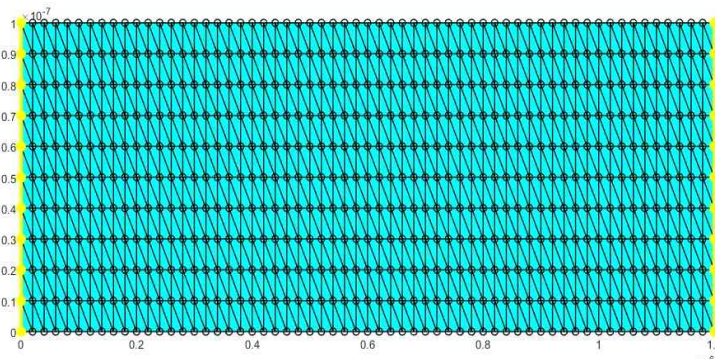


structure

homogeneous sample : N-type bar	profile
	<p>전체 cyan : silicon 좌측 yellow line : cathode contact 우측 yellow line : anode contact x length : 1200nm y length : 100nm device width : $1\mu m$ N-type doping : $2E23(/m^3)$ $V_{cathode} = 0V$ $V_{anode} = 0V$</p>

Poisson equation perturbed at a position \vec{r}_0	potential	$G_{\phi\phi}(\vec{r};\vec{r}_0)$
	electron	$G_{n\phi}(\vec{r};\vec{r}_0)$
	hole	$G_{p\phi}(\vec{r};\vec{r}_0)$
electron continuity equation perturbed at a position \vec{r}_0	potential	$G_{\phi n}(\vec{r};\vec{r}_0)$
	electron	$G_{nn}(\vec{r};\vec{r}_0)$
	hole	$G_{pn}(\vec{r};\vec{r}_0)$
hole continuity equation perturbed at a position \vec{r}_0	potential	$G_{\phi p}(\vec{r};\vec{r}_0)$
	electron	$G_{np}(\vec{r};\vec{r}_0)$
	hole	$G_{pp}(\vec{r};\vec{r}_0)$

과제 설명

이번 과제는 homogeneous sample에 대해서 각 terminal current (δI)를 계산하는 것이다. structure에서 좌측을 terminal을 cathode라 지칭하고, 우측 terminal을 anode라 지칭한다. potential perturbed의 경우 result 분석이 어렵기에, equilibrium state에서 각 electron/hole continuity equation을 perturbed한 결과를 비교해볼 것이다.

displacement current의 경우, 다음 두 수식을 가우스 법칙을 이용한 수식을 이용하여 결과를 확인한다. 구조는 homogeneous sample이기에 terminal 은 anode와 cathode에서 확인한다.

$$\nabla \cdot D = \rho$$

$$\int_{\Omega} \nabla \cdot D dV = \int_S D \cdot dS = \int_{anode} D \cdot dS + \int_{cathode} D \cdot dS = J_{d,anode} + J_{d,cathode}$$

δ 항에 대한 AC simulation이기에 우측 항은 $\int_V \delta \rho dV = j\omega \delta Q$ 로 나타낼 수 있다.

좌측 항과 우측 항의 비교를 통해 $J_{d,anode} + J_{d,cathode} = j\omega \delta Q$ 를 알 수 있다.

$$j\omega \delta Q = j\omega q(-\delta n + \delta p) \cdot \text{Control Volume}$$

total current의 경우, 전류 계산 결과를 분석하기에 정확한 방법은 아닐 것이라 예측되지만 수식을 통해 전개를 해보았다.

i) electron perturbed case

$$jw\delta n - \frac{1}{q} \nabla \cdot J_n = \delta(r-r_0)$$

$$\nabla \cdot J_n = jwq\delta n - q\delta(r-r_0)$$

$$\int J_n \cdot dS = \left[\int_V jwq\delta n dV - q \int \delta(r-r_0) dr \right] \times width$$

$$I_n = (qjw\delta n \cdot Control Volume - q) \times width$$

$$jw\delta p + \frac{1}{q} \nabla \cdot J_p = 0$$

$$I_p = -qjw\delta p \times Control Volume \times width$$

$$I_{dis} = jwq\delta Q \times width = jwq(-\delta n + \delta p) \times Control Volume \times width$$

$$I = I_n + I_p + I_{dis} = -q \times width$$

electron 1개를 injected 한 전류의 크기를 측정한 것이므로, total current I의 real part는

$$I = (-q)/(-q) \times width = 1 \times 10^{-6} A \text{가 나올 것이다.}$$

하지만 노드 간 전류를 계산할 때, 방향성을 고려하여 $-1 \times 10^{-6} A$ 가 나올 것이다.

