파장에 대하여 높은 흡수율을 갖기 보다 일정 파장대에서 적절한 흡수율을 나타내는 물질이 바람직하다.

[0053] 위에서도 기술한 바와 같이, 흡수 스펙트럼은 빛의 진행 각도(θ)에 따라 달라진다. 도 2b와 같이, 여러가지 진행 각도(θ)에 대하여 P_{esc} 에 대한 J_{sc} 가 도시되어 있으며, 이는 흡수 스펙트럼의 적분으로 구해질 수 있다. 공간(space)에서의 빛의 진행은 진행 각도(θ)가 작을 때 흡수율을 향상시킨다. 그러나, 각도가 증가 시 광학계(optical component)의 투명전극(ITO)에서 Fresnel 반사의 증가로 인해, 전체 흡광은 감소한다. 따라서, 진행 각도(θ)가 효과적인 빛 가둠을 위해 적절해야 한다. 진행 각도(θ)의 크고 작음에 따른 J_{sc} 차이는, P_{esc} 의 감소에 따라, 감소한다. 왜냐면, 광학계(optical component)의 투명전극(ITO)에서 재반사된 빛이 공간(space)에 효과적으로 빛 가둠이 이루어질 수 있기 때문이다.

[0054] 도 2c에서는, normal polymer PV, 비정질 실리콘 PV, 도립 구조 polymer PV에서 P_{esc} 에 따른 J_{sc} 의 변화가 도시되어 있다. 도면에 광학계(optical component)의 유리에서 허용 입사각(acceptance angle) 47°에 대해 $P_{esc}=n/\sin 23.5^\circ$ ($P_{esc}=0.266$) 위치를 나타내는 수직선이 표시되어 있다. 이 위치에서 단위 셀($P_{esc}=0.96$ 인 평면 셀)과 비교했을 때, normal polymer, a-Si 구조에서 각각 16.5%, 31.1%,의 증가를 보여준다. $P_{esc}=0$, 허용 입사각(acceptance angle)=0에서, 각각에 대해 최대 증가량은 25.7%, 53.1%를 보여준다. 위에서 기술한 바와 같이, 메탈층(Ag/Al)에서 기생적 흡수 손실량은 빛의 다중 반사를 통한 증가된 전체 흡광에 상당히 영향을 미친다. 일반적으로, 후면 반사판(back reflector)으로서의 Al 캐소드 메탈층은, 빛 가둠 영역인 가시광과 적외선 스펙트럼에 대해 Ag 메탈층 보다 더 많이 흡광하므로, Ag 메탈층이 광학적 관점에서 더 유리하다. 일함수 때문

에, Ag 메탈층은 통상(normal) 폴리머 구조의 캐소드 층으로 보다는 도립(inverted) 구조에서 애노드층으로 사용될 수 있다. 더 나아가, 도립 구조에서는 활성층에서의 전자기장을 강화하는 메탈층 앞(위)에 후막 광학 스페이서(spacer)를 갖는다. 도립 구조의 폴리머 구조에서 후면 반사판(back reflector)으로서의 Ag 메탈층을 사용할 때, $P_{esc}=0.266$ 와 0에 대해, 각각 35.8% , 74.1% 의 흡광 증가를 가져온다.

[0055] 도 2d는 두께 CuPc(6.5nm)/ C_{60} (20nm), CuPc(10nm)/ C_{60} (31nm), CuPc(14nm)/ C_{60} (38nm)에 대한 small molecular PV 에서 P_{esc} 에 따른 J_{sc} 의 변화이다. 도 2b, 도 2c, 도 2d에서 $P_{esc}=0.266$ 위치를 표시하였다. 다만, 여기서, CuPc와 C_{60} 의 diffusion length(확산 거리)는 각각 10nm, 20nm인 것으로 가정하였다.

[0056] 빛 가둠은 저분자(small molecule) 화합물 PV 구조에서 더 효과적이다. 왜냐하면, IQE(Internal Quantum Efficiency, 내부 양자 효율)와 흡광 간에 타협(trade-off) 관계가 있기 때문이다. 빛 가둠으로 흡수를 보상함으로써 더 큰 IQE를 얻기 위해 두께를 감소시킬 수 있다. 예를 들어, 위의 표와 같은 소 분자(small molecule) 화합물 PV 구조에서, 도 2d와 같이, $P_{esc}=0.96$, CuPc 와 C_{60} 최적 두께 14nm and 38nm에서, J_{sc} 가 6.8 mA/cm^2 에서 12.8 mA/cm^2 까지 증가한다. 흡광은 빛 가둠을 통해 회복되므로, 더 높은 IQE를 가지도록 그 두께가 더 감소될 수 있다. $P_{esc}=0$, CuPc 와 C_{60} 최적 두께 6.5nm and 20nm에서, J_{sc} 가 15.8 mA/cm^2 까지 증가함을 확인하였고, 이는 같은 두께의 평면 셀에서 5.2mA/cm^2 보다 크다. 따라서, 소 분자(small molecule) 화합물 PV 구조에서, 전체적인 이상적 흡수 증가량은 132%까지 획득될 수 있다. 같은 방법으로 $P_{esc}=0.266$ 에서, CuPc 와 C_{60} 최적 두께 10nm and 31nm에서, J_{sc} 가 10.2mA/cm^2 까지 증가함을 확인하였고, 이때 평면 셀에서 보다 50% 증가한다. IQE 이외에, fill factor 또한 두께에 따라 다르며, 빛 가둠과 함께 두께를 감소시켜 fill factor를 증가시킬 수 있다. 이에 따라, 전력 변환 효율(PCE, Power Conversion Efficiency)은 두께의 최적화를 통해 더 증가될 수 있다.

