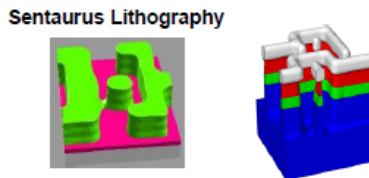
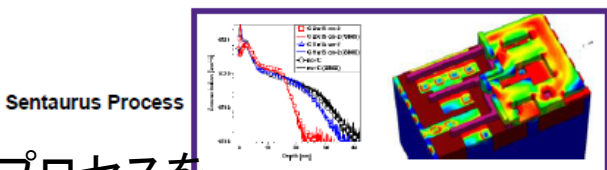




デバイスシミュレーション

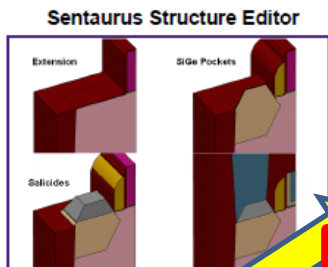
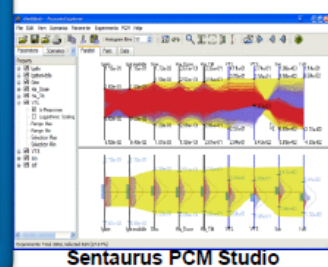
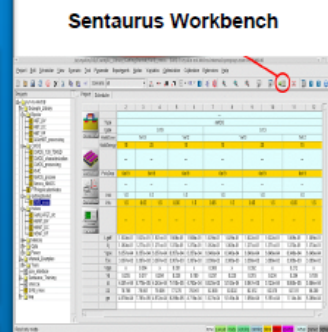
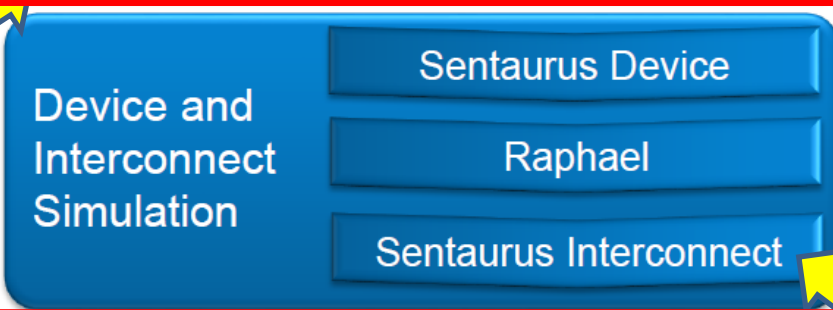
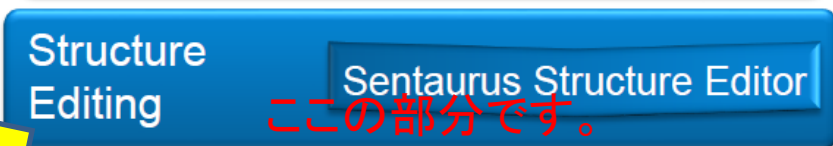
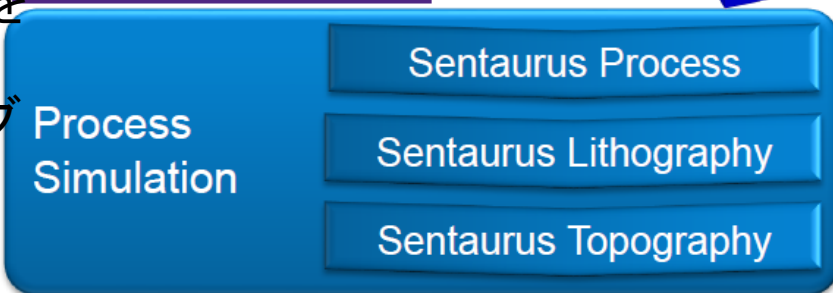
Koji Nakamura (KEK)

Sentaurusの概要

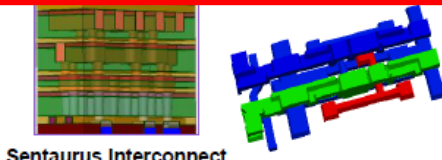
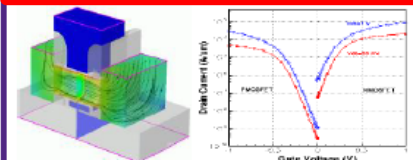


