

Параметрическое исследование датчика ионизирующего излучения с двухслойным полуплавающим затвором

А.Г. Кирдяшкин, И.С. Зеленова, В.В. Перепеловский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в данной работе приводятся результаты параметрического исследования 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. В работе исследована зависимость чувствительности от изменения параметров структуры, таких как: i-слой, p-слой, слой нитрида кремния.

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

1. Введение

На данный момент, наибольшим спросом пользуются дозиметры, обладающие высокой чувствительностью. Решению задачи по увеличению чувствительности было посвящено несколько работ [1-4], в которых предложены варианты увеличения чувствительности и уменьшения энергопотребления. В частности, в работе [4] задача увеличения чувствительности решается путем добавления в полуплавающий затвор слоев нитрида кремния. В данной работе предложен способ увеличения чувствительности посредством изменения структуры и размеров устройства. Моделирование дозиметра проводилось в среде Synopsys Sentaurus TCAD [5-8].

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.

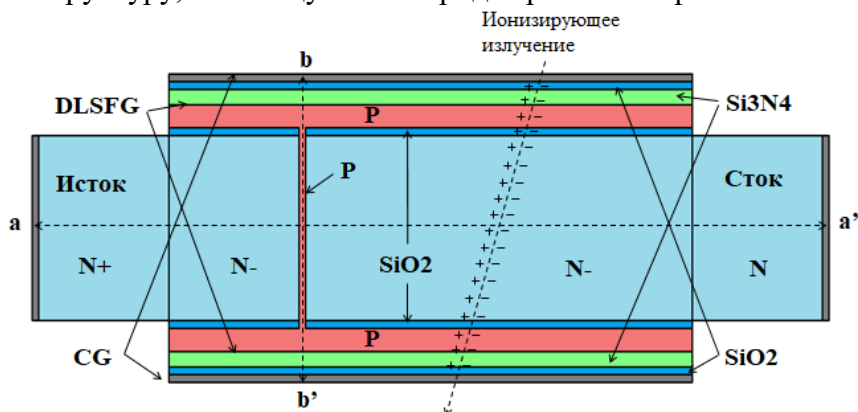


Рисунок 1. Топология дозиметр

3. Результаты и анализ моделирования

В данной работе приводятся результаты моделирования в пакете Synopsys Sentaurus TCAD.

Принцип работы дозиметра основан на трех операциях [4]: сброс, облучение и считывание. Операция сброса происходит при подаче положительного напряжения на управляющий затвор (2В) и отрицательного напряжения на сток (-1В). Дырки, находившиеся в полуплавающем затворе, вытесняются из него, при этом N-легированная область обедняется, и высота потенциального барьера становится больше.

Модель излучения представляет собой гамма-излучение ^{60}Co и мягкое рентгеновское излучение 10кэВ. Генерация электронно-дырочных пар под действием ионизирующего излучения моделировалась согласно [5, 8].

На рисунке 2 показано распределение электростатического потенциала вдоль сечения aa' (рисунок 2, а) и bb' (рисунок 2, б) до и после облучения при двух толщинах i -слоя (1,2 и 20,2 мкм). Как видно из графиков, при увеличении толщины i -слоя, потенциальный барьер становится выше, вследствие этого уменьшается пороговое напряжение [4] и увеличивается чувствительность дозиметра.