[0057] <광학계(optical component) 구성>

[0058] 여기서, 효과적인 빛 가둠을 위한 광학계(optical component) 구현 방식을 설명한다. 위에서 Polymer(폴리머) PV 구조(통상 구조/도립 구조)에서, 후면 반사판(back reflector)으로서의 Al/Ag 메탈층이 사용되었다. 평면 셀에서는, J_{sc0} 가 통상 구조에서는 11.2mA/cm^2 이고, 도립 구조에서는 10.3mA/cm^2 이다. 성능은 TMF를 이용하여 계산될 수 있고, 한 주기에 200개의 빛을 입사하여 주기적 경계(Periodic boundary condition)를 갖는 단위 구조마다 평균하여 결과를 얻었다.

[0059] <시뮬레이션 상 CPT 배열>

[0060] CPT(Compound Parabolic Trapper, 복합 포물형 트래퍼)은 P_{esc} 에 대한 $\sin(\theta_a/2)/n$ (n 은 CPT의 성형물 굴절율)를 구현하도록 간단히 배열될 수 있다. Campbell 등은 벌크 셀에 CPC 배열을 사용한 빛 가둠에 대한 이론적 방식을 제안했고, Peumans 등은 2차원 CPC 배열을 박막형 PV에 적용하였다. 그러나 Peumans 등이 제안한 구성은 빛 추적 장치가 필요할 뿐만 아니라 실제로 구현되지 못하였다. 본 발명에서는 위에서도 기술한 바와 같이 빛 추적 장치를 제거하기 위하여 1차원 CPT 배열을 제안한다. CPT는 유리, 플라스틱류 등으로 성형(molded)되어 제작되며 허용 입사각(acceptance angle) $\pm 16.0^\circ$ 로 설계되었다. 이하 CPT가 유리 성형물인 것을 예로 들어 설명하지만, 수지계 등 다양한 플라스틱류 등으로 구현될 수 있다. 이와 같은 성형물은 금속 주형(mold)에 유리, 플라스틱류 등의 성형물을 위한 해당 재질의 용융액을 부어 넣고 고품으로 냉각시킴으로써 제조될 수 있다.

[0061] 이와 같은 유리 성형물에서 허용 입사각(acceptance angle)는, 연중의 모든 입사 빛들 받기를 보증하는 Snell 법칙에 따른 공기중에서의 $\pm 24.8^\circ$ 범위 내에 있다. CPT의 높이와 기관의 두께는 각각 $500 \mu\text{m}$ 와 $700 \mu\text{m}$ 인 것으로 가정된다. 기관은 광학계(optical component)인 CPT를 제외한 부분으로서, 후면 반사판(back reflector), 태양 전지(PV) 및 그위의 공간(space)을 포함할 수 있다. CPT는 도 3의 오른쪽 그림과 같이 이와 같은 기관 상에 1차원 배열되는 장축 방향 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 유리 성형물(parabolic mold), 및 그 하부쪽(예, 꼭지점 주변)에 일정 폭으로 개구(entrance)(예, 직사각형 모양)가 마련된 가둠 미러(trapping

mirror)를 포함한다. 여기서, 유리 성형물(parabolic mold)의 각 포물형은 설계에 따라 필요한 만큼 일정 각도 기울어져 있으며, 가둠 미러(trapping mirror)의 개구 부분은 유리 성형물(parabolic mold)의 포물형의 초점에 위치할 수 있다. 개구가 마련된 가둠 미러(trapping mirror)의 하부에는 금속 코팅된 메탈 미러가 형성될 수 있다. 대부분의 입사 빛들은 포물형 유리 성형물(parabolic mold)에서 전체적으로 내부 반사를 일으키기 위한 임계각(전반사 임계각) 보다 큰 각도로 그 포물 형상에 입사되므로, 기생적 손실이 없도록 그 포물 형상 위에 메탈 미러를 적용하지 않는 것이 바람직하다. 이때 기생하는 손실이 오히려 그 포물 형상을 탈출하는 빛들에 의한 손실 보다 더 크기 때문이다.

