

**Даниленко А.А.¹, Стрыгин А.В.¹, Паничев Я.Н.²,
Марочкин В.В.³, Перепеловский В.В.¹**

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»

²АО «Морион»

³Pixpolar Oy, Otakaari 5, 02150, Espoo, Finland

Моделирование двухбитного pin-диода с плавающими затворами в среде Synopsys Sentaurus TCAD

В данной работе приводится обоснование применения управляющих электродов для программирования времени открытия устройства на основе pin-диода. Устройство состоит из pin-диода и двух плавающих затворов на поверхности i-области. В работе приводятся результаты комплексного моделирования, программируемого двухзатворного pin-диода, которое включает в себя моделирование механизма накопления заряда на плавающих затворах, моделирование времени открытия pin-диода, калибровку численной модели по данным полученным из дополнительных источников. Моделирование выполнено в среде Synopsys Sentaurus TCAD. В результате моделирования получены зависимости времени открытия от размеров и расположения плавающих затворов, что свидетельствует о возможности реализации двухбитного программирования pin-диода и использования такого устройства в качестве pin-диода настраиваемыми характеристиками.

Ключевые слова: pin-диод, программируемый pin-диод, Synopsys Sentaurus TCAD, плавающий затвор, моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

В работе исследуется зависимость времени открытия программируемого планарного pin-диода с двумя плавающими затворами – FGPIND (Floating-Gate-PIN-diode) от положения и размеров плавающих затворов, а также от величины заряда, записанного на плавающих затворах. Проводится сравнение со структурой FGPIND имеющий один плавающий затвор.

Моделирование программируемого FGPIND выполнялось в среде Synopsys Sentaurus TCAD [1-4]. Исследуемая структура приведена на рис. 1. Рассматриваемая структура представляет собой pin-диод, имеющий несколько областей:

- 1 – высоколегированная p^+ область – легирована бором с концентрацией 1×10^{20} [см-3];
- 2 – слаболегированная i-область – легирована фосфором с концентрацией 5×10^{12} [см-3];
- 3 – высоколегированная n^+ область – легирована фосфором с концентрацией 1×10^{20} [см-3];
- 4 – плавающий затвор из нитрида мышьяка;
- 5 – управляющий затвор из поликремния;
- 6 – слои диэлектрика из оксида кремния, отделяющие управляющий затвор от плавающего и плавающий затвор от поверхности остальной структуры.

Для регулировки времени открытия pin-диода на поверхности i-области друг за

другом были расположены два плавающих затвора. Плавающие затворы на рис. 1 имеют обозначения FG_1 и FG_2 . Сток и исток обозначены, как D и S соответственно.

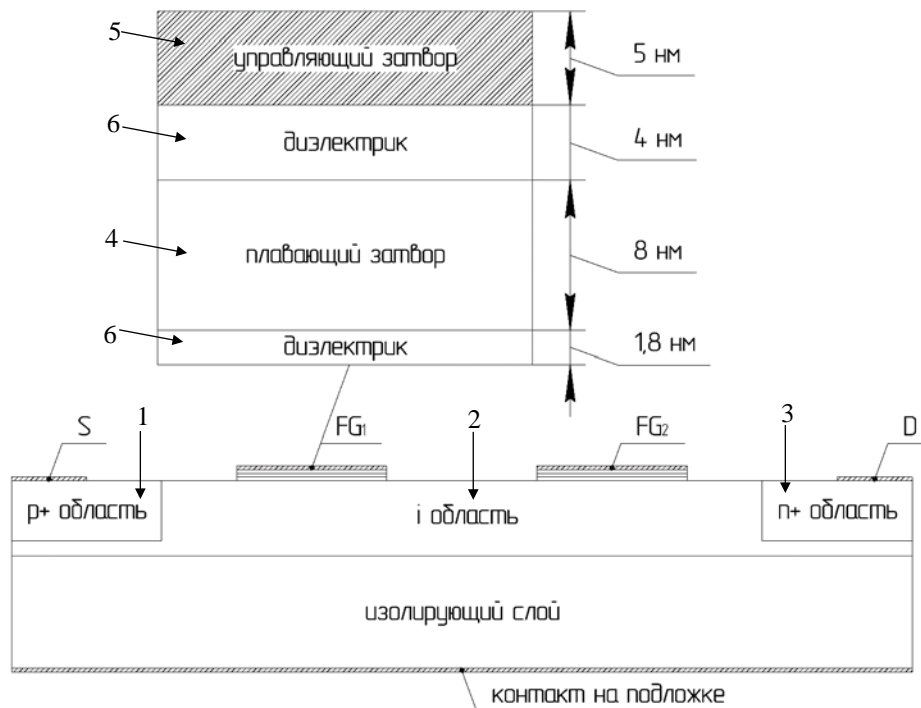


Рис. 1. Топология программируемого pin - диода с двумя плавающими затворами

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривается зависимость времени открытия FGPIND при наличии одного плавающего затвора и FGPIND при наличии двух плавающих затворов, расположенных на поверхности - i области. Под временем открытия FGPIND в данном случае подразумевается время, за которое ток в цепи pin-диода возрастает до уровня 0.1 от величины установившегося тока.

