고분자재료화학특강

Transparent Solar Cell



화학과 19학번 고가은 김찬비

목차

그래핀 · 페로브스카이트

01 **Solar cell 이란?**

Solar cell 정의 및 간단한 원리

02 **모듈 테스트 공정과 전제**

계산을 위한 전제

03 **가시광선 투과율과 발전효율**

가시광선 투과율 및 태양전지의 변환 효율

04 **페로브스카이트 태양전지**

페로브스카이트 정의, 공정 및 장단점

목차

목차2

그래핀 · 페로브스카이트

05 그래핀 전극

그래핀 정의 및 장단점

06 투과율 & 효율 계산

가시광선 투과율 70%, 발전효율 12% 이상

07 구조적 차별점

미세 돌기와 파라핀

08 미래의 투명 태양전지

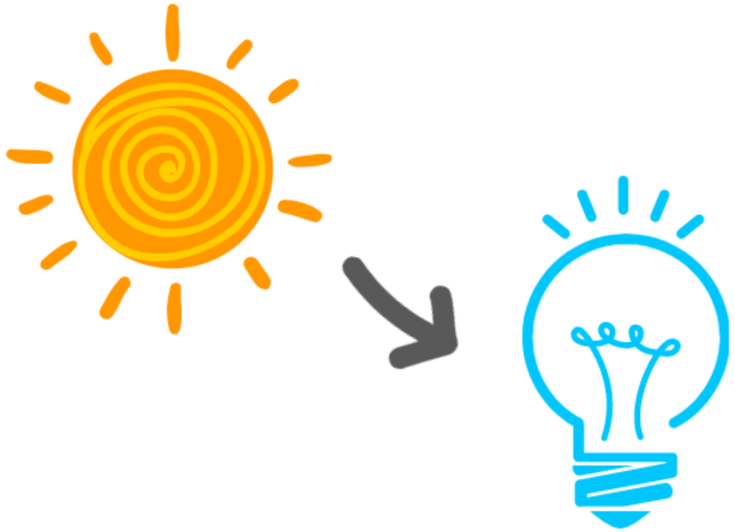
왜 투명 태양전지인가? 어디에 적용할 수 있는가?

들어가기 앞서

“ ***가시광선 투과율 70%, 발전효율 12% 이상*** *인 태양전지로*
건물 유리창에서 발전이 가능, 태양광 발전을 획기적으로 확산 ”

01 Solar Cell 이란?

01. Solar Cell



태양 전지 정의

에너지를 갖고 있는 빛이 재료의 표면에 조사될 때
전압과 전류가 발생되는 광전효과에 기초한 전자소자

태양 전지 원리 : p-n junction

p-type의 반도체와 n-type의 반도체를 접합할 경우, 서로 다른 Fermi energy에 의해 계면에서 band bending이 일어나게 되며, 두 반도체 사이에 전기장이 생성된다. 즉, 태양 빛을 받아 conduction band로 여기된 전자는 p-type의 반도체에서 n-type의 반도체 방향으로 이동할 수 있게 되어 전류가 발생하게 된다.

02

모듈 테스트 공정과

전제

02. 모듈 테스트 공정

전제

모든 계산식은 모듈 테스트라 가정함. 즉, 상용화 전

모듈 테스트 환경 : m^2 당 1000w 의 일사량이 입사되며, 25 ℃ 의 기온과 태양전지가 빛에 대해 직각으로 놓여있음.

일사량

태양으로부터 오는 태양 복사 에너지가 지표에 닿는 양

태양 광선에 직각으로 놓은 $1cm^2$ 넓이에 1분 동안 복사되는 에너지의 양을 측정하며, 태양의 고도가 높을수록 일사량은 높아진다. 즉, 태양의 고도가 가장 높은 여름 중 하지가 일사량이 가장 높다.

봄	12.8
여름	24.2
가을	14.9
겨울	0.3

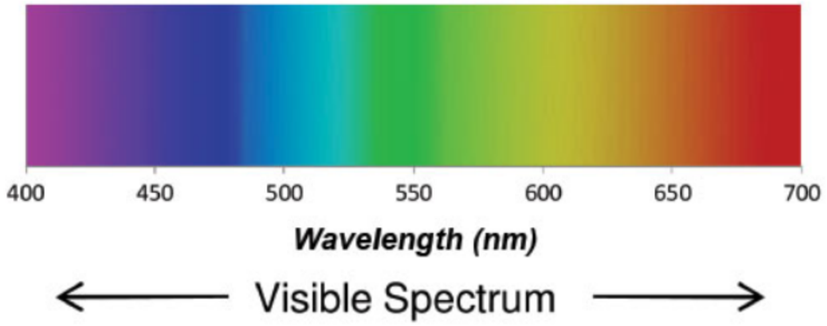
계절별 평균 기온 (2021)

출처: e-나라지표

03

가시광선 투과율과 발전효율

03-1. 가시광선 투과율



출처: https://socratic.org/questions/what-is-the-visible-spectrum

가시광선

눈으로 지각되는 파장 범위를 가진 빛

가시광선 영역: 400-700nm

가시광선 투과율 (VLT)

가시광선이 유리를 얼마나 투과하는가를 %로 나타낸 값.
값이 클수록 더 많은 양의 빛이 투과됨.

The Beer-Lambert Law

$A = \varepsilon cl = -\log T$

03-2. 발전 효율

태양전지의 변환 효율

태양전지 효율 = 출력된 전기 에너지 (w/m^2) / $1m^2$에 입사한 빛 에너지 (w/m^2) x 100 (%)

정량적 효율 계산 = 최대 전력 / 입사한 빛 에너지

여기서 잠깐

전력 = 전류 x 전압

전류에 영향을 주는 요소 = 일사량
전압에 영향을 주는 요소 = 온도

25 ℃ 이상 : 1℃ 당 0.5% 효율이 떨어짐.
즉, 여름이 일사량이 많으나 온도가 높아 발전량이 봄보다 적음.

04

페로브스카이트 태양전지

04-1. 페로브스카이트



페로브스카이트란?

특정한 유기물(A) + 특정한 무기물(B) + 할로겐화물(X)
= 유무기혼합물(ABX_3) 인 단순입방구조로 생긴 물질

즉, 유 · 무기 하이브리드 구조이다.

출처: https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%8E%98%EB%A1%9C%EB%B8%8C%EC%8A%A4%EC%B9%B4%EC%9D%B4%ED%8A%B8

초전도성, 자기저항, 높은 열전 효과, 이온 전도도, 강유전성 등 결정 구조 내의 상호작용에 따라 다양한 물리적 특성이 관찰된다.
정육면체 구조로 생긴 결정 물질이라 높은 결정성을 띠고 있지만 결정과 결정 사이에 이온들의 결함이 존재한다. 따라서 전해질의 흡착을 높이기 위해서 안전성이 높은 카바졸 분자에 이온 결함과 반응성이 높은 아민 작용기를 도입했다.

