

카의 자연적인 나노 스케줄 채널 내에서 코발트 나노결정을 성장시켰다. 최상의 결과는 길이 50나노미터, 직경 8나노미터 길이의 로드 형태(rod-shaped)의 결정이었다.

그들은 클러스터 다발을 형성하기 위하여 짧은 브리지로 상호 연결되었다. 클러스터 다발은 직경 35나노미터의 구(球) 형태로 형성되었다. 코발트 금속 자체의 촉매효율도 중요하지만 클러스터 다발의 향상된 효율과 속도에 영향을 미치는 주요 요인은 촉매의 크기라고 Frei는 말한다.

“35나노미터 클러스터 다발의 비교적 큰 내면적(여기서 촉매작용이 일어난다)이 효율 향상의 주요 요인이며, 보다 큰 클러스터 다발(직경 65나노미터)을 만들었을 때에는 내측의 면적이 감소하였기 때문에 그 효율이 줄었다고 생각한다”고 Frei는 말하였다.

Frei와 Jiao는 왜 이들의 산화 코발트 나노 결정 클러스터가 상당히 좋은 효율을 나타내는 광촉매인가에 대한 이해를 위해 더욱 많은 연구를 진행하고, 다른 금속산화막 촉매를 연구할 예정이다. 그러나, 다음 단계는 수산화반쪽반응(water oxidation half reaction)을 인공엽(artificial leaf) 형태의 시스템의 이산화탄소 삭감 단계와 통합하는 것이다.

“우리들의 산화코발트 나노 결정 클러스터의 효율, 속도 및 크기는 광화학계 II와 필적하고 있다. 산화코발트의 풍부함, 사용 중의 나노클러스터의 안정성, 적당한 전압과 온후한 pH 및 온도조건을 계산에 넣을 때 실행 가능한 통합 태양연료 변환시스템 개발을 위한 전망 있는 촉매부품을 손에 넣었다고 믿고 있다. 통합시스템은 연료생산용 인공 광합성분야에서 다음의 중요한 도전”이라고 Frei는 말하였다.

인공광합성 시나리오에 의한 태양연료에서는 막(membrane) 내부에 넣은 나노칩이 녹색 잎과 같이 동작할 것이다. 수분자( $H_2O$ )를 분해하기 위하여 태양복사선을 사용하여 전자와 산소( $O_2$ )를 자유롭게 한 후, 연료를 생산하기 위한 이산화탄소( $CO_2$ )와 반응하여, 여기서 나타낸 메탄올( $CH_3OH$ )을 생산한다.

(출처: <http://azom.com/>, April, 2009)

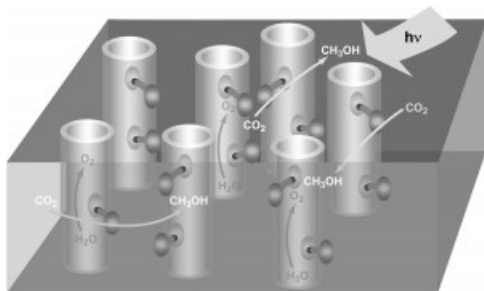


그림. 인공광합성용 나노결정 광촉매.

## 폴리머 태양전지 플랜트와 전력망 연계

덴마크의 연구자들은 폴리머 태양전지 플랜트를 전력망에 연결하는데 세계 최초로 성공했다. 이에 유망한 재생에너지 기술이 전력시스템에 연결되는 비율이 더욱 높아질 전망이다. 재생에너지 부문에서 세계적으로 유명한 덴마크의 리소연구소(Risø)의 태양에너지 프로그램은 기존 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 저렴한 폴리머 태양전지에 대해 연구해왔다. 연구 수준은 현재 덴마크 기술대학(Risø DTU)에 시연 플랜트가 만들어져 있는 단계까지 와있다.

초기부터 Risø의 폴리머 물질에 관한 태양전지에 관한 연구는 생산, 시연, 적용에 초점을 맞추었다. 그리고 실험의 일부에서 Mekoprint A/S, Gaia Solar A/S와 같은 기업들과 협력하면서, 폴리머 태양전지가 Risø에 있는 전력망에 연결되는 성과를 얻었다.