ii) hole perturbed case

$$jw\delta p + \frac{1}{q} \nabla \cdot J_p = \delta(r-r_0)$$

$$\nabla \cdot J_p = -jwq\delta p + q\delta(r-r_0)$$

$$\int J_p \cdot dS = \left[- \int_V jwq\delta p dV + q \int \delta(r-r_0) dr \right] \times width$$

$$I_p = (-qjw\delta p \cdot Control Volume + q) \times width$$

$$jw\delta n - \frac{1}{q} \nabla \cdot J_n = 0$$

$$I_n = qjw\delta n \times Control Volume \times width$$

$$I_{dis} = jwq\delta Q \times width = jwq(-\delta n + \delta p) \times Control Volume \times width$$

$$I = I_n + I_p + I_{dis} = q \times width$$

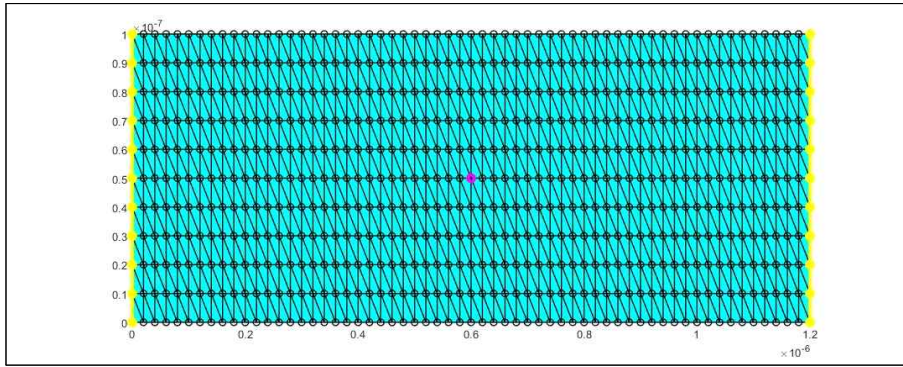
hole 1개를 injected 한 전류의 크기를 측정한 것이므로, total current I의 real part는

$$I = q/q \times width = 1 \times 10^{-6} A \text{가 나올 것이다.}$$

동일하게 노드 간 전류를 계산할 때, 방향성을 고려하여 $-1 \times 10^{-6} A$ 가 나올 것이다.

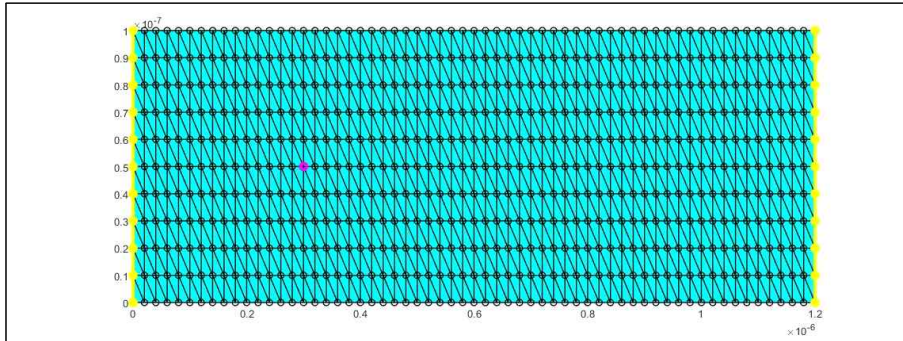
Result

1) center node (node : 336)



