

연구팀은 n-GaN/i-InxGa1-xN/p-GaN core/shell/shell 구조의 나노와이어를 이용하여 이번 연구를 수행하였다. 이러한 core/shell/shell 구조의 가장 큰 장점은 p-i-n 경계면이 나노와이어 전체를 따라서 확장된다는 데에 있다. 이에 따라 캐리어(carrier) 농도가 지름 방향(radial direction)으로 확장된다.

연구팀이 제작한 소자의 전기적 특성을 측정하기 위하여 내부 n-core와 외부 p-shell에 금속 전극(contact)을 만든 후 전기적 특성을 조사하여 빛이 있을 때와 없을 때의 조건 하에서 전류 특성을 비교해 줌으로써 이러한 구조의 소자가 태양 전지로 사용되었을 때 가능한 효율에 대해 큰 가능성을 보여주었다.

연구팀은 현재는 이러한 구조에서 나온 효율이 0.19% 정도에 불과하지만 이러한 동축 구조의 재료에 대한 특성을 조절함으로써 효율은 앞으로 계속 증가할 수 있을 것이라고 기대한다고 밝히고 있다.

(Nano Letters, April, 2009)

초소수성 표면이 태양전지의 효율을 증대

조지아공대 (Georgia Institute of Technology) 연구팀이 두 가지 서로 다른 화학에칭법에 의해 마이크로미터와 나노미터 스케일의 형상을 만드는 표면처리 기법으로 실리콘 광전지(photovoltaic cell)의 빛 흡수를 증가시키는 방법을 개발했다.

이 표면처리 기법은 빛을 3차원 구조물 내에 포획하여 (trapping) 광 흡수를 증가시키는 효과와 광전지의 표면을 오염시킨 먼지나 때가 비나 이슬에 의해 씻겨나가도록 하는 자정(self-cleaning) 효과의 두 가지 방법으로 빛 흡수를 증가시킨다. 조지아공대 재료공학 교수인 C.P. Wong 교수는 광전지로 더 많은 빛이 들어가고 더 적은 빛이 반사되어 나올수록 효율을 올릴 수 있다며 시뮬레이션에 의하면 이 방법으로 광전지의 최종 효율을 2%까지 증가시킬 수 있다고 밝혔다.

이 에칭 처리방법은 연꽃잎의 초소수성 표면을 모방한 것이다. 연꽃잎은 서로 다른 두 가지 크기의 표면 거칠기(surface roughness)로 높은 접촉각을 형성함으로써 빗물이나 이슬이 방울을 만들어 굴러 떨어지게 만드는데, 먼지나 때도 이 독특한 표면 구조로 인해 잘 달라붙지 않고, 물이 굴러 떨어지면서 싼러나가게 된다. 웡 교수는 실리콘 표면처리가 마이크로와 나노 크기 구조의 이중 거칠기로 연꽃잎과 같은 원리로 작동하며, 물이나 먼지와 표면의 접촉을 최소한으로 한다고 밝혔다.

그는 물방울이 표면에 생기면 이 이중 거칠기 구조의 꼭대기에 올라 앉게 되고 물방울의 3%만이 실리콘과 접촉하게 된다고 설명했다. 초소수성 표면의 제조는 수산화칼륨(KOH) 용액으로 실리콘 표면을 에칭하는 것으로 시작한다. 에칭용액은 결정면을 따라 선택적으로 실리콘을 제거하여 표면에 마이크로미터 크기의 피라미드 형태 구조물을 만든다. 그후 전자 빔으로 나노미터 크기의 금 입자를 피라미드 구조물에 입힌 다음에, 불산(HF)과 과산화수소(H₂O₂) 용액의 금 촉매 에칭 공정으로 나노미터 크기의 형상을 만든다. 형상의 크기는 금 나노입자의 크기와 실리콘이 에칭에 노출되는 시간에 의해 조절된다. 마지막으로 요오드화 칼륨(KI) 용액으로 금을 제거하고 표면을 PFOS(per-fluorooctyl trichlorosilane)로 코팅한다.

결과물로 생기는 직물구조(textured) 표면에 의한 빛 흡수의 증가와 자정 작용의 조합이 실리콘 표면에 도달하는 태양광의 흡수를 상승시키게 된다. 조지아공대 화학생명공학과의 데니스 헤스(Dennis

Hess) 교수는 보통의 실리콘 표면은 들어오는 빛의 많은 부분을 반사하지만, 이 표면처리에 의해 반사가 5%이하로 줄어든다고 지적하고, 광전지에 도달하는 빛 중 많게는 10%까지 표면의 먼지와 때에 의해 흩어지며, 원칙적으로 광전지를 깨끗하게 유지할 수만 있다면 효율 증가가 가능하고 단지 몇 퍼센트만 효율을 증가시키는 것도 큰 효과를 나타낼 수 있다고 밝혔다.

