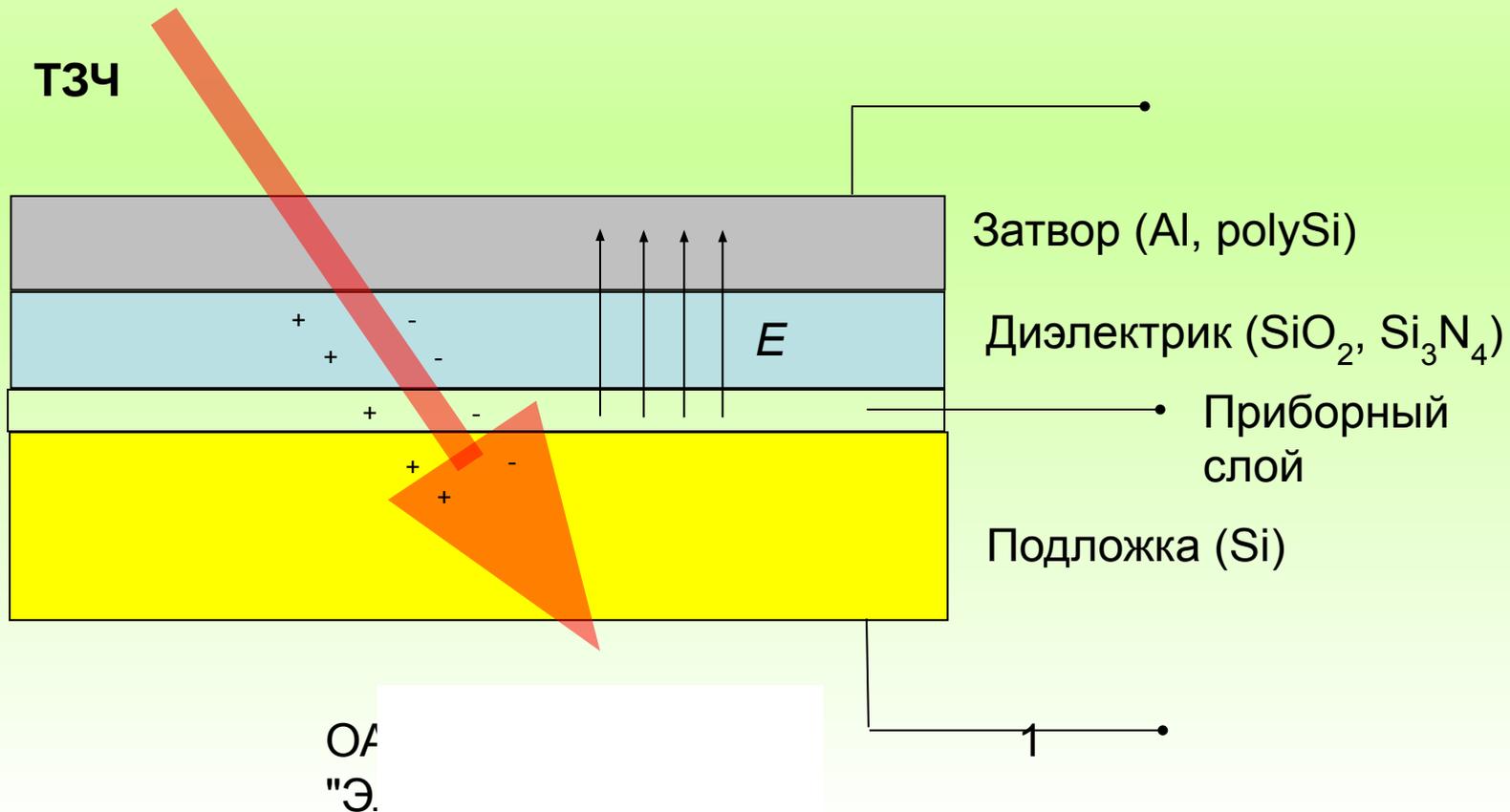


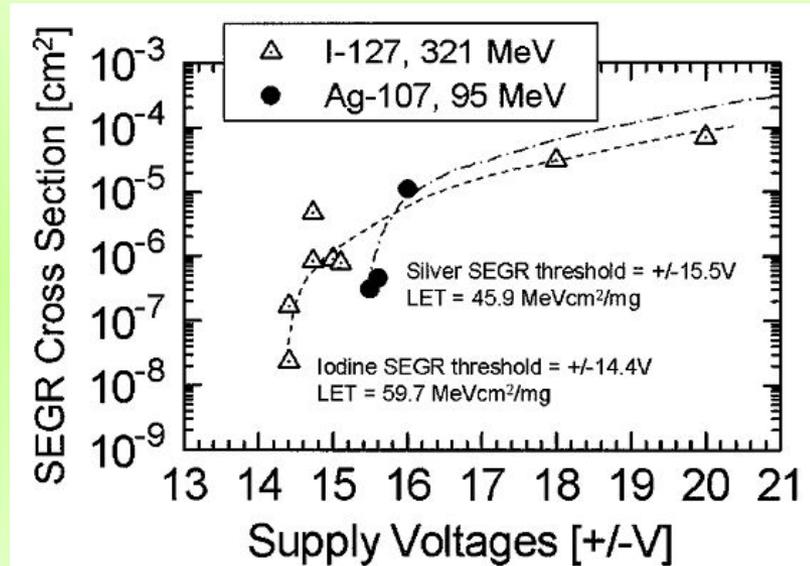
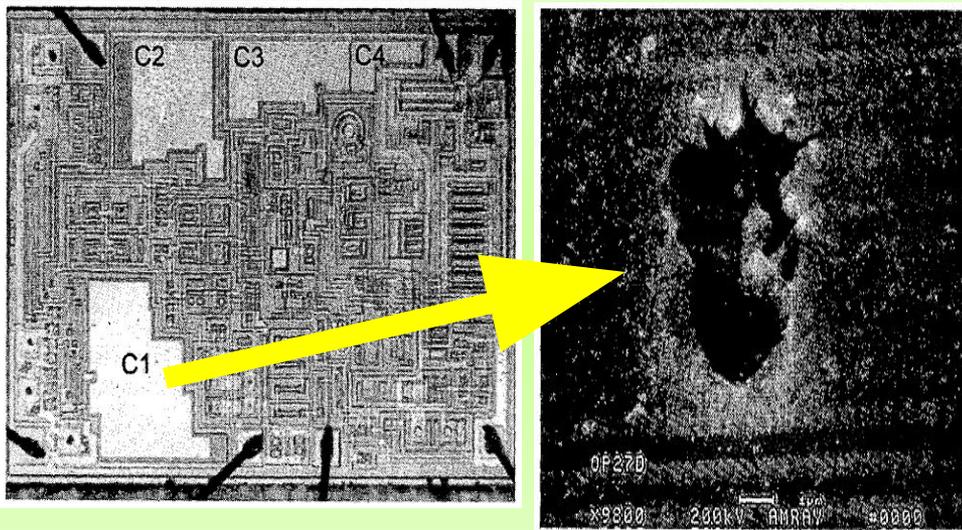
1. Что такое SEGR?

SEGR = **S**ingle **E**vent **G**ate **R**upture
(одиночный эффект пробоя затвора)



2. В каких классах изделий наблюдается SEGR?