Sentaurus Topography

実際の半導体プロセスをシミュレート
ex ドーピング, エッチング



半導体プロセスをシミュレーションせずに構造を作ることができる



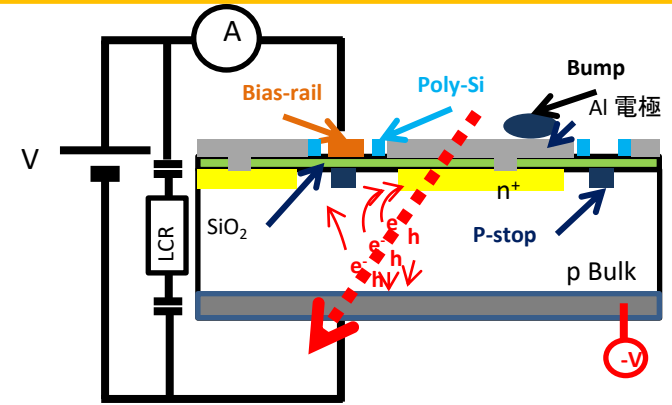
Raphael

デバイスの動作確認
IVとかCVとかMIP応答
FETの動作 etc...

今日の演習の概要

今日の演習内容の概要

- 前回コピーしては知らせてもらった Simple2D のプロジェクトを実行しながら以下のシミュレーションを試してみます。初回のスライドを思い出しながら進めてください。



- 電流-電圧特性のシミュレーション
 - ブレークダウンが起こった例
- 静電容量-電圧特性のシミュレーション
- 荷電粒子通過に対する応答

全空乏化電圧とI-V測定、C-V測定

- 逆バイアスと空乏層の厚みの関係は、

$$d(V) = \frac{\epsilon_{Si}}{C(V)} = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}V}{qN_D}}$$

D: 空乏層厚 C: 静電容量 N_D : ドープ量 ϵ : 誘電率

- 暗電流として観測できるのは空乏層でできた熱励起ehペアなので、 $I \propto d \propto \sqrt{V}$

- 静電容量

- バルク部静電容量は上の式から

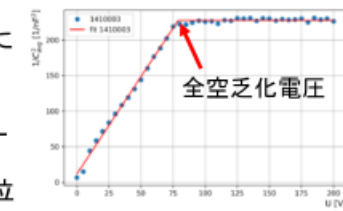
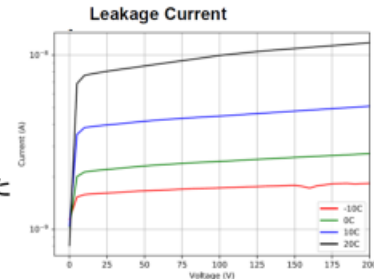
$$\frac{1}{C^2} = \frac{2V}{qN_D\epsilon_{Si}}$$

- つまり、 $1/C^2$ の V の関数での傾きがドープ量に反比例

- 全空乏化電圧

- 一度空乏層が表面に達すると静電容量は一定になる。

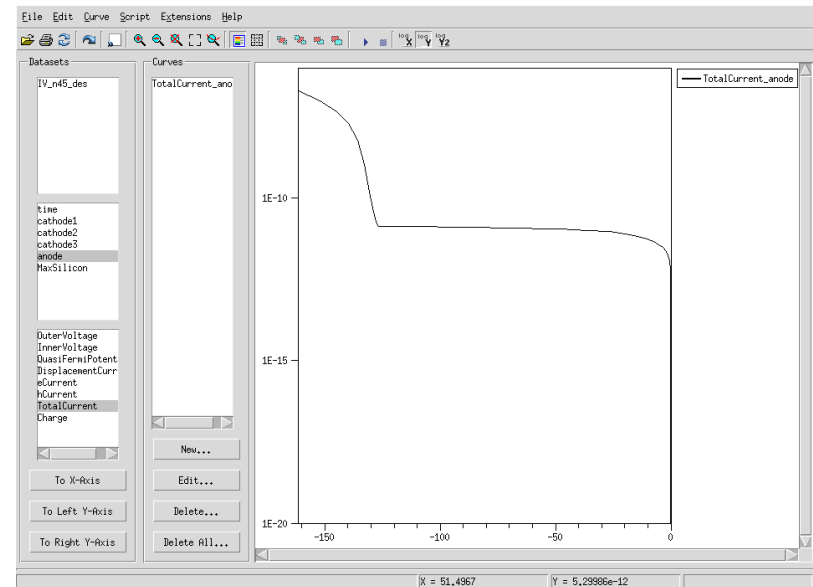
- ATLASアップグレード用は大体150umで80V位



電流-電圧特性

- 今回の構造での電流電圧特性のデバイスシミュレーションの結果
 - 逆バイアスを印加していくと $I \propto \sqrt{V}$ に従って増加
 - 電圧-130V付近で急激に電圧が上がっています。

