



Photonics Convergence 광융복합

광전압 소자를 위한 탄소 나노튜브 반투명 전극

다른 양의 단일벽 탄소 나노튜브 (SWCNT-Single Wall Carbon Nanotube) 가 무결정 실리콘 기판위에 쇼트키 베리어 태양 전지를 만들기 위해 스프레이 되었다. 측정된 외부 양자 효율은 460 nm 의 파장에서 35 %의 광학 투명도를 갖는다. 초박막 단일벽 탄소 나노튜브는 무결정 실리콘과 쇼트키 베리어를 형성하고 반투명 전극과 같은 특성을 갖는다. 시뮬레이션을 통해 단일벽 탄소나노튜브 컨택이 정공을 수집하는데 있어 저조한 효율을 보이는 것을 관찰했다.

실리콘 웨이퍼의 결정 실리콘은 상대적으로 두껍기 때문에 일정량의 재료가 낭비되고, 낭비 비용 또한 크다. 다른 대체방법으로는 값싼 무결정 실리콘 (a-Si, amorphous-Si)을 사용함으로써 매우 얇은 레이어를 형성할수 있어 절약할수 있다. 그러나 이 또한 ITO나 ZnO와 같은 고가의 반투명 전극을 사용해야한다는 문제가 있다. 이 연구는 단일벽 탄소 나노튜브 (SWCNT)를 사용하여 반투명 전극을 대체하고, 약 35%에 달하는 외부 양자 효율을 얻을수 있음을 입증한다.

- 소자 공정 및 실험 방법



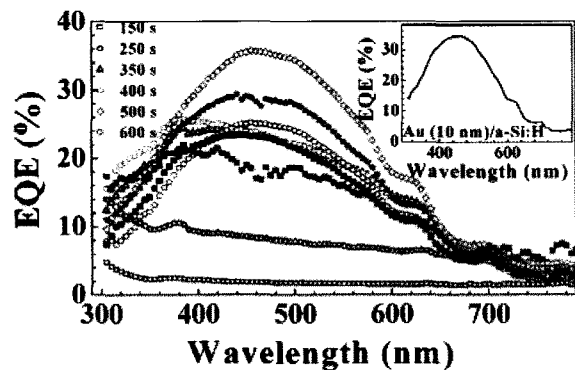
〈그림 1〉

〈그림 1〉은 SWCNT/a-Si:H 광전압 소자의 구조를 보여준다. 실험을 위해, a-Si:H 태양전지 기판은 플라즈마 촉진된 화학기상 증착법 (PECVD-Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)으로 증착되었고, 100nm의 Cr이 back 전극으로, 30nm의

n+는 350nm 의 도핑되지 않은 a-Si:H가 순차적으로 300도, 0.3mbar의 기압에서 증착되었다. Front 전극은 SWCNT를 스프레이하여 증착되었다. SWCNT는 1,2-dichlorobenzene내에 disperse 되었고, 수시간동안 sonicated되었다. 스프레이 증착 과정은 두 기판모두 80도로 데워졌으며 이는 박막의 균등성을 향상하기 위해 솔벤트의 빠른 증발을 유도한다. 다른 박막 투명도는 증착 시간에 따라 변화시킬수 있었다. 스프레이된 SWCNT는 불규칙하게 표면에 분포되어, SWCNT 네트워크의 두께를 측정하기는 매우 어렵다. SWCNT 네트워크의 morphological 불규칙성을 평균화 하기위해, 광학 투명성이 측정되었다. 광학 투명도는 증착시간의 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

이는 나노튜브 네트워크의 평균 두께가 증가함을 의미한다. 광전류 스펙트라는 Xenon 램프를 비롯한 monochromator, reflecting chopper, lock-in 을 위한 장비들로 구성된 광학 시스템을 이용하여 측정되었다. 빛의 모양은 직사각형의 모양으로 7×5 mm² 크기이다. 외부 양자 효율은 측정된 광전류 밀도를 이용하여 계산되었다. 입사 광전력 밀도는 약 9mW/cm²이고, 두개의 중립 밀도 필터는 빛의 세기의 초기값에 3% 와 12%를 줄이기 위해 사용되었다. 전류-전압 특성은 Keithley 2602A를 이용하여 측정되었다.