- Пробой интегральной корректирующей емкости на кристаллах ОУ



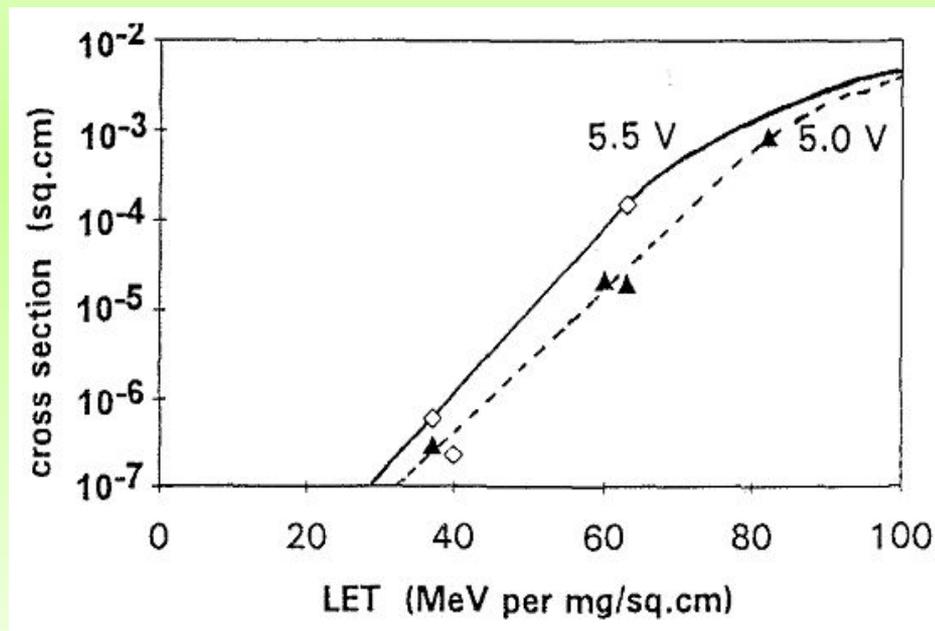
G.K.Lum et al, "The impact of single event gate rupture in linear devices", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 47 (6), pp. 2373-2379, Dec.2000

N.Boruta et al, "A new physics-based model for understanding single-event gate rupture in linear devices", *IEEE TNS*, vol. 48, No. 6, pp. 1917-1924, Dec. 2001.

