



II Международная научно-практическая конференция
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

ПРОБЛЕМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Алиев Райимжон Усманович,
e-mail: alievuz@yahoo.com

16-18 сентября 2020 г
Воронеж, Россия





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Введение

В качестве альтернативного решения традиционным полупроводниковым солнечным элементам (СЭ) на толстой базе (первое поколение СЭ) разработаны СЭ на тонкопленочной основе (второе поколение СЭ) [1, 2]. В таких СЭ главной проблемой является то, что каким образом можно более эффективное поглощение падающего на его поверхность солнечного излучения.

Первым шагом в решении этой проблемы является использование однослойных или многослойных эффективных антиотражающих покрытий (АОП), физическая природа которых существенно не отличается от представлений для СЭ первого поколения [3, 4].

Вторым шагом решения проблемы является принятие мер, направленных на достижение как можно большего поглощения проникшего в объем тонкого полупроводника количество фотонов. Для достижения этой цели предложены различные физические способы, обеспечивающие увеличение оптической пути фотонов в объеме полупроводника. Естественно, при более длительном движении фотонов в объеме возрастает вероятность проявления процесса фотоэлектронной генерации [5].



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Введение

Для более эффективного поглощения излучения также используются голографические покрытия [6] и Ламберт рассеиватели под фронтальным АОП [7]. В конструкциях PERL (Passivated Emitter and Rear Locally diffused) СЭ на тыльной стороне имеются локальные сильно диффундированные участки для формирования контактных электродов и другие участки с металлическими слоями - отражатели [8]. На таких конструкциях СЭ, содержащих поверхностные Ламберт рассеиватели и тыльные отражатели позволяли достигнуть наиболее высокую эффективность фотоэлектрического преобразования энергии.

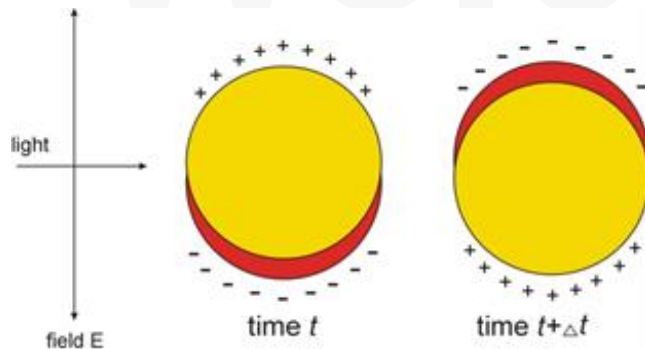
В конструкциях третьего поколения СЭ имеет важное значение резонансные структуры, обеспечивающие поперечное перенаправление света в объеме полупроводника. Для этой цели могут быть использованы поверхностные или объемные решетки [9], специально сформированные в диэлектрическом слое или на тыльной поверхности СЭ. Рассмотрены металлические решетки и наночастицы металлов, а также резонансные плазмонные эффекты [10].



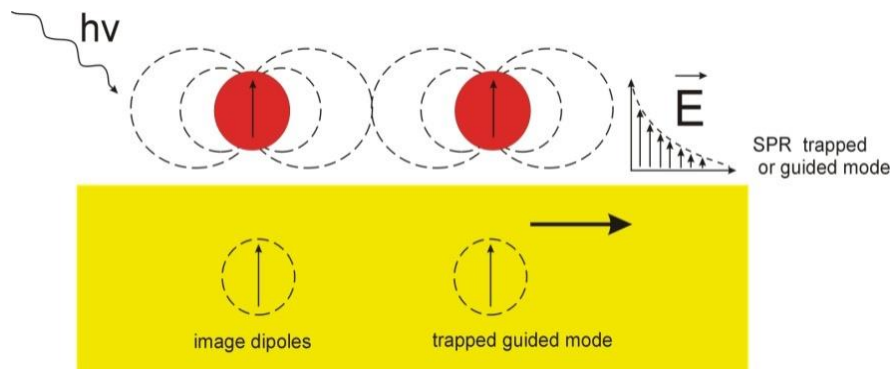
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Эффект наноплазмоники

Проблемы конструирования полупроводниковых фотозлектрических преобразователей солнечной энергии третьего поколения



- Возможные применения плазмоники:
- а) колебания электронного облака и световой волна на локализованных наночастицах металла;
 - б) колебания локализованного электромагнитного поля.





