

# Воздействие радиации на вольтамперную характеристику силовых диодов и тиристоров

---

Матюхин С.И., Гришин В.О.

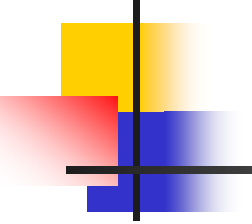
Госуниверситет – УНПК, г. Орёл



## Источники радиации:

---

- Ускорители частиц  
(научные исследования)
- Ядерные реакторы  
(атомная энергетика)
- Радиационные пояса Земли,  
космическое излучение  
(космические исследования и  
межпланетные перелеты)



# Механизмы воздействия радиации на полупроводники:

---

Ионизация атомов и образование  
радиационных дефектов



Образование энергетических уровней  
дефектов в запрещенной зоне полупроводника



Снижение времени жизни неосновных НЗ;  
Снижение концентрации НЗ;  
Изменение подвижности НЗ;  
Изменение удельного сопротивления кремния

# Традиционные представления о воздействии радиации на ВАХ диодов

$$U_{\text{пр}} = U_{p-n} + U_{\text{б}}$$

$$U_{p-n} = \frac{mkT}{q} \left( \ln \frac{j_{\text{пр}}}{q\Pi} + M \ln \tau \right), \quad \text{- уменьшается за счет уменьшения } \tau$$

$$U_{\text{б}} = \frac{j_{\text{пр}} W_{\text{б}}}{\sigma} \quad \text{- возрастает за счет уменьшения электропроводности базы } \sigma$$

т.е. пороговое напряжение  $U_{\tau}$  падает, дифференциальное сопротивление  $r$  растет, обратный ток меняется слабо

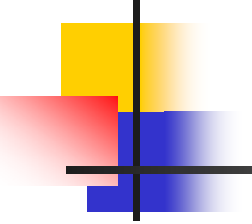
Таперо К.И. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения,- М.: БИНОМ, 2012. С. 67-71.



## Используемые допущения:

---

- Невысокие уровни инжекции
- Сравнительно низкие плотности токов (до  $50 \text{ A/cm}^2$ )
- Взаимодействие инжектированных носителей только с глубокими примесными уровнями, играющими роль центров рекомбинации и прилипания



# Особенности режимов работы силовых диодов и тиристоров:

---

- Высокие уровни инжекции
- Высокие плотности токов (свыше  $50 \text{ A/cm}^2$ )
- Существенная роль эффектов, обусловленных взаимодействием НЗ друг с другом: снижение коэффициентов инжекции эмиттерных переходов, электронно-дырочное рассеяние (ЭДР), появление Оже-рекомбинации



# Модель прямой ветви ВАХ СИЛОВЫХ ДИОДОВ И ТИРИСТОРОВ

---

$$U_F \approx U_{pn} + U_B + U_{ee} + U_A$$

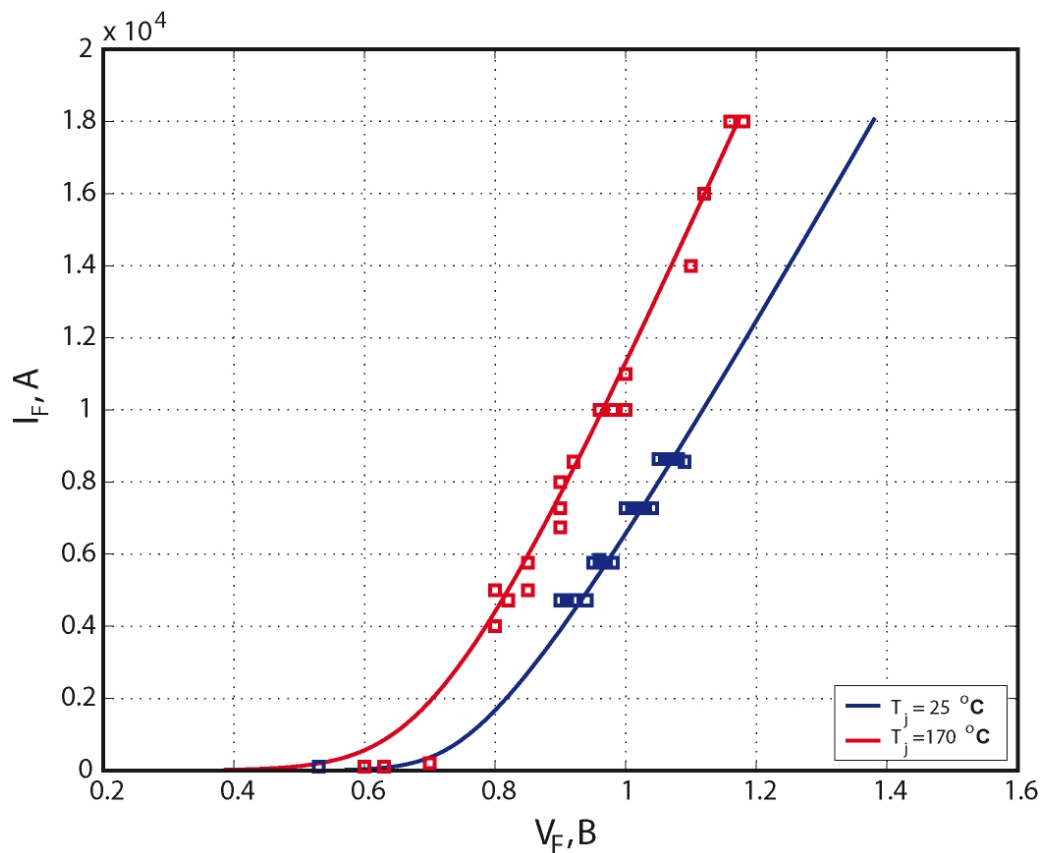
$$U_{pn} \approx \frac{\eta kT}{e} \ln \left( \frac{I_F}{I_{Si}} \right) \quad - \text{ вклад } p\text{-}n\text{-перехода}$$

