

Wigner function을 이용한 양자소자의 해석과 시뮬레이션

Wigner-function-based Analysis and Simulation of Quantum Devices

김 경 영, 이 병 호
 서울대학교 공과대학 전기공학부

밀도연산자로부터 유도된 Liouville equation과 Wigner function을 이용하여 기본적인 양자소자인 공진 터널링 다이오드(RTD)의 전류-전압특성을 수치해석적으로 얻었다. 사용된 해밀토니안은 모두 single-particle approach에 의한 것이었고 many-body effects는 Hartree equation을 이용한 self-consistent potential에 의해 도입되었다. Self-consistent potential을 고려할 때, 물리적으로 의미있는 포텐셜을 얻기 위해서는 inelastic process와 contact resistivity가 소자 해석에 포함되어야 하는데, inelastic process는 relaxation time operator를 Wigner formalism에 도입함으로써 근사시켰고, contact resistivity는 drifted Fermi-distribution을 경계조건으로 사용하는 방법을 통해 근사시켰다. 또 유효질량의 공간적 변화가 소자의 특성에 미치는 영향에 대해서도 flat-band potential의 경우에 한해서 살펴보았다.

Wigner-function에 의한 시뮬레이션은 RTD의 부성저항 구간을 잘 나타내 주고 있으며 따라서 양자역학적 수송이론에 유용히 사용될 수 있음을 알 수 있다. Inelastic process의 효과는 첫째, 공진 터널링이 일어나는 바이어스 값을 큰 쪽으로 0.02V 정도 이동시켰고, 둘째, peak-to-valley 비율을 상당히 감소시켰는데 이 비율 값은 self-consistent potential을 사용해 계산하면 증가한다. 유효질량의 공간적 변화가 미치는 효과는 첫째, 공진 터널링이 일어나는 바이어스 값을 작은 쪽으로 0.02V 정도 이동시켰고, 둘째, peak-to-valley 비율을 2.2배정도 증가시켜서 실험값에 상당히 가까워지게 했다.

[참고문헌]

- [1] W. R. Frensley, *Phys. Rev. B*, vol. 36, pp. 1570-1580, July 1987.
- [2] H. Tsuchiya, M. Ogawa, and T. Miyoshi, *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 38, pp. 1246-1252, June 1991.
- [3] W. R. Frensley, *Solid-State Electron.*, vol. 31, pp. 739-742, 1988.
- [4] W. R. Frensley, *Solid-State Electron.*, vol. 32, pp. 1235-1239, 1989.

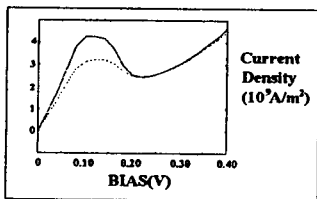


그림 1. 실선은 collision을 무시했을 때, 점선은 collision을 포함했을 때의 I-V곡선

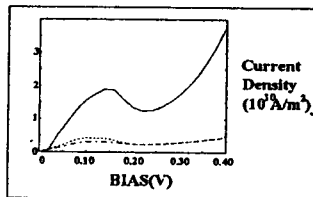


그림 2. Self-consistent 포텐셜을 고려했을 경우의 I-V곡선

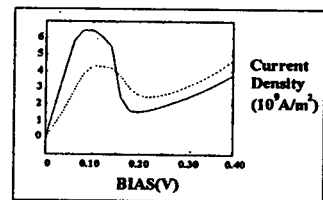


그림 3. 실선은 유효질량의 공간적 변화를 고려했을 때, 점선은 일정한 유효질량을 가정했을 때의 I-V곡선