- 측정결과



〈그림 2〉

Photonics Convergence 광융복합

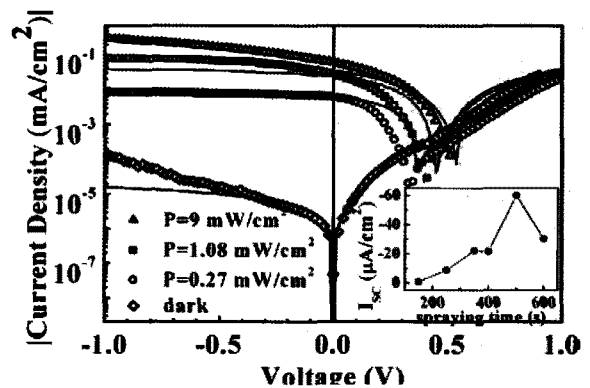
〈그림 2〉는 다른 두께의 SWCNT 네트워크에 대한 외부 양자 효율을 보여준다. 매우 낮은 SWCNT coverage에 대해서는 외부 양자 효율이 CNT의 광학 흡수 특성, 즉 파장이 증가할수록 감소하는 흡수특성을 갖는 것을 알 수 있다.

더 긴 시간동안 증착한 샘플은 외부 양자 효율 스펙트럼 모양이 급격히 변화함을 관찰할 수 있을 뿐 아니라, 측정된 파장영역 전체에 걸쳐 SWCNT의 양이 증가할수록 외부 양자 효율이 증가함을 알 수 있다. 최대 양자 효율은 460nm 에서 35% 이며 500 초간 스프레이한 샘플에서 관찰할 수 있다. 더 긴 시간동안 노출된 샘플은 효율이 감소하는 것으로 나타났다. 매우 작은 양의 SWCNT(스프레이 시간; 250초 미만)에 대해서는 SWCNT/a-Si:H 이중접합의 수가 너무 적어, 나노튜브의 조명은 광전류 생성, 분리, 그리고 전달 메커니즘을 좌우한다.

위에서도 언급했듯이, 외부 양자 효율 스펙트럼 모양은 SWCNT 흡수 특성과 비슷하다. 이는 전자-정공 쌍 대부분이 SWCNT내에서 생성되고, CNT-CNT 혹은 CNT-Si 이중접합에서 나뉘거나, 실리콘 혹은 나노튜브를 통해 전달됨을 의미한다. SWCNT/a-Si:H 이중접합이 증가하면, 이들 접합들은 a-Si:H 기판에서 생성된 전자-정공 쌍이 더욱 분리할 수 있어, 기판의 역할이 더 중요해진다.

사실, 외부 양자 효율은 350nm 이하, 720nm이상의 영역에서는 빠른 감소를 보인다. 350nm이하의 감소는 기판 표면의 재결합이 원인이고, 720nm이상에서의 감소는 기판의 에너지 갭과 관련이 있다. 또한 400 nm 에서는 외부 양자 효율이 10~25% 까지 급격히 증가한다. 이는 빛에 의한 전류 생성이 SWCNT보다 실리콘에서 더 효율적임을 의미한다. 접합수가 최적에 도달하면, 외부 양자 효율은 460nm에서 약 35%에 이르게 된다.

위의 결과로부터 높은 밀도의 SWCNT/a-Si:H 이중접합에서 SWCNT 전도성 전극이 빛에 의한 전류 특성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이는 기판내에 공간 전하층 (depletion region)의 확장이 원인이 되는 것으로 분석했다.