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Постановка задачи

На наш взгляд при локализации наночастиц металлов именно вблизи $p-n$ -перехода СЭ с относительно не высоким уровнем концентрации основных НЗ должна дать более эффективный вклад в повышении их эффективности. Анализ опубликованных работ позволяет отметить об отсутствии исследований влияния наночастиц металлов, локализованных в эмиттерном и базовом слоях кремниевых СЭ. Поэтому, представляется актуальной задача по определению роли наночастиц металлов, локализованных в эмиттерном и базовом слоях кремниевых СЭ в процессах абсорбции солнечного излучения, фотогенерации неравновесных НЗ и их разделения $p-n$ -переходом.

Настоящая работа посвящена исследованию методом моделирования фотоэлектрических процессов переноса заряда в тонких кремниевых структурах с $p-n$ -переходом, содержащих наночастицы различных металлов, размеров и их объемного распределения. Впервые определены абсорбционные и вольт амперные характеристики (ВАХ) тонкослойных кремниевых СЭ, содержащих наночастицы металлов, локализованных в поверхностном диэлектрическом АОП, эмиттере и базе с высокой и низкой степенью легирования, а также на границах раздела упомянутых слоев.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Методика эксперимента

Выбран «Sentaurus TCAD», содержащий пакеты, имеющие широкие возможности для моделирования кремниевых СЭ с плоским p - n -переходом: “Structure Device Editor“ (SDE), “Sentaurus Device“, “Sentaurus Visual“ и “Sentaurus Workbench“. SDE – это 2D/3D редактор устройств, который генерирует и редактирует структуры устройств с использованием геометрических операций. “Sentaurus Device” – симулятор полупроводниковых и других составных полупроводниковых приборов, позволяет моделировать электрические, тепловые и оптические характеристики в 2D и 3D форматах. Поддерживает разработку и оптимизацию современных и различных функциональных полупроводниковых технологий, включая микро- и наноразмерные СЭ. “SVisual” – это инструмент визуализации системы TCAD. Он предоставляет современную интерактивную 1D, 2D и 3D среду визуализации исследуемых данных. Он поддерживает сценарии TCL (Tool Command Language), позволяя постобработку выходных данных для генерации новых кривых и извлеченных параметров.

“Sentaurus Workbench” – это полная графическая среда для создания, управления выполнением и анализа моделирования TCAD. Его интуитивно доступный графический пользовательский интерфейс позволяет пользователям перемещаться и автоматизировать типичные задачи, такие как управление информационным потоком, включая предварительную обработку пользовательских входных файлов, параметризацию проектов, настройку и получение экземпляров инструмента и визуализацию результатов с помощью соответствующих средств просмотра.



Результаты и обсуждение

Для расчета принята модель конструкции кремниевого СЭ, изображенный на рис. 1 с толщинами соответствующих слоев:

