

# Дозиметр ионизирующего излучения на основе двухслойного полуплавающего затвора

И.С. Зеленова, Р.Р. Кинзябулатов, В.В. Перепеловский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

**Аннотация:** в данной работе приводятся результаты моделирования дозиметра ионизирующего излучения с двухслойным полуплавающим затвором. Дозиметр представляет собой n-p-n структуру с двумя двухслойными полуплавающими затворами, состоящим из слоев нитрида кремния и кремния p-типа. Численное моделирование проводилось в среде Synopsys Sentaurus TCAD. В работе исследована зависимость порогового напряжения от поглощаемой дозы гамма-излучения. Приведено сравнение чувствительности дозиметров различной конструкции.

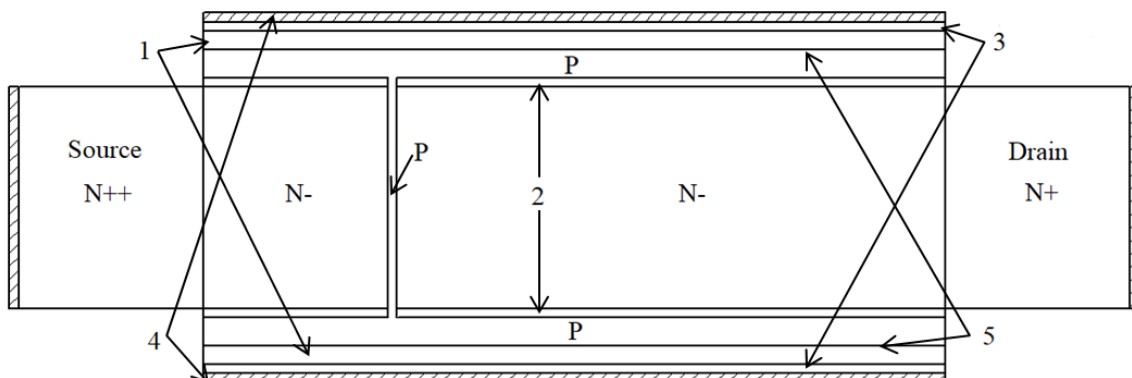
**Ключевые слова:** дозиметр, гамма-излучение, двухслойный полуплавающий затвор, Synopsys Sentaurus TCAD

## 1. Введение

В настоящее время от дозиметров ионизирующего излучения требуется высокая чувствительность к ионизирующему излучению. Решению этой задачи было посвящено несколько работ [1-3], в которых предложены варианты увеличения чувствительности и уменьшения энергопотребления. В данной работе предлагается способ увеличения чувствительности прибора, посредством создания двухслойного полуплавающего затвора. Моделирование дозиметра проводилось в среде Synopsys Sentaurus TCAD [4-6].

## 2. Топология устройства

Топология моделируемого дозиметра ионизирующего излучения представлена на рисунке 1. Устройство представляет собой n-p-n структуру (double diode – DD) с двумя двухслойными полуплавающими затворами (double layer semi-floating gate – DLSFG) и управляющими затворами (control gate – CG). DLSFG представляет собой двухслойную структуру, состоящую из нитрида кремния и кремния P-типа.



**Рисунок 1.** Топология дозиметра: 1 – слой нитрида кремния, 2 – подзатворный диэлектрик, 3 – блокирующий диэлектрик, 4 – управляющий затвор (CG), 5 – двухслойный полуплавающий затвор (DLSFG).

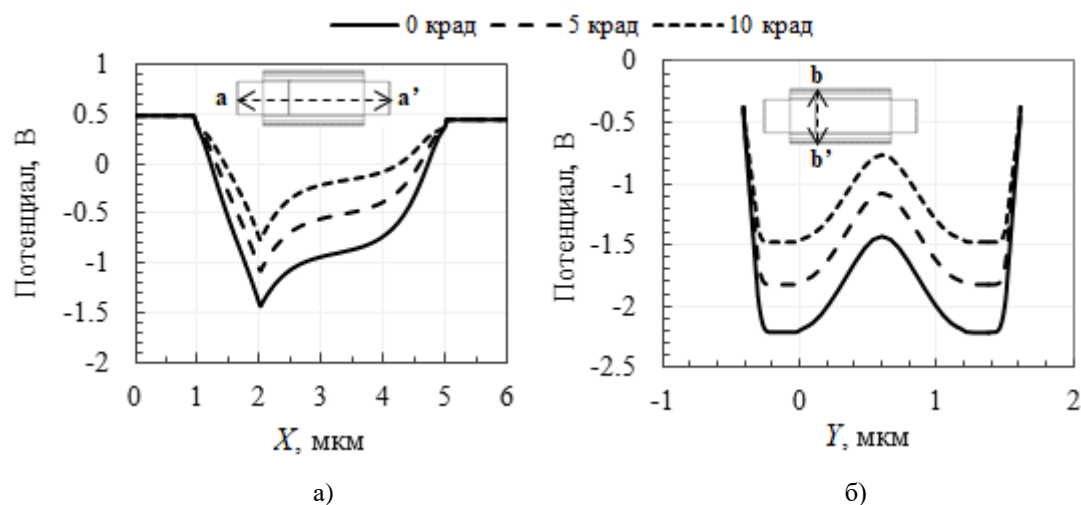
Перед облучением производится операция стирания дырок из DLSFG. Для этого р-n-переход между DLSFG и стоком смещают в прямом направлении. Во время облучения генерируются электронно-дырочные пары, которые разделяются внутренним электрическим полем аналогично [1], дырки уходят в DLSFG, тем самым повышая его потенциал, что в конечном итоге уменьшает высоту потенциального барьера DD. Это приводит к уменьшению смещения на CG ( $V_{cg}$ ), необходимого для открытия DD, с фиксированным напряжением на стоке ( $V_d$ ). Таким образом, сдвиги порогового напряжения устройства ( $V_{th}$ ) могут быть использованы для определения величины поглощенной дозы.