페로브스카이트 태양전지

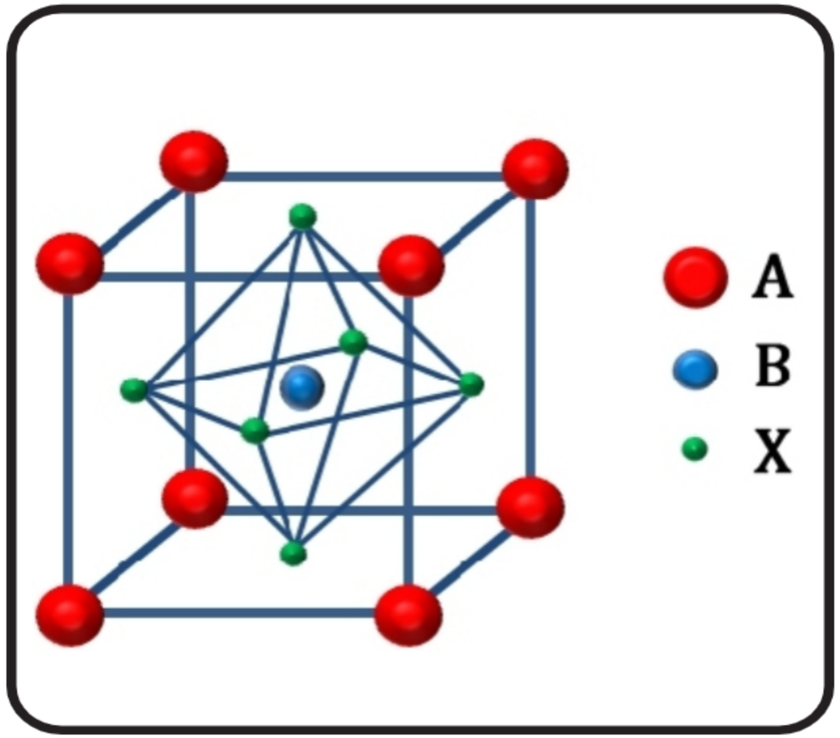
"IT HAPPENED! Perovskite Solar Cell FINALLY Hit The Market 2022"
(0:00~4:24)

https://www.youtube.com/watch?v=lkvZ3XG0Axc



응용예

04-2. 페로브스카이트 태양전지



출처: https://shinyongms.tistory.com/29

페로브스카이트 조성

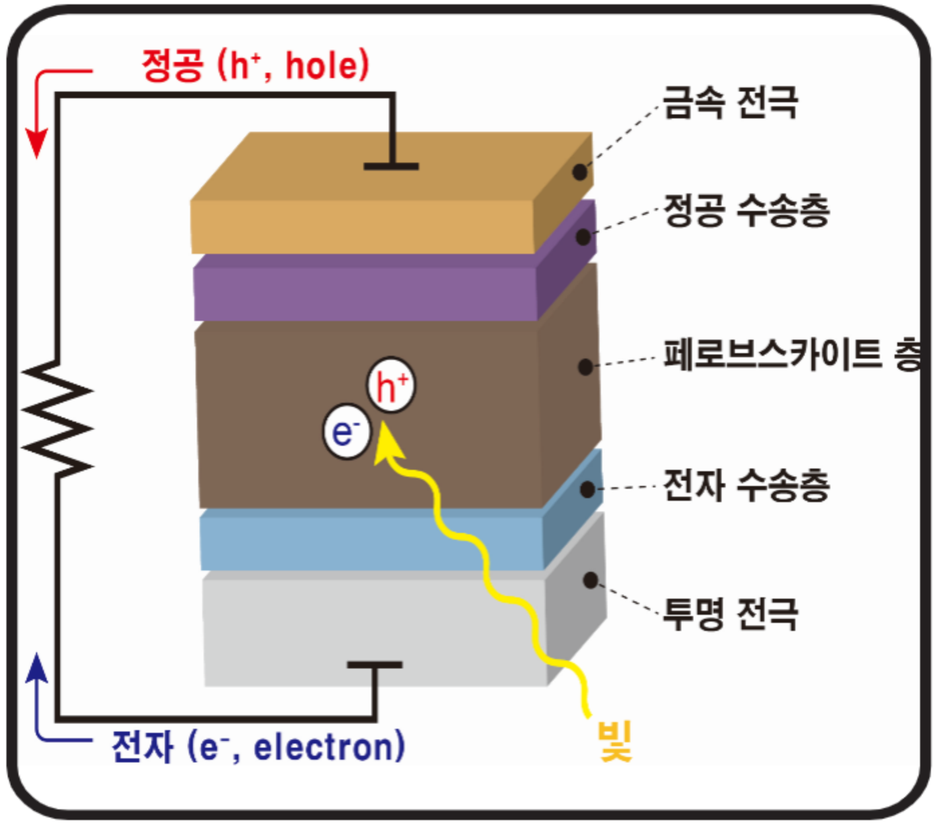
페로브스카이트 태양전지로 쓰이는 물질은 광반도체

A – 세슘, 메틸 암모늄
B – 납, 주석
X – 아이오딘, 브로민

브로민이 수분에 덜 민감하나, 매우 낮은 발전 효율을 보인다.

따라서 브로민과 아이오딘의 조성 비율을 조절하여 발전 효율은 높이고 수분과 같은 외부 환경에 강하도록 한다.

04-2. 페로브스카이트 태양전지



출처: https://www.krict.re.kr/thumbnail//viewer/1625033219834/index.html

01. 후면전극 (은, 금)

반사성 금속 사용하여, 광 흡수층에서 미처 흡수하지 못한 빛들을 후면 전극을 통해 다시 반사시켜 광 흡수를 유도하고 광 효율을 증가시키는 역할

02. 광흡수층

페로브스카이트 화합물 사용

03. 전면전극 (FTO)

투명 전극 소재로 유리기판 위에 증착되어 빛을 투과시키는 역할

04-3. 무납 페로브스카이트

기존 태양전지

납 페로브스카이트 태양전지는 값이 싸고 효율이 좋지만 납의 독성과 대기 중 불안정성 때문에 상용화가 어렵다.

32	33
Ge	**As**
저마늄	비소
germanium	arsenic
72.630(8)	74.922
50	51
Sn	**Sb**
주석	안티모니
tin	antimony
118.71	121.76
82	83
Pb	**Bi**
납	비스무트
lead	bismuth
207.2	208.98

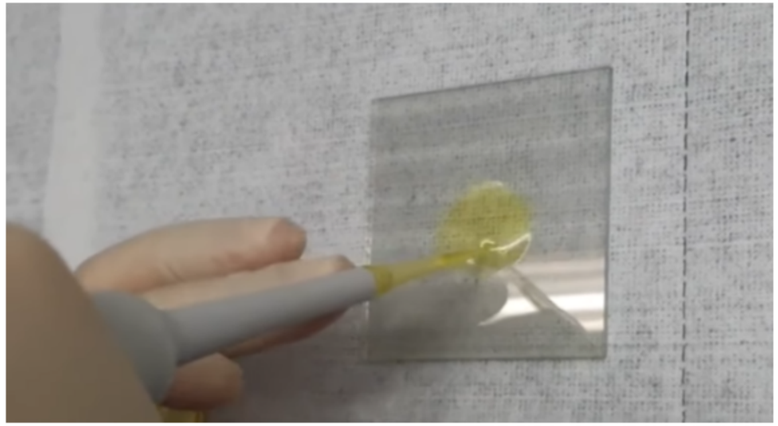
출처: 대한화학회

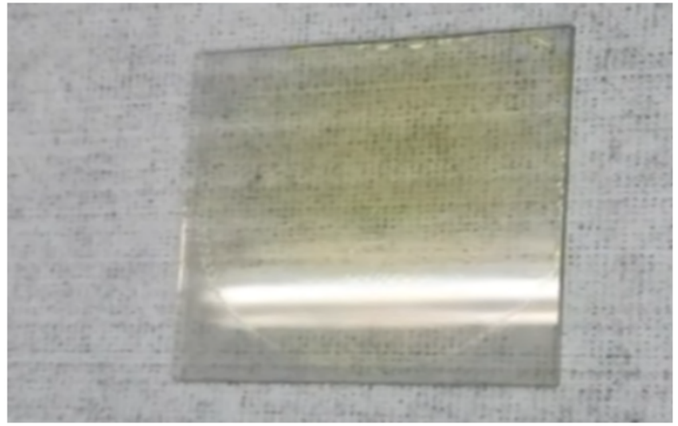
무납 페로브스카이트

14족 원소인 **주석(Sn)**과 **저마늄(Ge)**, 15족 원소인 **비스무스(Bi)**를 대체 무기물로 사용

비스무스와 저마늄의 경우 전하 불균형을 초래하여 전기 전도성을 떨어뜨리는 문제점이 있다. 주석은 전하 불균형을 일으키지 않고 저렴하고 매장량이 많아 납을 대체할 잠재력이 크다. 현재 주석 기반 페로브스카이트 태양전지의 가장 높은 효율은 13.24%이다.