Wong 교수는 사막과 같이 계속 햇빛이 쏘이는 곳에서도 밤에 생기는 이슬이 광전지 표면을 닦아주는데 필요한 습기를 충분히 제공할 수 있다고 한다. 연구팀은 실제 태양전지에서 표면처리 효과를 검증하기 위해 연구를 진행하고 있다. 하지만, 초소수성 표면의 사용여부는 궁극적으로 표면의 내구성과 제조비용에 달려 있을 것으로 보인다.

헤스 교수는 표면 구조가 너무 작기 때문에 쉽게 손상되며, 표면에 기계적 마모가 발생하면 초소수성이 파괴될 것이라고 하고 이를 해결하기 위해 조그만 손상이 발생해도 전체적으로는 영향을 받지 않도록 넓은 면적의 초소수성 표면을 만드는 것을 시도하고 있다고 밝혔다. 대규모 제조의 비용은 아직 계산되지 않았지만, 실리콘 광전지 제조공정이 이미 충분히 복잡하기 때문에 에칭과 증착공정의 추가가 비용을 크게 증가시키지는 않을 것이라고 헤스 교수는 추정했다.

이 표면처리 방법은 광전지 이외에 의료기구에 항균 코팅을 만들거나, 서로 달라붙지 않는 미세전자기계 기구(micro-electromechanical devices) 및 개선된 마이크로유체(microfluidic) 기구의 제조에 사용될 수 있다.

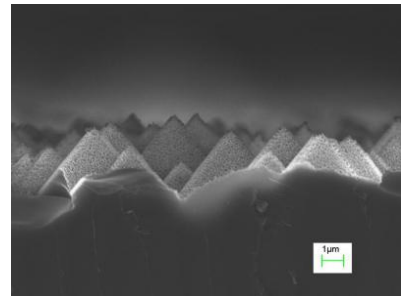


그림. 에칭된 실리콘 피라미드 초소수성 표면의 이미지.

(출처: <http://www.eurekalert.org/>, April, 2009)

적외선을 사용하는 광섬유 태양전지

일본의 연구팀이 섬유형으로 기존의 투명전극이 없는 염료 감응 태양전지를 개발하였고, 이를 2009년 3월 30일부터 4월 2일까지 츠쿠바(Tsukuba)대학에서 열린 56차 일본 응용물리학회에서 발표하였다. 이 연구는 큐슈공대(Kyushu Institute of Technology: KIT)의 생명과학 및 시스템공학 대학원의 Shuji Hayase 교수 연구팀에 의해 이루어졌다.

태양전지는 길이 3.5 cm, 직경 9 mm를 갖는 유리막대와 주위의 염료 감응형 태양전지 층(layer)으로 구성된다. 특별히 유리막대 주위에 티타늄 산화물(titanium oxide)과 감응 안료로 구성된 하나의 층, 요드액과 다른 전해질을 포함하는 음의 전극인 다공성 티타늄 및 양극으로 작용하는 백금과 티타늄의 한 층으로 구성되어 있다. 따라서, 이 태양전지는 유리막대 양 끝을 제외하고 티타늄으로 덮여있는 것이다.

유리막대의 한 쪽으로 들어오는 빛은 태양전지의 안료에 의해 흡

수되고, 빛의 각도가 빛이 배출되기 전에 유리 내부 표면에 대해 모두 반사되지 않는 각도라며 전기로 전환된다.

현재, 이 태양전지의 전환효율은 한 종류의 안료를 사용할 때 1%를 약간 넘는다고 Hayase 교수는 밝혔다. 이 값은 작아 보일지도 모르나, 시험 장치가 9 mm라는 큰 직경에 단지 1.5 cm의 길이만을 갖고 있어 실질적으로 90%의 빛이 전환되지 않고 나간다는 것을 고려해야 한다. 이러한 상황을 고려한다면, 이 태양전지의 총괄효율은 약 10%에 해당한다고 할 수 있다. 손실된 빛에 대한 문제는 광섬유의 길이를 늘리고 직경을 줄여서 해결될 수 있다고 교수는 설명하였다.

최종목적은 근적외선(near-infrared)의 활용으로 새로운 태양전지와 표준 염료 감응형 태양전지의 주요 차이점은 그들의 형태가 아닌 투명전극을 사용하지 않는다는 점이다. KIT 연구팀은 기존 염료 감응형 태양전지가 사용하지 않는 근적외선 에너지를 이용하여 전기를 생산한다고 Hayase 교수는 밝혔다.