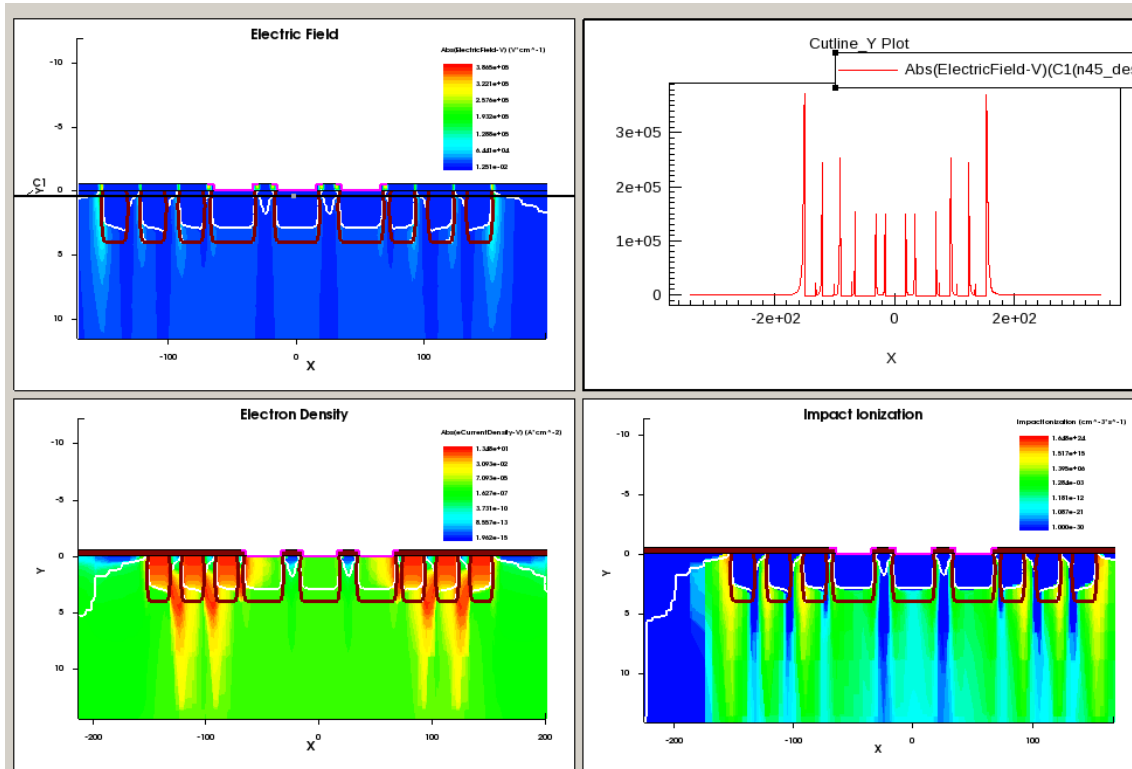
接合の降伏現象(雪崩増幅)
→ 一般にブレークダウンとかマイクロ放電という。



電流-電圧特性

- ブレークダウン時の電界と電子密度、衝突イオン化度
– 表面付近で電場が集中しているのがわかる。(>300kV/cm)

