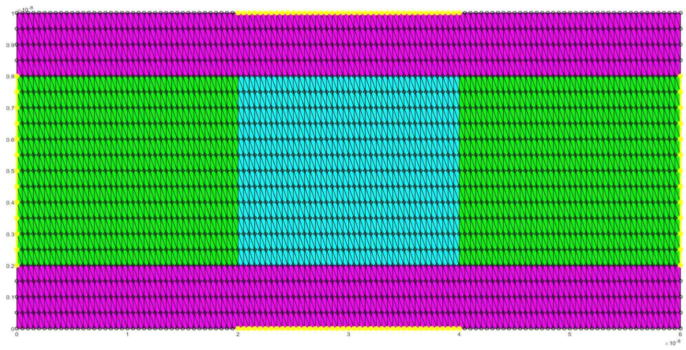
HW15

20221060 한성민

Structure

<table>
<tr><th>Double gate MOSFET</th><th>region & contact</th></tr>
<tr><td></td><td>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</td></tr>
<tr><td rowspan="2">gate oxide thickness : 2nm
silicon thickness : 6nm
source / drain length : 20nm
channel length : 20nm
total x length : 60nm
total y length : 10nm
device width : 6μm</td><td>N-type doping : 5E26(/m^3)
P-type doping : 2E21(/m^3)
gate workfunction : 4.3eV</td></tr>
<tr><td>total vertex : 2541
jacobian matrix : 5929 X 5929
residue matrix : 5929 X 1</td></tr>
</table>

(변동사항)
mesh를 좀 더 세밀하게 나누어 구조를 분석했다. 먼저 S/D의 thickness를 6nm로 줄였으며 channel의 길이를 S/D의 length와 같은 20nm로 설정했다. 또한, x mesh와 y mesh 모두 0.5nm로 설정하여 총 vertex의 개수 (241X21=2451)로 설정하였으며, jacobian matrix의 size는 5929 X 5929이다.

(과제 설명)
이번 과제는 이전의 quasi static approximation을 가정했던 시뮬레이션과는 달리 시간의 변화에 대한 current density의 변화를 고려한 transient simulation을 제작하는 것이다. time term을 고려하면 currnet density 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Time term

$$\frac{dn}{dt}=\frac{1}{q}\nabla\cdot J_n \rightarrow \oint J_n\cdot dS=q\iiint_\Omega \frac{dn}{dt}dV$$
$$\frac{dp}{dt}=-\frac{1}{q}\nabla\cdot J_p \rightarrow \oint J_p\cdot dS=-q\iiint_\Omega \frac{dp}{dt}dV$$

1) electron case

$$\frac{dn}{dt}=\frac{1}{q}\nabla\cdot J_n \rightarrow -q\frac{dn}{dt}+\nabla\cdot J_n=0$$

$res(n)=-q\frac{dn}{dt}+\nabla\cdot J_n$ 이므로 이를 residue 항과 jacobian의 항으로 나타내면 다음과 같다.

$$res(n)=-q\times 0.25\times\frac{n(t)-n(t-1)}{\Delta t}\times length\times edge$$
$$jac(n)=-q\times 0.25/\Delta t\times length\times edge$$

$n(t-1)$은 t-1의 old electron을 저장한 값이므로 constant한 값이기에 jacobian matrix에서는 고려해주지 않는다.

2) hole case

$$\frac{dp}{dt}=-\frac{1}{q}\nabla\cdot J_p \rightarrow q\frac{dn}{dt}+\nabla\cdot J_p=0$$

$res(p)=q\frac{dp}{dt}+\nabla\cdot J_p$ 이므로 이를 residue 항과 jacobian의 항으로 나타내면 다음과 같다.

$$res(p)=q\times 0.25\times\frac{p(t)-p(t-1)}{\Delta t}\times length\times edge$$
$$jac(n)=-q\times 0.25/\Delta t\times length\times edge$$

동일하게 $p(t-1)$은 t-1의 old hole을 저장한 값이므로 constant한 값이기에 jacobian matrix에서는 고려해주지 않는다.

위의 값들은 추가적으로 고려해준 사항이므로 기존의 jacobian, residue matrix에 더해준다.