диэлектрика $d_1 = 2R$,

n^+ -эмиттера $d_3 = 3R$,

n -эмиттера $d_5 = 5R$,

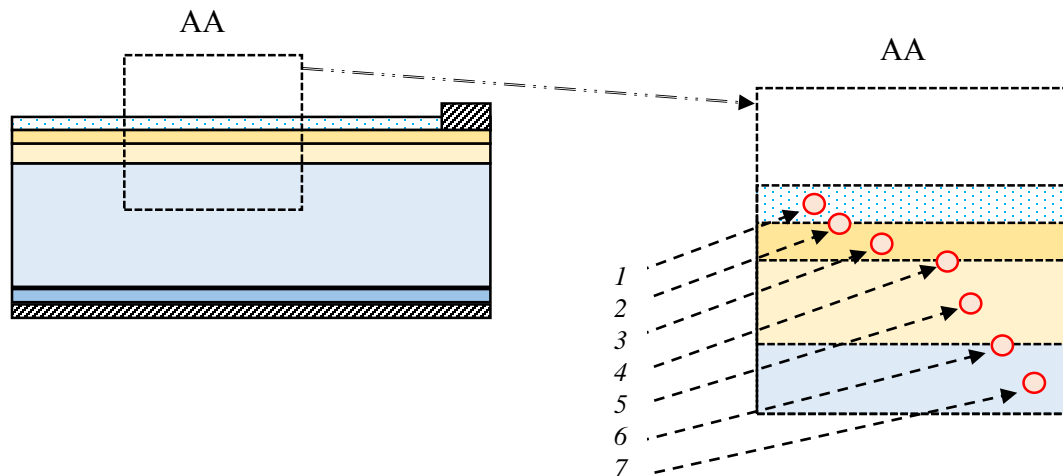
p -базы $d_6 = 36R$,

p^+ -базы $d_7 = 4R$,

где R - радиус сферической наночастицы металла.

Упрощенная схема

локализации наночастиц металла в поверхностных слоях кремниевой фотоэлектрической структуры с p - n -переходом



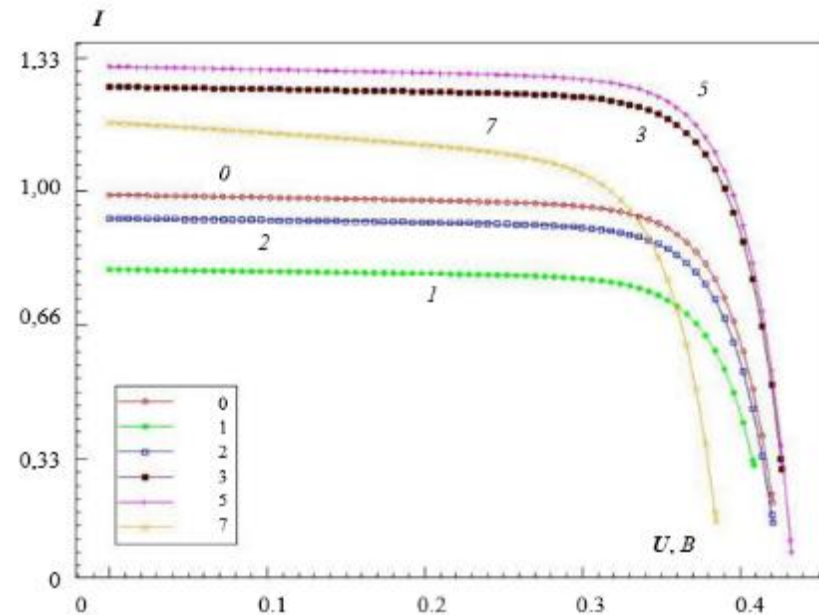
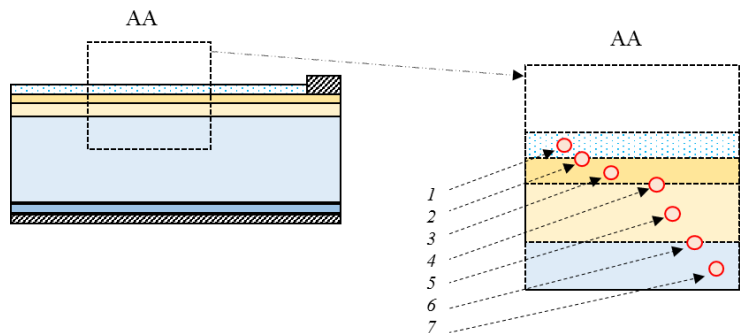


«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Результаты и обсуждение

Проблемы конструирования полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии третьего поколения