04-4. 페로브스카이트 제조 공정





출처: https://seoksi.unist.ac.kr/

페로브스카이트 공정

페로브스카이트는 가루 형태로 되어 있고 이것을 용매에 녹인 후 전극에 뿌린다.
이후 용매가 증발하면서 전극에는 페로브스카이트만 남아있게 된다.

따라서, 용매의 선택이 매우 중요하다. 보통 독성이 있는 다이메틸포름아미드(DMF)를 사용하나, 현재 에탄올 기반의 친환경 용매를 사용해 25%의 효율을 이끌어냈다.

04-5. 페로브스카이트 장점

장점

- 넓은 스펙트럼 영역대 흡수
- 부도체, 반도체, 도체, 초전도체의 성질 가짐
- 나노 결정 경우, 국소 표면 플라즈몬 현상
- 유연하며 얇은 두께 제조 가능

?

실리콘 태양전지에 비해 좋을까?

04-5. 실리콘 태양 전지와 비교

	실리콘	VS	페로브스카이트
01. 광전환효율	20% 한계		높은 한계치
02. 제조공정	복잡한 공정, 수천도의 온도		단순한 공정, 고온 불필요
03. 용도	단일 물질		A, B, X 조성 변화
04. 설치장소	건물 옥상, 완만한 토지		외벽, 창문 등 다양

04-6. 페로브스카이트 단점

안정성 문제

Why? 유기 물질을 사용하기 때문에
외부 환경(열, 빛, 수분)에 취약



열

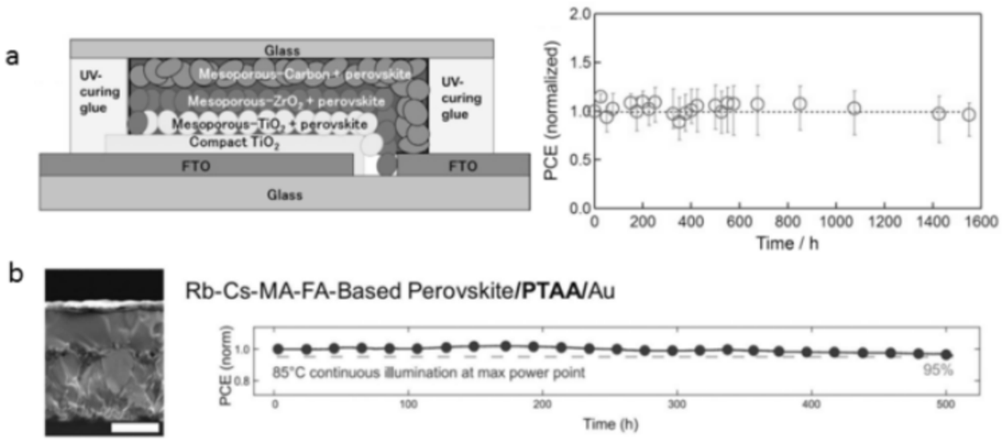


빛



수분

04-7. 극복 방안-열



열화 현상

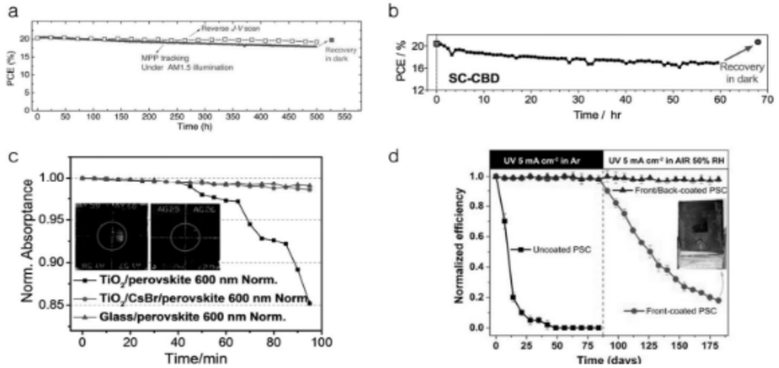
외부 환경에 의해서 혹은 내부적인 영향에 의해서 물질의 화학적 혹은 물리적 <u>성질이 나빠지는 현상</u>

출처: https://www.cheric.org/PDF/PIC/PC20/PC20-2-0059.pdf

태양전지가 강한 햇빛에 노출되면 <u>80도 이상</u>의 열을 받아 열화현상을 일으킬 수 있다. 그 예로, 페로브스카이트 소재의 분해, 유기 정공수송 소재 변형 등이 있다. 단분자 수준의 정공소재의 경우 낮은 온도에서 결정화가 일어나 전기적 특성이 변할 수 있다.

고분자 정공소재를 사용하는 것으로 PTAA, 탄소 소재를 사용하여 유기 정공수송 소재를 대체하는 방법으로 해결할 수 있다.

04-7. 극복 방안-빛



문제상황

전자전달층 소재로 사용되던 TiO2가 자외선을 흡수하여 생긴 광전자와 표면에 있는 산소와 반응하여 광 흡수층의 열화를 발생시킨다.

출처: https://www.cheric.org/PDF/PIC/PC20/PC20-2-0059.pdf

해결방안

1. TiO_2를 대체할 SnO_2 전자전달층 소재 사용
2. TiO_2 전자전달층 소재를 그대로 사용하되, 표면을 Cl, CsBr 등 다른 재료로 덮어 고효율을 유지하고 광 안정성을 높임
3. 자외선 차단막 fluorinate polymer을 유리 기판 위에 코팅

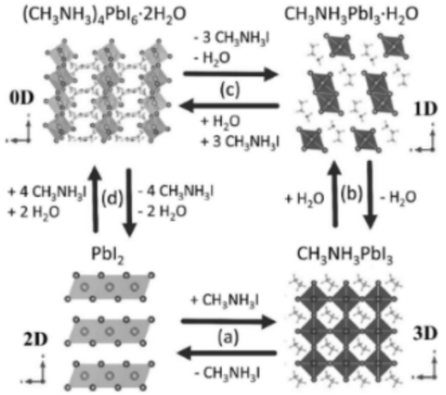
04-7. 극복 방안-수분

출처: https://www.cheric.org/PDF/PIC/PC20/PC20-2-0059.pdf

문제상황

페로브스카이트 태양전지는 외부 환경 중 수분에 가장 취약하다.

수분과 만나면 페로브스카이트 수화물이 만들어지면서 열화 현상이 발생한다. 또한 정공수송층으로 사용되는 유기물이 충분한 전도도를 확보하기 위해 첨가되는 물질이 수분을 흡수하여 소자의 열화 현상을 발생시킨다.



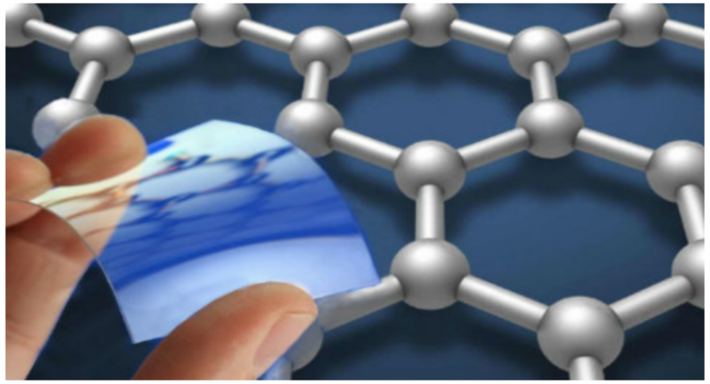
*출처 : *Adv. Energy Mater.*, **6**, 1600846 (2016).

