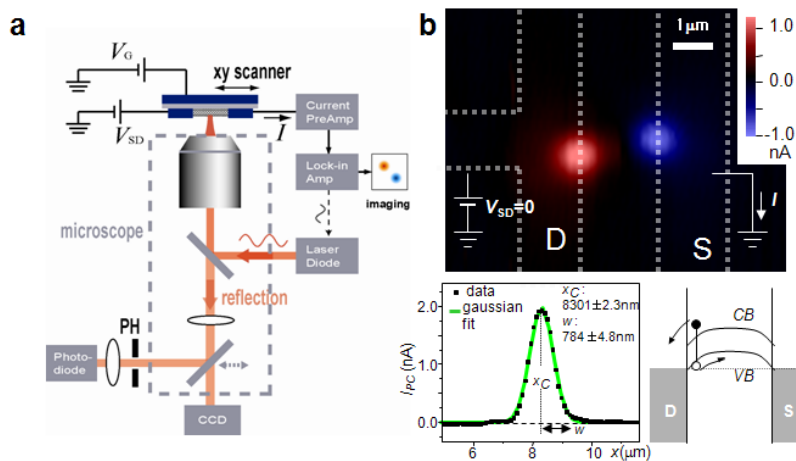


나노선 및 탄소나노튜브 소자의 광전류 영상 측정

Photocurrent Imaging Technique in Nanowire and Carbon Nanotube Devices

안영환
 아주대학교 물리학과
 ahny@ajou.ac.kr

반도체 나노선 및 탄소나노튜브(CNT) 나노 소자의 광학적인 성질에 대한 관심은 지속적으로 증가하고 있다. 반면 기존의 나노 소자의 광학실험은 주로 나노 소자 전체에 빛을 조사하는 실험에 국한 되어 왔다. 현재의 나노소자의 광·전 측정기술의 한계를 뛰어넘기 위해, 본 연구에서는 나노 광전류 영상 측정 통해, 일차원 나노소자 연구에 활용하였다. 기존의 콘포컬 현미경(confocal microscope)기술에 광전류 측정 장치를 결합하여, 빛의 회절한계에 해당하는 분해능으로 CNT 및 실리콘/게르마늄 나노선의 특성을 관찰하였다⁽¹⁻³⁾. 일반적으로 가시광선의 레이저를 사용하게 되면 500 nm 정도의 분해능을 쉽게 얻을 수 있으며 본 연구에서는 UV에서 IR에 이르는 광대역 레이저 광원이 활용되었다. [그림 1a]에서 설명하고 있는 바와 같이 광전류 측정 기관에 장착된 CNT/나노선 소자에 집속된 빛을 가해주게 되면 국소적인 광전류가 생성되는데, 이때 생성된 광전류는 빛이 조사된 위치의 전기적인 특성에 따라 그 크기 및 방향이 다르게 검출된다. 이러한 광전류 측정을 통해, 나노소자의 위치에 따른 주사 영상을 얻을 수 있으며(그림 1b), 일차원 구조의 에너지 밴드 정보를 정성적으로 유추해 낼 수 있게 된다.