Нагрузочная ВАХ кремниевой фотоэлектрической структуры с $p-n$ -переходом



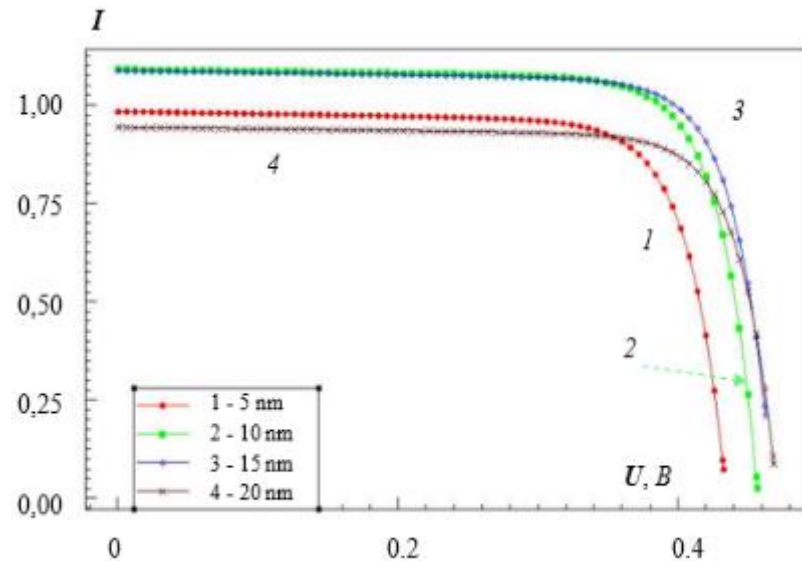


«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Результаты и обсуждение

Проблемы конструирования полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии третьего поколения

Нагрузочная ВАХ кремниевой фотоэлектрической структуры с $p-n$ -переходом для различных размеров радиуса наночастиц металла



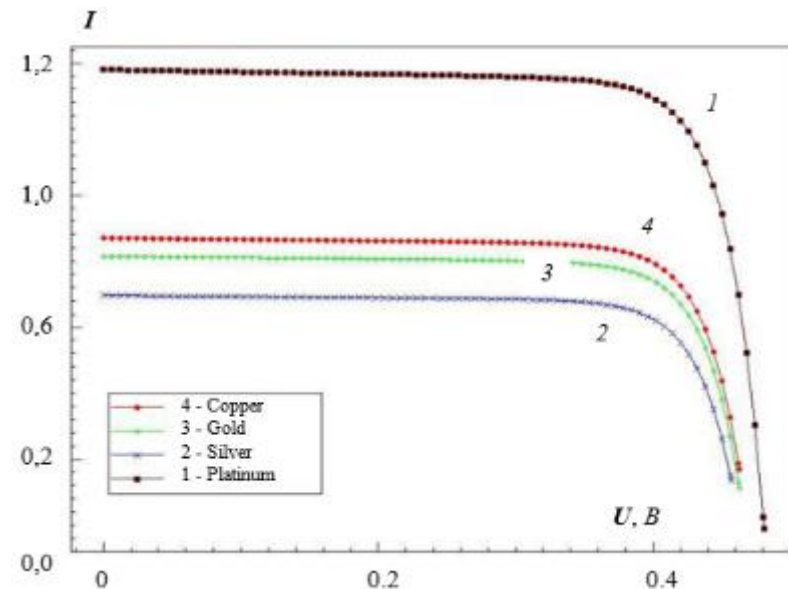


«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Результаты и обсуждение

Проблемы конструирования полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии третьего поколения

Нагрузочная ВАХ кремниевой фотоэлектрической структуры с p - n -переходом для наночастиц различных металлов



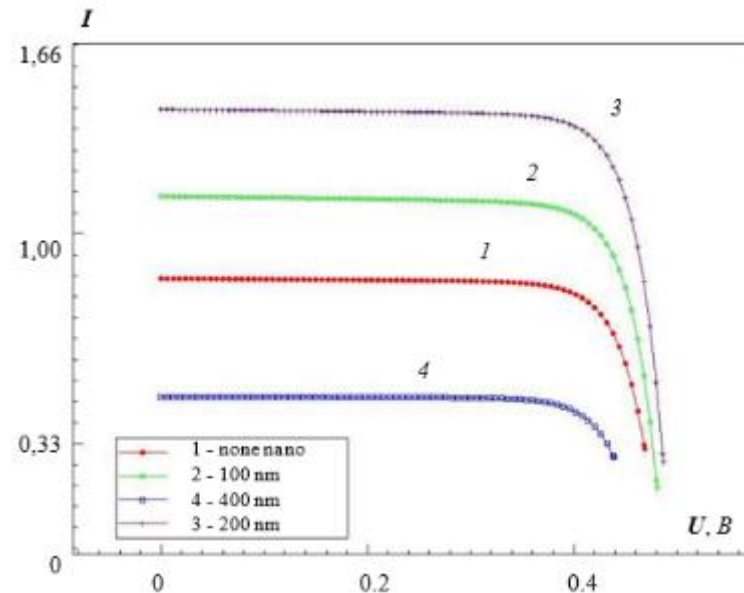


«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Результаты и обсуждение

Проблемы конструирования полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии третьего поколения

