구 노력이 필요하다.

예를 들어, 1차원 나노구조(ZnO 나노와이어나 나노튜브, TiO_2 나노와이어나 나노튜브 등)의 배열을 포함하는 다양한 n-type 반도체 층을 적용하는 경우 전자 전달이 강화된다는 것이 보고되었다. 이와 같이 매우 정렬이 잘 된 1차원 반도체 나노구조들은 전자들이 양극으로 포집되는 경로를 제공하며 반면 나노입자 층에서는 매우 불규칙한 경로가 나타남이 발견되었다. 이러한 불규칙한 경로는 입자-입자 경계에서 자유 전자가 크게 산란되게 만든다. 더욱이 1차원 n-type 반도체의 반경이 매우 크면 반도체 표면에서의 밴드 벤딩이 나타나며 이것은 전자가 반도체로부터 전해질로 혹은 산화된 염료쪽으로 돌아오는 것(전하의 재결합)을 막아준다. 이것은 n-type 반도체의 페르미 준위가 보통 전해질의 산화환원 전위보다 높기 때문에 나타난다. 두 전자의 준위가 평형이 되기 위해서는 반도체로부터 전해질로 전자가 이동해야 한다. 그 결과 반도체 나노와이어의 표면으로부터 반도체의 중심부 쪽으로 빌트인 전계가 걸린다. 이러한 내부 전계는 반도체 나노와이어의 중심부로 주입된 전자를 당기고, 와이어의 표면 주위의 전해질에 의한 전자의 차단을 감소시킨다. 전자가 전해질로 누출되는 것을 감소시킴으로써 전지의 전류밀도를 증가시킬 수 있다.

그러나, 이제까지 1차원 반도체 기반의 염료 감응형 태양전지가 기존의 TiO_2 나노입자 기반의 염료 감응형 태양전지의 효율을 능가한 적이 없었다. 이것은 많은 다른 장치의 변수들이 서로 연결되어 있어, 그 효과가 상쇄되거나 새로운 특성에 의해 개선된 부분이 감소할 수 있기 때문이다.

Yang 그룹에서 보고된 특별한 문제는 ZnO 나노와이어의 길이를 증가시킬 때 유발되는 직경의 반대효과이다. 한편으로 더긴 나노와이어가 증가된 표면적으로 인해 많은 염료를 로딩할 수 있어 더 높은 쇼트 서킷 전류를 나타내는 반면, 더 높은 저항을 나타내어 fill factor (FF)를 낮게 만든다. 좁은 나노와이어는 더 밀도가 높아 이러한 문제를 극복할 수 있는 가능성이 있어 보인다. 그러나, Debye-Huckel 스크리닝 길이가 와이어의 반경을 초과하면 와이어의 감소된 직경은 와이어의 표면에서 나타나는 밴드 벤딩을 없앨 수 있고 위에서 설명한 1차원 반도체의 장점이 사라질 수 있다. 보편적으로 캐리어 밀도와 전해질에 의존하여 디플리션 층의 넓이가 ZnO 와이어 안쪽으로 수십 나노미터까지 확장될 수 있다. 이러한 딜레마는 1차원으로 정렬된 반도체기반의 염료 감응형 태양전지에서의 발전을 이루기 위해 효율이 높은 광전기변환 장치를 개선하는데 필요한 기초과학을 제공할 수 있게 만들어준다.

미국의 Wai Kwong Kwok 연구팀은 정렬된 1차원 반도체에서 전자 이동을 증가시키는 기술을 유지하고 동시에 1차원 나노와이어와 비교하여 표면 굴곡의 큰 손실 없이 반도체의 저항을 감소시키고자 한다. 연구팀은 포집 양극쪽으로 굴곡의 일부를 할당하고자 하며 굴곡이 있는 포집 양극은 더 많은 개별 1차원 나노 반도체를 수용할 수 있는 넓은 표면적을 제공한다. 그러므로, 같은 수준의 표면 굴곡 팩터에 대해 1차원 반도체의 길이가 상대적으로 기존의 평평한 양극 위에 있는 1차원 반도체보다 짧아질 수 있다. 연구팀은 이것을 Zn-마이크로 팁/ZnO 나노팁 코어/쉘 계층 나노구조물을 양극/반도체 요소로 염료 감응형 태양전지에 적용하였다. 금속-반도체 계면에서 새롭게 나타난 밴드 구조는 반도체의 페르미 준위에 영향을 주고 전지의 오픈서킷 전압을 개선하는 여지를 준다. 이 연구 결과는 *J. Phys. Chem.,* 10월 22일에 발표되었다.