Displacement current term

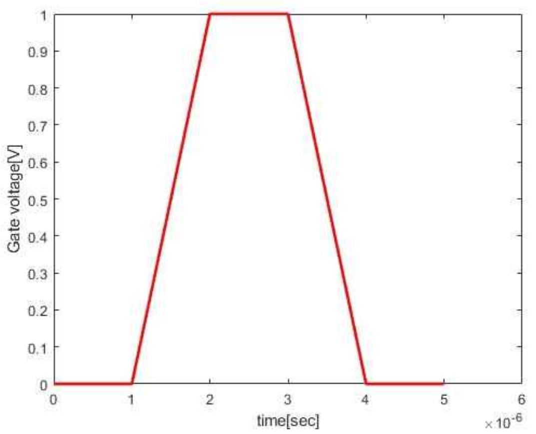
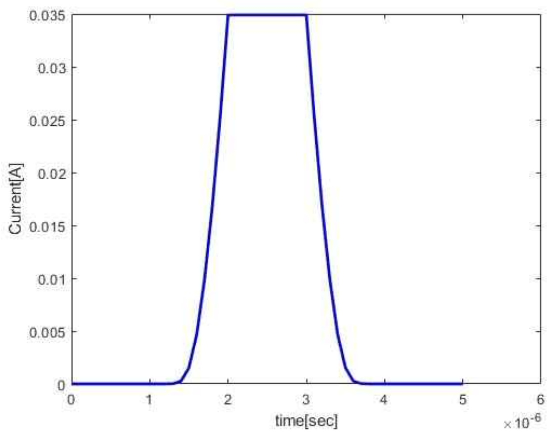
$$J_{dis}=\frac{dD}{dt}=-\epsilon\frac{E-E_{old}}{\Delta t}$$

또한, 시간에 대한 potential 변화분을 고려해주어야 하기에 displacement current term을 고려해준다.

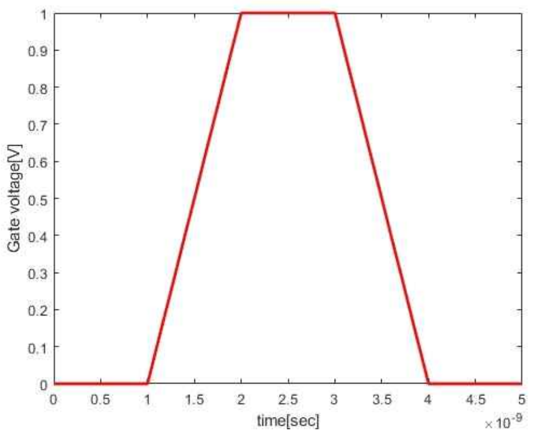
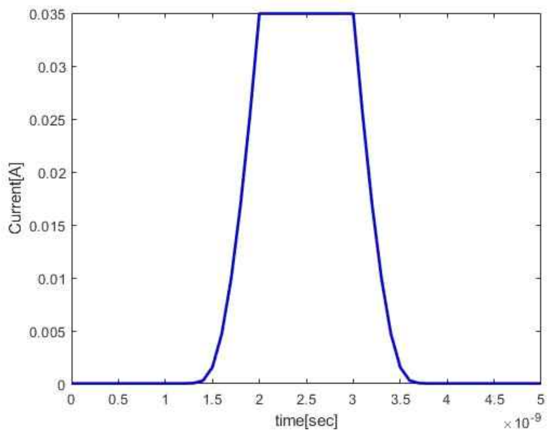
$$J_{dis}=\epsilon_{si}\epsilon_0\left(\frac{\phi(t)_{(element)}-\phi(t)_{(contact)}}{\Delta t}-\frac{\phi(t-1)_{(element)}-\phi(t-1)_{(contact)}}{\Delta t}\right)\times\leq ngth\times edge$$
$$I_{dis}=J_{dis}\times W$$

Result

1) **Vd=1V, time step = 0.1μsec, rising/falling time = 1μsec**

<table>
<tr><th>Vg - time</th><th>Id - time</th></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

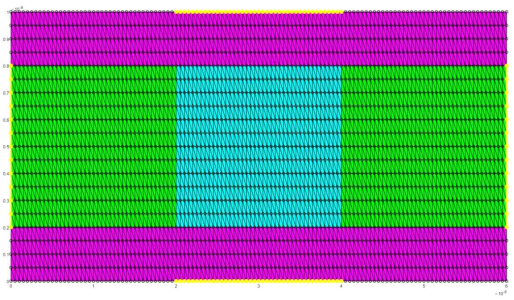
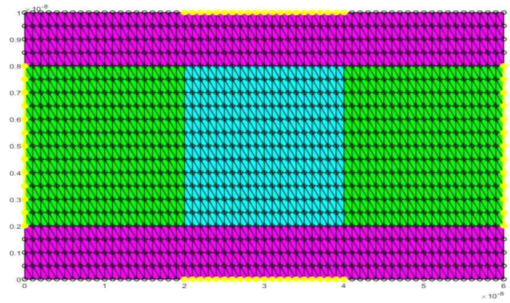
2) **Vd=1V, time step = 0.1nsec rising/falling time = 1nsec**

