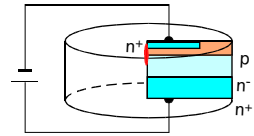


宇宙線誘起破壊 (Cosmic Ray Induced Failure)

● <300V: (α 粒子, (中性子))

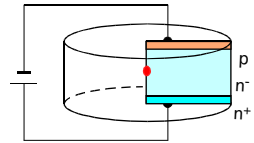
トランジスタ部分が破壊.

pinダイオードは傷んでない.



● 300V~1000V: (α 粒子, 中性子)

pinダイオードの破壊は未報告.

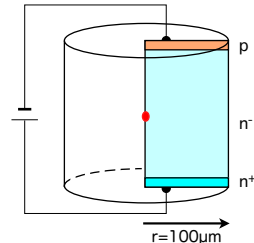


● >2000V: (中性子)

pinダイオードが破壊.

GTOs, IGBTsは同じ率で破壊.

n^- 不純物の低濃度化で明瞭な効果.



停止した中性子が甚大なキャリア(入射エネルギー/3.6eV)
を局所に発生させる.

16年7月25日月曜日

(講義資料 2016 #13-p.1) :高田

300V以下のデバイスは、飛行機、人工衛星で問題になるので、精緻な研究が行われていた。

中性子の影響は、1990年の始めに数千Vのパワーデバイスで発見され、後にICでも確認された。

高耐圧になるほどベース(i)領域が長くなるので、トランジスタ動作が起き難い。

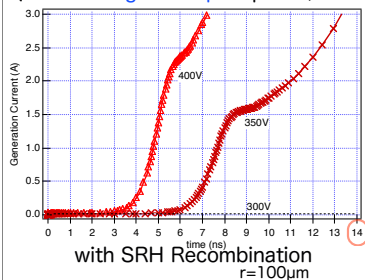
1

Single Event Upset of 50μm Diodes

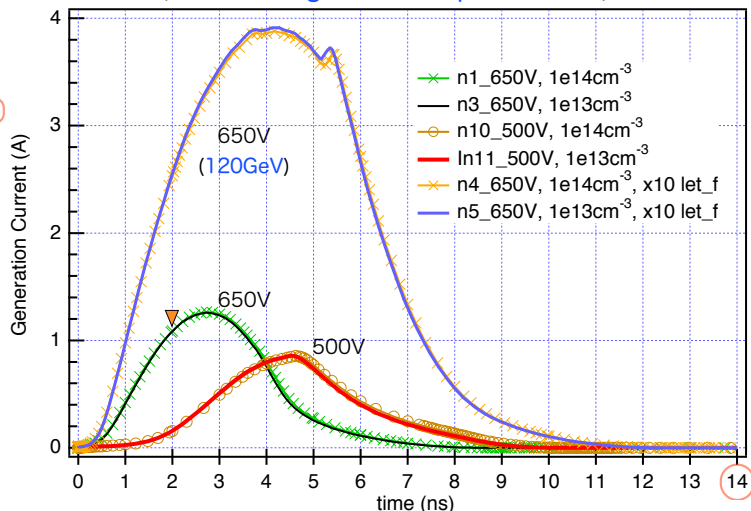
- with New Recombination model -

$$R = \sigma(v_{eff})v_{eff}(E)n_h n_e$$

(Initial Charges: $r=3\mu\text{m}$ sphere, 4GeV)



(Initial Charges: $r_{\text{sphere}}=3\mu\text{m}$, 12GeV) $r=100\mu\text{m}$



$BV_R=854\text{V}$ ($n^-:1 \times 10^{14}\text{cm}^{-3}$), $BV_R=903\text{V}$ ($n^-:1 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$)