[0062] 하지만, 포물형 유리(또는 플라스틱류 등) 성형물을 속이 채워진 형태로 제작할 수도 있고, 경우에 따라서는 포물형 유리(또는 플라스틱류 등) 성형물을 내부가 비어 있는 형태로 제작하고, 각각에 대하여 양측 포물형 곡면들 상에 금속 코팅된 메탈 미러를 이용해 빛의 제공을 향상시킬 수는 있다. 예를 들어, 내부가 비어 있는 형태의 성형물에는 성형물 제작 후에도 금속 코팅이 가능하며, 속이 채워진 형태의 성형물에는 성형물 제작 전에 금속 코팅이 가능하다.

[0063] 유리 성형물(parabolic mold) 단면 상에서의 입사각 변화를 최소화하기 위하여, CPT 1차원 배열(각 성형물)은 장축 방향이 동서(East-to-West)로 정렬되며, 이에 따라 CPT는 도 3과 같이 일일 각도 변화(daily angle variation)에 무관하게 연중의 각도 변화(annual angle variation) $\pm 23.5^\circ$ 의 모든 빛들을 받아들일 수 있다. 위와 같은 허용 입사각(acceptance angle)와 제로(zero) 일일 각도 변화(daily angle variation)에 대하여, 대략 30%(도립 구조에서)와 10%(통상 구조에서)의 흡광 향상이 획득될 수 있다. 일일 각도 변화(daily angle variation)가 더 커지면 연중의 허용 입사각(acceptance angle)를 더 넓게 할 수 있지만, 흡광 개선 정도가 줄어들며, 이는 아침이나 저녁 보다 정오에 더 잘 작동하는 것을 의미한다. 도 2b에서도 설명한 바와 같이 포물형 유리 성형물(parabolic mold)에서의 산란과 큰 일일 각도 변화(daily angle variation)가 결합되어, 빛의 진행 각도를 크게하기 때문이다. 사실상, 단위 면적당 태양 에너지가 아침이나 저녁에 아주 작기 때문에, 현실 환경에서 흡광을 정오에 맞추어 향상시키는 것이 좋다. 정오에 흡광 정도는, 같은 허용 입사각(acceptance angle)에 대하여 이론적으로 기대되는 것보다 낮게 나오며, 도립 구조 PV에서 37.7%이하이며, 통상 구조 PV에서 17.4% 이하로 나타날 수 있다. 그 이유는, 다음 4가지로 요약된다.

[0064] (1) 가둠 미러(trapping mirror)에서의 흡광: [수학식 3]에서 A_{ref} 가 이론적으로 제로인 것으로 가정되지만, 실제 구조에서는 이를 무시할 수 없다.

[0065] (2) 공간(space)에서의 큰 빛 진행 각도: 빛 진행 각도 분포는 빛이 반사에 의해 CPT의 가둠 미러(trapping mirror)의 개구를 통과한 후에 더 커지게 되며, 벌크 셀에서와는 달리, 도 2b와 같이 너무 큰 빛의 진행 경사도가 PV의 활성층에서의 흡광을 떨어뜨릴 수 있다.

[0066] (3) 직접 반사(direct reflection): 일반적으로 빛이 가둠 미러(trapping mirror)의 개구(entrance)를 직접적으로 수직 통과할 때에는 트랩되기 어려우며, 바닥(PV의 상면)에서 반사되어 들어온 개구를 통해 밖으로 빠져 나갈 수 있다. 이것은 일반 각도 근처의 흡광 향상율이 도 3a에서 보이는 것과 같이 큰 각도에서 보다 작게 나타나는 것으로부터 알 수 있다. 이는 전력 변환 효율(전력 생산 효율)이 여름과 겨울에 더 높게 나타남을 의미한다.

[0067] 도 3에서는 도립 구조 및 통상 구조 polymer PV에서의 연간 매일 0° , 30° and 60° 로 변하는 각도에 대한 정규화된 J_{sc} 의 변화를 나타내며, 오른쪽 그림과 같이, 연중 빛의 입사각은 x-z 평면에서 변하고, 연중 전체에서 빛을 트랩하기 위하여 CPT는 y축 상에서 동-서 방향으로 정렬되어야 한다. z-축은 춘분(vernal equinox) 때 정오의 태양 위치를 나타낸다.

