

NW-P013

시뮬레이션을 통한 실리콘 나노선의 전기적 특성 연구

고재우¹, 박성주¹, 이선홍¹, 백인복¹, 이성재^{1*}, 장문규²

¹한양대학교, 물리학과, 서울 133-791, ²한국전자통신연구원(ETRI), 대전 305-700

반세기가 지나는 동안 우리는 반도체의 크기가 계속해서 작아지는 것을 경험해왔다. 반도체 디바이스들의 차원이 100 nm 이하로 작아지면서, 나노와이어나 나노튜브로 이루어진 나노 소자들은 필연적으로 양자효과[1] 같은 저차원효과가 나타나게 된다. 특히 1차원 반도체 구조에서는 전자상태 밀도의 변화에 수반되는 전자-포논의 상호작용이 감소되어 전하이동도가 증가할 것으로 예측되었고, 이러한 이동도의 증가는 그동안 나노와이어나 나노튜브의 전기 전도도 증가가 일어난 실험적 데이터를 설명하는 이론적 받침이 되었다[2]. 한편 일차원 반도체 구조체에서는 채널의 저차원화에 따른 전기장의 불균일성이 심화되고 이로 인하여 벌크와 매우 다른 전기수송 특성이 나타날 수 있는데 이러한 점이 그동안 간과되어 왔다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 통하여 양자효과를 배제한 정전기적인 저차원 효과만으로도 전기 전도도가 증가할 수 있음을 보이고자 한다. 우리는 푸아송 방정식과 표동-확산 방정식을 SILVACO사의 ATLAS 3D 시뮬레이터를 이용하여 풀었다. 이 시뮬레이션에 사용된 실리콘 나노와이어는 길이를 2 μ m로 고정시키고 다양한 정사각형 단면적을 가진 구조로 하였다. 여기서 정사각형의 한변을 10 nm 에서 100 nm까지 변화시켰다. 실리콘 채널의 도핑농도가 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 일 경우, 낮은 전압, 즉 $< 0.5 \text{ V}$ 이하 영역에서는 벌크와 같은 선형적인 전류-전압 특성이 나타나지만, 그 이상의 전압 영역에서는 전류-전압 그래프가 위로 휘어지며(super-linear) 전기전도도가 확연히 증가함을 알 수 있었다. 예를 들어 2 V에서는 벌크에 비하여 흐르는 전류가 2배나 더 향상되었다. 이런 비선형적인 성질은 높은 전압을 인가하였을 때 나노와이어 채널 전반에 걸쳐 charge neutrality가 깨지게 되고 전하밀도가 증가하여 전도도 증가가 일어나는 것으로 밝혀졌다. 이 결과는 기존의 나노선에서의 전기전도도 증가 현상을 설명할 수 있는 대안을 제공할 수 있다.

References

1. Tilke, A.T., Simmel, F.C., Lorenz, H., Blick, R.H.,Kotthaus, J.P., Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics. 68, 753111 (2003).
2. Cui, Y., Zhong, Z., Wang, D., Wang, W.U., Lieber, C.M., Nano Letters. 3, 1531 (2003).

Keyword: 나노와이어