

В настоящее время нанокристаллический кремний (nc-Si) зарекомендовал себя как лучший альтернативный материал по сравнению с оксидом кремния. Предлагаемая аналитическая модель включает в себя эффективность различных параметров. Эта модель может использоваться для оценки порогового сдвига напряжения, которая может быть использована для повышения производительности применения дисплея нового поколения как OLED и LCD.

Различные элементы проектируются с использованием компьютерного моделирования, так как изготовление и исследование конкретных прототипов занимает много времени и требует достаточно материальных средств. По этой причине производится эксперимент по моделированию проходит с помощью пакета COMSOL Multiphysics.

Список использованных источников

1. Easton, B. C., Chapman, J. A., Hill, O. F., Powell, M. J.: The plasma enhanced deposition of hydrogenated amorphous silicon. *Vacuum* 34, 371–376 (1984)
2. Kuo, Y.: *Thin Film Transistors: Materials and Process*, vol. 2, 1st edn. Kluwer Academic, New York (2004)
3. Shin, K. W.: *Fabrication and Analysis of Bottom Gate Nanocrystalline Silicon Thin Film Transistors* [PhD Thesis], University of Waterloo, Canada (2008)
4. Ferris-Prabhu, V. A.: Charge transfer by direct tunneling in thin oxide memory transistors. *IEEE Trans. Electron Devices* 24, 524–530 (1977)
4. Fujita, S., Nishihara, M., Hoi, W. L., Sasaki, A.: Deep trap states in Si₃N₄ layer on Si substrate. *Jpn. J. Appl. Phys.* 20, 917–923 (1981)
5. Chang, J. J.: Theory of MNOS memory transistor. *IEEE Trans. Electron Devices* 24, 511–518 (1977)

УДК 004.415::004.94:[53:07+378.162.33]:53.09:621.315.592

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

А.Ю. Каманин, А.В. Ермохин, А.А. Амельчук, В.А. Сливков
Самарский университет, г. Самара

В настоящей работе кратко описан процесс разработки виртуальных лабораторных стендов на игровом движке для выполнения лабораторных работ в рамках учебного курса «Физические основы микро- и нанoeлектроники». Разработка подобных программных средств в настоящее время является актуальной задачей, т.к. виртуальные стенды могут с успехом применяться в образовательном процессе в условиях отсутствия реальной аппаратуры в учебных лабораториях.

В рамках данной работы было разработано два виртуальных стенда, один из которых предназначен для изучения эффекта Холла, а второй – для изучения характеристик терморезисторов.

В качестве игрового движка для разработки был выбран Unreal Engine 4. Этот движок, согласно условиям лицензионного соглашения, бесплатен в использовании (при условии, что доход разработчика с игры в месяц не превышает некоторой установленной суммы), имеет сравнительно низкий порог вхождения и обеспечивает реализацию всех необходимых элементов компьютерной игры (от создания и текстурирования моделей до написания внутриигровых скриптов).

При помощи программы 3D-моделирования Autodesk 3ds Max было смоделировано и затем импортировано в движок помещение виртуальной лаборатории, а также непосредственно виртуальные экспериментальные установки.

При моделировании установок авторы опирались на реально существующие прототипы лабораторных стендов по данной тематике, однако с целью сокращения времени на разработку и оптимизации взаимодействия программ с пользователем в конструкцию были внесены некоторые упрощения, принципиально не влияющие на физическую суть лабораторного эксперимента.

Скрипты, определяющие взаимодействие окружения с пользователем, в среде движка Unreal Engine 4 создаются при помощи встроенного языка сценариев Blueprints. Этот язык реализует парадигму визуального программирования – разработчик оперирует графическими блоками, объединяя их специальными связями в систему для получения нужного поведения игровых объектов. Такая система позволяет реализовывать необходимую программную логику разработчикам, не знакомым с программированием.

На языке Blueprints были реализованы все необходимые скрипты, реализующие математические модели экспериментов и обеспечивающие взаимодействие пользователя с программой. В рамках данной работы исследовались только определённые аспекты физических процессов, протекающих в полупроводниках – так, например, в работе по изучению эффекта Холла подвижности свободных носителей заряда были условно приняты за постоянные величины, не зависящие от температуры.

Взаимодействие пользователя с программами (перемещение по виртуальной лаборатории, взаимодействие с окружением) реализовано так же, как в современных компьютерных играх в жанре «3D-шутер». Это обеспечивает низкий порог вхождения для студентов, выполняющих данные работы.

Возможные направления развития данных лабораторных работ – совершенствование математических моделей, дополнение работ новыми заданиями, создание новых образцов с различными электрофизическими

параметрами, совершенствование визуальной составляющей проекта и методов управления, а также создание на базе существующих программ комплекса лабораторных работ по различным темам.

В настоящее (по состоянию на апрель 2018 года) время разработанные виртуальные лабораторные работы проходят период тестирования на кафедре наноинженерии Самарского университета в условиях реального учебного процесса.

Использованные источники:

1. Елифанов, Г. И. Физические основы микроэлектроники [Текст]: учебное пособие для вузов – М.: Советское радио, 1971, стр.

2. Unreal Engine 4 Documentation: [Электронный ресурс]. М., 2004-2017. URL: <https://docs.unrealengine.com/>. (Дата последнего обращения: 24.12.2017)

3. Русскоязычное сообщество Unreal Engine 4: [Электронный ресурс]. М., 2017. URL: <http://uengine.ru/>. (Дата последнего обращения: 24.12.2017)

УДК 629.78; 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕГРАДАЦИИ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

В.С. Котельников, М.П. Калаев
Самарский университет, г. Самара

В процессе эксплуатации, нанесённые на внешние поверхности космического аппарата терморегулирующие покрытия (ТРП) претерпевают изменения физико-химических свойств, в частности, изменения коэффициентов отражения и поглощения. Эти изменения приводят к снижению эффективности всей системы обеспечения теплового режима (СОТР) в целом.

Процессы, происходящие в материалах покрытий, приводящие к изменению коэффициентов отражения и преломления ТРП:

- Нарушение кристаллической решетки в результате образования радиационных дефектов;

- Образование центров окраски;
- Радиационно-химическое превращениями;
- Распыление материала и изменение поверхностных свойств;
- Микрометеорная эрозия поверхности.

В частности, были проведены исследования по изменению коэффициента поглощения от времени нахождения КА в космическом пространстве см. рисунок 1 [1].