### 3. Результаты и анализ моделирования

В данной работе приводятся результаты моделирования в пакете Synopsys Sentaurus TCAD. Перед облучением выполняется операция сброса с напряжением 2В на CG и -1В на стоке для обеспечения прямого смещения р-n-перехода между DLSFG и стоком, поэтому дырки, первоначально находящиеся в DLSFG, вытесняются. В результате N-легированная область обедняется, и после полного ее истощения датчик готов к облучению.

Модель излучения представляет собой гамма-излучение  $Co^{60}$  и мягкое рентгеновское излучение 10кэВ. Генерация электронно-дырочных пар под действием ионизирующего излучения моделировалась согласно [4, 7].

На рисунке 2 показано распределение электростатического потенциала вдоль сечения  $aa'$  (рисунок 2, а) и  $bb'$  (рисунок 2, б) до и после облучения.



**Рисунок 2.** Распределение потенциала при различной поглощенной дозе излучения: а) в сечении  $aa'$ ; б) в сечении  $bb'$

После операции сброса высота потенциального барьера DD повышается из-за обеднения канала. Радиационно-генерируемые электронно-дырочные пары в обедненной области разделяются внутренним электрическим полем, и дырки перемещаются в р-слой полуплавающего затвора. В результате потенциальный барьер DD снижается. В течение процесса облучения возможны два варианта смещения на CG: нулевое смещение, смещение -1В.

После облучения выполняется операция считывания: на исток подается -1В, на затворе напряжение возрастает от -1В до 3В. Пороговое напряжение определяется как напряжение на управляющем затворе, необходимое для получения стокового тока  $\approx 1 \times 10^{-7}$  А. На рисунке 3 представлено влияние гамма-излучения на входную характеристику дозиметра с двухслойным полуплавающим затвором. С увеличением дозы излучения наблюдается уменьшение порогового напряжения.

