

Исследование датчика ионизирующего излучения с трехслойным полуплавающим затвором на основе Graphene-GaN-Graphene

А.Г. Кирдяшкин, В.В. Перепеловский

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в данной работе приводятся результаты параметрического исследования дозиметра ионизирующего излучения с трехслойным полуплавающим затвором. Дозиметр представляет собой *n-p-n* структуру с двумя трехслойными полуплавающими затворами, состоящим из слоев нитрида кремния, нитрида галлия, двух слоев графена и кремния *p*-типа. В работе исследована зависимость чувствительности при внедрении в состав структуры слоев нитрида галлия и графена. Моделирование выполнялось в среде Synopsys Sentaurus TCAD.

Ключевые слова: дозиметр, гамма-излучение, трехслойный полуплавающий затвор, нитрид кремния, нитрид галлия, графен, Synopsys Sentaurus TCAD

1. Введение

На данный момент, наибольший интерес представляют дозиметры, обладающие высокой чувствительностью. Решению задачи по увеличению чувствительности было посвящено несколько работ [1, 2], в которых предложены варианты увеличения чувствительности и уменьшения энергопотребления. В частности, в работе [1] проводились параметрические исследования датчиков ионизирующего излучения на двухслойных полуплавающих затворах, в результате которых было выяснено, что следующие параметры: *i*-слоя 20,2 мкм, *p*-слоя 35 нм, а также использование 3D топологии позволяют добиться высокой чувствительности датчика ионизирующего излучения в области мылах доз радиации. В данной работе предложен способ увеличения чувствительности посредством изменения и добавления новых материалов (графена и нитрида галлия) в состав структуры. Моделирование дозиметра проводилось в среде Synopsys Sentaurus TCAD [2-4].

2. Топология устройства и принцип работы

Исследуемый датчик представляет собой *n-p-n* структуру (double diode – DD) с двумя трехслойными полуплавающими затворами (double layer semi-floating gate – DLSFG) и управляющими затворами (camel gate – CG). DLSFG представляет собой трехслойную структуру, состоящую из нитрида кремния, нитрида галлия, двух слоев графена и кремния *p*-типа. Топология и сечение такого дозиметра приведены на рисунках 1а и 1б соответственно

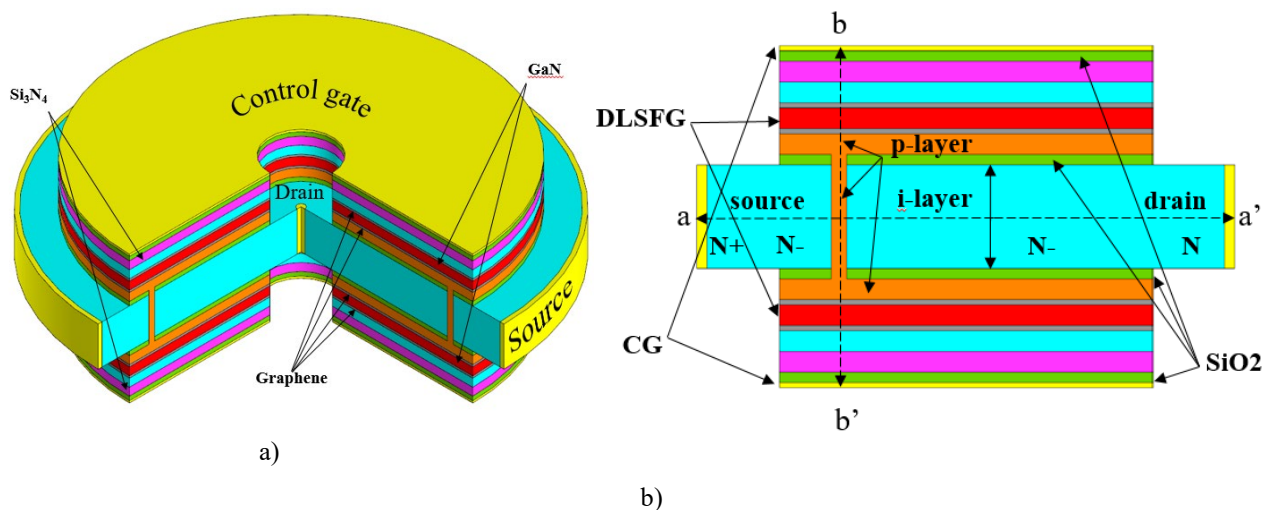


Рисунок 1. Топология моделируемого дозиметра в цилиндрической форме (а), ее сечение (б): два двухслойных полуплавающих затвора (double layer semi-floating gate – DLSFG) и управляющие затворы (camel gate – CG)

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. Генерация электронно-дырочных пар под действием ионизирующего излучения моделировалась согласно [5, 8].

3. Результаты моделирования

Моделирование проводилось в среде Synopsys Sentaurus TCAD. Модель излучения представляет собой гамма-излучения ^{60}Co и мягкое рентгеновского излучения 10 кэВ [2-4]. Чувствительность датчика определяется, как разница пороговых напряжений до и после операции облучения. С увеличением дозы облучения уменьшается величина порогового напряжения, необходимого для открытия датчика.

