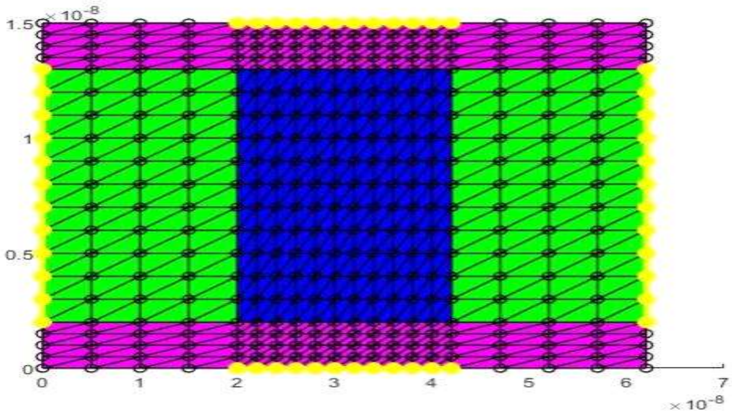
HW13

20221060 한성민

Design

structure : Double gate MOSFET	region & contact
	상단 magenta : gate oxide1 하단 magenta : gate oxide2 좌측 green : source region 우측 green : drain region 중앙 blue : silicon region 상단 yellow line : gate contact1 하단 yellow line : gate contact2 좌측 yellow line : source contact 우측 yellow line : drain contact
gate oxide thickness : 2nm silicon thickness : 11nm source / drain length : 20nm channel length : 22nm total x length : 62nm total y length : 15nm	N-type doping : 5E26(/m^3) P-type doping : 2E21(/m^3) gate workfunction : 4.3eV total vertex : 400 jacobian matrix : 920 X 920

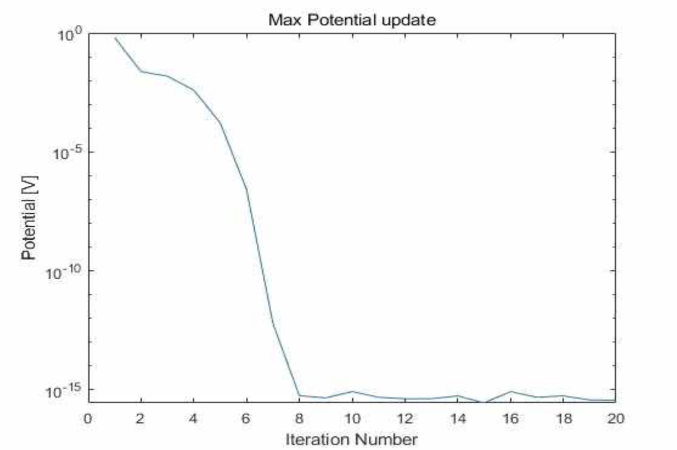
이전의 vertex의 수보다 3배 이상 증가시켜 mesh를 구성했다. 하지만 source와 drain 영역의 x mesh의 수가 부족하여 discrete 한 변화를 가지는 result를 얻었다. 이후 x mesh를 더 늘려 total mesh를 증가시킨다면 continuous하고 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이라 생각한다.

- Non-linear Poisson (@equilibrium)

: Non-linear Poisson (@equilibrium)에서는 n과 p의 residue를 구성할 때 다음과 같은 식을 사용한다.

$res(n) = n - n_{int}e^{\phi/Vt}$, $res(p) = p - n_{int}e^{-\phi/Vt}$

위 식을 사용하여 @equilibrium에서 non-linear Possion equation을 풀면



10번 이내에 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

위 식을 통해 얻은 initial value를 이용하여 Drift-Diffusion을 풀기 위한 initial value로 사용한다. 그렇다면 DD의 iteration은 non-linear Poisson equation을 풀었을 때보다 더 빨리 수렴한다.

