

Final Project : Double Gate MOS

20171057

Dongkyu Lee

STEP1

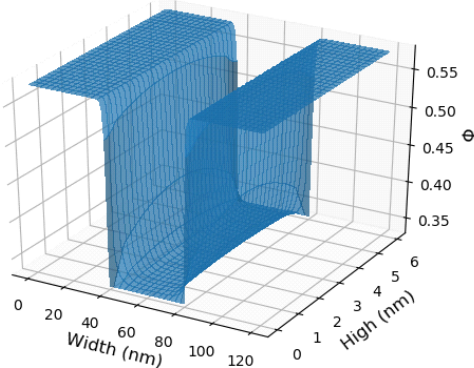
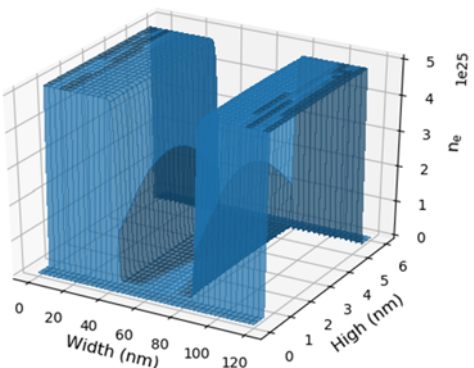
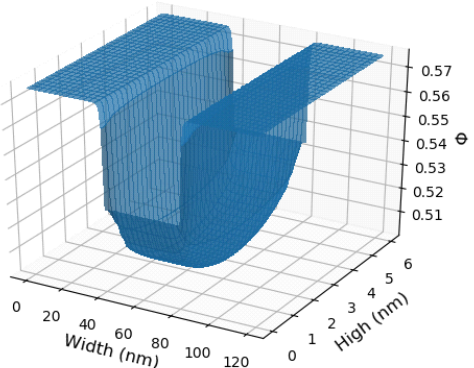
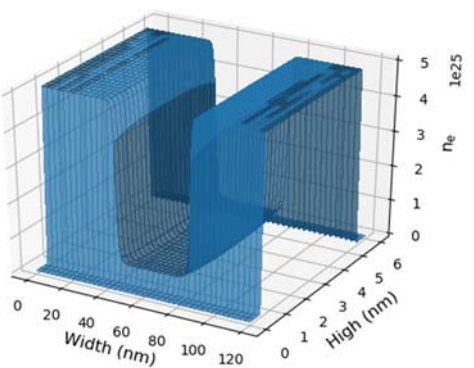
주어진 Double Gate N⁺NN⁺ MOS 구조에 대해 2-dimensional non-linear Poisson's equation 을 푸는 문제이다. mesh 는 직사각형으로 잡았으며 mesh 의 width 길이(1nm)와 hight 길이(0.1nm)가 다르기 때문에 poisson equation 의 계산에도 이 비율을 적용해야한다. 이 문제를 풀기 위하여 나는 두 미소길이의 비율 ($r = \Delta h / \Delta w$)에 대하여