해결방안

1. 수분 흡수를 방지하는 광 흡수층의 소재 사용 (발전 효율을 낮춤)
2. 소수성 박막의 코팅
3. OLED에 사용되던 봉지 소재 사용

05 그래핀 전극

05-1. 그래핀 정의&성질



출처: https://joinsmediacanada.com/bbs/board.php?bo_table=edu&wr_id=426

그래핀 정의

탄소 원자로만 이루어진 탄소 동소체의 한 종류로써
탄소 원자들이 모여 2차원 평면을 이루고 있는 구조

그래핀 성질

01. 무게와 두께

무게는 0.77mg/m^2이며, 두께는 원자 1층 기준으로 0.33nm이다.

05-1. 그래핀 정의&성질

그래핀 성질

02. 높은 비표면적

입자 단위당 표면적인 비표면적이 2630m^2/g으로 높다.

03. 높은 전기 전도도

전기 전도도가 좋은 구리보다도 100배 이상 더 빠르다.

04. 높은 열 전도도

다이아몬드의 2배 이상, 구리의 12배 이상 높은 5300W/m·K을 나타낸다.

05-1. 그래핀 정의&성질

그래핀 성질

05. 높은 강도

인공적으로 만든 물질 중 가장 얇지만 기계적 강도는 1020Gpa인 강철보다 높다.

06. 유연성

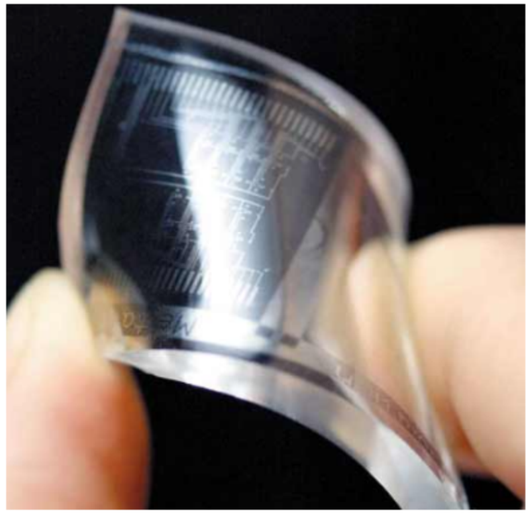
접거나 휘어도 성질이 변하지 않는 외부 충격에 강한 웨어러블 신소재이다.

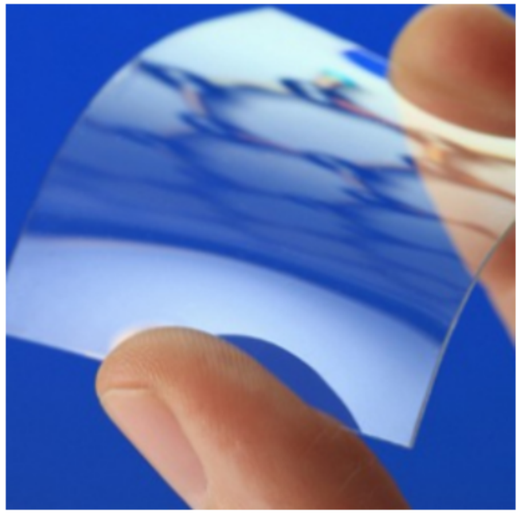
07. 투명도

97.7%의 투과도를 띠고 있어 거의 투명하다고 할 수 있다.

05-2. 그래핀 전극

유연성 + 투명도 + 간단한 공정





추가 장점

그래핀 전극은 그 자체로 태양광의 반사도를 감소시켜, 반사방지막 제작 공정이 추가적으로 필요하지 않다!

출처: https://raptor-hw.net/xe/news/26388
출처: https://en4u.co.kr/%EA%B7%B8%EB%9E%98%ED%95%80%EA%B4%80%EB%A0%A8%EC%A3%BC/

05-3. 그래핀 전극 단점

주요 문제

- 기존 투명 전극에 비해 전기 저항이 크다.
- 표면 위에 코팅이 잘 되지 않는 소수성을 띠고 있다.
- 그래핀의 얇은 두께로 전극 기판으로 옮길 때 지지층이 필요하다.

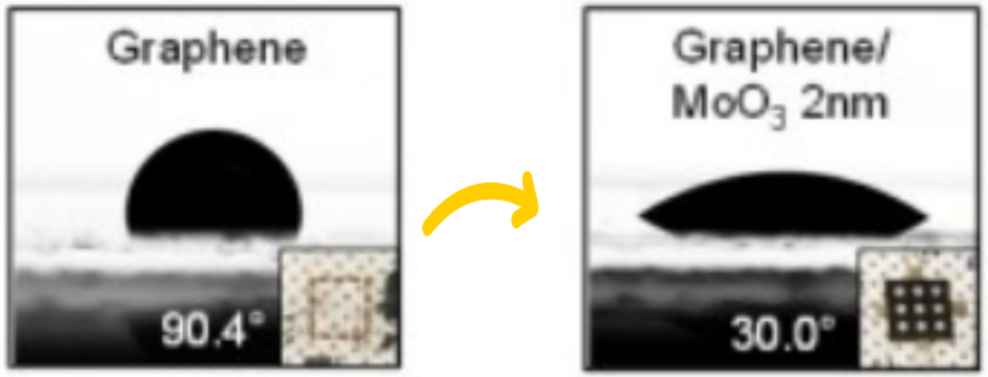
극복 방안1

친수성을 띠는 유기 물질을 그래핀의 표면 위에 증착하는 방법!
'최만수 서울대 기계항공공학부' 연구팀에 의하면 삼산화몰리브덴(MoO_3)을 수 나노미터 두께로 증착해 그래핀의 표면 성질을 변화시켰다.

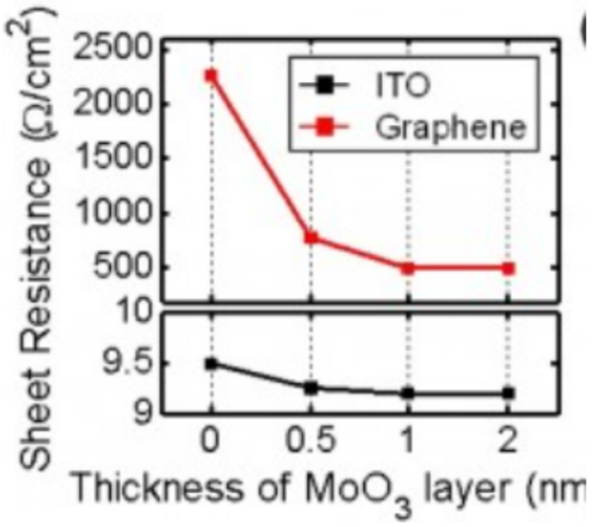
극복 방안2

폴리머를 사용한 기판 일체형 그래핀 전극!
'UNIST 박혜성, 양창덕 교수' 연구팀에 의하면 폴리이미드 기판을 증착하여 유연하고 투명한 그래핀 전극을 고안했다.