- Drift - Diffusion

지난 HW12에서 scharfetter-gummel scheme의 derivation을 통해 얻은 J_n과 J_p의 식을 정리하면 다음과 같다.

$$J_n = q\mu_n V_T \frac{edge}{len}\left(n_j B\left(\frac{\nabla\phi}{V_T}\right) - n_i B\left(\frac{-\nabla\phi}{V_T}\right)\right)$$

$$J_p = -q\mu_p V_T \frac{edge}{len}\left(p_j B\left(\frac{-\nabla\phi}{V_T}\right) - n_i B\left(\frac{\nabla\phi}{V_T}\right)\right)$$

위 J_n과 J_p를 residue로 설정하여 Jacobian matrix를 설정했다. potential 부분의 jacobian matrix 부분은 유지하되 기존의 n과 p에 대한 식 $res(n) = n - n_{int}e^{\phi/Vt}$, $res(p) = p - n_{int}e^{-\phi/Vt}$를

current density equation

$$J_n = q\mu_n V_T \frac{edge}{len}\left(n_j B\left(\frac{\nabla\phi}{V_T}\right) - n_i B\left(\frac{-\nabla\phi}{V_T}\right)\right)$$

$$J_p = -q\mu_p V_T \frac{edge}{len}\left(p_j B\left(\frac{-\nabla\phi}{V_T}\right) - n_i B\left(\frac{\nabla\phi}{V_T}\right)\right)$$

을 사용하여 대체하면 된다.

n_j, n_i, ϕ_j, ϕ_i에 대해 미분을 하여 jacobian matrix를 구성했으며 Bernoulli function과 Deri_Bernoulli function의 경우 2020FW의 강의노트를 참고하여 code를 작성했다. Bernoulli function의 정확도를 위해 potential 차이에 따라 테일러 급수를 도입하여 code를 작성했다.

Bernoulli

```
function outb = bern(a, b)

q = 1.602e-19;
Kb = 1.38e-23;
T = 300;
Vt = Kb*T/q;
x = (b-a)/Vt;

if abs(x) < 0.02502
    outb = 1 - x/2 + x^2/12*(1.0-x^2/60*(1.0-x^2/42));
elseif abs(x) < 0.15
    outb = 1 - x/2 + x^2/12*(1.0-x^2/60*(1.0-x^2/42*(1-x^2/40*(1-0.02525252525252525252525*x^2))));
else
    outb = x / (exp(x)-1);
end
```

Deri_Bernoulli

```
function outdb = dbern(a, b)

q = 1.602e-19;
Kb = 1.38e-23;
T = 300;
Vt = Kb*T/q;
x = (b-a)/Vt;

if abs(x) < 0.02502
    outdb = -0.5 + x/6*(1-x^2/30*(1-x^2/28));
elseif abs(x) < 0.15
    outdb = -0.5 + x/6*(1-x^2/30*(1-x^2/28*(1-x^2/30*(1-0.0315656565656565656565657*x^2))));
else
    outdb = (exp(x)-1-x*exp(x)) / (exp(x)-1)^2;
end
```

- bias ramping

potential의 maxupdate 값이 tol(1e-10)[V]보다 작을 경우 iteration을 종료하도록 구성했다.
drain voltage를 ramping 하는 경우 drain contact 부분의 residue에 - Vd를 추가해주고,
gate voltage를 ramping하는 경우 gate contact 부분의 residue에 -Vg를 추가해주었다.

- Current calculation

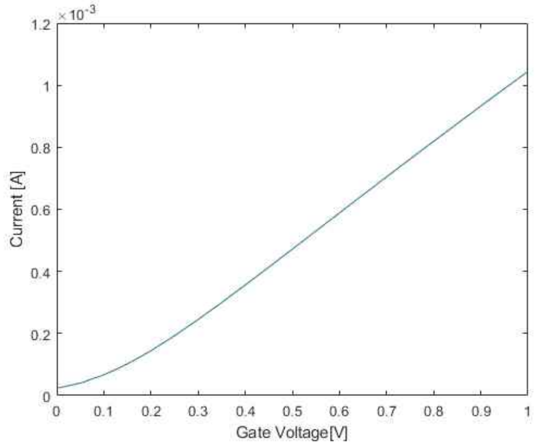
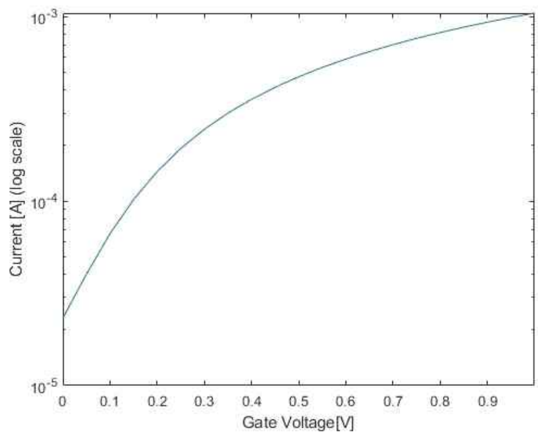
$$I_n = q\mu_n V_T \frac{edge}{len}\left(n_j B\left(\frac{\phi_j - \phi_i}{V_T}\right) - n_i B\left(\frac{-(\phi_j - \phi_i)}{V_T}\right)\right) \cdot width$$