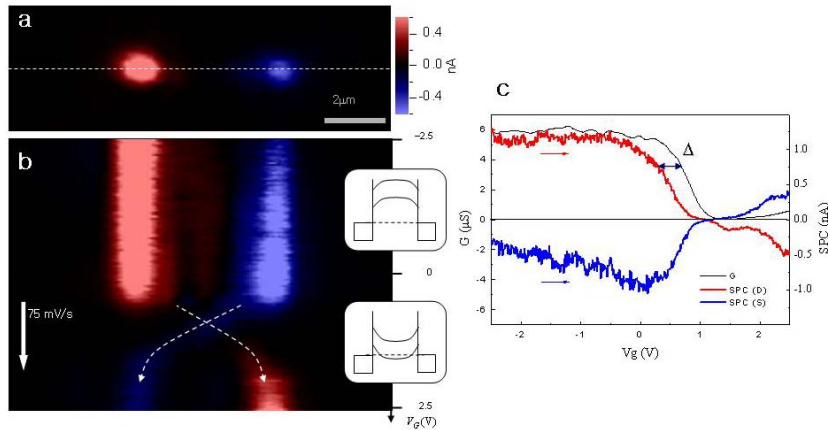


[그림 1] a) 실험원리개요. b) 나노튜브에서의 광전류(SPC) 영상과 에너지 밴드 도식

사용된 모든 나노선 및 CNT에 있어 이러한 광전류 신호가 발견되었으며, 신호의 크기는 입사한 빛의 편광상태에 강하게 의존하였다. 즉, 입사한 빛의 편광이 일차원 나노구조의 방향과 같은 경우에만 강한 광전류 신호가 관측되며, 이를 통해 일차원 나노소자가 효율적인 편광 의존 광소자로 작동될 수 있

음을 알 수 있다. 아울러 모든 일차원 나노소자에 있어서, 금속과 접하는 두 부분에서 각각 가장 강한 광전류가 발생하였는데, 이는 전기장 집중현상으로 인한 에너지 밴드의 기울어진 정도가 금속 근처에서 가장 강하기 때문이다.

이와 같이 집속된 빛을 나노소자 연구를 위한 검침 (probe) 도구로 사용하게 되면 기존의 단순한 전기수송(transport) 측정 실험에서 얻을 수 없었던 에너지 밴드구조에 대한 정보를 얻을 수 있다. [그림 2]는 탄소 나노튜브 FET 구조에서 게이트 (gate) 전압에 따른 광전류 영상 변화의 일례를 보여주고 있다. 게이트 전압을 바꾸어 줌에 따라 광전류의 방향이 바뀌는 것을 명백히 관찰할 수 있으며, 일반적인 전기수송 측정결과와 비교함으로써 금속과 나노소자 사이의 접촉특성에 대한 정보를 얻어낼 수 있다. 실리콘 나노선의 경우 Ni 금속에 대하여 Schottky 접촉이 형성됨을 보였으며⁽¹⁾, 나노튜브의 경우 [그림 2c]에서 보이는 바와 같이, Au 금속에 대해서 Ohmic 접촉이 형성됨을 알아내었다. 이와 같이 금속접촉 특성은 나노튜브와 같은 나노소자의 특성에 중요한 역할을 하게 되며 오랫동안 많은 사람들의 연구가 지속된 분야이다.



[그림 2] (a) 광전류 영상 ($V_g=0$) (b) 광전류 영상의 게이트 (V_g) 의존성 (c) 금속근방 광전류의 게이트 의존성

주사 광전류 영상 기법은 나노소자의 특성을 연구하는데 매우 유용한 도구로 사용될 수 있으며, 빛에 반응하는 모든 나노 소자에 이를 적용할 수 있다. 또한 광대역 과장광원을 이용해 선택적인 에너지 준위를 여기하게 되면 에너지 준위에 따라 다른 양상으로 나타나는 에너지 밴드 구조를 연구할 수 있게 되며 이를 다양한 발광/비발광 나노재료/소자에 적용함으로써, 금속접합특성, 결함, 계면 등을 연구하고 광전소자의 효율 향상 및 공정 개선에 기여할 수 있다. 보다 복잡한 구조의 나노소자 및 그래핀(graphene), 폴리머(polymer) 필름과 같은 이차원 나노 소자로 적용 범위를 확대중이며, 해상도를 향상시키기 위해 근접장 광학 기술을 접목시킨 고해상도 광전류 측정기술의 개발을 추진 중이다.

1. Y. Ahn et al., "Scanning Photocurrent Imaging and Electronic Band Studies in Silicon Nanowire Field Effect Transistors", Nano Letters 7, 1367 (2005).
2. Y. H. Ahn et al., "Photocurrent Imaging of p-n Junctions in Ambipolar Carbon Nanotube Transistors", Nano Letters 7, 3320 (2007).
3. Y. H. Ahn et al., "Efficient visible light detection using individual germanium nanowire field effect transistors", Appl. Phys. Lett. 91, 162102 (2007).