

ナノ科学レポート (1/11 提出分)

東大物理工学科 03-153012 平松信義

2019 年 1 月 11 日

Coulomb island の電位を ϕ とおく. 電荷の中性条件から

$$\begin{aligned} -ne &= C_g(\phi - V_g) + C_1(\phi + \frac{V}{2}) + C_2(\phi - \frac{V}{2}) \\ \iff \phi &= \frac{1}{C_\Sigma}[-ne + C_g V_g + \frac{V}{2}(C_2 - C_1)]. \end{aligned} \quad (1)$$

ただし $C_\Sigma = C_g + C_1 + C_2$ とおいた.

Coulomb island の静電エネルギー $U(n)$ と電気化学ポテンシャル $\mu(n)$ はそれぞれ,

$$U(n) = \frac{C_\Sigma}{2}\phi^2, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mu(n) &= U(n) - U(n-1) \\ &= \frac{e^2}{C_\Sigma}(n - \frac{1}{2}) - \frac{e}{C_\Sigma}[C_g V_g + \frac{V}{2}(C_2 - C_1)]. \end{aligned} \quad (3)$$

一方, キャパシタ C_1 を挟んでドレイン側の電気化学ポテンシャル μ_1 と, キャパシタ C_2 を挟んでソース側の電気化学ポテンシャル μ_2 は, それぞれ,

$$\mu_1 = \frac{eV}{2}, \quad (4)$$

$$\mu_2 = -\frac{eV}{2}. \quad (5)$$

n 番目の電子がドレインからキャパシタ C_1 をまたいで Coulomb island にトンネルできない条件は,

$$\begin{aligned} \mu(n) &> \mu_1, \\ \iff V &> -\frac{2C_g}{2C_1 + C_g}V_g + \frac{2n-1}{2C_1 + C_g}e. \end{aligned} \quad (6)$$

同様に, $n-1$ 番目の電子が Coulomb island からキャパシタ C_2 をまたいでソースにトンネルできない条件は,

$$\begin{aligned} \mu(n-1) &> \mu_2, \\ \iff V &< \frac{2C_g}{2C_2 + C_g}V_g - \frac{2n-3}{2C_2 + C_g}e. \end{aligned} \quad (7)$$

(i) $C_1 = C_2 \gg C_g$ とする. 不等式 (6),(7) が成り立ちクーロン閉塞が起こる条件は,

$$-\frac{C_g}{C_2}V_g - \frac{2n-1}{2C_2}e < V < \frac{C_g}{C_2}V_g - \frac{2n-3}{2C_2}e. \quad (8)$$

図 1 にクーロン閉塞により電流が流れなくなる領域を示す.

(ii) $C_1 = 4C_2 \gg C_g$ とする. クーロン閉塞が起こる条件は,

$$-\frac{C_g}{4C_2}V_g - \frac{2n-1}{8C_2}e < V < \frac{C_g}{C_2}V_g - \frac{2n-3}{2C_2}e. \quad (9)$$

図 2 にクーロン閉塞により電流が流れなくなる領域を示す.

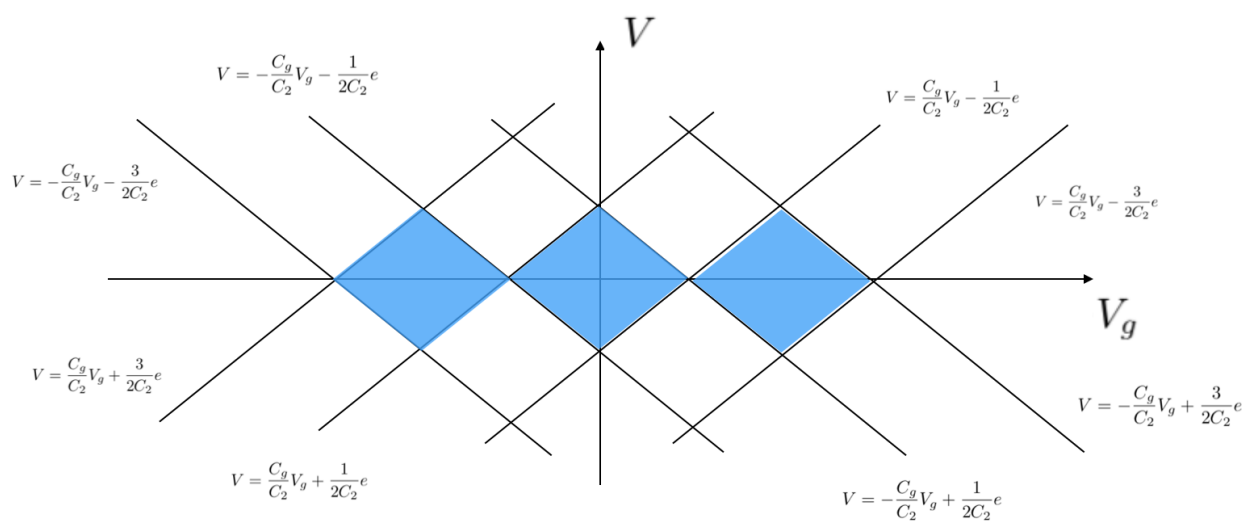


图 1 $C_1 = C_2 \gg C_g$

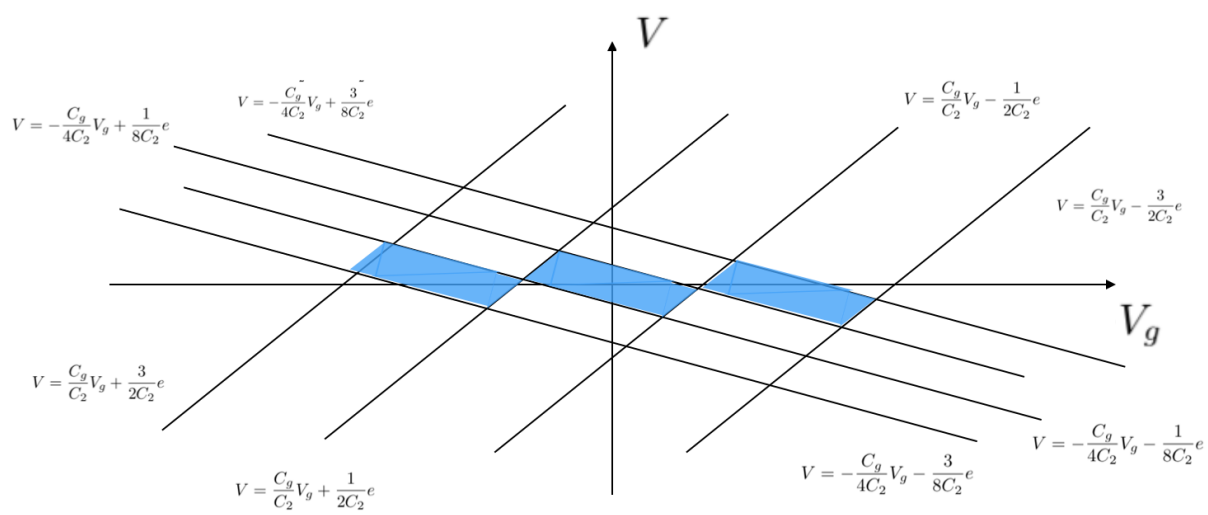


图 2 $C_1 = 4C_2 \gg C_g$