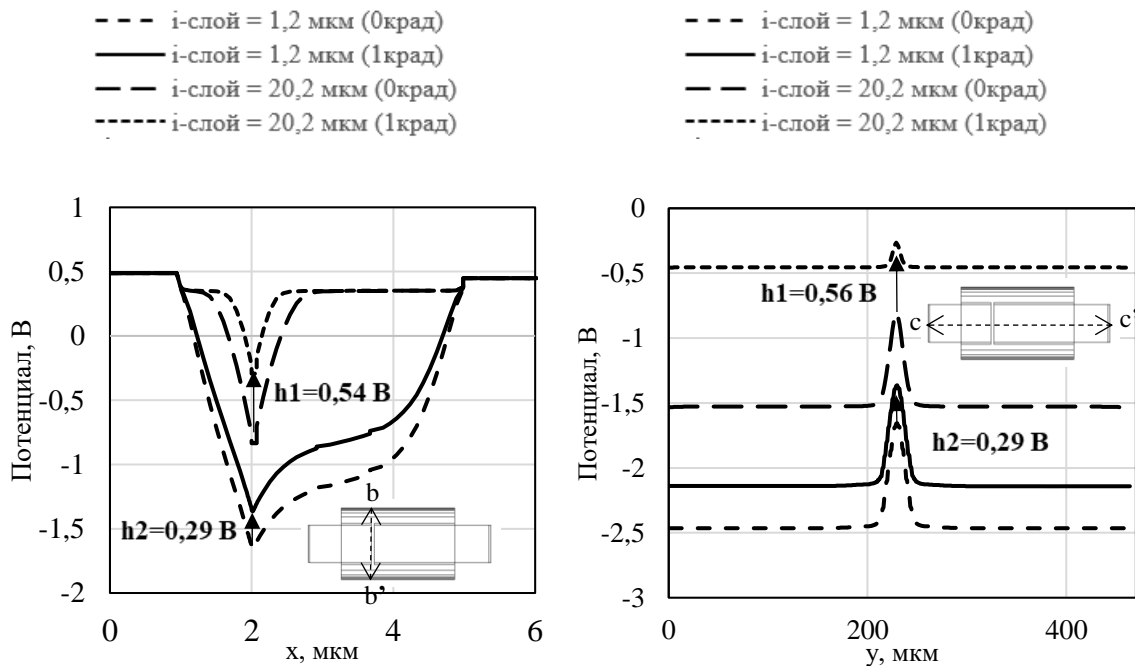


Рисунок 2. Распределение потенциала при различной поглощенной дозе излучения при двух толщинах i -слоя (1,2 и 20,2 мкм) : а) в сечении aa' ; б) в сечении bb'

Чувствительность определяется, как разница между пороговыми напряжениями до и после операции облучения. То есть, при увеличении дозы облучения уменьшается величина порогового напряжения. На рисунке 3 представлено влияние гамма-излучения на входную характеристику дозиметра с двухслойным полуплавающим затвором [4].

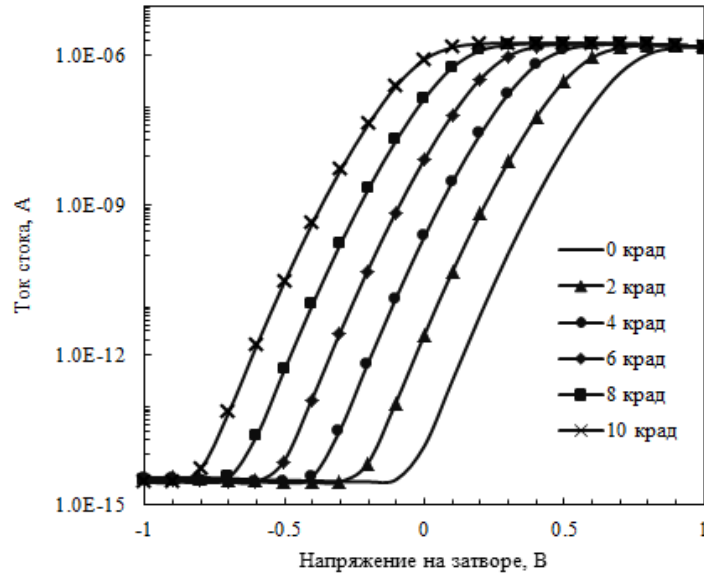


Рисунок 3. Входная характеристика моделируемого прибора

При параметрическом исследовании варьировалась ширина *i*-слоя канала, *p*-слоя и слоя нитрида кремния в DLSFG. Увеличение ширины *i*-слоя (рисунок 4, а), так и увеличение ширины *p*-слоя (рисунок 4, б) и слоя Si₃N₄ (рисунок 5), приводит к повышению чувствительности датчика. Данная зависимость при увеличенных значениях ширины *i*-слоя уходит в насыщение.