기존의 태양전지 시스템에서 ITO($\text{SnO}_2\cdot\text{F}$)와 FTO($\text{In}_2\text{O}_3\cdot\text{Sn}$) 등 투명전극이 가시광선에 대해 모두 높은 투과성을 갖는다고 하더라도, 적외선에 대해 낮은 투과율을 갖는다. 연구원들은 투명전극이 없는 태양전지를 만드는 방법을 찾아냄으로써 위와 같은 문제점이 없는 태양전지에 대한 아이디어를 만들어 낼 수 있었다.

KIT 연구팀은 이미 소위 서로 다른 파장 범위의 흡수광도를 갖는 두 종류의 안료를 적용한 직렬구조를 갖는 광섬유 태양전지의 표준 모델을 갖고 있다. 만일 높은 흡수율의 안료가 근적외선과 다른 범위의 광을 흡수할 수 있다면, 흡수를 위한 빛과의 접촉 빈도를 제한 없이 증가시킬 수 있을 것이라고 Hayase 교수는 밝혔다.



그림. 적외선을 사용하는 광섬유 태양전지.

(출처: <http://greenoptimistic.com/>, April, 2009)

나노고리를 합성하는 빠르고 쉬운 방법

캘리포니아 공과대학(Caltech)과 미국 버클리에 소재한 캘리포니아 대학(University of California, Berkeley)의 화학자들이 발표한 연구 결과에 따르면 신약 개발과 광전지 소자에 응용될 수 있는 나노고리를 촉매를 이용하여 좀 더 빠르고 쉬운 방법으로 합성할 수 있음을 밝히고 있다.

미국 오스틴에 소재한 텍사스 대학(University of Texas, Austin)의 화학과 교수인 그랜트 윌슨(C. Grant Willson)은 촉매를 이용한 본 연구 방법은 “화학자들로 하여금 분자내에서 원자들이 나란하게 연결되는 길 조절할 뿐만 아니라 분자를 배열하여 3차원의 구조물을 만들어 내는 방법으로서 큰 의미가 있다”고 인터뷰에서 밝혔다.

고리 형태의 고분자 화합물을 만드는 전통적인 방법을 살펴보면 선형 고분자의 활성 끝자리를 접합하는 과정이 선행되는데, 보통의 경우 이합체(dimers)나 삼량체(trimers)가 만들어지기 십상이다. 하지만 이번에 합성한 이 나노 고리는 사전에 계획한 크기와 모양대로 간단하면서도 정확하게 복잡한 나노 구조물(nanostructures)을 만들어 낼 수 있는 가능성을 선보인 업적이라고 캘리포니아 공과대학의 로버트 그럽스(Robert H. Grubbs) 교수가 평가했다.

그럽스 교수와 연구진은 루테늄-카르빈(ruthenium-carbene) 촉매가 합성 과정에 포함된 고리 확대 복분해 중합(ring-expansion metathesis polymerization)이라는 고분자 합성법을 이용해 덴드리머로부터 토로이드(toroid) 형태의 나노 고리를 합성하는데 성공했다. 또한, 합성된 나노 고리의 위상을 기하학적으로 살펴보기 위해 원자 힘 현미경(Atomie Force Microscopy, AFM)으로 자세히 분석했다. 미국 산타 바바라에 소재한 캘리포니아 대학(UC Santa Barbara)의 고분자 화학자인 Craig Hawker는 완벽하고 균일하게 도넛 형태를 가진 나노 고리의 원자 힘 현미경 그림을 두고 “단순하면서도 위대하다”라고 평가했다.

초분자의 모양과 크기는 수많은 생물학적 상호작용에 중요한 요소로 작용하며, 합성 재료에 대한 의존성이 큰 소재 산업에도 그 중요도가 날로 커지는 상황이라고 Hawker 교수는 말하며 그는 이런 나노 고리를 나노 크기의 재료로 사용하여 그 응용 제품을 맞춤형으로 만들 수 있게 될 것이며 관련 분야에서 전망이 밝다고 덧붙였다.

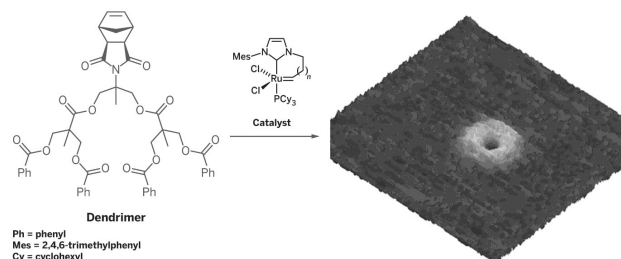


그림. 덴드리머로부터 합성된 나노 고리의 이미지.

(*J. Am. Chem. Soc.*, April, 2009)

본 기술 뉴스는 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 글로벌동향브리핑 (GTB)에서 발췌, 정리하였습니다.

<충주대학교 나노고분자공학과 인인식, e-mail: in1@cjnu.ac.kr>