$$I_p = -q\mu_p V_T \frac{edge}{len}\left(p_j B\left(\frac{-(\phi_j - \phi_i)}{V_T}\right) - n_i B\left(\frac{\phi_j - \phi_i}{V_T}\right)\right) \cdot width$$

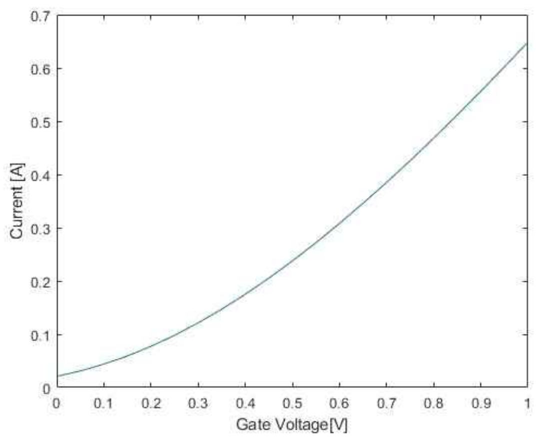
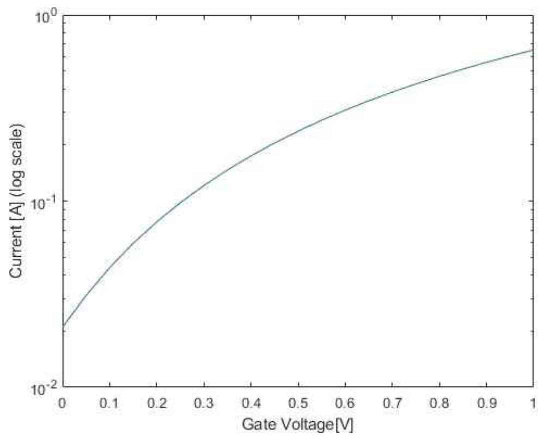
hole current의 경우 hole 농도가 매우 낮다고 판단하여 current 계산에는 이용하지 않았다.
width = 1e-6m로 설정하고, current density에 곱해주어 current를 계산했다.

- **Result**

(1) Vd = 1mV, gate voltage ramping to 1V

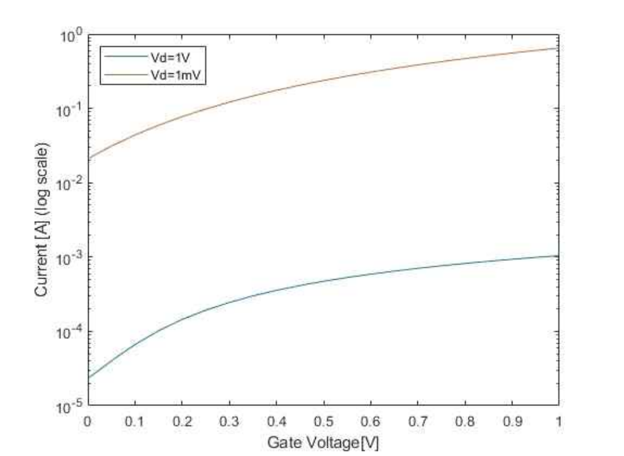
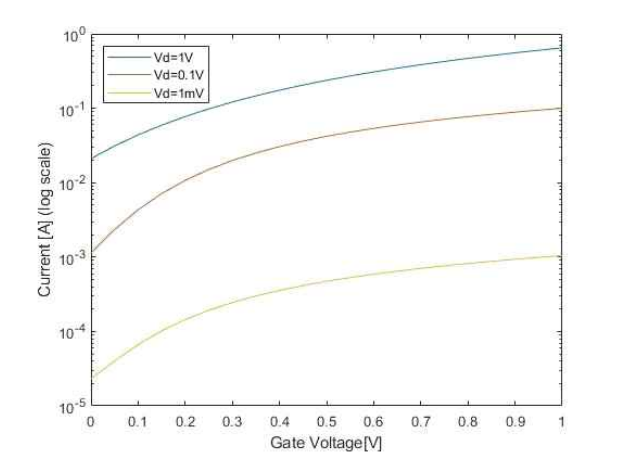
Threshold Voltage	Subthreshold Swing
	