05-4. 극복 방안1



(a) 표면의 성질 변화



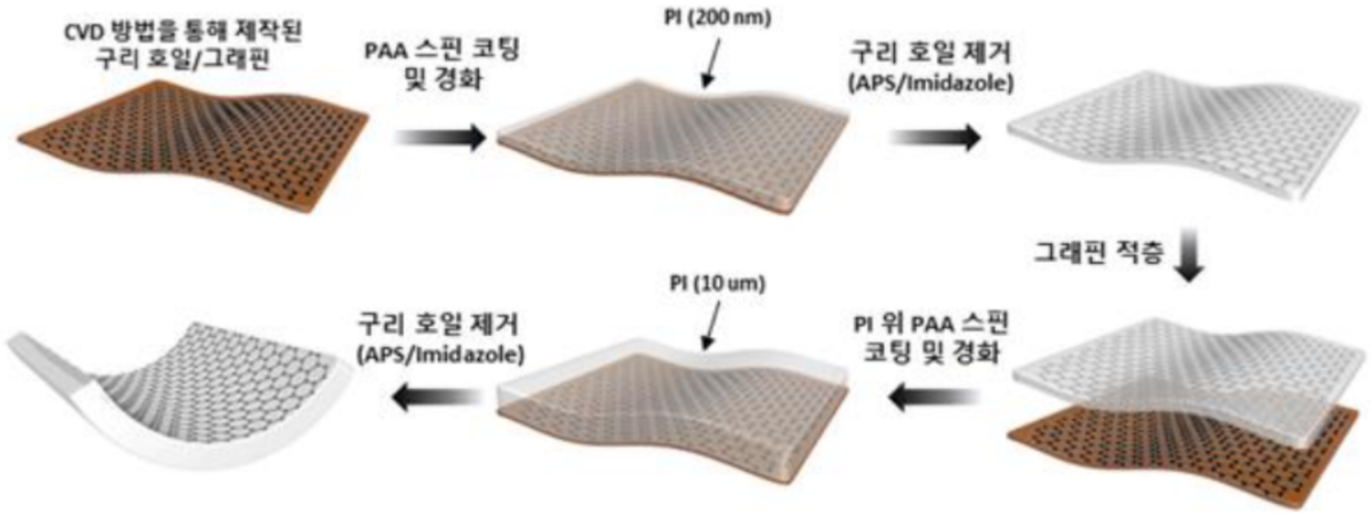
(b) 증착한 두께에 따른 저항 변화

연구 결과

소수성이었던 그래핀 전극의 성질이 친수성으로 바뀌었고, 전기 저항도 낮아졌다. 그래핀을 사용해 만든 최만수 연구팀의 페로브스카이트 태양전지는 17.1%의 발전효율을 기록했다.

출처: https://www.dongascience.com/news.php?idx=10496

05-4. 극복 방안2



폴리이미드 그래핀 일체형 투명전극 제작공정 모식도

연구 결과

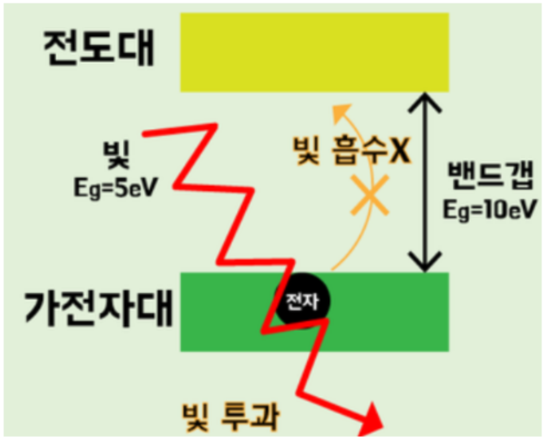
투명한 폴리이미드 소재를 사용하여 잔여물이 없고 투명한 그래핀 전극을 얻었다. 그래핀 전극 위에 폴리이미드 기판을 직접 형성해 접착력과 내구성을 높인 결과, 15.2%의 발전효율을 얻었다.

출처: http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=224276

06

투과율&발전효율 계산

06-1. 투과율 계산



출처: https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=youngdisplay&logNo=221124111967

Band Gap 계산

$Eg=hv=hc/\lambda=\frac{(6.626\times10^{-34}\,J\cdot s)\times(3\times10^{8}\,m/s)}{(400\times10^{-9}\,m)\times(1.6\times10^{-19}\,J/eV)}$

= 3.10eV

-> 3.10eV보다 큰 band gap을 가지는 물질일 경우 가시광선 영역에서 투명하다!

Before

$\varepsilon = 5.7\times10^{4}$, c = 50, l = 2nm

$A = \varepsilon cl = -\log T$

$A = (5.7\times10^{4}\,L/mol\cdot cm) \times (50\,mol/L) \times (2\times10^{-7}\,cm) = 0.57$

T = 26.9% -> **25.7%**

After

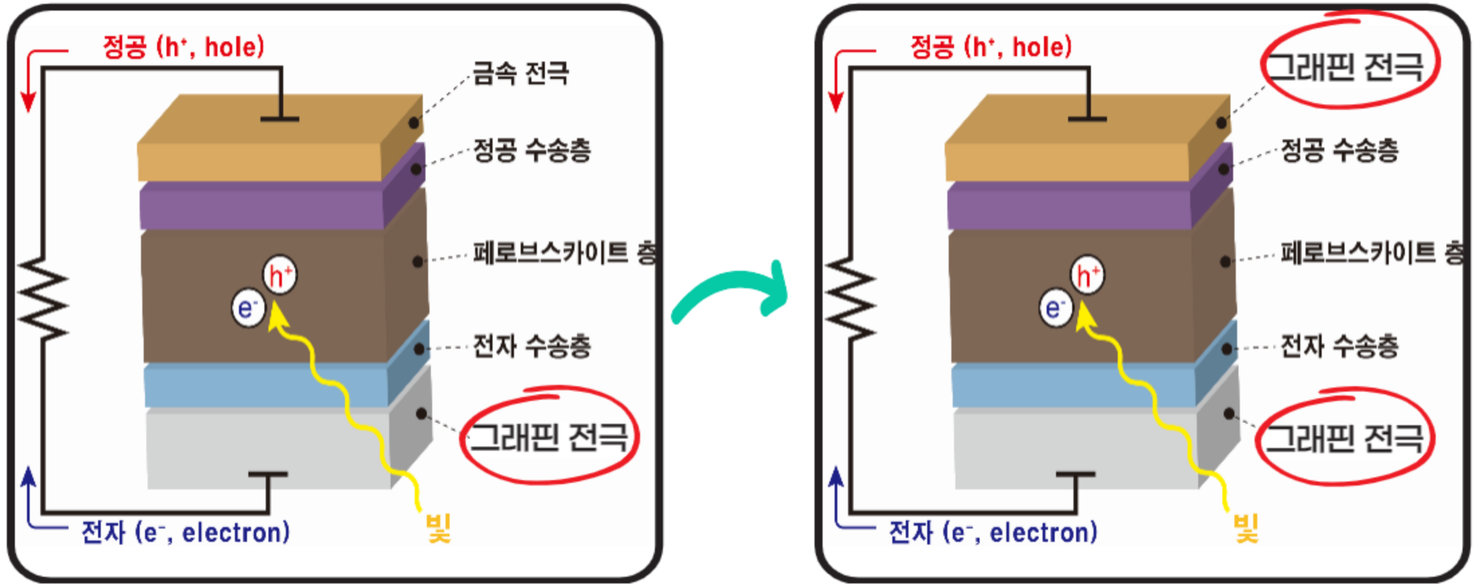
$\varepsilon = 5.7\times10^{4}$, c = 50, l = 0.5nm

$A = \varepsilon cl = -\log T$

$A = (5.7\times10^{4}\,L/mol\cdot cm) \times (50\,mol/L) \times (0.5\times10^{-7}\,cm) = 0.1425$