[0068] (4) CPT 상에서 입사 손실: 입사각이 허용 입사각(acceptance angle)의 경계 근처일 때, 포물형 유리 성형물(parabolic mold)과 그 입구(가둠 미러(trapping mirror)의 개구(entrance) 쪽 근처의 입사 빛 간의 각도가 임계각(탈출 하지 않고 개구(entrance)로 들어가도록 하는 전반사 임계각) 보다 작을 수 있다. 따라서 입사 빛이 그 입구쪽으로 반사되기 보다 CPT를 탈출하여 밖으로 빠져나갈 수 있다. 이러한 문제는 다른 시간대에는 허용 입사각(acceptance angle)이 $\pm 23.5^\circ$ 보다 충분히 커서 발생하지 않지만, 정오쯤에는 허용 입사각(acceptance angle)이 $\pm 23.5^\circ$ 경계 근처이므로 발생하게 된다. (3)의 문제는 양측의 포물형 유리 성형물(parabolic mold)이 서로 다른 경사각을 갖도록 CPT를 비대칭적으로 구성(서로 다른 초점을 가짐)하여 해결될 수 있고, 이는 빛이 개구(entrance)를 통과할 때 바닥의 PV 셀과 수직하지는 않기 때문이다. 이와 같은 비대칭적(asymmetric) CPT(ACPT)는 건물 일체형 PV(BIPV, building integrated photovoltaic) 시스템과 같은 실제 응용에 장점을 제

공하며, 이는 전체 시스템을 태양 고도 방향으로 회전시키지는 못하기 때문이다. 흡광 정도는 CPT의 허용 입사각(acceptance angle)를 더 줄여 향상될 수 있다. CPT가 일일 각도 변화와 무관하게 거의 모든 연중 전체 허용 입사각(acceptance angle)에서 평면 셀에서 보다 더 좋은 성능을 나타내므로, 제한된 더 작은 허용 입사각(acceptance angle)를 갖는 CPT에 연중의 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)와 함께 구현될 수도 있다.

[0069] 위에서 CPT의 성형물이 1차원 배열되는 것을 설명하였으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 이와 같은 1차원 배열의 위로 수직하게 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 제2의 1차원 배열을 더 포함하거나, 1차원 배열의 성형물의 장축 방향 끝에, 단면이 포물형인 양측 곡면으로 이루어진 성형물(parabolic mold)의 주기적인 제2의 1차원 배열을 더 구비하도록 함으로써, 2차원 CPT 구조가 되도록 할 수도 있다. 이에 따라 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이도 1차원 배열에서의 집광배율인 $n/\sin(\theta_a/2)$ 를 $n^2/\sin^2(\theta_a/2)$ 로 향상시킬 수 있으며, 그만큼 빛의 탈출확률이 줄어 흡광도를 더욱 개선시킬 수 있게 된다.

[0070] 위와 같은 포물형 성형물(parabolic mold)을 실제로 제작해 본 결과 조도가 좋지 않아 빛의 산란이 일어나는 경우가 있다. 이로 인한 빛의 손실을 줄이기 위해 가둠 미러(trapping mirror)가 없는 빛 가둠 장치(100)가 가능하며, 이때에도 PCE가 가둠장치 없는 기존의 6.25%에서 7.15%로 증가하였다.

[0071] 도 4는 도립 구조 및 통상 구조 polymer PV에서 각각 1D MLA(Micro Lenses Array, 마이크로 렌즈 배열)(본 발명의 다른 예)을 이용한 연간 입사각 변화에 따른 정규화된 J_{sc} 의 변화이다. 도 4에서 연간 입사각은 x-z 평면에서 변하고, 일일 각도 변화(daily angle variation)는 제로인 것으로 가정되었다. 또한, h와d는 가둠 미러(trapping mirror)의 개구(entrance)의 사이즈(예, 주기에 대한 폭의 비율)와 일일 각도 변화를 나타낸다.

[0072] <MLA(Micro Lens Array) 구조>

[0073] 도 4 오른쪽 그림과 같이, 도 3과 같은 1차원 CPT 배열 대신에, 본 발명의 집광기 일체형 빛 가둠 장치(100)는 고도로 제한된 허용 입사각(acceptance angle)를 갖도록 MLA로 구현될 수 있으며, 일정 주기로 각 렌즈(예, 장축 방향 단면이 반원형 등 접시 모양인 위로 볼록한 면을 갖는 유리 또는 플라스틱류 등)의 초점 거리 부분에 개구(entrance)를 갖는 가둠 미러(trapping mirror)가 MLA 하부에 구비된다. 여기서도, P_{esc} 에 대한 $\sin(\theta_a/2)/n$ (여기서 n은 MLA의 렌즈의 굴절율)를 구현하도록 MLA가 간단히 배열될 수 있다.