<table>
<tr><th>Vg - time</th><th>Id - time</th></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

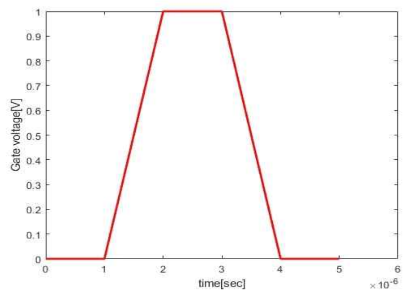
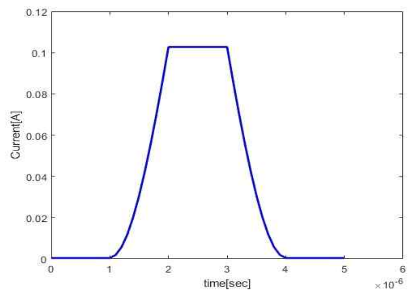
결과 1번은 Vd=1V, time step = 0.1μsec, rising/falling time = 1μsec, pulse time = 1μsec로 설정하고 time에 대한 Vg, Id graph를 그린 것이다. rising time과 falling time 동안 Vg는 linear 하게 변화하고 Id는 non-linear 하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

결과 2번은 Vd=1V, time step = 0.1nsec, rising/falling time = 1nsec, pulse time = 1nsec로 설정하고 time에 대한 Vg, Id graph를 그린 것이다. 결과 1번과 동일하게 rising time과 falling time 동안 Vg는 linear 하게 변화하고 Id는 non-linear 하게 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

지난 과제에 비해 vertex 수를 4배 이상 늘려 진행해본 결과 시뮬레이션 time이 굉장히 길어졌다. 추가적으로 dx의 크기를 기존의 2배인 1nm로 설정하여, vertex 수를 2배 줄이고 시뮬레이션을 진행해보았다.

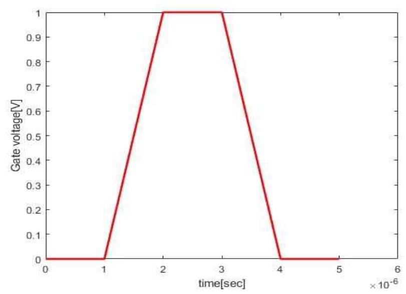
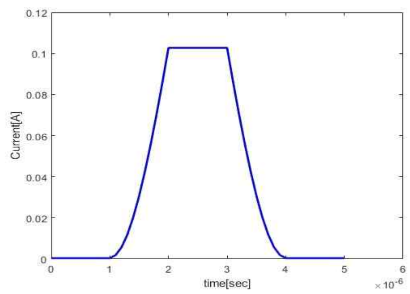
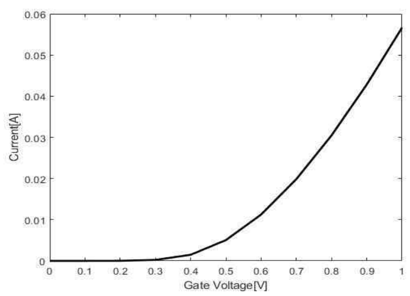
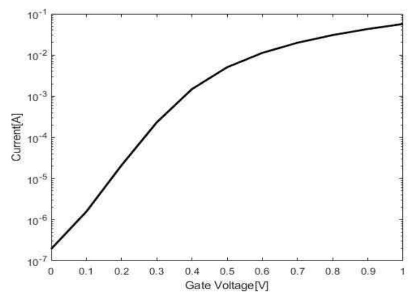
기존 str		change str
	▶	

1) **Vd=1V, time step = 0.1$\mu\mathrm{sec}$, rising/falling time = 1$\mu\mathrm{sec}$, p-doping = 1E21(/m3)**

Vg - time	Id - time
	

또한, 기존의 graph에서는 V_{TH}가 정확히 확인되지 않았다. $V_{TH} \propto N_A$ 이기에 N_A를 증가시켜 V_{TH}를 확인해보았다.

1) **Vd=1V, time step = 0.1$\mu\mathrm{sec}$, rising/falling time = 1$\mu\mathrm{sec}$, p-doping = 1E25(/m3)**

Vg - time	Id - time
	
Id - Vg (linear scale)	**Id - Vg (log scale)**
	

그래프를 통해 Id는 0.3~0.4V 사이에서 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 V_{TH}가 해당 구간 내에 존재한다고 유추할 수 있다.