T = 72.0% -> **68.8%**

06-2. 효율 계산



효율 예상 근거

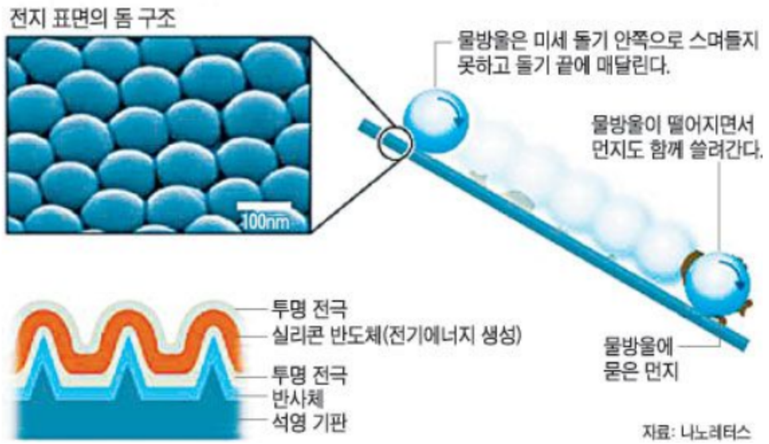
기존 실리콘 양자점 태양전지가 14% 대이고, 금속 박막 전극을 그래핀 전극으로 바꾼 결과 16.2%로 향상되었다. 그래핀 전극이 투명도가 매우 높아 태양의 거의 모든 빛이 그래핀을 통과해 실리콘 양자점이 빛을 더 잘 흡수했기 때문이다. 물론, 금속 박막 전극이 반사방지막의 기능을 더 잘하지만 반사되는 빛보다 그래핀으로 입사되는 빛의 양이 더 많은 것에 집중하여 발전효율이 증가했다고 생각한다.

-> 기존 그래핀-페로브스카이트 태양전지 효율 : 17.1%

-> 후면 전극과 전면 전극 모두 그래핀 전극 : **17.1% 이상** 효율 예상!

07 구조적 차별점

07-1. 미세돌기



출처: https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2009/12/02/2009120201561.html

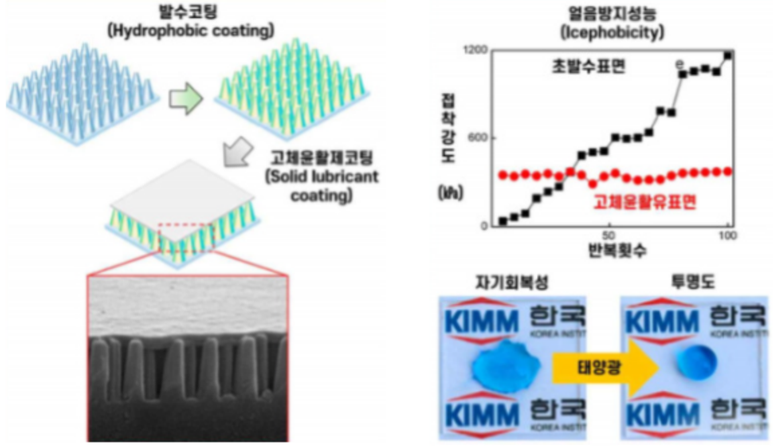
연잎 효과

연꽃 속 잎의 초소수성의 결과로 나타나는 자기 청소 특성
-> 연잎 표면에 있는 미세 나노 돌기

나노구조체를 이용한 초소수성 표면

'미 스탠퍼드 대 이 큐이(Yi Cui) 교수'에 의하면 필름형 비결정 태양전지의 표면을 연잎에 있는 돌기가 나 있는 형태로 만들었다. 그 결과, 물방울이 굴러떨어져 표면이 항상 깨끗하게 유지되고 발전효율도 4.7%에서 5.9%로 증가했다.
450nm의 돔 구조 태양전지는 도파관 역할을 하여 햇빛의 반사를 최소화하고 태양전지 내부에 머물 수 있게 했다. 그 결과, 6%의 빛만 반사하는 것으로 나타났다.

07-2. 파라핀



출처: https://www.fnnews.com/news/202010131111042537 5

파라핀

20 혹은 40개의 탄소 분자들로 이루어진 탄화수소인 고체이다.

1) 반투명
2) 열전도율↓
3) 물과 반응 X
4) 녹는점 46-68℃

자기 세정 유리

나방눈을 모사한 나노유리표면에 파라핀을 코팅해 만든다. 스스로 오염물을 제거하면서 스크래치가 생길 경우 파라핀의 녹는점이 46-68℃로 태양열에 의해 녹고 굳는 과정을 반복함으로써 자기회복이 가능하다. 이를 태양전지에 사용해 먼지나 얼음으로 에너지 생성 효율이 떨어지는 문제 해결 속도를 높일 것으로 기대된다.
기존의 유체윤활류(기름) -> 고체윤활류(파라핀)

08

미래의 투명 태양전지

08-1. 개발 이유

서울 여의도 면적 ≒ **영암 발전소 면적**

약 290m^2 296m^2

서울의 건물 개수 : 585,636개
서울 총 면적 : 605.2km^2
여의도 건물 개수(추정) : 약 2,806개

연도	총 발전량	일평균 발전시간
2016년	137,815kWh	3.82h
2017년	144,565kWh	4.01h
2018년	142,423kWh	3.95h
2019년	140,989kWh	3.91h
2020년	134,979kWh	3.74h
2021년	135,411kWh	3.75h

'그래핀-페로브스카이트 태양전지'

태양광 발전소를 설치하기 위해서는 정남향의 완만한 넓은 토지가 필요하다. 또한, 주민 민원과 발전소 설치 허가를 받은 지역 여부도 알아야 하기 때문에 발전소를 늘리는 데 한계가 있다. 따라서, 추가적인 공간이 필요하지 않은, 채광이나 미관을 망치지 않는 건물 유리를 대신할 수 있는 투명한 태양전지를 개발해야 하는 것이다. 특히, 반투명한 유리는 건축적으로 다양하게 쓸 수 없고 아름답지 않으므로, 완전히 투명한 전지만이 유리를 대체할 수 있다. 그래핀 등의 유기물질을 사용하면, 곡선 형태의 건물에도 사용 가능할 것이다.

08-2. 실생활 적용

BIPV



출처: https://www.hani.co.kr/arti/PRINT/891114.html

건물의 유리에 적용된 태양전지로부터 생산된 전기를 건물 내부에서 바로 활용 가능한 시스템

자동차 유리



출처: https://young.hyundai.com/magazine/motors/detail.do?seq=17909

자동차 유리에 적용된 태양전지로 배터리 없이 자동차의 각종 전자 장치를 작동할 수 있다.

웨어러블 전자기기



출처: http://www.munhwa.com/news/view.html?no=2020030201031703009001&mobile

옷에 부착하여 언제, 어디서든 휴대폰 충전이 가능하고 발전소 주변의 환경 오염도 감소시킨다.