$$U_B \approx \frac{1.5kT}{e} \exp \left( \frac{W_B}{2\Lambda_{pB}} \right) \quad - \text{ вклад базы}$$

$$U_{ee} \approx \frac{W_B I_F}{16S_0 \left( \frac{T}{300} \right)^\beta} \quad - \text{ вклад электронно-дырочного рассеяния}$$

$$U_A \approx \frac{[C_n(T) + C_p(T)] \tau_{pB}^2}{e^2 (\mu_{nB} + \mu_{pB})} \left( \frac{I_F}{S_0} \right)^2 \quad - \text{ вклад Оже-рекомбинации}$$

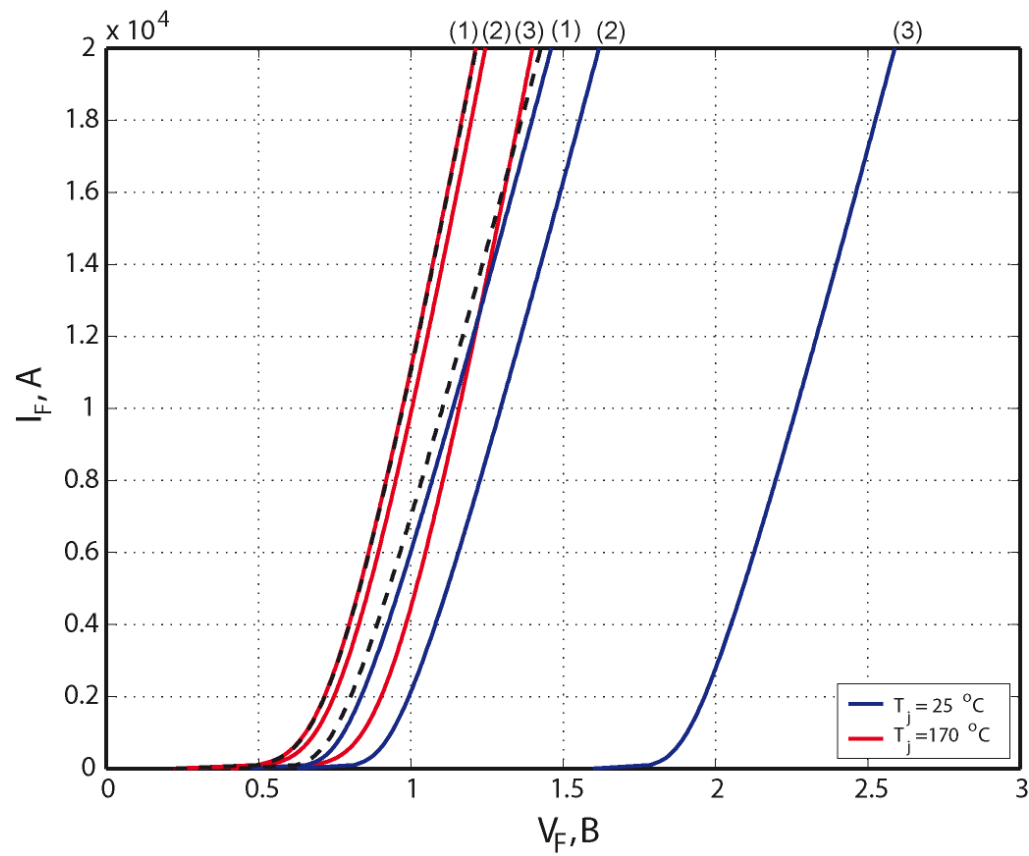
# Модель прямой ветви ВАХ силовых диодов и тиристоров



Сварочный диод Д053-7100  
ЗАО «Протон-Электротекс», г.Орёл



# Результаты моделирования воздействия радиации (нейтроны)



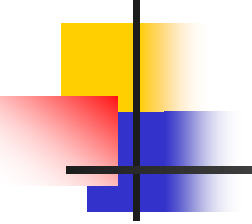
Флюенс [ $1/\text{cm}^2$ ]: (1) –  $3 \times 10^{11}$ , (2) –  $1 \times 10^{12}$ , (3) –  $3 \times 10^{12}$   
Пунктир – положение исходных кривых



# ВЫВОДЫ:

---

- действие радиации приводит к увеличению порогового напряжения и обратного тока СПП; дифференциальное сопротивление СПП практически не меняется
- изменение характеристик СПП связано, в основном, с деградацией времени жизни НЗ; изменение концентрации и подвижности НЗ на ВАХ СПП практически не сказывается
- увеличение порогового напряжения обусловлено опережающим (в сравнении с падающим напряжением р-п-перехода) ростом напряжения на базе СПП; напряжение, обусловленное ЭДР практически не меняется
- дифференциальное сопротивление СПП определяется, в основном, процессами ЭДР; оно может слабо меняться в той области токов и в тех приборах, в которых существенными становятся процессы Оже-рекомбинации



# Воздействие радиации на вольтамперную характеристику силовых диодов и тиристоров

Матюхин С.И., Гришин В.О.

Госуниверситет – УНПК, г. Орёл