16年7月25日月曜日

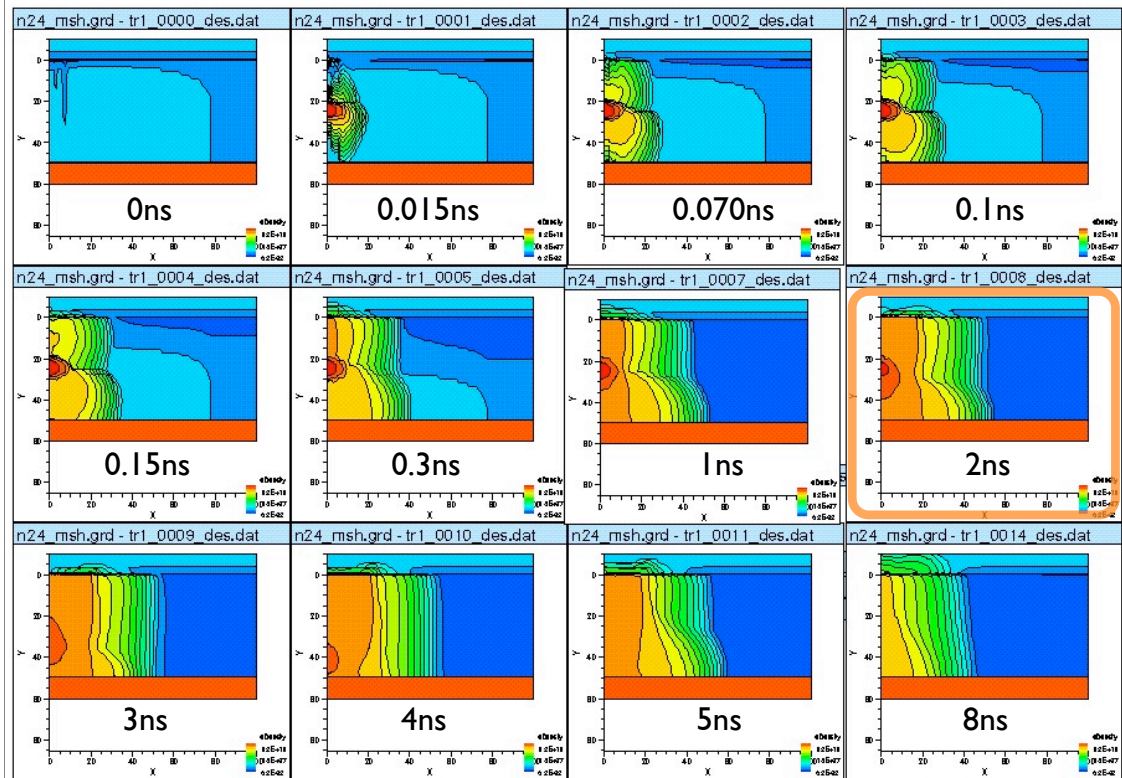
(講義資料 2016 #13-p.2) :高田 (シミュレーションした円筒ダイオードの断面半径は100μm)

新しい再結合モデルを使うと、 $\approx 600\text{V}$ ダイオードでも発生電流は継続しなくなった。

n^- 領域の不純物濃度を1桁変えてもほとんど変化しない。

2

Electron Density (650V, 50μm, 1x10¹⁴cm⁻³)