08-3. 미래의 태양전지

저비용

휴대성(소형화)

계절 변화 감지



간단한 공정 과정

높은 가시광선 투과율

친환경

높은 발전효율

References

Website

물리학백과. (n.d.). Retrieved from https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5810487&cid=60217&categoryId=60217

물리학백과. (n.d.). Retrieved from https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5741273&cid=60217&categoryId=60217

화학백과. (n.d.). Retrieved from https://terms.naver.com/entry.naver?docId=5827412&cid=62802&categoryId=62802

색채용어사전. (n.d.). Retrieved from https://terms.naver.com/entry.naver?docId=269396&cid=42641&categoryId=42641

이정은. (2022). 열·빛·공기 노출에도 안전…'페로브스카이트 태양전지' 개발. *HelloDD*. Retrieved from https://www.hellodd.com/news/articleView.html?idxno=96085

손형진, 김태현, 김성현, 주병권. (2021). 차세대 태양전지 기술, 페로브스카이트 태양전지 상용화를 위한 어떤 안정성 이슈가 있는가. *elec4*. Retrieved from https://www.elec4.co.kr/article/articleView.asp?idx=27696

LEHMS. (n.d.). Retrieved from https://seoksi.unist.ac.kr/

날씨맑음. (n.d.). Retrieved from https://www.mal-eum.com/

References

(2022). 기온 추이. *e-나라지표*. Retrieved from https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1400&param=001

(2022). 일조시간 추이. *e-나라지표*. Retrieved from https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1402

(2022). 건축물 현황. *e-나라지표*. Retrieved from https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1226

리얼로그. (2011). 전기 생산의 핵심, 태양광 모듈 구조 집중 해부(하). Retrieved from https://blog.63realty.co.kr/m/134

신효송. (2018). 경희대, 그래핀·실리콘 양자점 태양전지 세계 최초 개발. *e대학저널*. Retrieved from http://www.dhnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=77466

행복지구. (2013). [PV] 온도와 일사량에 따른 성능 변화. Retrieved from https://happy8earth.tistory.com/44

(2022). 2021년 전국 태양광 발전시간 분석(1) - 월별·계절별 발전시간. *ENlighten*. Retrieved from https://www.enlighten.kr/insight/biz-development/8173

EDINBURGH INSTRUMENTS. (n.d.). The Beer-Lambert Law. Retrieved from https://www.edinst.com/ko/blog/the-beer-lambert-law/

디플. (2017). 투명한데 전기도 잘 흐른다고?! 투명전극 A to Z. Retrieved from https://m.blog.naver.com/PostView.naver?isHttpsRedirect=true&blogId=youngdisplay&logNo=221124111967

Ref

References

양찬미. (2018). 태양광 발전의 효율, 그리고 온도와의 관계. *대학생신재생에너지기자단*. Retrieved from https://renewableenergyfollowers.org/2586

홍종현. (2021). 차세대 K-태양전지 페로브스카이트. *YTN 사이언스*. Retrieved from https://science.ytn.co.kr/program/program_view.php?s_mcd=1394&s_hcd&key=202104130902207604

천승현. (2020). 새로운 태양전지 소재, 페로브스카이트. *한국동서발전*. Retrieved from https://m.blog.naver.com/iamewp/221859740615

꿈틀E. (2019). 페로브스카이트, 너는 누구니?. Retrieved from https://m.blog.naver.com/energium/221743456884

한음표. (2021). 자외선 차단하고 가시광선 흡수 늘리는 '다기능성 반사 방지 필름' 개발. *기계신문*. Retrieved from http://www.mtnews.net/m/view.php?idx=14020

서동준. (2022). 페로브스카이트 태양전지 효율 잡고 다음 목표는 면적과 수명. *동아사이언스*. Retrieved from https://m.dongascience.com/news.php?idx=51850

이우상. (2016). 그래핀 태양전지, 동급 최고 효율 17.1% 기록. *동아사이언스*. Retrieved from https://www.dongascience.com/news.php?idx=10496

김만기. (2020). 파라핀으로 코팅한 유리, 물·먼지도 튕겨낸다. *파이낸셜뉴스*. Retrieved from https://www.fnnews.com/news/202010131110425375

Ref

References

김정규. (n.d.). 그래핀의 기계적 특성을 측정하다. *기초과학연구원*. Retrieved from https://www.ibs.re.kr/cop/bbs/BBSMSTR_000000000735/selectBoardArticle.do?nttId=15763

스탠다드그래핀. (2017). 그래핀의 놀라운 6가지 성질. Retrieved from https://post.naver.com/viewer/postView.nhn?volumeNo=9206759

GRAPHENE SQUARE. (n.d.). Retrieved from https://neoframemedia.com/nfmgraphenesq/whatis/grphene.html

송명규. (2020). 그래핀 전극 기반 태양전지, 최고 효율 달성. *투데이에너지*. Retrieved from http://www.todayenergy.kr/news/articleView.html?idxno=224276

이정아. (2022). 발전효율 떨어뜨리는 먼지 걱정 없는 태양광 패널. *동아사이언스*. Retrieved from https://m.dongascience.com/news.php?idx=53020

이영완. (2009). 연잎 모방해 발전효율 높인 태양전지 개발. *ChosunBiz*. Retrieved from https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2009/12/02/2009120201561.html

신원데이터넷. (2020). 기계연, 스스로 오염물 제거하는 유리 개발... "태양전지 활용 기대" - ACS. Retrieved from https://blog.naver.com/swnet1/222117504684

유지연. (2020). 웨어러블·플렉시블 태양전지 통해 '에너지 개인주의' 이룰 것. *월간인물*. Retrieved from https://www.monthlypeople.com/news/articleView.html?idxno=21355

References

태양솔라에너지. (2017). 태양광발전소 설치가능 지역. Retrieved from https://hse-solar.tistory.com/entry/%ED%83%9C%EC%96%91%EA%B4%91%EB%B0%9C%EC%A0%84%EC%86%8C-%EC%84%A4%EC%B9%98%EA%B0%80%EB%8A%A5-%EC%A7%80%EC%97%AD

문재현. (2021). 태양전지, 색동옷 입다?…딱정벌레 표피 모방. *HelloDD*. Retrieved from https://www.hellodd.com/news/articleView.html?idxno=95337

전력연구원. (2022). #페로브스카이트 #태양광 기술. Retrieved from https://m.post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=33151759&memberNo=41515312

이정호. (2022).일본 연구진, 유리처럼 투명한 태양전지 개발했다. *경향신문*. Retrieved from https://www.khan.co.kr/environment/environment-general/article/202207242150025

Paper

Bassel H. Mahmoud, Camile L. Hexsel, Iltefat H. Hamzavi, Henry W. Lim. (2008). Effects of Visible Light on the Skin. Retrieved from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1751-1097.2007.00286.x

유권재 외 4인. (n.d.). 그래핀 투명전극을 이용한 태양전지 제작 및 특성연구. (pp. 81). 한국표준과학연구원, 충남대학교 나노공학부.

References

성황기 외 6인. (2015). Transparent Conductive Oxide-Free Graphene-Based Perovskite Solar Cells with over 17% Efficiency. *Advanced Energy Marterials*. Retrieved from https://en.x-mol.com/paper/article/65030

이선주 외 3인. (2021). 할로겐화물 페로브스카이트 태양전지. (pp. 63-69). KRICT, 고려대학교.

(2019). 차세대 광전자 소자를 위한 신규 페로브스카이트 나노 소재 기반의 친환경무납 나노복합체 개발. (pp. 1-2).

김병만 외 10인. (2021). 차세대 태양전지 동향. (pp. 38-42). 한국태양광발전학회.