[0074] 도 4의 그래프는 1차원 MLA 구조에서, 마이크로 렌즈의 배열 주기가 $400\ \mu\text{m}$ 이며, 각 렌즈의 곡면은 반경(radius) $342.1\ \mu\text{m}$ 인 원통형(cylindrical)으로 근사화되어 설계되었다. 렌즈의 이론적 초점 거리는 $f=\text{radius} \times (n_{lens}-1)/n_{lens}$ 에 의해 계산될 수 있고(n_{lens} 은 렌즈 굴절율), 유리로 만들어진 경우 대략 $1000\ \mu\text{m}$ 정도이다. 그러나, 실제로는 원통형(cylindrical)으로 근사화된 것과 달리 초점 거리가 짧아질 수 있으므로 초점 거리, 즉, 렌즈 두께를 $940\ \mu\text{m}$ 로 하였다.

[0075] 도 4와 같이, 가둠 미러(trapping mirror)의 개구(entrance)의 사이즈(예, 주기에 대한 개구 폭의 비율 h)에 따라 성능이 달라짐을 확인하였다. 도립 구조에서, 정오에, $h=0.10$ 와 0.15 조건에서, 각각 최대 흡광 정도가 49%, 42%를 나타내었고, 같은 조건에서 노멀 구조에서는 그 값이 대략 19%, 17%로 감소하였다. 흡광 정도와 허용 입사각(acceptance angle) 간에는 CPT 배열에서처럼 교섭 관계(trade-off)를 나타낸다. 더 큰 일일 각도 변화(daily angle variation)에 대하여는, 초점 거리가 감소되어, 예를 들어, 각도 변화 60° 에서 빛이 개구(entrance) 쪽으로 가이드되지 못하였다. 이는 연중의 빛 평면(annual plane, x-z 평면)이 일일 빛 평면(daily plane, y-z평면)에 의해 영향을 받기 때문이다. 이와 같은 현상이 CPC/CPT와 같이 반사만을 이용하는 광학계에서는 나타나지 않는다.

[0076] 여기서도, MLA의 1차원 배열을 설명하였으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 이와 같은 1차원 배열의 MLA의 장축 방향 끝에, 다른 제2의 1차원 배열의 MLA를 더 구비하도록 함으로써, 2차원 MLA 구조가 되도록 할 수도 있다.

이에 따라 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이도 1차원 배열에서의 집광배율 보다 크게 되도록 향상시킬 수 있으며, 그만큼 빛의 탈출확률이 줄어 흡광도를 더욱 개선시킬 수 있게 된다.

[0077] 이상과 같이 본 발명의 일실시예에 따른 집광기 일체형 빛 가둠 장치(도 1, 도 3, 도 4)에 따르면, CPT(Compound Parabolic Trapper)(또는 MLA) 배열을 평면형이 아닌 1차원 선형 배열하여 빛을 작은 입구에 모으고 그 아래에서 빠져나오지 못하도록 가두어(경우에 따라서는 가둠 미러 없이도 어느 정도 효과가 있음), 박막형 태양전지의 전력 변환 효율을 개선할 수 있다. 선형 집광이기 때문에 별도의 빛 추적 장치의 필요성이 없거나 최소화된다. CPT/MLA의 집광배율을 줄이면 허용입사각을 늘일 수 있는데, 1차원 배열에서 허용입사각이 $\pm 23.5^\circ$ 가 될 경우 약 3.8배의 집광이 가능하며, 이는 곧 연중 태양고도의 변화를 모두 허용하는 것이고, 1차원 집광기 배열을 동-서로 향하게 놓으면 빛 추적 장치 없이 빛가둠효과를 구현할 수 있다.

[0078] 또한, 발명에서 집광기 일체형 빛 가둠 장치(100)가 연중의 태양 고도를 추적하는 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)를 포함할 수 있으며, 이에 따라 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)가 태양 방향을 따라 전체 시스템이 움직이도록 제어함으로써(각 시기의 태양고도에 맞게 기울여지도록 제어), 입사각 범위(acceptance angle), 즉 허용입사각을 47° 이하로 더 작게 줄여서 이에 따른 빛 가둠 효과를 더욱 증대시킬 수도 있다. 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus)는 불필요하고, 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus) 만을 운영할 수 있으므로, 기존 방식에 비하여 훨씬 경제적인 운영이 가능하다. 즉, 허용입사각 47° 이상에서 연중 빛 추적 장치(annual light tracking apparatus)가 사용될 수 있지만, 47° 이하에서 연중 빛 추적 장치를 통해 더욱 성능을 높일 수 있다. 이와 같이 본 발명에서는 일일 빛 추적 장치(daily light tracking apparatus) 없이 동작하며, 집광기 일체형 빛 가둠 장치(100)의 구성요소들이 허용 입사각 47° 이하의 빛을 받도록 제작되면 상기 연중 빛 추적 장치를 통해 더욱 성능을 높일 수 있다.