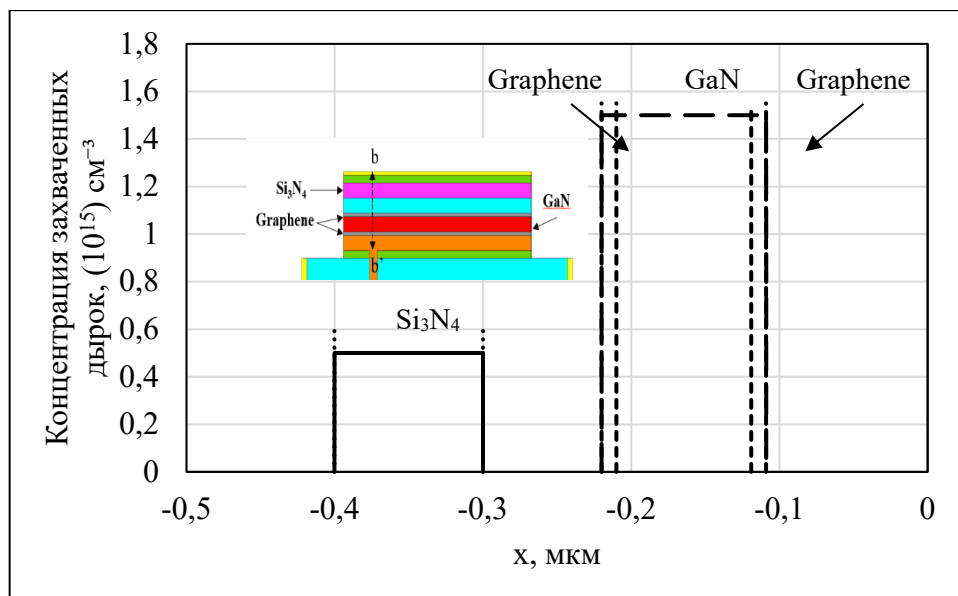


Рисунок 2. Распределение захваченных дырок по структуре, слева указана структура на основе нитрида кремния, справа на основе графена-нитрида галлия-графена, ось x рассматривается по сечению bb'

На рисунке 2 слева показана структура на основе нитрида кремния, справа показана структура на основе графен-нитрида галлия-графен. Численное моделирование показало, что концентрация захваченных дырок возрастает при использовании слоя графен-нитрид галлия-графен.

При контакте графена и нитрида галлия в последнем увеличивается концентрация дефектов. Дефекты действуют как ловушки, захватывая генерируемые носители заряда. Так как концентрация электронных ловушек ($1.5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$) в нитриде галлия меньше, чем дырочных ($2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) [6,7] и подвижность дырок меньше, чем электронов, следовательно, захваченных дырок становится больше, что приводит к повышению потенциала датчика ионизирующего излучения, и вследствие этого уменьшению напряжения, называемого пороговым, которое нужно подать на управляющий затвор для открытия датчика. Таким образом, включение в структуру датчика слой нитрида галлия и графена повышают чувствительность датчика ионизирующего излучения в области малых доз радиации.

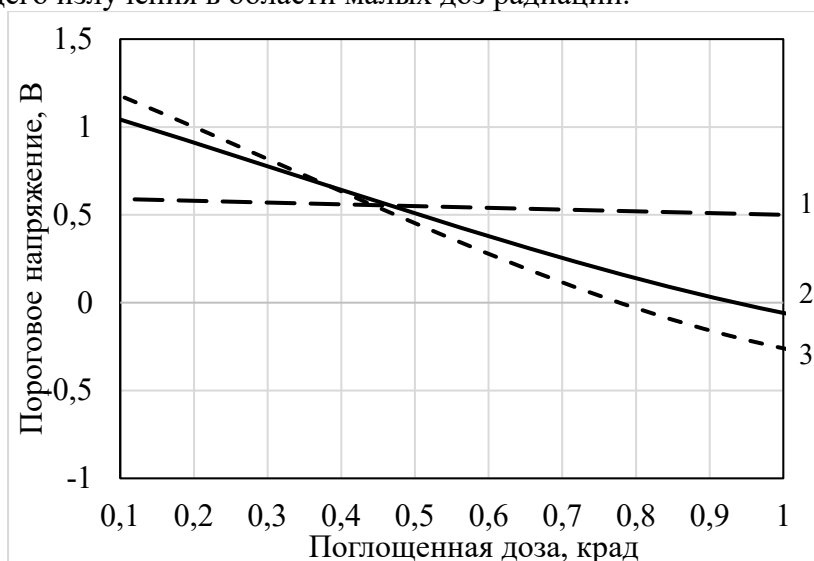


Рисунок 3. Зависимости порогового напряжения от поглощенной дозы излучения. 1 – DLSFG, 2 – DLSFG_3D, 3 – DLSFG_graphen_GaN_3D [14]

Характеристика, наклон которой определяет чувствительность датчика ионизирующего излучения, приведена на рисунке 3. Данный график отражает зависимости порогового напряжения от поглощенной дозы излучения с трехслойным (DLSFG) полуплавающим затвором, выполненного в 3D топологии (DLSFG_3D) и дозиметра на основе графена и нитрида галлия, выполненного в 3D топологии (DLSFG_graphen_GaN_3D).

4. Заключение

Включение в состав структуры дозиметра: нитрида галлия и графена, а также использование 3D топологии позволяет увеличить чувствительность датчика в области малых доз ионизирующего излучения. Причиной увеличения чувствительности является повышение концентрации захваченных дырок ловушками в слое нитрида галлия.

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. 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.
4. 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.
5. S. Zeyrek, A. Turan, M. Bülbül. The C—V and G/ω—V Electrical Characteristics of 60Co γ-Ray Irradiated Al/Si3N4/p-Si (MIS) Structures. Chinese Physical Society and IOP Publishing Ltd. 2013, Vol. 30, № 7.
6. Polyakov A. / Deep traps in GaN-based structures as affecting the performance of GaN devices / A. Polyakov, In-Hwan Lee // Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 94 – P. 1-56.
7. Kierdaszuk J. Highly effective gating of graphene on GaN / J. Kierdaszuk, E. Rozbiegala // Applied Surface Science. – 2021 – P. 7.