16年7月25日月曜日

3

(講義資料 2016 #13-p.3) :高田

600V円筒ダイオード(断面半径は100μm)の中心線から外周までの断面の自由電子密度 n_e 分布の時間変化。

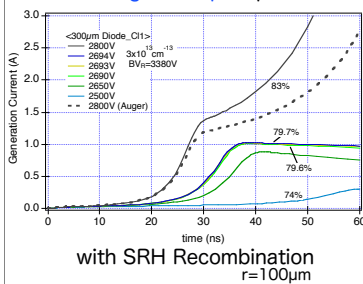
新しい再結合モデルを使っている。

Single Event Upset of 300μm Diodes

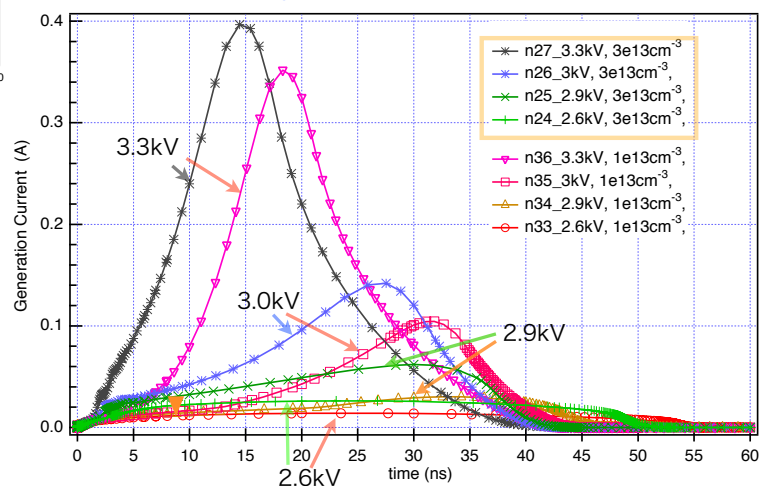
- with New Recombination model -

$$R = \sigma(v_{eff})v_{eff}(E)n_h n_e$$

Initial Charges: $r=3\mu\text{m}$ sphere, 12GeV



(Initial Charges: $r=3\mu\text{m}$ sphere, 12GeV) $r=100\mu\text{m}$



$BV_R=3380\text{V}$ ($n_i:3\times10^{13}\text{cm}^{-3}$), $BV_R=4220\text{V}$ ($n_i:1\times10^{13}\text{cm}^{-3}$)