電場分布



表面付近の電場のX位置依存性

電子密度

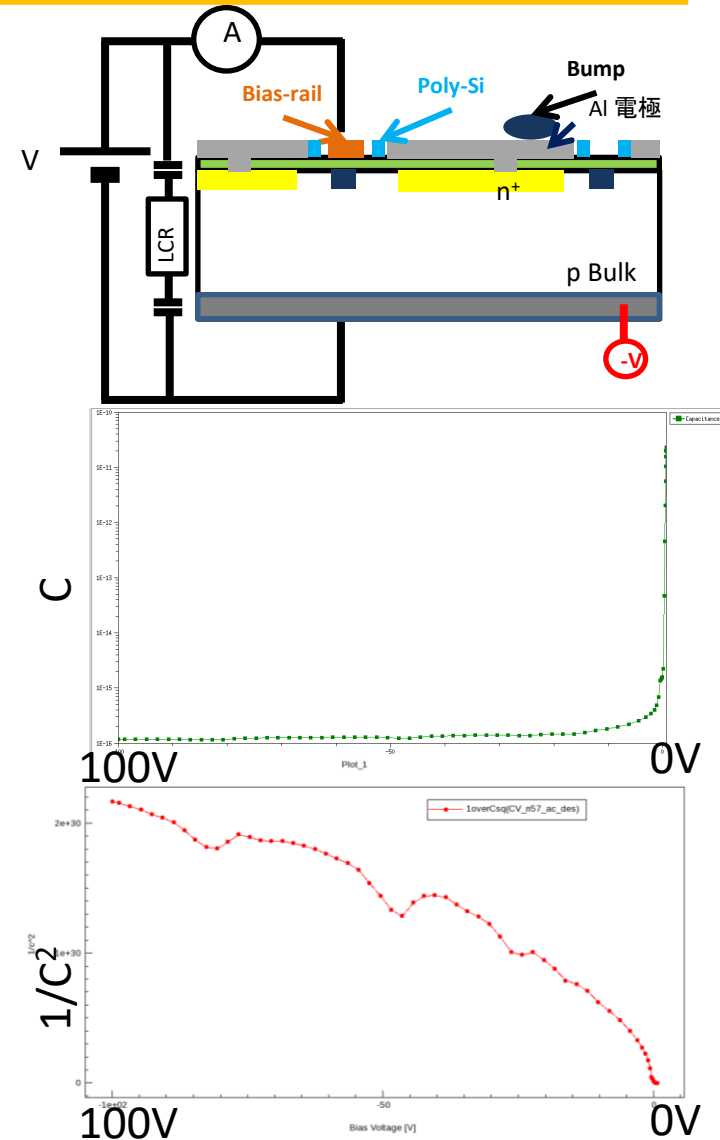
衝突イオン化度(?)

最外のガードリング付近で電場が集中している。
あまり良いガードリング構造ではないか(?)

静電容量-電圧特性

• 静電容量

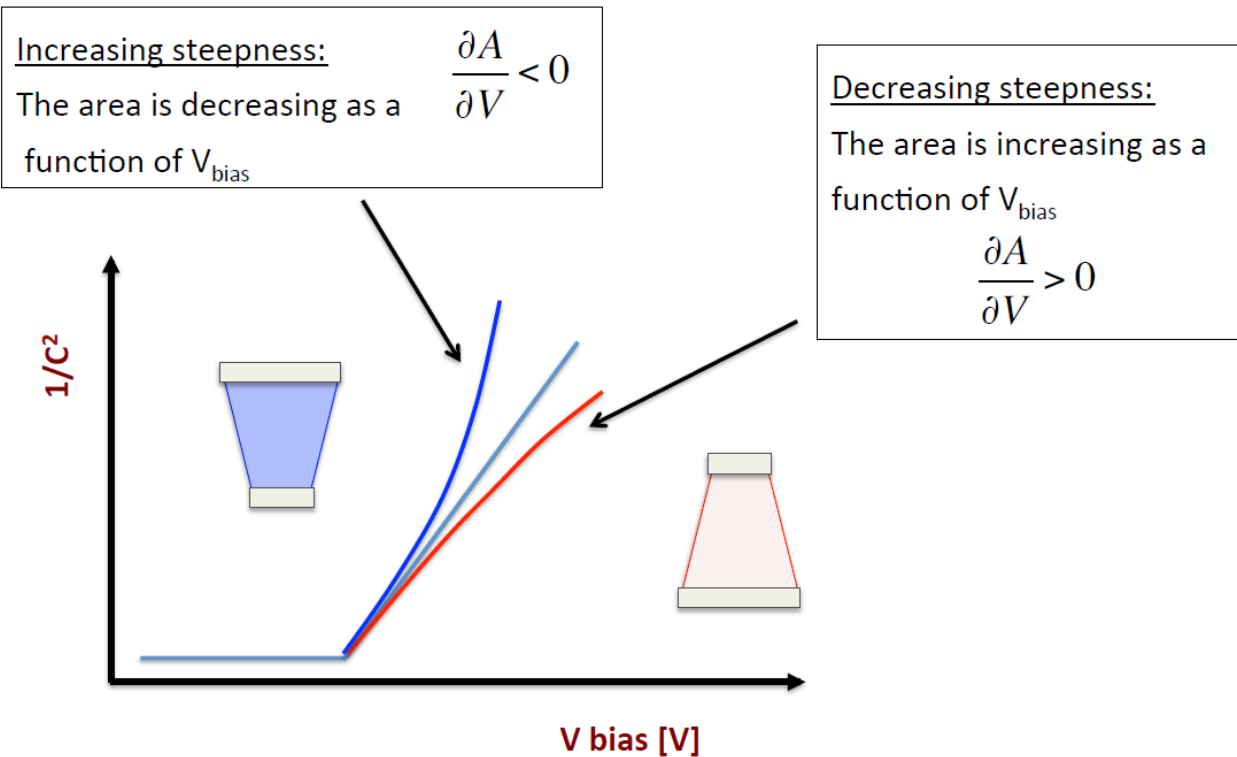
- キャリアのない空乏層領域が絶縁体の役割をして大きなコンデンサとみることができる
- 電圧を印加していくと空乏層が広がるので静電容量は小さくなっていく。
- バルク部静電容量は
$$\frac{1}{C^2} = \frac{2V}{qN_D\epsilon_{Si}}$$
- つまり、 $1/c^2$ のVの関数での傾きがドーパ量に反比例するはずだが...
- いびつな形...