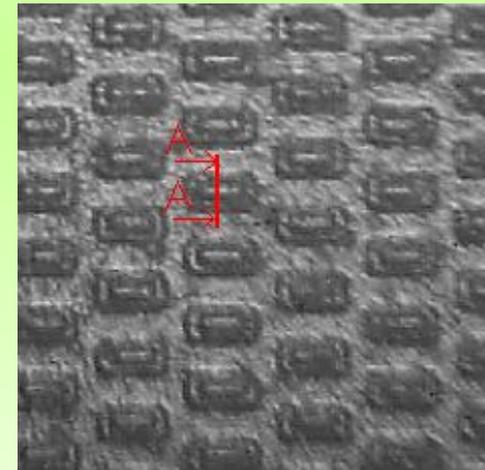
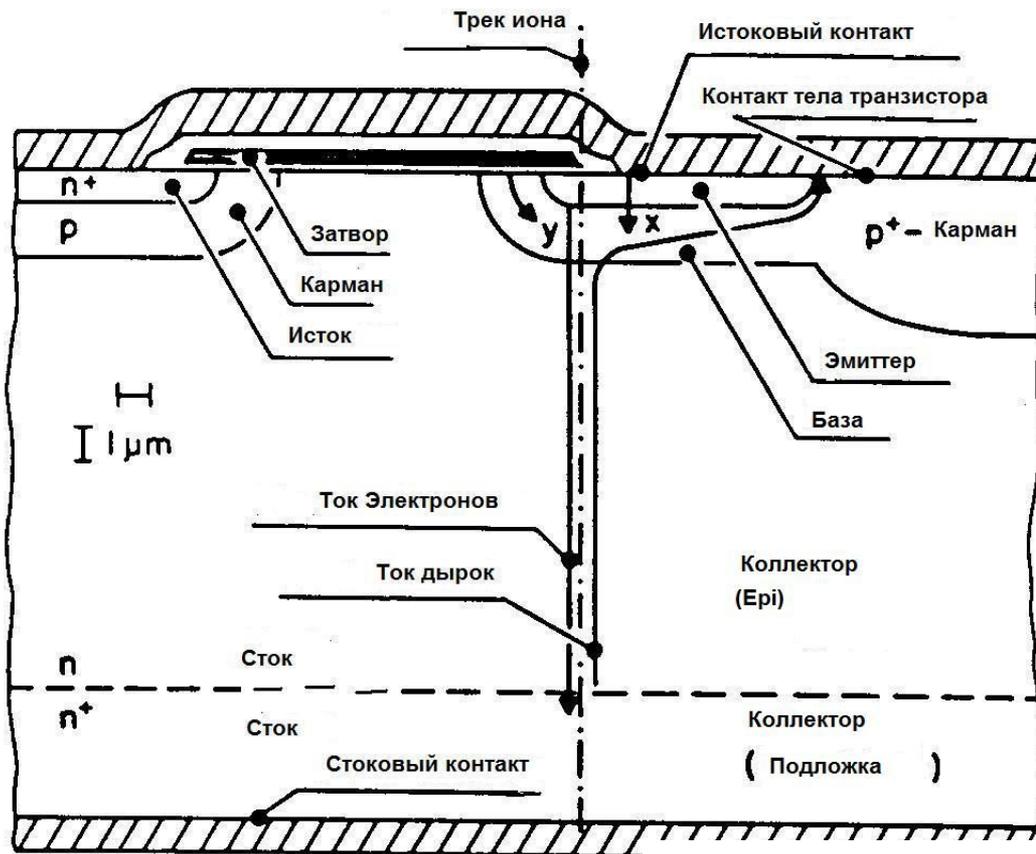
- Необратимые повреждения ячеек памяти в ЭППЗУ и ДОЗУ
(J.T.Blandford et al, "Cosmic ray induced permanent damage in MOS EAPROMs", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. NS-31 (6), pp. 1568-1560, Dec.1984, G.M.Swift et al, "A new class of single event hard errors", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 41, No. 6, pp. 2043-2048, Dec.1994)

- SEDR (**S**ingle **E**vent **D**ielectric **R**upture) эффект в ПЛИС технологии «antifuse»

(G.Swift, R.Katz,
"An experimental survey
of heavy ion induced dielectric
rupture in Actel field
programmable gate arrays",
IEEE Trans. Nucl. Sci.,
vol. 43, pp. 967-972,
1996)