16年7月25日月曜日

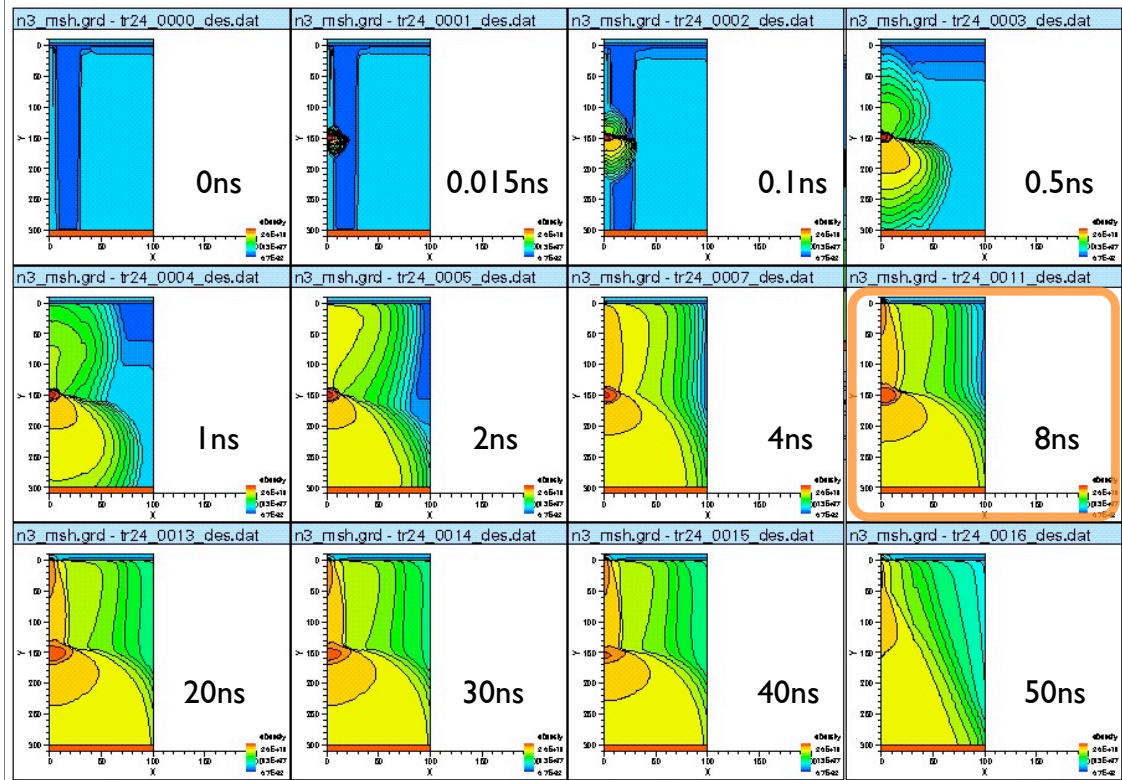
4

(講義資料 2016 #13-p.4):高田 (Simulationした円筒ダイオードの断面半径は100μmである)

新しい再結合モデルを使うと、 $\approx 3000\text{V}$ ダイオードでも発生電流は継続しない。

比抵抗による差は !!?

Electron Density (2600V, 300 μ m, $3 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$)