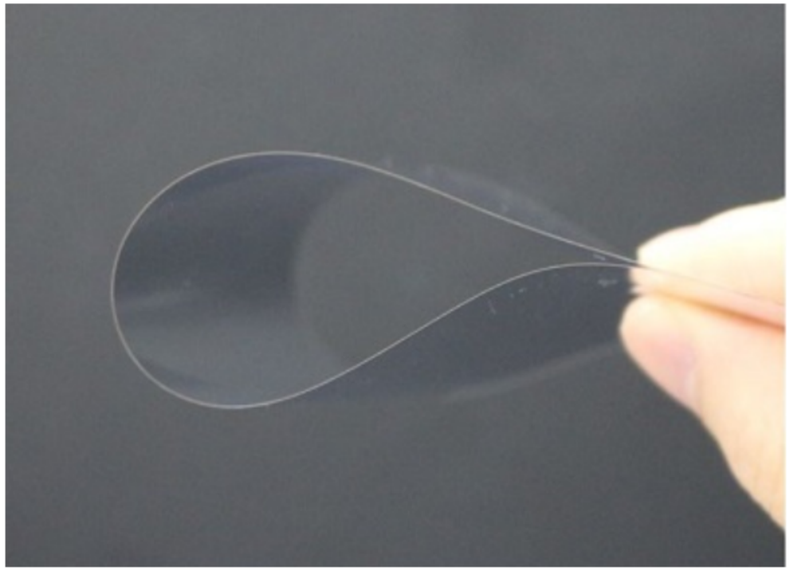
Book

Bradley D. Fahlman. (2011). Materials Chemisty Second Edition. (pp. 324-329). Spinger.


Q&A

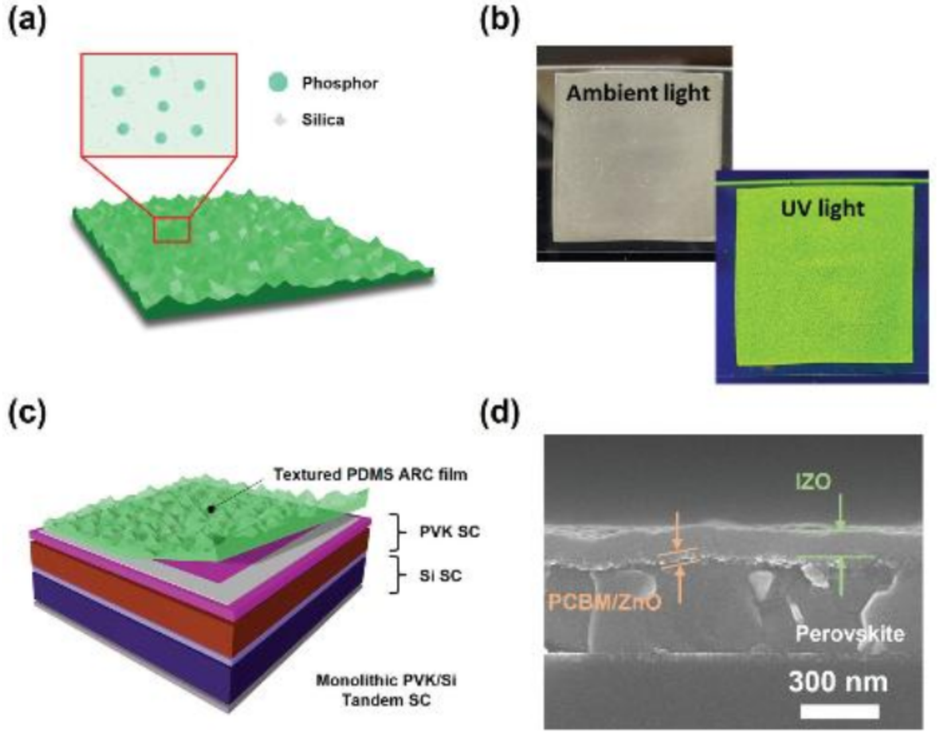
Q&A

폴리이미드 추가 사용



출처: https://news.samsungdisplay.com/23944

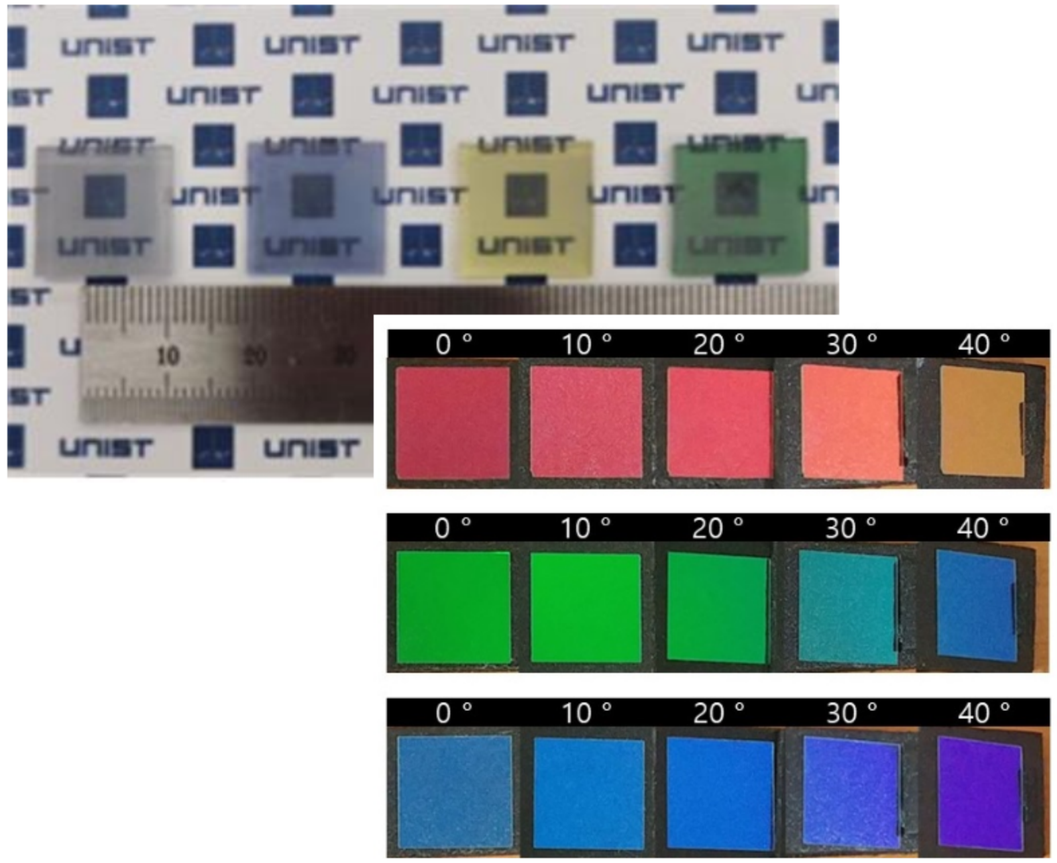
다기능성 반사방지필름



출처: http://www.mtnews.net/m/view.php?idx=14020

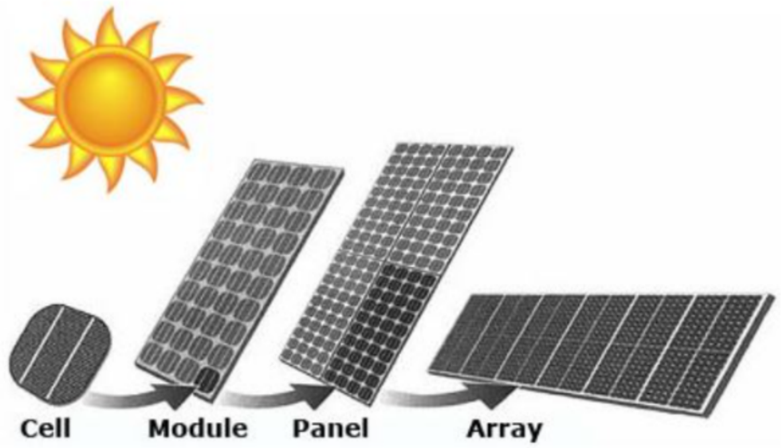
Q&A

컬러 투명 태양전지



출처: https://news.unist.ac.kr/kor/newsletter/2021130/ ,
https://www.dongascience.com/news.php?idx=31965

모듈



Building blocks of a solar array

출처: https://post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=23266733&memberNo=45627402


Thank you