

Влияние пограничного слоя нитрида кремния на чувствительность датчика ионизирующего излучения

В.В. Завгородний, В.В. Перепеловский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: Рассмотрен перспективный полупроводниковый датчик ионизирующего излучения. Дозиметр представляет собой *n-p-n* структуру с двумя двухслойными полуплавающими затворами, состоящим из слоев нитрида кремния и кремния *p*-типа. Впервые решена задача увеличения чувствительности датчика, в области малых доз ионизирующего излучения, путем изменения пограничного слоя Si_3N_4 . В работе приводится анализ влияния пограничного слоя нитрида кремния на чувствительность датчика ионизирующего излучения. Дефекты в пограничном слое Si_3N_4 при облучении действуют как ловушки, захватывая носителей заряда, что приводит к увеличению чувствительности дозиметра. Так же предложен способ увеличения чувствительности дозиметра с помощью кремниевых каналов в слое нитрида кремния. Расчеты выполнены в пакете Synopsys Sentaurus TCAD.

Ключевые слова: дозиметр, гамма-излучение, двухслойный полуплавающий затвор, нитрид кремния, пограничный слой, Synopsys Sentaurus TCAD

1. Введение

В последнее время большое внимание уделяется дозиметрам на полуплавающих затворах с нитридом кремния [1-3]. Одним из главных параметров прибора является высокая чувствительность к ионизирующему излучению. В работе [2] были исследованы параметры датчика ионизирующего излучения на полуплавающем затворе, и было выяснено, что следующие параметры: *i*-слой 20,2 мкм, *p*-слой 35 нм, а также использование 3D топологии позволяют добиться высокой чувствительности датчика ионизирующего излучения в области малых доз радиации. Однако в вышеперечисленных работах не учитываются дефекты в пограничном слое Si_3N_4 , которые под воздействием облучения начинают проявлять себя как ловушки [4].

2. Топология устройства и принцип работы

Дозиметр представляет собой *n-p-n* структуру (double diode – DD) с двумя двухслойными полуплавающими затворами (double layer semi-floating gate – DLSFG) и управляющими затворами (camel gate – CG). Двухслойный полуплавающий затвор представляет собой двухслойную структуру, состоящую из нитрида кремния и кремния *p*-типа. Топология и сечение такого дозиметра приведены на рисунках 1а и 1б.