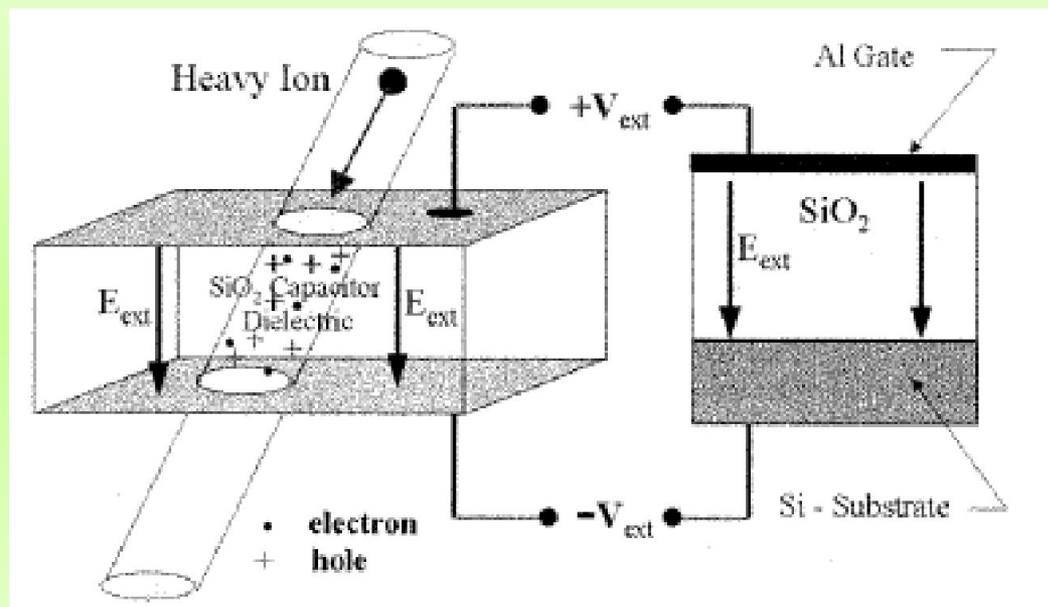


- пробой подзатворного диэлектрика в мощных МОП-транзисторах с вертикальной структурой (первое наблюдение - T.Fisher, "Heavy-ion induced gate-rupture in power MOSFETs", *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. NS-34 (6), pp. 1786-1791, 1987)



3. Физика эффекта

3.1. «Вклад» диэлектрика.



N.Boruta et al, "A new physics-based model for understanding single-event gate rupture in linear devices", IEEE TNS, vol. 48, No. 6, pp. 1917-1924, Dec. 2001

При падении под углом, отличным от нормали, чувствительность к SEGR снижается

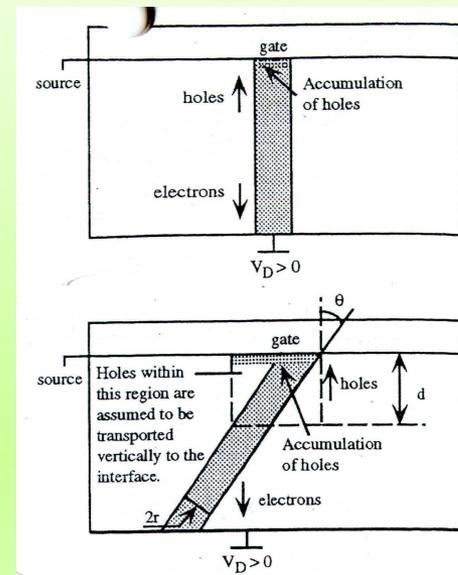
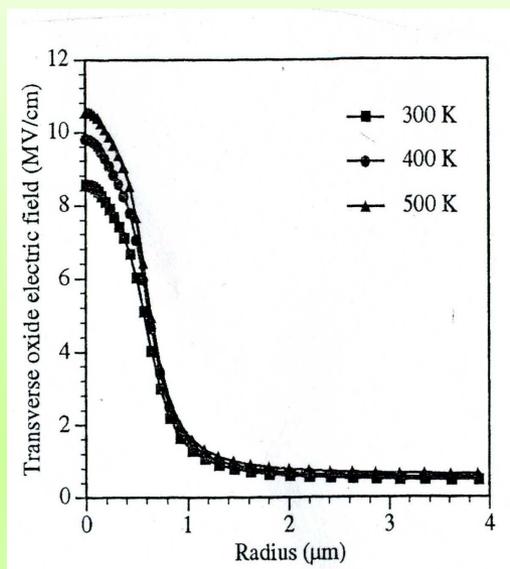
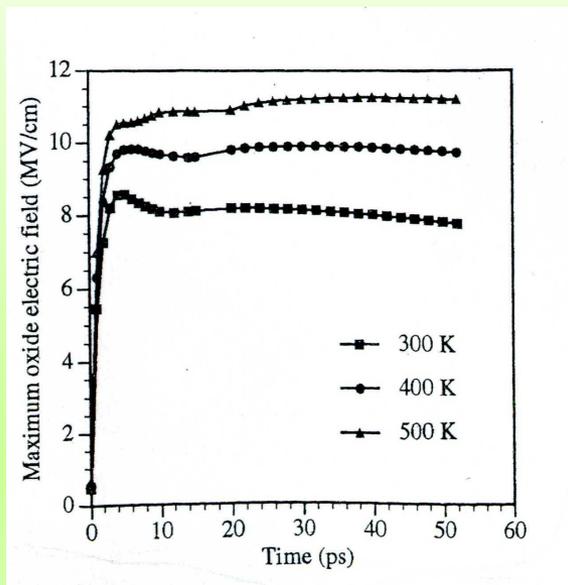
- «квадратичная» модель ($LET \sim 1/E^2$)