(2) Vd = 1V, gate voltage ramping to 1V

Threshold Voltage	Subthreshold Swing
	

0.1V-0.2V 사이에서 전류의 곡률이 달라지는 것으로 보아 V_{TH}는 0.1V-0.2V 사이에 존재한다고 유추할 수 있다. Subthreshold Swing의 경우 소자의 channel 길이가 짧기에 60mV/dec 와는 차이가 존재한다고 생각한다.

(3) DIBL check

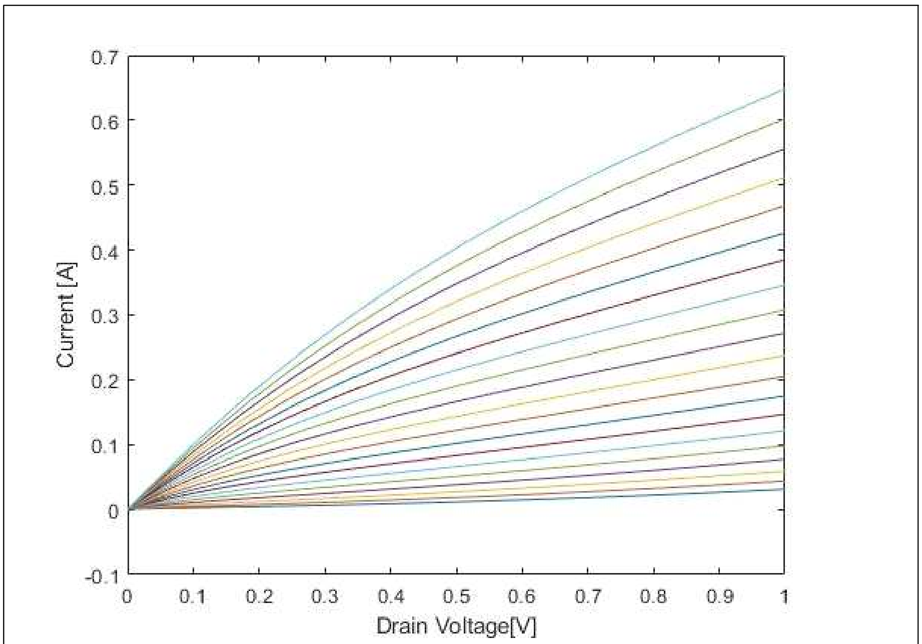
Vd=1V & Vd=1mV	Vd=1V & Vd=0.1V & Vd=1mV
	

$V_d = 1\,V$와 $V_d = 1m\,V$와는 DIBL을 비교하는 것이 어렵다고 판단하여 $V_d = 0.1\,V$를 추가해주어 비교했다. $V_d = 1\,V$에서 $V_{TH} = 0.2\,V$로 가정할 경우, $I_d = I_{on} \approx 0.044A$이다. 이 전류값을 I_{on}이라고 가정하면 $V_d = 0.1\,V$에서 I_{on}에 해당하는 V_{th}는 0.15V이다.

$DIBL = \frac{\triangle V_{TH}}{\triangle V_D}$이므로 $DIBL = \frac{0.2 - 0.15}{1 - 0.1} \approx 0.056$이다.

더 정확한 값을 비교하기 위해서 V_{TH}의 값을 정확히 파악하거나, V_G를 -1V~1V까지 sweep 하여 비교한다면 좀 더 정확한 DIBL을 구할 수 있을 것이다.

(4) Id vs Vd



V_D를 sweep하였을 때 I_D가 saturation 되지 않고 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 short channel effect인 channel length modulation이 발생했다고 생각하며 이 부분은 공부중에 있습니다.