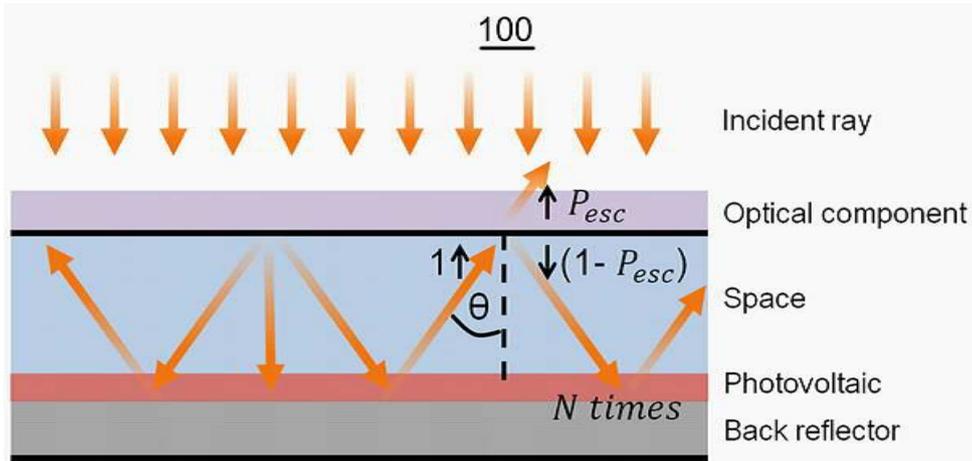
[0079] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

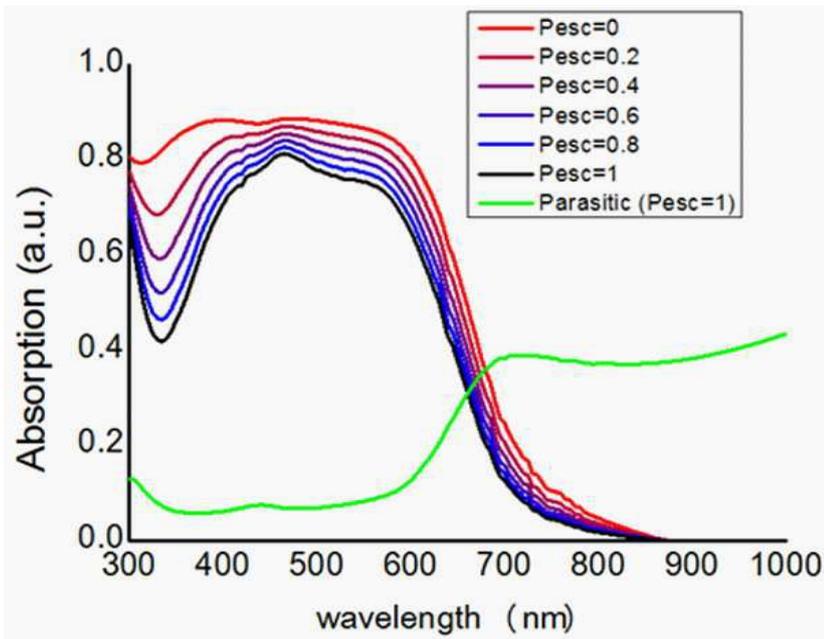
- [0080] CPT(Compound Parabolic Trapper, 복합 포물형 트래퍼)
- 태양전지(셀)(PV, Photovoltaic Cells)
- MLA(Micro Lens Array)
- 비대칭적(asymmetric) CPT(ACPT)
- 건물 일체형 PV(BIPV, building integrated photovoltaic)