За логический “0” принимается заряд, образующийся на плавающем затворе в результате приложенного на управляющий затвор напряжения равного -9 В. Данное состояние плавающего затвора обозначим $FG(0)$. В случае двух плавающих затворов введём обозначение $FG(00)$.

За логическую “1” принимается заряд, образующийся на плавающем затворе в результате приложенного на управляющий затвор напряжения равного 9 В (туннелирование электронов через диэлектрик обеспечивает отрицательный заряд плавающего затвора). Данное состояние плавающего затвора обозначим $FG(1)$. В случае двух плавающих затворов введем обозначение $FG(11)$. Аналогичный смысл имеют обозначение $FG(10)$ и $FG(01)$.

Длина затвора у однозатворной модели составляет 7.0 мкм, и расположен затвор на расстоянии 1.5 мкм от стока и от истока. Длины затворов у двухзатворной модели равны по 2.0 мкм каждый, расстояние между истоком и затвором FG_1 - 3.0 мкм, а между стоком и затвором FG_2 - 2.0 мкм, расстояние же между самими затворами составляет 1.0 мкм. Зависимость тока через FGPIND от времени после подачи открывающего импульса приведена на рис. 2. За начало отсчета по оси абсцисс выбрано время подачи одиночного открывающего импульса. Калибровка модели проводилась по результатам работы [5].

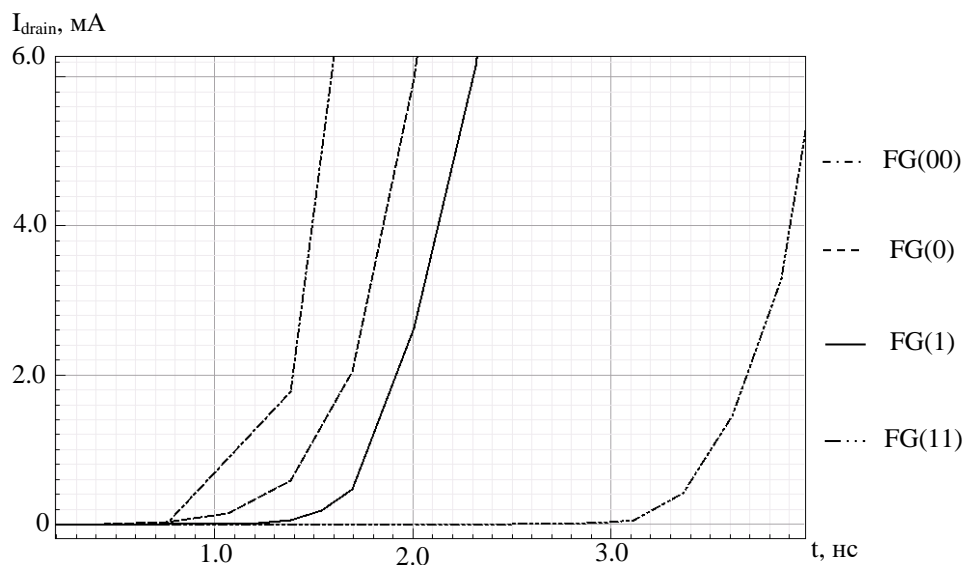


Рис. 2. Переходные процессы для 4-х состояний структуры FGPIND. За начало отсчета по оси абсцисс выбрано время подачи одиночного открывающего импульса. Состояние, соответствующее “0” на двух плавающих затворах, обозначается FG(00). Состояние, соответствующее “1” на двух плавающих затворах, обозначается FG(11).

Исходя из полученных зависимостей следует, что у модели FGPIND с двумя плавающими затворами управляемость значительно лучше, чем у однозатворной структуры, так как время открытия лежит в более широких пределах. Если же рассматривать кривые, соответствующие случаю логического “0” на плавающих затворах, то можно говорить о сопоставимости времён открытия рpn-диодов.

Второй этап моделирования состоял в двухбитном программировании FGPIND для нескольких соотношений длин плавающих затворов. Реализуются следующие комбинации: «00», «01», «10» и «11», посредством поочерёдной записи “0” и “1” на оба плавающих затвора, тем самым изучается влияние двухбитного программирования на время открытия рpn-диода. Стоит отметить, что в рассмотренном ранее случае (рис. 2) одинаковый заряд был записан сразу на оба затвора, здесь же моделировались состояние FG(01) и FG(10), к примеру, на затворе FG₂ - “1”, а на затворе FG₁ - “0”, что соответствует обозначению FG(01).