(参考)静電容量-電圧特性

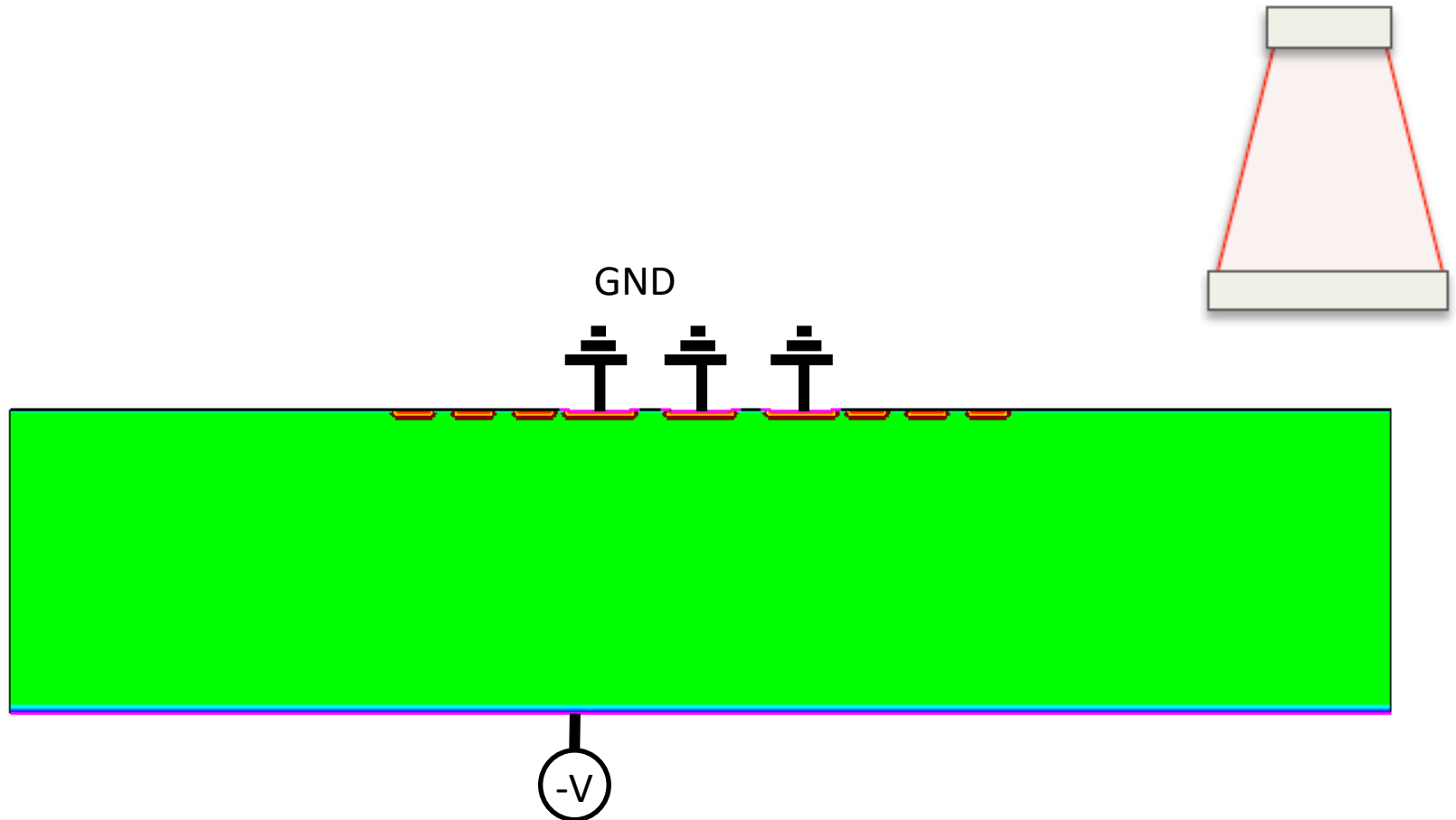
- 実際は完全な並行板コンデンサで厚みが増えていくというイメージとは少し違う。
- 表面の電極と裏面の電極のサイズの違いがあると上に凸や下に凸になる。