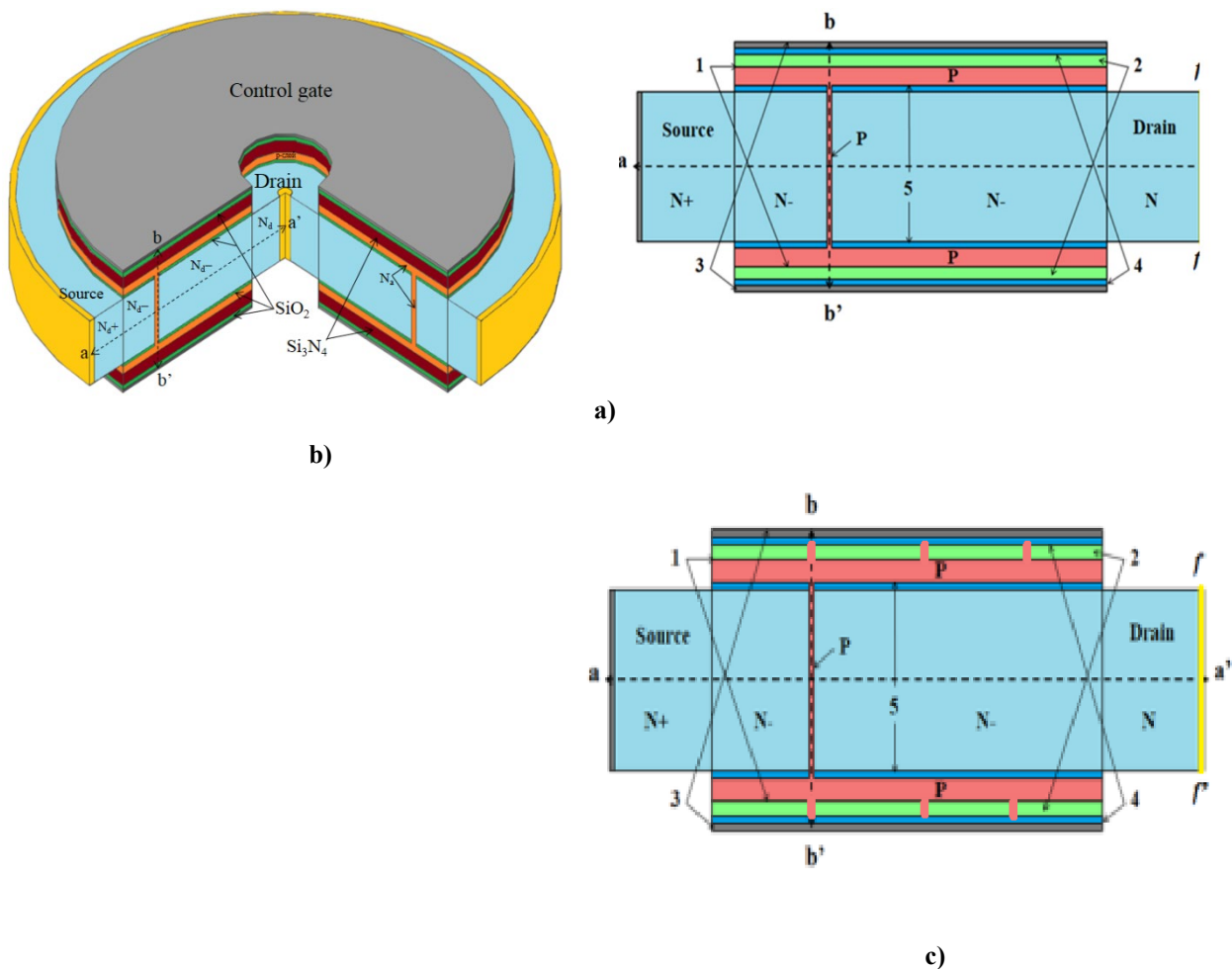


Рисунок 1. Топология моделируемого дозиметра в цилиндрической форме (а), ее сечение (б) и сечение с Si-каналами (с). (б): 1 – двухслойный полуплавающий затвор, 2 – слой нитрида кремния в полуплавающем затворе, 3 – управляющий затвор из поликремния, 4 – блокирующий диэлектрик, 5 – подзатворный диэлектрик.

Работа дозиметра состоит из трех этапов. Первый этап – операция вытеснения дырок из DLSFG. Для этого на управляющие затворы CG подают положительное напряжение 2 В, а на сток напряжение, равное -1 В. В результате, дырки, находящиеся в полуплавающем затворе, вытесняются из него в канал, где рекомбинируют с электронами. После операции сброса канал истощается, и датчик готов к облучению [1].

На втором этапе дозиметр подвергается воздействию излучения. В результате в обедненной области образуются электронно-дырочные пары, которые разделяются внутренним электрическим полем, дырки уходят в полуплавающий затвор, что приводит к повышению потенциала дозиметра, и вследствие этого уменьшается величина напряжения, называемого пороговым, которое нужно подать на управляющий затвор для открытия датчика. Третий этап – операция считывания. Для этого на исток подается -1В, при этом на затвор подается от -1 В до 3 В [1].

3. Результаты моделирования

Моделирование проводилось в среде Synopsys Sentaurus TCAD. Модель излучения представляет собой гамма-излучения $\text{Co}60$ и мягкое рентгеновского излучения 10 кэВ [4-6]. Величина чувствительности датчика определяется, как разница пороговых напряжений до и после операции облучения. На рисунке 2 приведена входная вольтамперная характеристика дозиметра. Видно, что с увеличением дозы облучения уменьшается величина порогового напряжения.