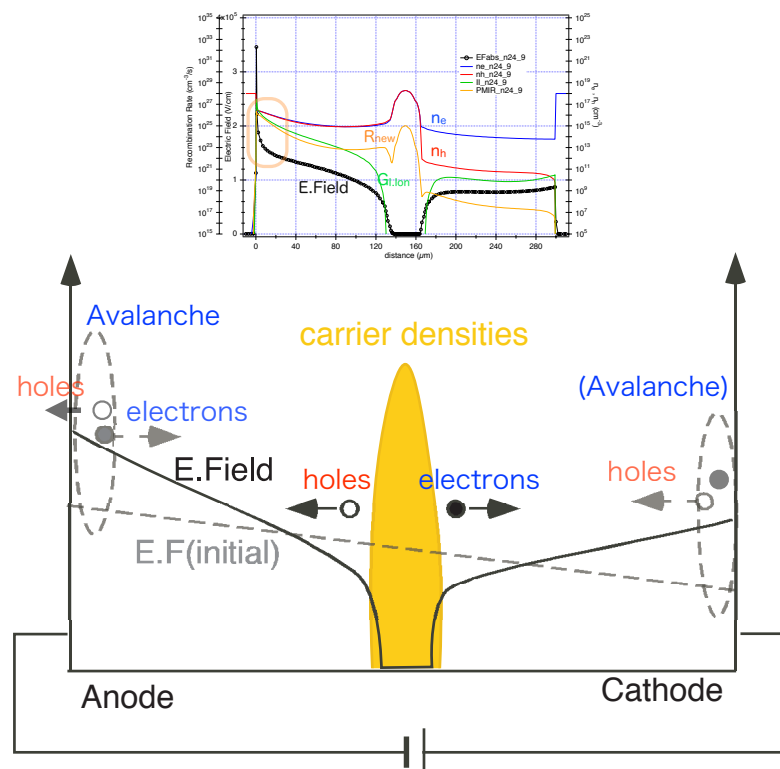


16年7月25日月曜日

(講義資料 2016 #13-p.5):高田
前の図で、青い矢印で示した条件。

5

Initially Generated Carriers and Their Effects



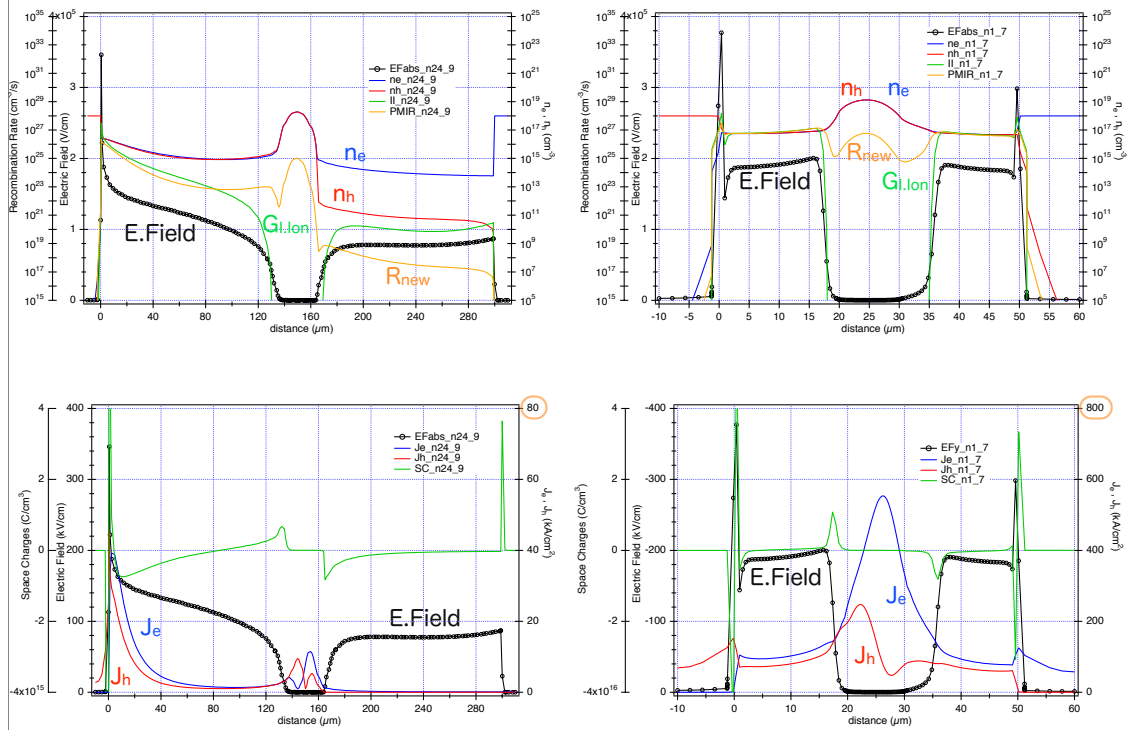
16年7月25日月曜日

(講義資料 2016 #13-p.6) :高田

中央は、高エネルギー粒子停止によって発生した電荷($n_h \approx n_e$)が拡散した領域。
高密度キャリア存在部の電界強度は ≈ 0 となり、移動する電荷に応じて傾きも変わる。

6

Comparison of 300μm Diode & 50μm Diode



16年7月25日月曜日

7

(講義資料 2016 #13-p.7): 高田 12GeV粒子がダイオード中央で停止,
6ns(300μm Di: 2.6kV, $3 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$)と1ns(50μm Di: 650V, $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$)の内部分布。
50μm Diでは、正孔と自由電子の密度が高く、均一な領域が広がっている。
そこは安定な状態。なぜならば、発生速度 = 消滅速度。

結論 (宇宙線破壊)

❶ 従来のシミュレーションは深刻な矛盾をもたらす。

根本的な再考察が必要！

❷ キャリアの基本反応 (正孔 $\leftrightarrow$ 自由電子)の見直し

言わば- 固体中の化学反応 -

❸ 新しい再結合機構は包括的な解決をもたらす。

それは衝突電離作用の逆過程である。

$$R_d = \sigma v_{\text{eff}} n_h n_e,$$

$$G_{II} \approx \alpha_e v_s n_e,$$

$$\alpha_e \propto n_h^*$$

❹ 短いn-ダイオードは平衡状態によって安定足り得る。

❺ (長いn-ダイオードの破壊は局所アバランシェで起こる)

破壊は数nsで始まる。

16年7月25日月曜日

8

(講義資料 2016 #13-p.8) : 高田

反応断面積 σ に適当なエネルギー依存性をもたせた直接再結合モデルを用いると、継続電流は発生しない
<今回の講義のまとめは、講義資料としてup-loadしている“宇宙線誘起破壊の概略”を参照されたい>