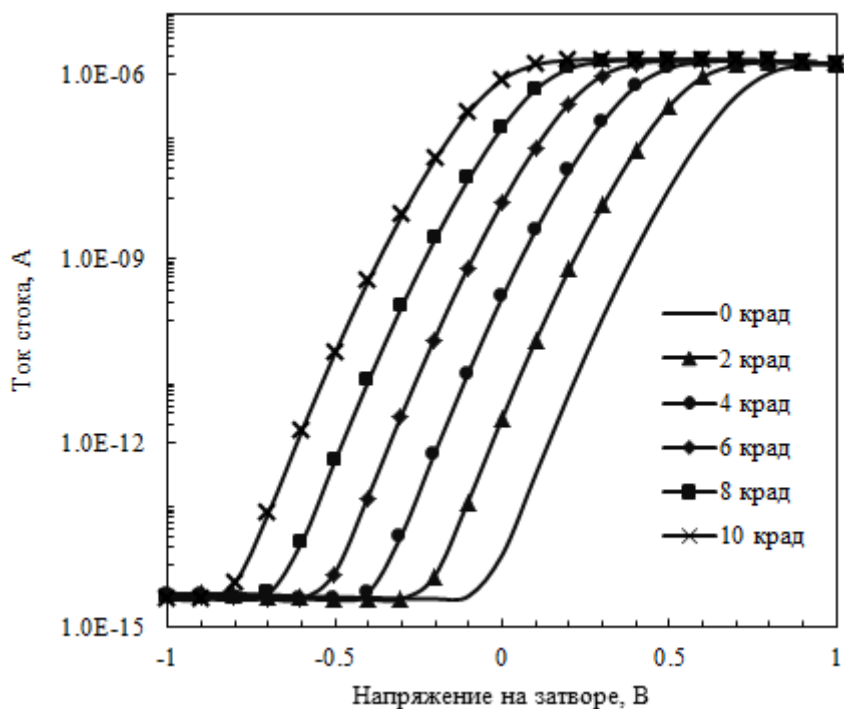


Рисунок 3. Входная характеристика моделируемого прибора

На рисунке 4 представлены зависимости порогового напряжения от поглощенной дозы излучения дозиметров с двухслойным (DLSFG) и однослойным (SFG) полуплавающими затворами (их структура изображена на вставках). Угол наклона данной характеристики определяет чувствительность дозиметра. Таким образом, понижение потенциального барьера в результате облучения приводит к сдвигу порогового напряжения, который характеризует чувствительность устройства. Наличие слоя нитрида кремния в полуплавающем затворе повышает чувствительность дозиметра. У дозиметра с DLSFG в исследуемом диапазоне поглощенных доз излучения чувствительность остается постоянной, в отличие от дозиметра с SFG, у которого чувствительность уменьшается.

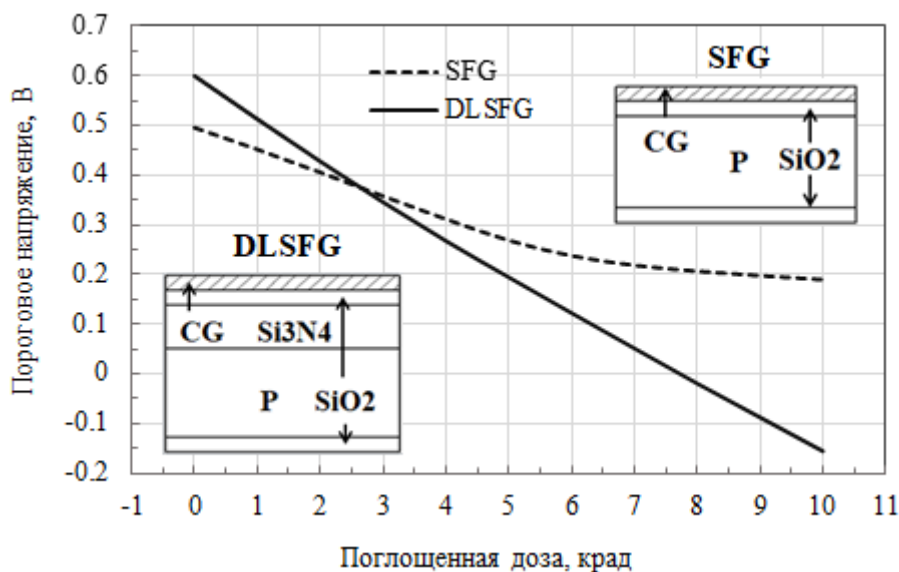


Рисунок 4. Зависимость порогового напряжения от поглощенной дозы излучения

#### 4. Заключение

Использование нитрида кремния в двухслойном полуплавающем затворе позволяет увеличить чувствительность дозиметра в большем диапазоне поглощенных доз излучения.

#### Список литературы

1. Wang, Y. A Semifloating Gate Controlled Camel Diode Radiation Dosimeter / Y. Wang, [at. al.] // IEEE Electron Devices. – 2016. – Vol. 63, № 5. – P. 2200–2204.
2. Dubey, A. Floating Gate Junction-Less Double Gate Radiation Sensitive Field Effect Transistor (RADFET) Dosimeter: A Simulation Study / A. Dubey, [at al.] // International Workshop on the Physics of Semiconductor and Devices. – 2017. – P. 571-576.
3. Wang, Y. Feasibility study of semifloating gate transistor gamma-ray dosimeter / Y. Wang, [at. al.] // IEEE Electron Device. – 2015. – Vol. 36, № 2. – P. 99–101.
4. Sentaurus, T. S. Device User Guide, ver // G-2012.06, Synopsys / T.S Sentaurus – 2012.
5. Перепеловский, В. В. Введение в приборно-технологическое моделирование устройств микроэлектроники: лаб. Практикум / В. В. Перепеловский, Н. И. Михайлов, В. В. Марочкин - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 49 с.
6. Перепеловский, В. В. Разработка электронных устройств в среде Synopsys Sentaurus TCAD: лаб. Практикум / В. В. Перепеловский, Н. И. Михайлов, В. В. Марочкин - СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 27 с.
7. Leray, J.-L. Total Dose Effects: Modeling for Present and Future / J.-L. Leray // IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference (NsREC) Short Course. – 1999. – 237 p.