

デバイスシミュレータ

・目的

3, 4 年生で使用した教科書では、数式を覚えるだけで終わった感じがする。どのパラメータを変更すると、どこが変わるのかを可視化したい。

例えば、MOSFET のポテンシャルの式

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = \frac{e(N_d - n)}{\epsilon}$$

があるが、位置の関数に見えるが、電圧をかけてから変動していくので時間の関数でもある。なので、位置だけでなく時間によってもグラフの変化を可視化できるようにした。

次に、電荷密度分布について。教科書には明確な電荷密度に対する数式は記述されていない。だが、シミュレーションすることで電荷密度を可視化することができる。特に、PN 接合の空乏層内については、教科書ではブラックボックス状態。でもシミュレーションすることで内部の様子がわかる。

・評価テストしたいので、“卒業研究アンケート” のリンクから適当でいいので書いてください。

- 使い方

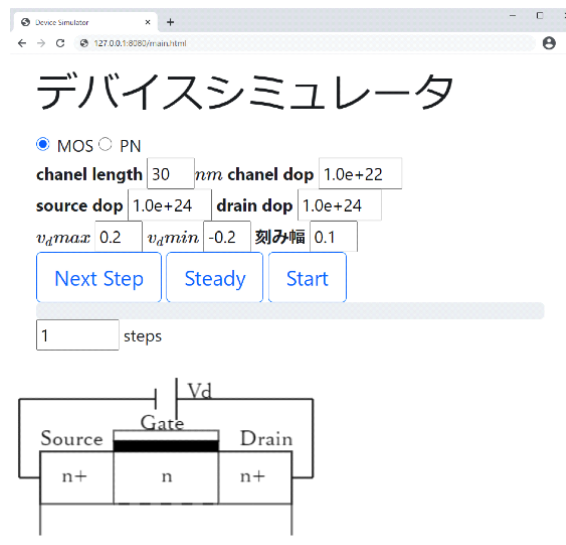


図. 初期画面

- MOSFET, PN のどちらでシミュレーションするか選ぶ

- MOSFET の場合

チャンネル長, チャンネル・ソース・ドレインのドーピング密度を決める (m^{-3})

印加電圧の最大・最小を決める. 画面に表示されるのは最大電圧時のポテンシャル, 電荷密度. 印加電圧の刻み幅を決める. (※刻みすぎると計算時間長くなる)

Start で計算開始. 割と時間かかる. スマホの方が早いかも?

- PN の場合

不純物密度を p, n 型とも決める

デバイス長も決める.

印加電圧は MOSFET と同じ

- 実行後

最初に表示されるのは, 初期状態.

“Next Step” ボタンで一定の時間間隔経過でのポテンシャル, 電荷密度が表示される. 全部で 10 ステップ.

“Steady” で安定した最後の状態までスキップできる.

デバイス構造や, 各パラメータを変更したら. 再度” Start” ボタンを押して

- グラフの説明 (MOSFET)

- ポテンシャル (伝導帯の底のポテンシャル)

印加する電圧によって, ドレイン側の値が変わっていく. (※MOSFET のとき, ゲート電圧の固定できてないので, ゲート部分の値も変わってしまうので, 注意) .

チャンネルのドーピング密度で抵抗率が決まるので, その部分でどれだけ電圧降下が生

じることによって、グラフの傾きが変化する。

- 電子密度

時間経過によって、電極から注入される電子、デバイス上を動いていく電子が場所によってどれだけあるか確認できる。

- 電流電圧特性 (ドレイン電流-ドレイン・ソース電圧)

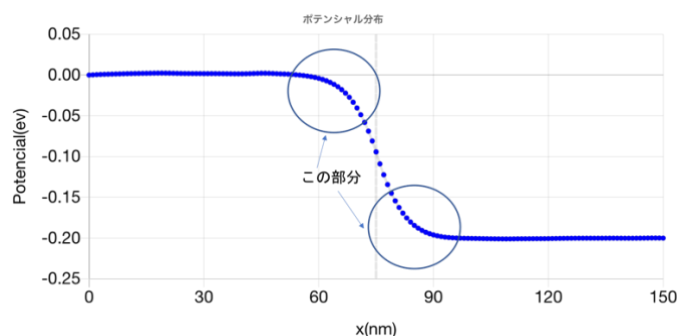
チャネルのドーピング密度で抵抗率が決まる。印加するドレイン電圧。ドーピング密度によって流れる電流を制御する様子がわかる。結局、チャネル部分は抵抗であるということ (※ゲート電圧を考慮していないので、厳密には数式と合っていないので注意。)

- グラフの説明 (PN 接合)

階段接合の PN 接合を確認できる。

- ポテンシャル (伝導帯の底のポテンシャル)

よく見る PN 接合のポテンシャルが確認できる。真ん中の点線が接合面を表している。教科書でポアソン方程式を解くと、 $V(x) = \frac{eN_a}{2\epsilon_s\epsilon_0}(x+x_p)^2$ ($-x_p \leq x \leq 0$) の式が出てきたと思うけど、2 次の式になっている様を確認できる。



- 電荷密度分布

教科書の図のように、p, n 型領域のグラフはあっても、空乏層内は確認できない。でも、シミュレータを使うことで空乏層内の様子も確認できる。

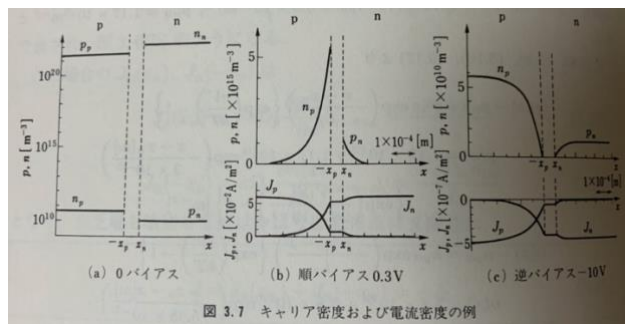


図 3.7 キャリア密度および電流密度の例

- 電流電圧特性

材料が GaAs のため、しきい電圧がかなり低いのに注意。逆方向電圧に関するシミュレータはしていないので、なだれ降伏の様子は確認できない。