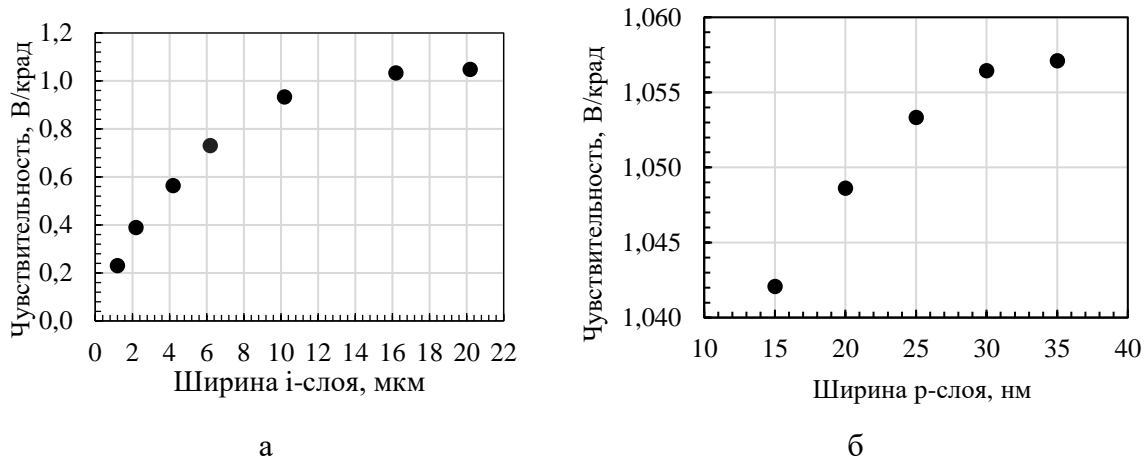


Рисунок 4. Зависимость чувствительности от ширины *i*-слоя а), *p*-слоя б)

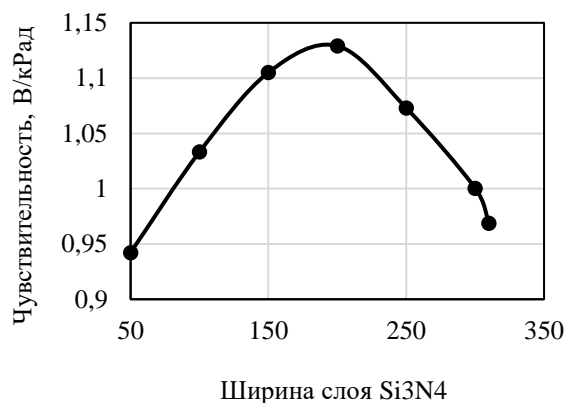


Рисунок 5. Зависимость чувствительности детектора от ширины слоя нитрида кремния в полуплавающем затворе.