A. H. Johnston, C. I. Lee, B. G. Rax, and D. C. Shaw, "Using Commercial Semiconductor Technologies in Space," Proceedings of the Third RADECS Conference, pp. 175-182 (1995).

- «линейная» модель ($LET \sim 1/E$)

- зависимость от атомного номера тяжелой частицы (J.L. Titus et al, "Effect of ion energy upon dielectric breakdown of the capacitor response in vertical power MOSFETs" , *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, vol. 45 (6), pp. 2492-2499, Dec.1998.

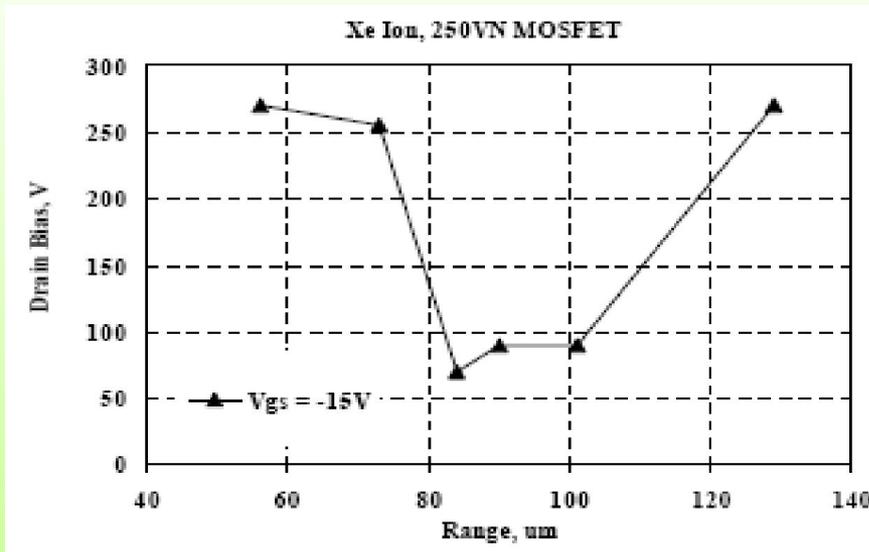
3.2. «Вклад» подложки.



I.Mouret, M.Allenspach, R.D.Schrimpf, J.R.Brews, K.F.Galloway ,
“Temperature and angular dependence of substrate response in SEGR”,
IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 41 (6), pp. 2216-2221, Dec.1994.

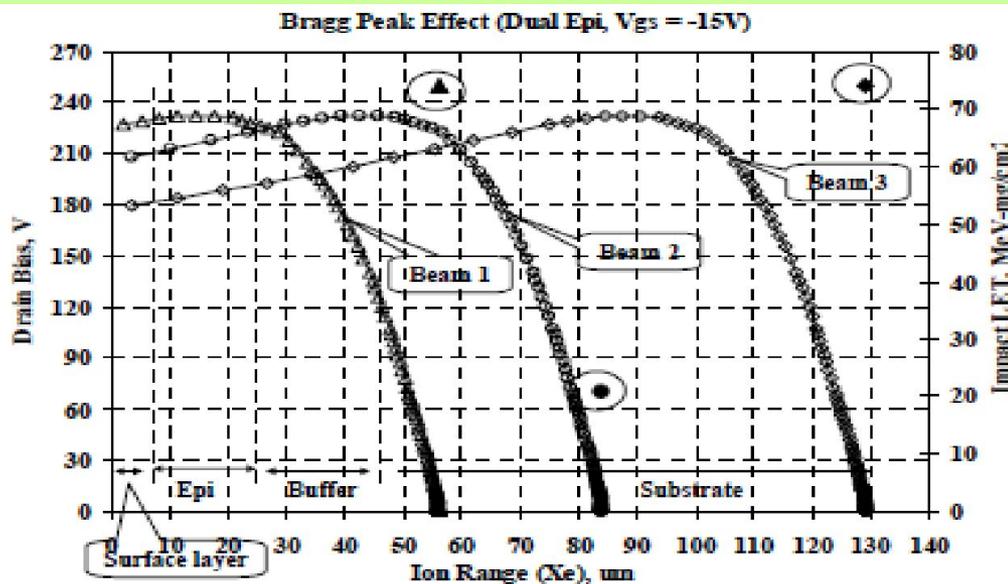
Определяется интегральным энерговыделением ТЗЧ в чувствительной области прибора.