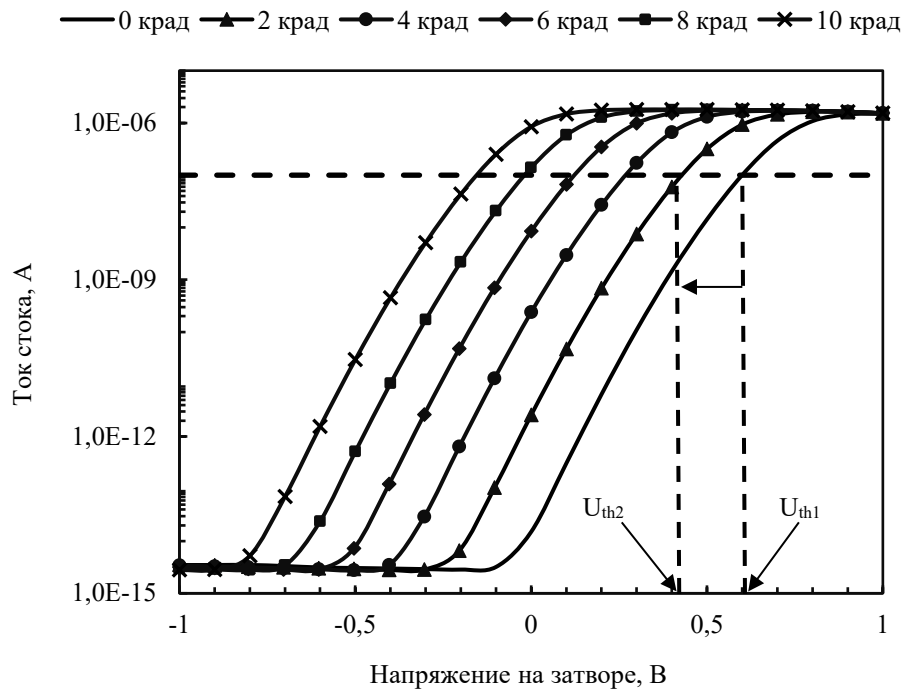


Рисунок 2. Входная вольтамперная характеристика модулируемого прибора

В ходе моделирования датчика ионизирующего излучения толщина Si_3N_4 берется равной 200 нм, так как согласно работе [2] максимальная чувствительность дозиметра достигается при толщине слоя 200 нм.

В работе [4] указывается на то, что при облучении дефекты, возникающие в пограничном слое нитрида кремния, действуют как ловушки, захватывая генерируемые носители заряда. Дырки, обладая меньшей подвижностью, остаются в ловушках, а электроны покидают ловушки. В результате концентрация дырок становится больше, что приводит к возрастанию потенциала на полуплавающих затворах дозиметра и, вследствие этого, увеличивается чувствительность прибора.

Влияние дополнительных центров ловушек в пограничном слое Si_3N_4 привело к увеличению чувствительности датчика ионизирующего излучения. Так же выполнено исследование влияния толщины слоя Si_3N_4 на чувствительность прибора. Регулировать толщину пограничного слоя возможно на этапе роста слоя Si_3N_4 путем введения дефектов [7].