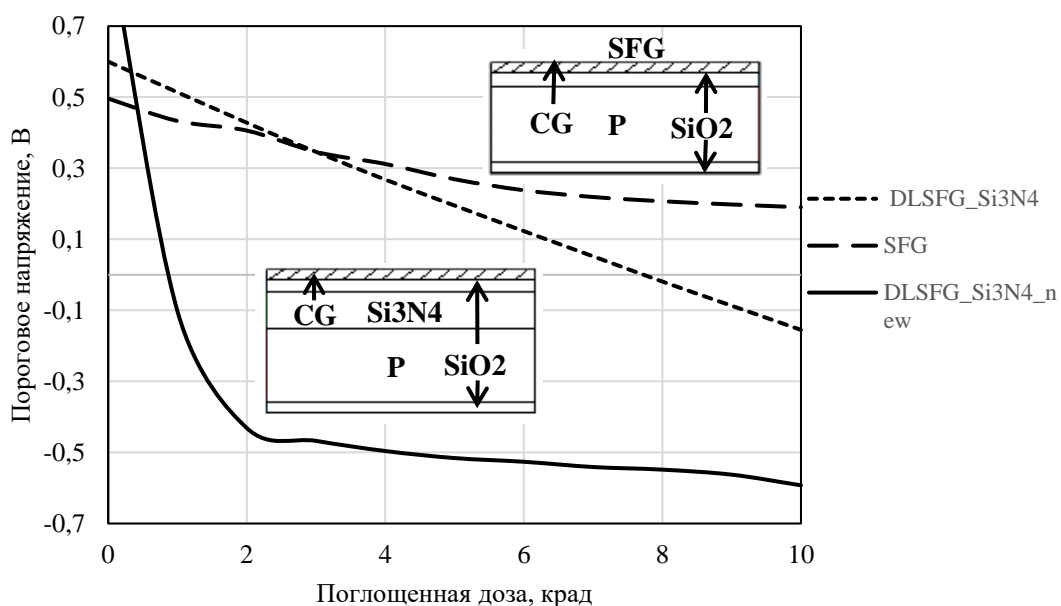


Рисунок 6. Зависимость порогового напряжения от поглощенной дозы излучения

На рисунке 6 представлены зависимости порогового напряжения от поглощенной дозы излучения с однослойным (SFG) и двухслойным (DLSFG) полуплавающим затвором и зависимость для дозиметра (DLSFG_new) с размерами, выбранными при параметрическом исследовании (i-слой=20,2 мкм, p-слой=35нм, слой Si₃N₄=200 нм). Угол наклона данной характеристики определяет чувствительность дозиметра. Таким образом, увеличение размеров канала, p-слоя и слоя нитрида кремния позволяет добиться повышения чувствительности дозиметра в области малых доз радиации.

4. Заключение

Параметрическое исследование дозиметра позволило определить размеры структуры (ширины i-слоя = 20,2 мкм, p-слоя = 350 нм и слоя нитрида кремния = 200 нм) обеспечивающие высокую чувствительность дозиметра в области малых доз радиации.

Список литературы

1. Acosta M. et al. BaTiO₃-based piezoelectrics: Fundamentals, current status, and perspectives //Applied Physics Reviews. – 2017. – Т. 4. – №. 4. – С. 041305.
2. Вендик О. Г. (ред.). Сегнетоэлектрики в технике СВЧ. – Сов. радио, 1979.
3. Semenov A. A. et al. Artificial multiferroic structures based on barium-strontium titanate //Journal of Materials Science. – 2016. – Т. 51. – №. 17. – С. 7803-7813.
4. Ненашева Е. А. и др. Электрически управляемые компоненты на основе керамики BST-Mg //Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51. – №. 8. – С. 1468-1471.
5. Иона Ф., Ширане Д. Сегнетоэлектрические кристаллы: Пер. с англ. – Мир, 1965.
6. Ржанов А. В. Титанат бария—новый сегнетоэлектрик //Успехи физических наук. – 1949. – Т. 38. – №. 8. – С. 461-489.
7. Струков Б. А. и др. Сегнетоэлектрический фазовый переход в кристаллах LaBSiO₅ по данным тепловых и диэлектрических измерений //Физика твердого тела. – 1998. – Т. 40. – №. 7.
8. Струков Б. А., Леванюк А. П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах. – М. : Наука: Физматлит, 1995.
9. Старков А. С. и др. Оценка термодинамической эффективности твердотельного охладителя на основе мультикалорического эффекта // Письма в ЖТФ. – 2018. – Т. 44. – №. 6.