The slope of $1/C^2$ tell us if the sensors active area is getting larger or smaller as a function of depletion depth



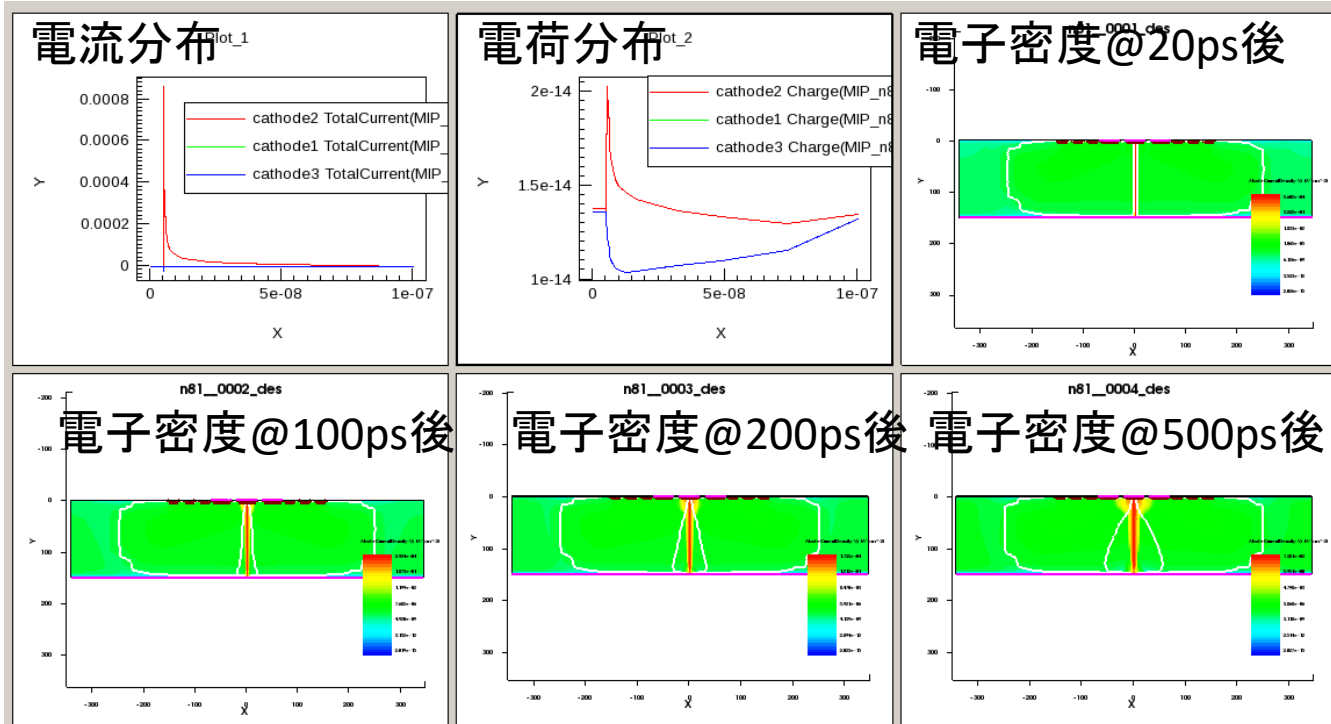
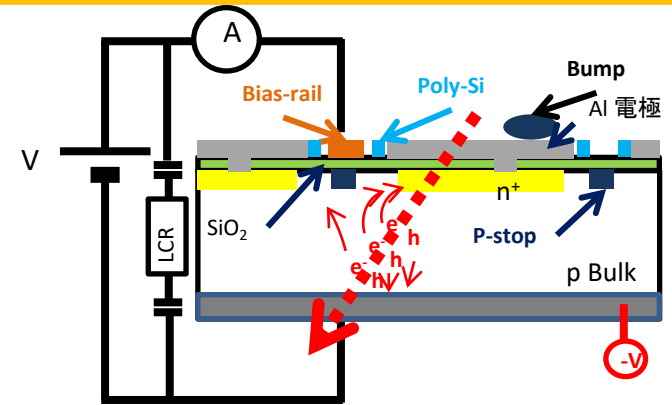
静電容量-電圧特性

- 今回の例のように非常に小さい電極を接地して、裏面に逆バイアスをかけている場合上に凸になる。
- 様々な他の原因でさらにいびつになる(?)