Наибольшая чувствительность при нормальном падении.



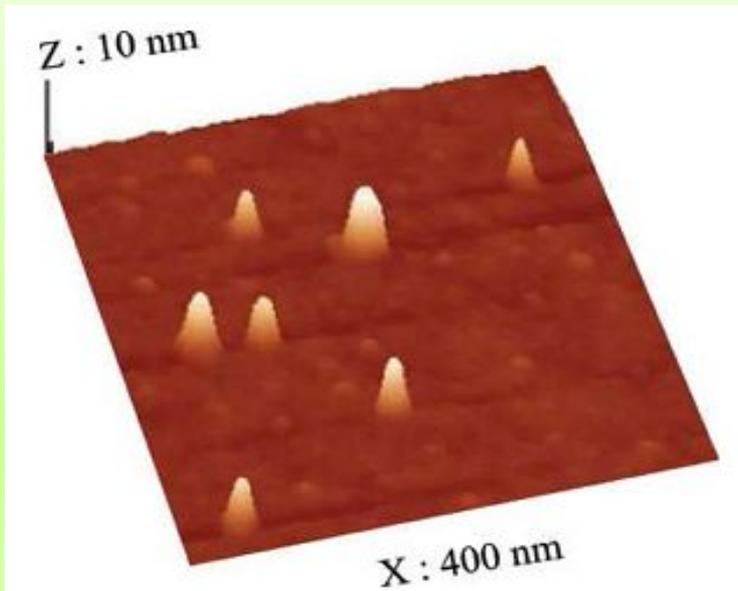
Sandra Liu, Jeffery L. Titus, Christopher DiCienzo, Huy Cao, Max Zafrani, Milton Boden, "Recommended test conditions for SEB evaluation of planar power DMOSFETs", IEEE 2008 NSREC

paper No. PC-3



Of
"3.

3.3. Латентные дефекты



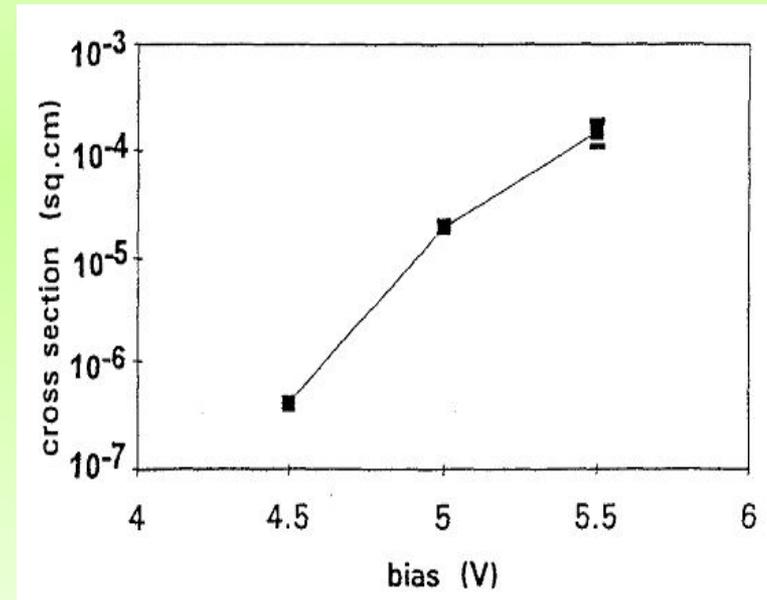
Вид поверхности раздела Si-SiO₂ после облучения ионами Au 210 МэВ, полученный методом атомно-силовой микроскопии (M.Mariony et al, “Contribution of Latent Defects Induced by High-Energy Heavy Ion Irradiation on the Gate Oxide Breakdown”, IEEE TNS, vol.56, №4, Aug. 2009)

