

Poisson's eq. 와 Continuity eq. 를 동시에 풀기 위한 5 equations coupling
시켜 문제를 해결해 보자.

Poisson's equation.

$$R_{\phi} = \frac{1}{\epsilon_0} (\epsilon_{i+0.5} \phi_{i+1} - (\epsilon_{i+0.5} + \epsilon_{i-0.5}) \phi_i + \epsilon_{i-0.5} \phi_{i-1}) + \frac{(\Delta x)^2 q}{\epsilon_0} (N^+ - n_i) = 0.$$

$$\frac{\partial R_{\phi}}{\partial \phi_{i+1}} = \frac{\epsilon_{i+0.5}}{\epsilon_0}, \quad \frac{\partial R_{\phi}}{\partial \phi_i} = -\frac{1}{\epsilon_0} (\epsilon_{i+0.5} + \epsilon_{i-0.5}), \quad \frac{\partial R_{\phi}}{\partial \phi_{i-1}} = \frac{\epsilon_{i-0.5}}{\epsilon_0}, \quad \frac{\partial R_{\phi}}{\partial n_i} = -\frac{(\Delta x)^2 q}{\epsilon_0}.$$

$$R_n = \left(\frac{n_{i+1} + n_i}{2} \right) \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{\Delta x} - V_T \frac{n_{i+1} - n_i}{\Delta x} - \frac{n_i + n_{i-1}}{2} \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{\Delta x} + V_T \frac{n_i - n_{i-1}}{\Delta x} = 0.$$

$$\frac{\partial R_n}{\partial n_{i+1}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{\Delta x} \right) - \frac{V_T}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial R_n}{\partial n_i} = \frac{1}{2} \left(\frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{\Delta x} - \frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{\Delta x} \right) + \frac{2V_T}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial R_n}{\partial n_{i-1}} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\phi_i - \phi_{i-1}}{\Delta x} \right) - \frac{V_T}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial R_n}{\partial \phi_{i+1}} = \frac{1}{2} \frac{(n_{i+1} + n_i)}{\Delta x} \quad \frac{\partial R_n}{\partial \phi_i} = -\frac{1}{2} \frac{(n_{i+1} + n_i)}{\Delta x} - \frac{1}{2} \frac{(n_i + n_{i-1})}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial R_n}{\partial \phi_{i-1}} = \frac{1}{2} \left(\frac{n_i + n_{i-1}}{\Delta x} \right)$$

위의 두 eq. 을서 보듯, 하나의 point에는 ϕ 와 n 이 대응되는 것을 알 수 있다.

따라서, 이 문제에서 위의 solution vector는 다음과 같이 정렬할 수 있다.

(N points 이 주어짐)

$$[\phi_1, n_1, \phi_2, n_2, \dots, \phi_N, n_N]^T$$

(cf.) $[\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N, n_1, n_2, \dots, n_N]^T$ 이 정렬, 마찬가지로 하면

element n_i, ϕ_i 사이의 거리가 멀리 떨어져서 불리함을
알 수 있다.

* Scaled problem.

Matlab에서 matrix elements 사이의 order of magnitude가 클 경우,
matrix solver가 제대로 작동하지 않는 문제를 야기할 수 있다.

$$Ax = b$$

$$\Rightarrow RAC^{-1}x = Rb$$

R, C , invertible square matrix

$$\text{then, } C^{-1}x = (RAC)^{-1}Rb.$$

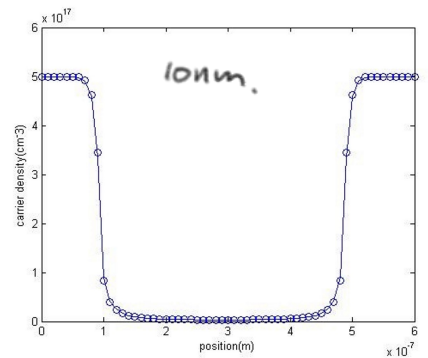
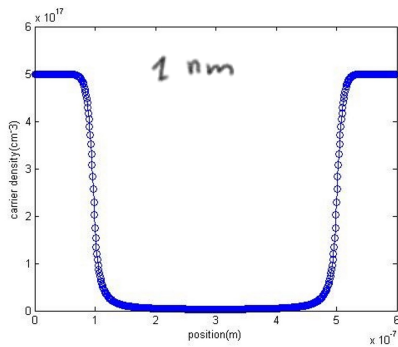
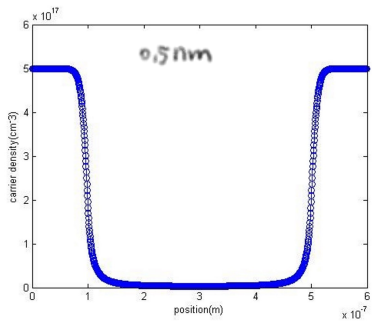
$$\text{if we get } C^{-1}x \text{ then } x = C \cdot C^{-1}x.$$

따라서 재배치에 관한 R, C 를 설정하는 것이 중요하다.

Vector C for ϕ_i component: thermal voltage
 Vector G for n_i component: donor density @ maximum value.
 Vector R \Rightarrow inverse of absolute row sum of the AC matrix.

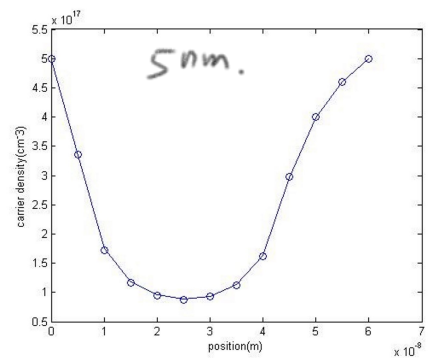
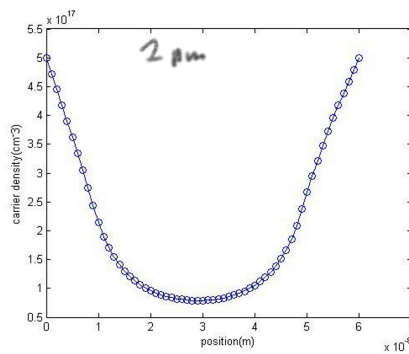
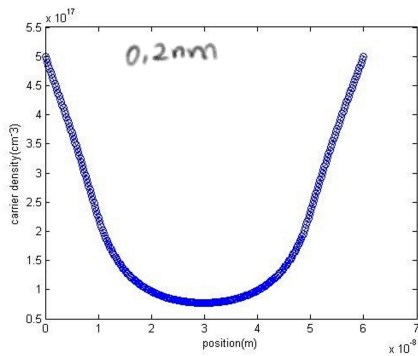
Results.

Long channel. (600nm)



여기서, 파란색 선은 non linear. poisson's equation 이 해를 의미하며,
 파란색, 빨간색은 Coupled equation 을 통한 self-consistent de solution 이다.

Short channel (60 nm)



여기서, 파란색 선은 non linear. poisson's equation 이 해를 의미하며,
 파란색, 빨간색은 Coupled equation 을 통한 self-consistent de solution 이다.

Short channel 이기 1 nm, 5 nm 이 경우, point 들의 갯수가 적어서
 비선형적인 solution 을 구하기 힘들어.