<*J. Phys. Chem.,* Oct. 22, 2009>

다채로운 색깔의 중합체

스위치를 바꿈으로써 새로운 중합체를 기반으로 하는 물질이 투명한 상태에서 시작해서 다양한 색을 보이다가 검은색으로 바뀔 수 있다(E Unur *et al, Chem. Mater.,* DOI: 10.1021/cm902069k). 통전변색성(electrochromic) 물질은 다양한 색을 가진 정보디스플레이와 전자서적, 색이 바뀌는 거울과 같이 흥미롭게 이용될 수 있었다.

통전변색성 화합물은 전기적 신호에 반응하여 색을 바꿀 수 있는 물질이나, 이전에는 가격이 비싸고 사용가능한 색의 범위가 넓지 않았다. 이제, 미국의 플로리다대학교(Unviersity of Florida)에 있는 John Reynolds와 그의 연구진은 값싼 중합체를 기반으로 하는 용액을 개발하여 보라색과 녹색, 검은색에 이르는 광범위한 색을 만들어냈다.

두 개의 얇은 중합체막을 유리 슬라이드(slides) 위에 분무하고 나서 그것을 각각의 위에 놓음으로써 이를 이루어냈다. 각 층은 폴리(3,4 프로필렌디옥시티오펜)(poly(3,4-propylenedioxythophene))의 구조를 기반으로 하는 다른 통전변색 중합체로 만들어졌다. 중성상태에서, 하나는 어두운 녹색이고 다른 하나는 어두운 보라색인데, 겹쳐졌을때는 검은색을 만든다.

전하가 그 장치를 통과하면서 그 중합체들을 가역적으로 산화시키거나 환원시킬 수 있는데, 투명한 상태에서 검은색으로 즉시 바꿀 수 있다. 사용하는 전하를 바꿈으로써, 연녹색으로부터 어두운 파란색에 이르기까지 다양한 명암을 얻을 수 있다.

그 연구진은 그 다음에 어두운 흰색과 투명 사이에 바뀌는 제 삼의 중합체를 그 장치에 통합했다. 이로써, 그 장치는 검은색과 흰색을 바꿀 수 있게 되었는데, 이는 배경빛을 필요로 하지 않고 정보를 표시할 수 있는 전자 종이와 같은, 얇고 유연한 광학 디스플레이의 고안을 위해 중요하다.

앞으로 그 연구진은 이 연구를 확장하여 다른 색들도 포함시킬뿐만 아니라, 더 작은 판에 그 장치를 소형화시킬 수 있기를 바라고 있다. 또한, 장치들을 광감지기(light sensor)와 통합하여 빛에 반응하거나, 정해진 시간에 밝아지거나 어두워지도록 프로그램되는 '똑똑한 유리'를 만들 수 있을 수도 있다.

영국의 루보루대학교(Loughborough University)에 있는 통전변색 물질의 전문가인 Roger Mortimer는 이것이 유용한 약진이며, 금속 대신에 중합체를 사용하는 것이 많은 잇점을 가지는데, 그것이 유연할 뿐만 아니라 분무할 수 있어 장치를 비교적 싸게 만들어 준다고 말했다.

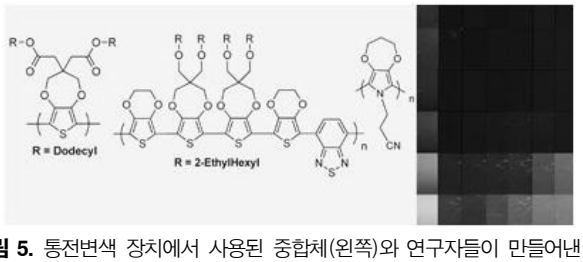

그림 5. 통전변색 장치에서 사용된 중합체(왼쪽)와 연구자들이 만들어낸 색들 중 일부 시료.

<http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2009/October/16100901.asp>

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

<부경대학교 김주현, e-mail: jkim@pknu.ac.kr>