荷電粒子通過に対する応答

- 荷電粒子通過をシミュレーションする場合はある線に沿って電荷を置く。
- シミュレーションを始めて5ns後に電荷を置いた時のシミュレーション結果



デバイスシミュレーションの 走らせ方(コードの書き方)

一般的な書き方

- デバイスシミュレーションを走らせるための.cmdファイルは以下のSectionからなります。

File {...}	: 入出力ファイルを設定
Electrode {...}	: 電極とその初期条件を定義
Physics {...}	: 使う物理モデルをリスト(次週以降)
CurrentPlot {...}	: 出力結果を指定(特に電流、電圧など)
Plot {...}	: 各メッシュごとの電場や電子密度など
Solve {...}	: 実際になんのシミュレーションを行うかを指定
System{...}	: 外部に接続する回路などを指定

今日はSolve {...}セクションの説明をします。

他の部分の説明は今日の課題にありますので読みながら進めてください。

Solve {...} セクション

- 準定常状態(Quasi-stationary)を計算する場合
 - 電流電圧特性など
Quasistationary(電圧等のステップとゴールの条件)
{ Coupled { Poisson Electron Hole } }
 - 静電容量電圧特性など
Quasistationary(電圧等のステップとゴールの条件)
{ ACCoupled { Poisson Electron Hole } }
- 状態の時間発展(Transient)をシミュレーションする場合
 - 荷電粒子通過後の電荷の移動や電極の電位、電流など
Transient (時間のステップとゴールの条件)
{ Coupled { Poisson Electron Hole } }