Risø DTU의 학장인 Henrik Bindeslev는 이번 시연은 연구소와 산업이 기술개발과 신기술 적용 기반을 마련하는데 있어 어떻게 협력하는 것이 좋은가를 보여주는 훌륭한 사례라고 평가하였다.

폴리머 태양전지는 Mekoprint A/S와 협력해서 생산되었는데, Mekoprint A/S는 플렉스 프린트(flex-print)와 인쇄전자(printed electronics)의 롤투롤(roll to roll) 생산 공법의 전문기업이다.

태양전지 생산 뒤에 Risø DTU는 Gaia Solar A/S와 협력하여 태양전지를 올리는 대형 패널을 제조했다. Gaia Solar A/S는 실리콘 태양전지패널의 모듈 구축에서 전문 기업으로서, Risø의 폴리머 태양패널을 설계했다. 그 패널은 태양의 움직임을 따라다니는 트래커(tracker)에 배치되게 된다. 그리고, 발전된 전기는 중앙전력망으로 전송된다.

이미 2008년 6월에 Risø는 폴리머 태양전지를 Mekoprint A/S와 협력하여 Roskilde Festival에서 선보인 바 있다. 당시 가격은 4,500 유로/W였으나, 기술혁신을 통해 가격을 2009년 1월 22유로까지 낮추었다. 그리고, 2009년 3월 15유로/W까지 낮추었다. 2009년 말까지 가격을 4~5유로/W까지 낮출 수 있을 것으로 보고있다.

대학과 산업계의 협력은 덴마크에서 폴리머 태양전지의 산업화를 촉진하는 역할을 하고 있다. 궁극적으로 이것이 성공한다면 폴리머 태양전지가 덴마크의 획기적인 에너지 기술이 될 수 있으며, 수출로도 이어질 수 있다. 그런 목표를 갖고 폴리머 태양전지는 커다란 수출 잠재력을 지닌 또 다른 덴마크의 지속가능한 에너지 기술이 되어 가고 있다.

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

## 코어/셸 구조의 나노와이어를 이용한 광전지소자

나노입자(nanoparticle), 나노로드(nanorod), 나노와이어(nanowire)와 같은 무기(inorganic) 나노구조가 광전지(photovoltaic, PV) 소자를 위한 기본 단위로 활발히 연구되고 있다. 이러한 무기 나노구조는 액상(solution) 기반의 태양전지(solar cell)에서 저가로 높은 효율을 얻을 수 있다는 것이 발표되기도 했다.

나노구조는 염료에 반응하는(dye-sensitized) 태양 전지나, 폴리머로 이루어진 태양 전지에서 전하 응집 효율을 높일 수 있다는 것이 발표되기도 했다. 그러나, 무기 물질과 유기 물질을 혼합한 구조로 만들어진 태양 전지의 경우 무기 물질로 만들어진 것에 비하여 비교적 효율이 낮고, 안정성이 떨어져서 현재 집적 소자용으로 연구되고 있지는 않다.

최근 반도체 나노와이어가 광전지 소자의 구성 단위로 활발히 연구되고 있다. 주로 실리콘 나노와이어가 많이 연구되었는데, 이 경우 실리콘의 indirect 밴드갭으로 인해 광학 효율에 한계가 있다. 따라서, 최근에는 3족-nitride 물질로 이루어진 나노와이어에 대한 관심이 증가하고 있는데, 최근 이와 관련하여 동축 구조로 이루어진 3족-nitride 나노와이어를 이용한 광전지에 대한 연구가 있어 이를 소개하고자 한다.

나노소자 분야에서 세계 최고의 논문들을 많이 발표하고 있는 Harvard University의 Charles M. Lieber 연구팀에서 발표한 이번 연구는 “Coaxial Group 3-Nitride nanowire photovoltaics”라는 제목으로 4월 21자로 Nano Letters에 발표되었다.

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 싹어나가게 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(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 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.

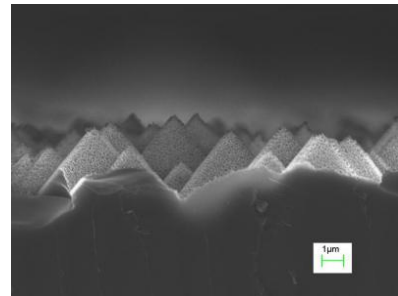


그림. 에칭된 실리콘 피라미드 초소수성 표면의 이미지.

(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