Результаты расчётов приведены на рис. 3. За ноль на оси абсцисс принято время открытия без-затворной структуры. Остальные времена открытия отложены относительно времени открытия без-затворной структуры.

Из полученных на рис. 3 зависимостей следует, что:

- Плавающие затворы с длиной порядка 0,5 мкм не влияют на время открытия программируемой FGPIND структуры;
- Программирование времени открытия, соответствующее состояниям “10” и “11” целесообразно для FGPIND с плавающими затворами не менее 2 мкм. Для FGPIND с меньшими длинами плавающих затворов, отличие времени открытия состояния “10” от времени открытия состояния “01” – незначительна.

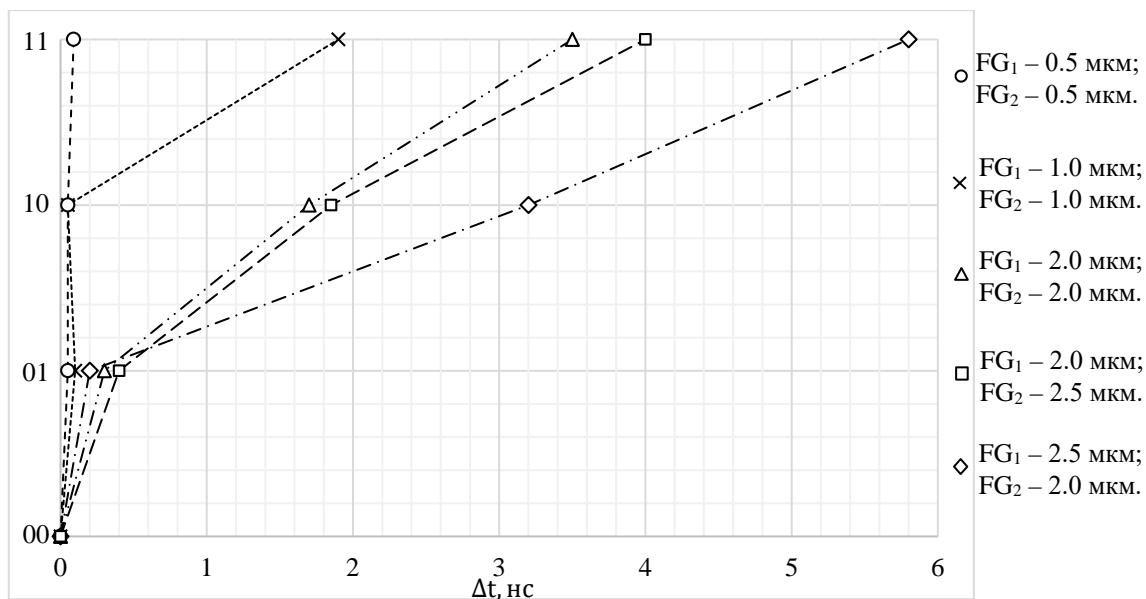


Рис. 3. Результат двухбитного программирования времени открытия FGPIND. За ноль на оси абсцисс принято время открытия без-затворной структуры. Цифра на оси ординат, стоящая слева обозначает текущее состояние FG₁, а стоящая справа – FG₂

Структура FGPIND, содержащая плавающие затворы 2.5 мкм и 2.0 мкм, реализует максимальное различие времён открытия для состояний: 00, 10, 01, 11.

Произведённое моделирование позволило установить, что программирование FGPIND целесообразно для структур с достаточно большими длинами плавающих затворов, для рассматриваемой структуры длины затворов должны быть не менее 2 мкм и не перекрывать контактные области стока и истока.

Библиографический список

1. Перепеловский В. В., Михайлов Н. И., Марочкин В. В. Введение в приборно-технологическое моделирование устройств микроэлектроники: лаб. практикум. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.
2. Перепеловский В. В., Михайлов Н. И., Марочкин В. В. Разработка электронных устройств в среде Synopsys Sentaurus TCAD: лаб. практикум. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011.
3. Программирование однозатворного PIN диода, Шукин Д.В., Паничев Я.Н., Михайлов Н.И., Перепеловский В.В., Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Марочкин В.В., Piholar Oy, Эспоо, Финляндия, Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ», № 3-4, 02.06.17: с 475-477.
4. Sentaurus™ Device User Guide, Version K-2015.06, June 2015
5. Responsivity Improvement for Short Wavelengths Using Full-Gated PIN Lateral SiGe Diode / Carla Novo, Rudolf Bühler, Renato Zapata and Renato Giacomini / Centro Universitário da FEISão Bernardo do Campo, Brazil.