도면

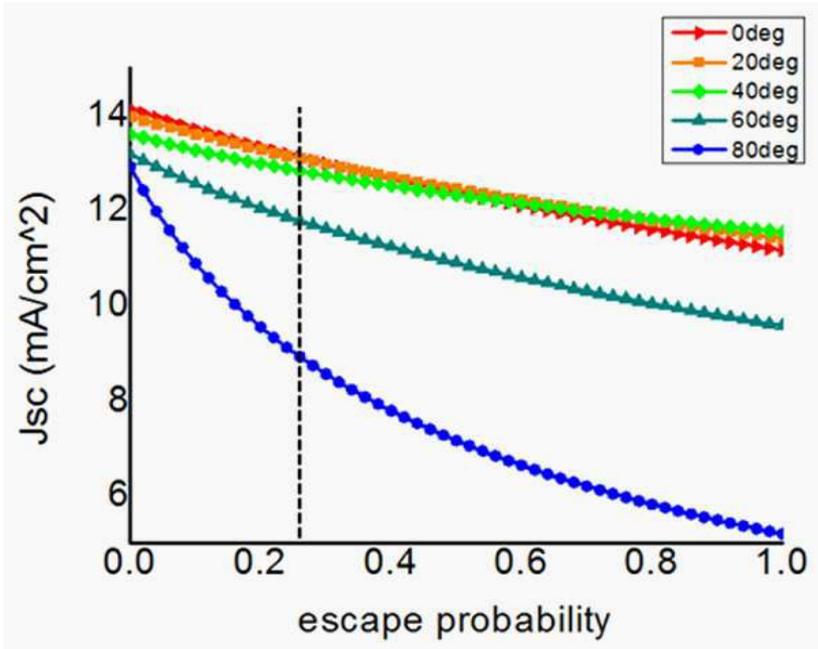
도면1



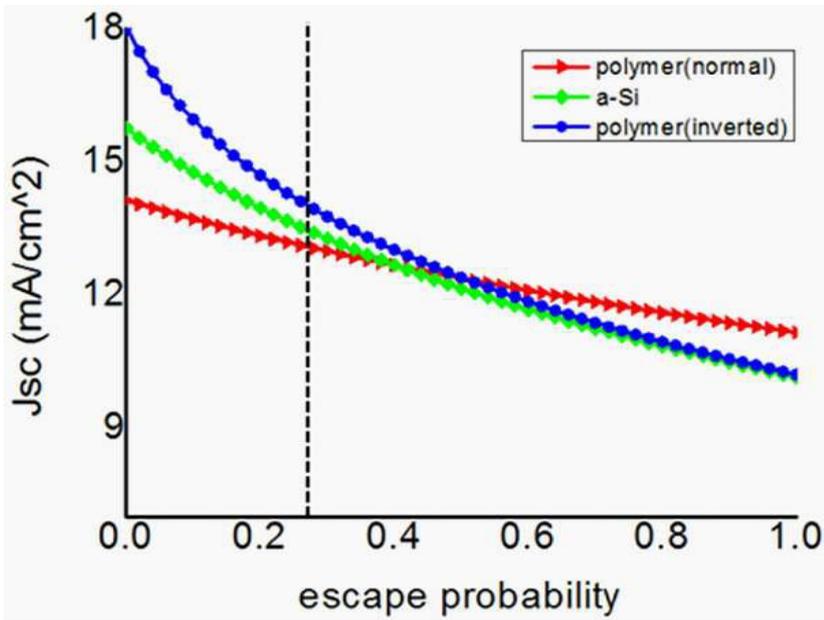
도면2a



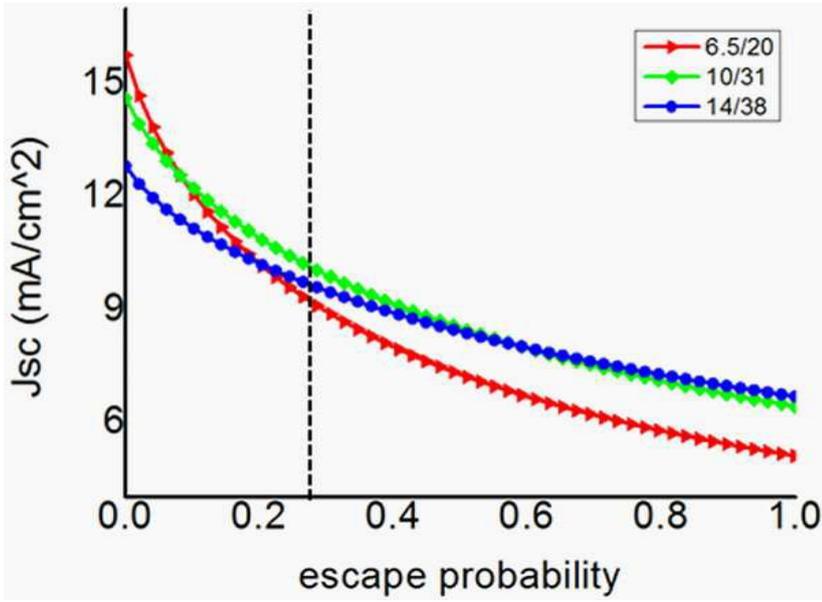
도면2b