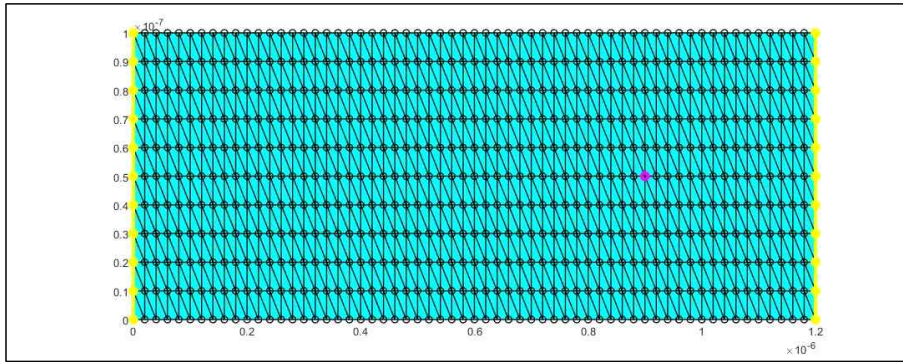
	electron con. perturbed	hole con. perturbed
$J_{displacement} [A/m^2]$	-0.133292022528454 - 0.339890069373534i	-0.133292022528459 - 0.339890069373536i
$jw\delta Q [A/m^2]$	-0.133292022528440 - 0.339890069373496i	-0.133292022528448 - 0.339890069373503i
$I_{anode} [A]$	-5.00000000424146e-07 - 3.97046694025453e-21i	-5.00000000424151e-07 + 2.99108509499175e-21i
$I_{cathode} [A]$	-4.99999999575969e-07 - 4.55280209149186e-21i	-4.99999999575975e-07 + 3.44107134822060e-22i
$I = I_{anode} + I_{cathode} [A]$	-1.000000000000115e-06 - 8.523269031746397e-21i	-1.000000000000126e-06 + 3.335192229813808e-21i

2) left node (node : 315)



	electron con. perturbed	hole con. perturbed
$J_{displacement} [A/m^2]$	-0.133292020136145 - 0.339890079118383i	-0.133291821662100 - 0.339889623673247i
$jw\delta Q [A/m^2]$	-0.133292020136141 - 0.339890079118373i	-0.133291821662097 - 0.339889623673240i
$I_{anode} [A]$	-1.50000000333637e-07 + 3.30872245021211e-22i	-1.50000000333639e-07 + 3.61312491563163e-21i
$I_{cathode} [A]$	-8.49999999666393e-07 + 3.38813178901720e-21i	-8.49999999666395e-07 + 7.51741740688192e-21i
$I = I_{anode} + I_{cathode} [A]$	-1.000000000000030e-06 + 3.719004034038412e-21i	-1.000000000000034e-06 + 1.113054232251354e-20i

3) right node (node : 361)



	electron con. perturbed	hole con. perturbed
$J_{displacement} [A/m^2]$	-0.133269504526994 - 0.339894795880419i	-0.133073952992588 - 0.339992194738955i
$jw\delta Q [A/m^2]$	-0.133269504526990 - 0.339894795880403i	-0.133073952992583 - 0.339992194738943i
$I_{anode} [A]$	-9.16666666569688e-07 - 1.48230765769503e-21i	-9.16666666569689e-07 + 2.11758236813575e-21i
$I_{cathode} [A]$	-8.33333334303542e-08 - 1.07864351876915e-21i	-8.33333334303553e-08 + 6.08804930839028e-22i
$I = I_{anode} + I_{cathode} [A]$	-1.000000000000042e-06 - 2.560951176464174e-21i	-1.000000000000044e-06 + 2.726387298974779e-21i

- $J_{displacement}$ & $jw\delta Q$ 비교

$J_{displacement}$ 와 $jw\delta Q$ 의 각 결과를 비교했을 때, 두 값의 오차는 매우 미미하며 거의 같다고 할 수 있습니다. 따라서 $J_{d,anode} + J_{d,cathode} = jw\delta Q$ 는 만족한다고 할 수 있다.

- $I = I_{anode} + I_{cathode}$ 비교

수식을 통해 계산 한 결과와 비교했을 때, real part는 1×10^{-6} 이 나온 것을 확인할 수 있었다. 하지만 정성적인 방법은 아니라고 생각하기에 LC.22에서 이와 관련하여 질문을 드릴 예정이다.