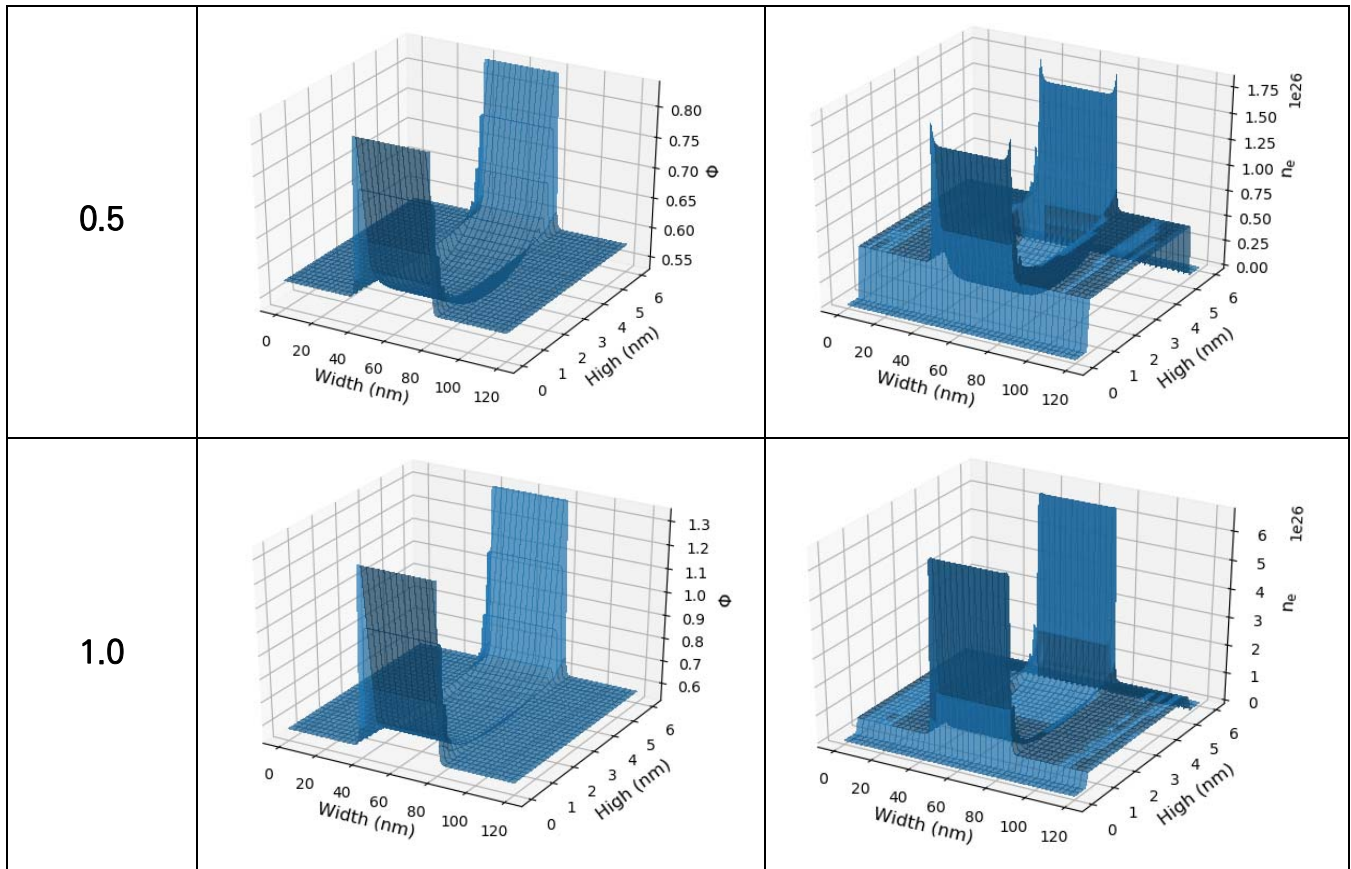
$$\epsilon \Delta \phi|_{height} + \epsilon \Delta \phi|_{width} \times r^2 = \Delta h^2 \rho$$

로부터 potential 을 계산하였다. Boundary condition 은 Gate voltage 에 접합한 oxide 층은 workfunction 을 고려하여 결정하였고, Source 와 Drain 에 접합한 Si 층은 doping density 를 고려하여 결정하였다.

Gate 전압 0.0~1.0eV 의 결과는 모두 Step 1 폴더에 있으며 아래의 Results 에는 대표적으로 Gate 전압이 0.0, 0.2, 0.5, 1.0 eV 일 때를 보고하겠다.

Results

V_Gate	phi	N_electron
0.0		
0.2		



STEP2

Step1 과 동일한 구조에 대해 drift-diffusion equation 을 풀어야 한다. mesh 는 Step1 과 동일하게 잡았다. 우선은 이 문제를 엄청 고생 했으면서도 결국 완성하지 못하였다. Drain voltage 가 걸리지 않은 상태에서 Gate voltage 의 변화에 대해 수렴하는 drift-diffusion equation 은 완성하였지만, Drain voltage 를 걸었을 때 문제가 발생하였고 그것을 해결하지 못하여 문제의 목표인 I vs V 커브를 구하지 못하였다.

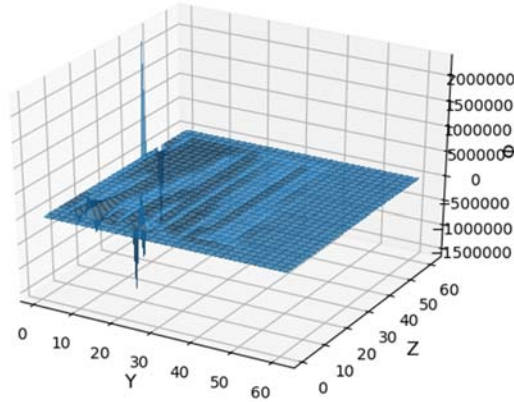
아래에선 어떠한 문제가 있었는지, 그리고 어떻게 해결하려고 노력하였는지 서술할 것이며 Step3 와 Step4 는 선수 조건(Step2 의 결과로서 얻을 수 있는 potential)의 부재와 시간의 부족으로 시도조차 하지 못하였다.