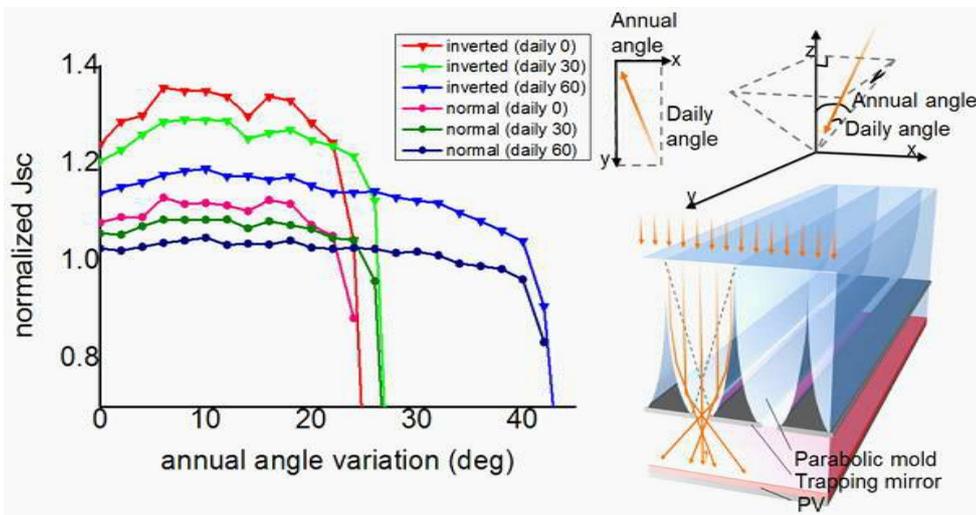
도면2c



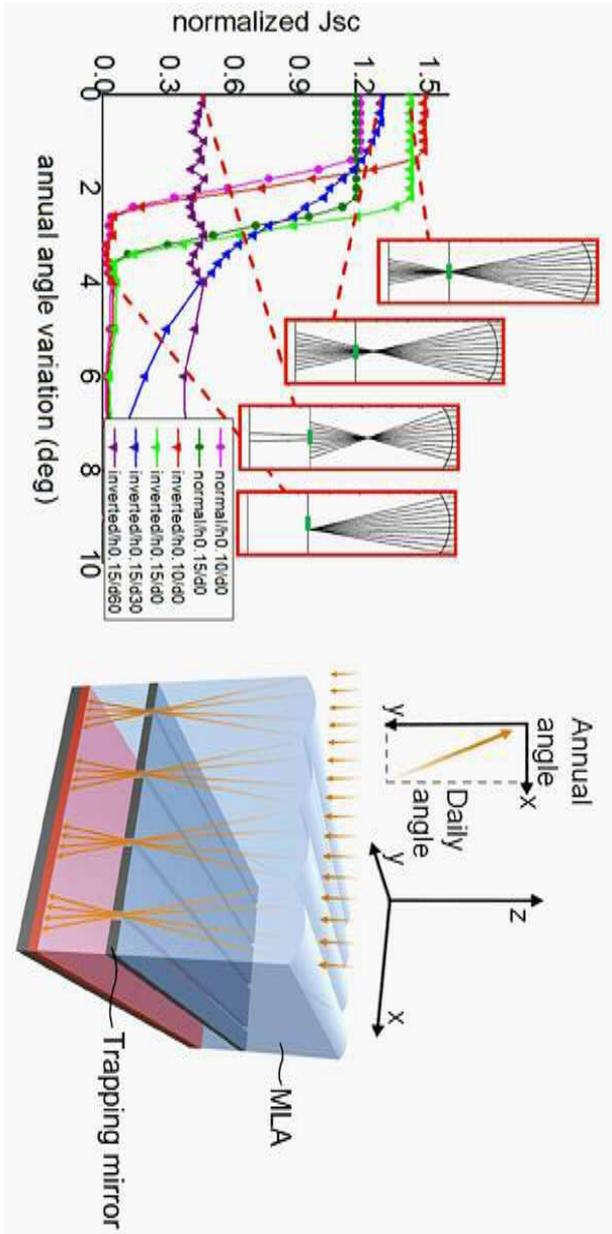
도면2d



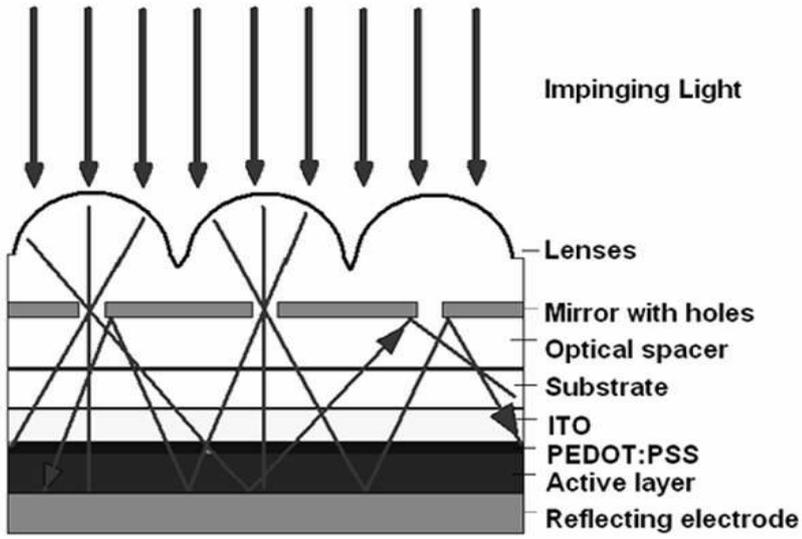
도면3



도면4



도면5a



도면5b