Solve {...} セクション 例

電流電圧特性

電圧を変化させるステップの幅を定義 終状態が $t=1$

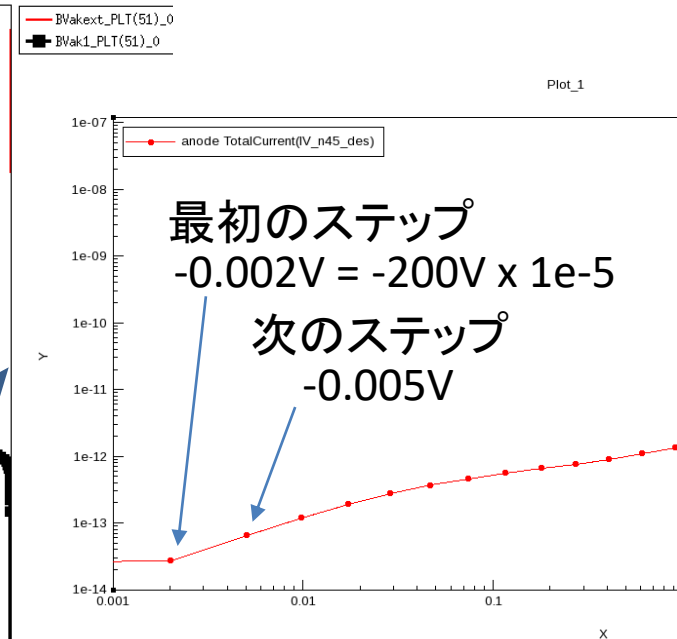
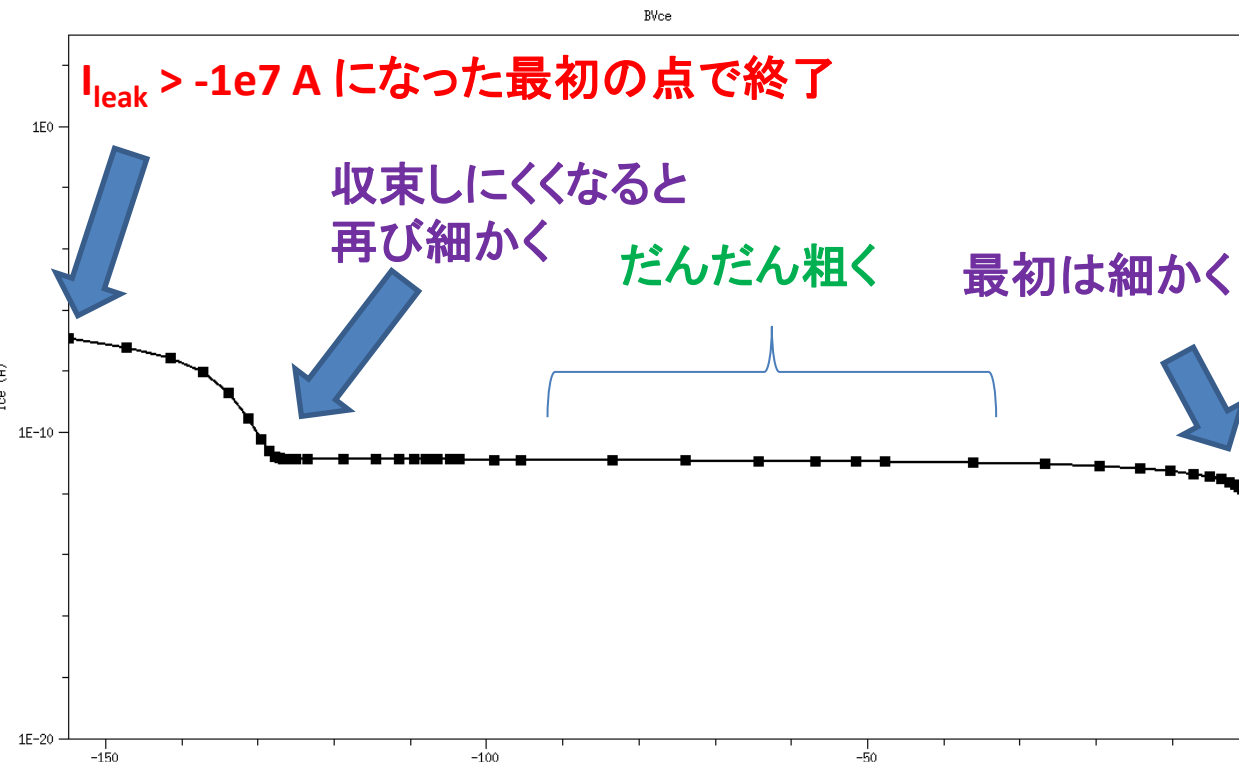
Quasistationary (DoZero MaxStep =1 MinStep =1e-8 InitialStep =1e-5 Increment=1.6 Decrement=4.0

Goal { Name="anode" Voltage=@Vop@ } 終状態Vop(-200V)まで電圧を変化させる

BreakCriteria {Current (Contact = "anode" minval = -1e-7)}

{ Coupled { Poisson Electron Hole } }

電流がこの値を超えたら終了



Solve {...} セクション 例

電流電圧特性

電圧を変化させるステップの幅を定義 終状態が t=1
Quasistationary (DoZero MaxStep =1 MinStep =1e-8 InitialStep =1e-5 Increment=1.6 Decrement=4.0
Goal { Name="anode" Voltage=@Vop@ } 終状態Vopまで電圧を変化させる
BreakCriteria {Current (Contact = "anode" minval = -1e-7)}
{ Coupled { Poisson Electron Hole } } 電流がこの値を超えたら終了

静電容量電圧特性

電圧を変化させるステップの幅を定義 終状態が t=1
Quasistationary (DoZero MaxStep=0.02 MinStep=5e-6 InitialStep=1e-4 Increment=1.6 Decrement=4.0
Goal { Parameter="va"."dc" Voltage=-100 } 終状態-100Vまで電圧を変化させる
{ ACCoupled (StartFrequency=1.0 EndFrequency=1.0 NumberOfPoints=1 Decade
LCRメータのように周波数を設定
puts "Node(\$nodelist) Exclude(\$sourcelist)") { Poisson Electron Hole }

荷電粒子通過のシミュレーション

Transient (initialtime=0 finaltime=1.0e-7 MaxStep=10 MinStep=1e-18 InitialStep=1e-10 Increment=1.6
Decrement=4.0) 時間を変化させるステップの幅を定義 単位 [s]
{ Coupled { Poisson Electron Hole } }

-
- それでは、演習を始めてください。

<http://atlaspc5.kek.jp/do/view/Main/Tutorial6thTCADDay3>