УДК 53.06

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЕКТОРА RERAM НА ОСНОВЕ ТУННЕЛЬНОГО ДИОДА

*Курьянов Антон Олегович, младший научный сотрудник1, 2,  
 akuryanov@niime.ru*

*Теплов Георгий Сергеевич, к.ф.-м.н., начальник лаборатории1, 2, gteplov@niime.ru*

*Федотов Михаил Игоревич, к.ф.-м.н., научный сотрудник1, 2, 3, mfedotov@niime.ru*

*1НИИМЭ, г. Зеленоград*

*2МФТИ, г. Долгопрудный*

*3ИПТМ РАН, г. Черноголовка*

Аннотация: В работе было произведено моделирование селектора ReRAM на основе туннельного диода с использованием TiN в качестве электрода и различных материалов диэлектрика (Ta2O5, TiO2, Si3N4). Было произведено сравнение результатов моделирования с результатами теоретических расчетов структуры. Полученные при моделировании ВАХ совпадают с теоретическим расчетом.

Ключевые слова: ReRAM, селектор, моделирование, туннельный диод.

Введение

С целью решения проблем с масштабированием устройств памяти типа Flash [1] разрабатываются новые технологии памяти, одной из которых является ReRAM. Резистивная память с произвольным доступом (ReRAM) — это вид энергонезависимой памяти, которая работает за счет изменения сопротивления тонкого диэлектрического слоя под действием внешнего электрического поля. Элементы хранения ReRAM (мемристоры, англ. – memristors) обладают высокой масштабируемостью, долговечностью, низким энергопотреблением и высокой скоростью работы. Традиционный подход к описанию мемристора позволяет определить его как элемент энергонезависимой памяти, имеющий два контакта [2]. Данная работа посвящена рассмотрению компонента массивов ReRAM, который применяется совместно с мемристором – селекторное устройство. Селектор предназначен для контролирования нежелательных токов утечки. Биполярные селекторы, способные проводить ток в двух направлениях, делают компоненты более привлекательными благодаря возможности управления доступом к ячейке памяти при приложении напряжения разной полярности.

Моделирование селектора ReRAM в TCAD

В связи с наличием или отсутствием доступа к некоторым из требуемых материалов, наиболее технологически реализуемым является MIM-селектор на основе туннельного диода. Среди материалов, широко распространенных в Российской микроэлектронике, подходящую МДМ структуру можно реализовать на основе TiN в качестве материала электродов и Ta2O5/TiO2/Si3N4 в роли функционального слоя.

Моделирование производилось в САПР Sentaurus TCAD вер. K-2015.06. Наиболее подходящей для моделирования MIM структуры среди доступных в среде TCAD моделей туннелирования является Direct Tunneling. В связи с тем, что корректное применение моделей туннелирования возможно только для структур диэлектрик-полупроводник, металл TiN задавался как полупроводник через ряд параметров в соответствующем файле (WorkFunction, Eg0, Chi0, epsilon, Resist0, TempCoef).

Полученная модель показала соответствие с теоретически рассчитанной по формуле Симмонса Вольт-Амперной характеристикой в работе [3]. Сравнение приведено в Таблице № 1 в виде величины тока для различных видов диэлектрика и площадей структуры, откуда можно заметить, что величина тока зависит прямо пропорционально от площади структуры, что соответствует с теорией.

Таблица № 1 – Сравнение результатов моделирования

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Диэлектрик/ толщина, нм/ площадь, мкм2 | Формула Симмонса, 0,1 В | Моделирование, 0,1 В | Формула Симмонса, 1,4 В | Моделирование, 1,4 В |
| Si3N4 / 1 / 1 | 8,22019e-07 | 3,95763e-07 | 2,53446e-05 | 8,78106e-06 |
| Si3N4 / 1 / 4 | 3,28808e-06 | 1,58305e-06 | 0,000101378 | 3,51242e-05 |
| Si3N4 / 1 / 9 | 6,57615e-06 | 3,56186e-06 | 0,000202757 | 7,90295e-05 |
| TiO2 / 1 / 1 | 1,16301e-05 | 4,98759e-06 | 0,000514109 | 0,000344518 |
| TiO2 / 1 / 4 | 4,65205e-05 | 1,99503e-05 | 0,002056437 | 0,00137807 |
| TiO2 / 1 / 9 | 0,000104671 | 4,48883e-05 | 0,004626984 | 0,00310067 |

На рис. 1 представлены Вольт-Амперной характеристики для структур с материалом диэлектрика Si3N4/TiO2/Ta2O5 толщиной 1 нм и площадью структуры 1 мкм2. Можно заметить, что селектор на основе Si3N4 обладает низкой нелинейностью. Для селектора, использующего оксид тантала моделирование корректно для напряжения, не превышающего 1,3 В, поскольку при дальнейшем расчете в формуле, лежащей в основе модели Direct Tunneling происходит возникновение отрицательных корней, и последующие результаты нельзя считать релевантными.

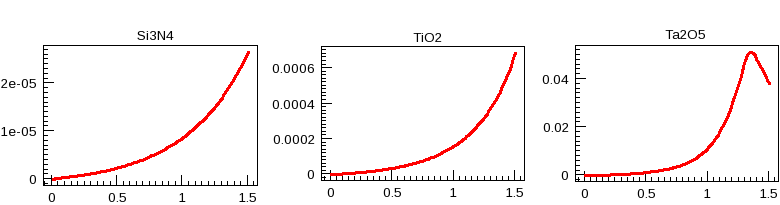


Рисунок № 1 Вольт-Амперные характеристики для Si3N4/TiO2/Ta2O5

Выводы

В работе было произведено моделирование селектора резистивной памяти на основе туннельного диода с использованием TiN в качестве электрода и различных материалов диэлектрика. Сравнение результатов моделирования с результатами теоретических расчетов структуры выявило соответствие модели и теории.

Список использованных источников

1. Overview of Emerging Nonvolatile Memory Technologies / Meena, J.S. [et al.] // Nanoscale Res. Lett. 2014. 9(526):1-33.

2. Г.С. Теплов, Е.С. Горнев. Модель на языке Verilog-A многоуровневого биполярного мемристора с учетом девиаций параметров переключения // Микроэлектроника. 2019. Т.48, №3. С. 163-175.

3. Федотов М.И., Коротицкий В.И., Ковешников С.В. Самосовмещенный селектор для матриц энергонезависимой резистивной памяти на основе двухслойных диэлектриков. // Российский форум «Микроэлектроника 2022», сборник тезисов 8-й науч. конф. 2022. с. 500–502.

MODELING OF RERAM SELECTOR BASED ON MIM DIODE

A.O. Kuryanov, G.S. Teplov, M.I. Fedotov

Abstract: This work presents modeling a ReRAM selector based on a tunnel diode using TiN as the electrode material and various dielectric materials (Ta2O5, TiO2, Si3N4). The modeling results were compared with the results of theoretical calculations of the structure. The IVC obtained during modeling agrees with the theoretical calculation.

Key words: ReRAM, selector, modeling, mim diode.