Try and Error

1> Step2 를 푸는 것에 있어서 처음으로 얻은 문제점은 컴퓨터의 메모리(RAM) 부족이었다. Step1 과 동일한 mesh 를 잡았을 경우 내가 동원할 수 있는 컴퓨터의 메모리인 8GB 를 아득히 넘어서 풀지 못하였다. 하지만 mesh 사이즈를 더 크게 잡을 경우 error 가 엄청나게 커짐을 이전 과제에서 확인하였기 때문에 mesh 사이즈를 늘릴수는 없었다.

>> 문헌으로 부터 oxide 층으로의 charge 의 이동이 없기 때문에 non-linear poisson solver 의 potential 에서 변화가 없다는 것을 찾아내었다. 그 때문에 oxide-Si interface 를 새로운 boundary condition 으로 두고 potential 과 carrier density 를 interface 에 대해선 고정하였으며 오직 Si 내부의 mesh 에 대해서만 풀었다.

2) linear solver 에서 나오는 result 가 ‘정상적’이지 않았다. 메모리 문제가 해결된 이후에 프로그램을 만들어 계산을 돌려보니 다음과 같이 이상한 결과가 나왔다. jacobian 과 residue 를 한땀한땀 모두 살펴봤는데도 잘못된 점은 없었다.



>> Jacobian 안에 너무 큰 수와($\sim 10^{35}$) 너무 작은수($\sim 10^{-8}$)가 공존하고 있어서 벌어진 현상이라고 생각하였다. 아마도 1D 문제를 풀 때에는 보정이 되었지만 큰 matrix 에 대해선 보정이 안되는 것 같다. 수업시간에 배운 matrix scaling 을 사용해도 되지만, 그냥 간단하게 Jacobian 과 residue 의 continuity equation 부분에 10^{-20} 을 곱해주었다. 물론 Identity 부분(Boundary points)은 그대로 1 로 두었다. 그 후에 정상적인 계산이 나타남을 확인하였다.

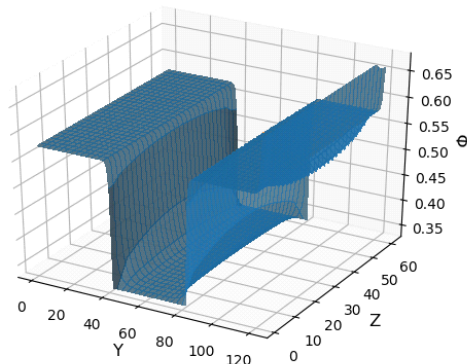
3) (Step1 의 result 에서 확인할 수 있듯이) Phi 의 값이 N*N 의 경계에서 가파르게 변하기 때문에 기존에 사용했던 식으로는 newton iteration 이 진행될 수록 점점 더 수렴하지 않고 오차가 커진다.

>> Scharfetter-Gummel 의 scheme 을 적용하였다. 하지만 Residue 에만 적용하였고 Jacobian 에는 기존의 식을 그대로 사용하였다. 정상적인 potential 과 carrier density 가 나타났다.

4) 그런데! 여전히 update vector 의 norm 이 0 으로 수렴하지 않는다.

>> 혹시 Newton's method 의 고질적인 issue 때문인가 싶어서 update_rate 를 0.1 로 주었다. 즉 $\phi = \phi + 0.1 * \text{update}$. 이제 Drain voltage 가 0 인 상태에서 각 Gate voltage 에 대해서 drift-diffusion equation 이 수렴함을 확인하였다.

5) Drain voltage 를 증가시킬 경우 non-linear poisson solver 가 정상적인 potential 을 주어야 그것을 바탕으로 interface 의 boundary 가 결정되는데, non-linear poisson solver 가 주는 초기 potential 이 아래 그림과 같이 이상하다.



>> 하지만 Jacobian 도 정상이고 Residue 도 정상이었다. 결국 Step2 는 풀지 못하였다.