〈그림 3〉

〈그림 3〉은 백색광의 조명하에서와 어둠속에서의 전류-전압 특성을 보여준다. 입사광 세기가 최대일때 (속이 빈 삼각형 모양 커브), 1E+7 배의 단락회로 전류와 0.5V의 개방회로 전압을 얻을 수 있었다. 〈그림 3〉의 내부그림은 SWCNT 스프레이 시간에 대한 단락회로 전류의 변화를 나타낸다. 최대 외부 양자 효율을 갖는 스프레이 시간에서 최대의 단락회로 전류값을 갖는 것을 주목할 만하다.

< apl.aip.org >

DLI

ISSUE

신기술, 신제품

나노-조정된 태양전지

영국, 스위스, 독일 연구진은 저렴하고 효율적인 태양전지를 만들 수 있는 새로운 방법을 개발했다. 이 프로세스를 이용하면 태양전지가 태양빛의 가시광선, 적외선을 흡수할 수 있는 능력을 향상시킬 수 있다. 기존의 태양전지에서는 이 파장을 거의 사용하지 않는다. 이런 파장은 대부분 태양 전지를 그냥 통과해서 버려지게 된다. 화학 에칭 프로세스를 사용해서 태양전지의 후면 판 위의 나노구조 표면을 제거하면, 이것은 태양전지의 적외선을 반사시키는 "거울" 같은 역할을 하게 된다.

태양은 전 지구에 에너지를 충분히 공급할 수 있는 에너지원이다. 그러나 이런 재생 에너지는 석탄 또는 원자력발전소에 의한 에너지보다 더 많은 비용이 들기 때문에 태양전지가 첫 번째 차세대 에너지원으로서 선택될 수 없다. 유럽의 경우에 광발전 전지는 재생 에너지원의 작은 부분만을 담당하고 있다.

태양 광선이 유리에서 분산되기 때문에 이 광선들은 실리콘 전지를 통과하는데 더 긴 경로를 가지게 되고, 이로 인해서 더 많은 전류가 생성된다. 지금까지 연구진은 기존의 박막 태양전지의 효율과 비교했을 때 30% 까지 효율을 증가시킬 수 있었다.

스위스의 로잔 공대(Ecole Polytechnique Federale de Lausanne)의 연구진은 박막 태양전지를 개발하고 있다. 박막 태양전지는 많은 장점을 가지고 있다: 이 연구진이 만든 박막 태양전지는 더 적은 원료를 소모하면서 더 많은 에너지를 생산할 수 있게 한다. 그러나 결점도 존재한다: 현재, 이 박막 태양전의 효율은 기존의 태양전지에 비해서 약 40% 더 낮다. 태양광을 단지 7%만 사용할 수 있다.

광 포집 효과를 최대화시키기 위해서 이번 연구진은 역발상을 시도했다. 즉, 연구진은 박막 태양전지의 유리 표면을 거칠게 했다. 이것은 빛을 확산시키는 역할을 했다. 광선이 전지에 더 오랫동안 머물수록, 태양전지는 더 많은 전자를 생성하게 된다.



신기술, 영국진이 개발한 박막 태양전지.

연구진은 상부 표면을 거칠게 한 후에, 유리 표면 위에 한 층의 투명 전도성 산화물 결정을 증착시켰다. 나노크기 피라미드가 점점 더 클수록 확산이 더 커진다고 연구진은 말했다. 박막 태양전지의 효율성은 7%에서 10%까지 향상되었다.

이번 연구진이 사용한 나노 결정은 영국의 샬포드 대학(University of Salford)에서 개발된 것이다. 최근까지 나노결정은 주로 일본에서 수입해야 했기 때문에 이러한 태양전지를 만드는데 비용이 많이 들었다. 이번 연구진은 자신들이 개발한 결정을 테스트하고 있다. 이 연구의 목적은 더 저렴한 태양전지를 만들어서 비용의 상당 부분을 감소시키는데 있다.

태양전지를 향상시키는 각각의 방법들은 효율성에서 약간의 차이를 만들 수 있다. 그러나 두 개의 방법을 결합시키면, 이런 나노-조정된 태양전지가 과거의 모듈보다 더 경쟁적인 제품이 될 것이라는 것을 알 수 있었다.

< www.physorg.com >