После каждого сеанса облучения необходимо проводить испытание целостности затвора при максимальном напряжении питания

4. Основные закономерности

1. Эффект имеет катастрофический характер.
1. Максимальная чувствительность к эффекту наблюдается при нормальном падении ионов.
2. Очень сильная зависимость от электрического режима (чем выше напряжение, тем больше чувствительность).

G.Swift, R.Katz,
“An experimental survey
of heavy ion induced dielectric
rupture in Actel field
programmable gate arrays”,
IEEE Trans. Nucl. Sci.,
vol. 43, pp. 967-972,
1996



3. Зависимость от температуры слабая.

6. Как испытывать на SEGR?

6.1. Какие установки использовать?

- механизм SEGR включает локализованную ионизацию диэлектрика, что препятствует применению для имитации этого эффекта лазерных и импульсных гамма-установок
- для мощных МОП-транзисторов над кристаллом находятся слои металлизации и пассивации (для изделий современной технологии их толщина оценивается обычно на уровне 7 мкм), поэтому исключается использование для моделирования SEGR источников ТЗЧ на основе изотопа Cf²⁵²

Вывод: можно использовать только моделирующие установки (в случае мощных МОП-транзисторов – только ускорители частиц)

6.2. В каком виде представлять результаты испытаний?

Область безопасной работы изделий (допустимые значения напряжений при воздействии ТЗЧ с заданными ЛПЭ)

№ п/п	Тип МОПТ	Максимальное напряжение сток-исток U_{ds_max} , В	Напряжение пробоя сток-исток (при воздействии ТЗЧ с ЛПЭ 40 МэВ·см ² /мг и $U_{gs} = 0$ В) U_{ds_SEGR} , В	U_{ds_SEGR} / U_{ds_max} , %
1	IRFP360	400	400	100
2	IRF7494	150	140	93,3
3	IRFS52N15D	150	70	46,7
4	IRF1310NS	100	60	60
5	IRFP90N20D	200	70	35
6	IRLI2910	100	60	60

7.3. В каких еще условиях может наблюдаться SEGR ?

В мае 2012 г. при облучении на нейтронном пучке атмосферного спектра зафиксирован SEGR в МОП-транзисторах типа IRL630 (сечение $\sigma_{\text{SEGR}} \approx 4 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2$)

Выводы.

1.Исследователю.

SEGR нуждается в дополнительном изучении для построения адекватной физической модели.

2.Испытателю.

- Испытания допускается проводить только на моделирующих установках (ускорителях частиц). При этом, как правило, достаточно испытаний на ускорителях ионов
- Облучение можно проводить при нормальном падении ионов на поверхность кристалла при комнатной температуре окружающей среды
 - Энергия ионов должна обеспечивать их проникновение на всю толщину эпитаксиального слоя
- Выборки изделий для испытаний на SEGR должны составлять 10 шт. и более

3.Разработчику РЭА.

Меры по повышению стойкости РЭА к SEGR:

- Применение ЭКБ с минимальными топологическими нормами (при подтвержденном уровне ее стойкости к другим видам ОРЭ)
 - Снижение напряжения питания.