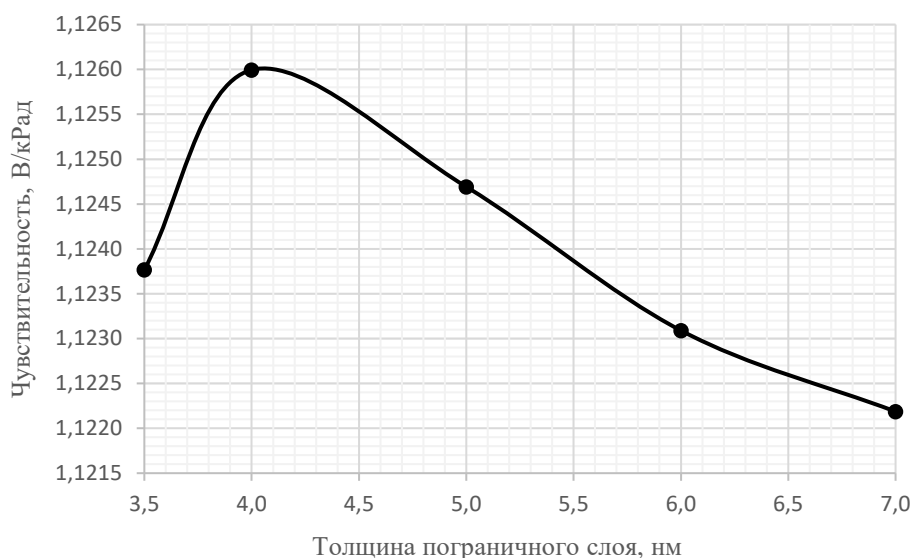


Рисунок 3. Зависимость чувствительности датчика от толщины пограничного слоя Si_3N_4

Из рисунка 3 видно, что максимальная чувствительность датчика достигается при толщине пограничного слоя 4 нм.

С целью увеличения площади пограничного слоя Si_3N_4 , и тем самым увлечения чувствительности датчика ионизирующего излучения было предложено выполнить кремниевые каналы цилиндрической формы. На рисунке 1 (с) показаны каналы в сечении прибора. Использование трех цилиндрических кремниевых каналов диаметром 40 нм позволило повысить чувствительность дозиметра до 1.1334 В/кРад.

4. Заключение

Оптимизация параметров пограничного слоя Si_3N_4 позволил повысить чувствительность датчика ионизирующего излучения в области малых доз радиации. Рост чувствительности дозиметра обусловлен дырками, заполняющими ловушки в пограничном слое Si_3N_4 . Максимальная чувствительность дозиметра достигается при толщине пограничного слоя равным 4 нм. Использование цилиндрических кремниевых каналов в слое Si_3N_4 увеличивает чувствительность датчика.

Список литературы

1. Зеленова И. С. Дозиметр ионизирующего излучения на основе двухслойного полуплавающего затвора [Текст] / И.С. Зеленова, Р.Р. Кинзябулатов и В.В. Перепеловский // Электроника и микроэлектроника СВЧ – 2019. – Вып. № 1. – С. 308 – 311.
2. Кирдяшкин А. Г. Параметрическое исследование датчика ионизирующего излучения с двухслойным полуплавающим затвором [Текст] / А.Г. Кирдяшкин, И.С. Зеленова и В.В. Перепеловский // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2020. – С. 56 – 60.
3. Юлчиев С. М. Полуплавающие затворы на нитриде кремния для датчика ионизирующего излучения [Текст] / И.С. Зеленова, А.Г. Кирдяшкин, С.М. Юлчиев и В.В. Перепеловский // Электроника и микроэлектроника СВЧ – 2021. – С. 337 – 341.
4. S. Zeyrek, A. Turan, M. Bülbül. The C—V and G/ω—V Electrical Characteristics of ^{60}Co γ -Ray Irradiated Al/Si $_3$ N $_4$ /p-Si (MIS) Structures. Chinese Physical Society and IOP Publishing Ltd. 2013, Vol. 30, № 7.
5. Peng Dong. Глубинная переходная спектроскопия исследования влияния гамма-излучения на пассивирующие свойства слоя нитрида кремния на кремнии / Peng Dong, Xuegong Yu, Yao Ma и др.

- //AIP Advances 7, 085112 (2017) <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.4996992>
6. Sentaurus, T. S. Device User Guide, ver // G-2012.06, Synopsys / T.S Sentaurus – 2012.
 7. Гриценко В. А. Атомная структура аморфных нестехиометрических оксидов и нитридов кремния // Успехи физических наук. - 2008. - №7. - С. 727-738.
 8. 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.
 9. 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.