Нагрузочная ВАХ кремниевой фотоэлектрической структуры с p - n -переходом для различных размеров расстояний между наночастицами металла





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

Выводы

Таким образом, методом моделирования исследованы фотоэлектрические процессы переноса заряда в тонких кремниевых структурах с $p-n$ -переходом, содержащих наночастиц различных металлов с различными размерами и плотностью их распределения. Сопоставлены абсорбционные и вольт-амперные характеристики фотоэлектрических преобразователей, содержащих наночастицы металлов в тонких слоях диэлектрического покрытия, эмиттера и базы с высокой и низкой степенью легирования, а также на границах раздела, указанных слоев.

Выявлено наиболее эффективное поглощение солнечного спектра излучения в области эмиттера до металлургической границы $p-n$ -перехода и лучшая эффективность фотоэлектрического преобразования энергии кремниевых солнечных элементов.

Определены оптимальные размеры наночастиц металлов, закономерности их распределения, глубины залегания $p-n$ -перехода для тонких слоев кристаллического кремния.

Разработаны прикладные рекомендации по созданию тонкопленочных кремниевых плазмонных солнечных элементов третьего поколения и высокочувствительных фотогальванических детекторов ультрафиолетового излучения.



Литература

[1] В.В.Бессель, В.Г.Кучеров, Р.Д.Мингалева. *Изучение солнечных фотоэлектрических элементов. Учебно-методическое пособие.* – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2016. -90 с.

[2] Д.А.Лизункова. *Исследование электрических и оптических свойств фоточувствительных структур на нанострук-турированном кремнии.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - Физика полупроводников. Самара, 2018, -150 с.

[3] Б.А.Никитин, В.А.Гусаров. “Экспериментальная оценка коэффициента отражения кремниевых фотоэлектрических преобразователей”. *Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE)*. 2016; (7-8): С. 12-18. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2016.07-08.012-018>.

[4] В.Г.Дыскин, М.У.Джанклыч. “Антиотражающее текстурированное покрытие для кремниевых солнечных элементов”. *Международный журнал Гелиотехника*, 2015, №1, С. 93-94.

[5] Chetan Singh Solanki, Hemant Kumar Singh. Anti-reflection and Light Trapping in c-Si Solar Cells. *Green Energy and Technology*. <http://www.springer.com/series/8059> ISSN 1865-3529. ISSN 1865-3537 (electronic). *Green Energy and Technology*. ISBN 978-981-10-4770-1 ISBN 978-981-10-4771-8 (eBook). DOI 10.1007/978-981-10-4771-8. Library of Congress Control Number: 2017940816. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2017. -186 p.

[6] Р.А.Муминов, З.Т.Азаматов, Н.А.Акбарова, В.И.Редкоречев, О.Ф.Тукфатуллин, И.А.Хусаинов. “Влияние голографических покрытий на эффективность кремниевых фотопреобразователей”. *Международный журнал Гелиотехника*, 2014, №3, С. 6-8.

[7] Е.В.Хайдуков, О.Д.Храмова, В.В.Рочева, Д.А.Зуев, О.А.Новодворский, А.А.Лотин, Л.С.Паршина, А.Ю.Поройков, М.А.Тимофеев, Г.Г.Унтила, “Лазерное текстурирование кремния для создания СЭ”, *Известия вузов. Приборостроение*. 2011. т. 54, № 2. С. 26-32.

[8] J.Zhao, A.Wang, P.Altermatt and M.A. Green, “Twenty-four percent efficient silicon solar cells with double layer antireflection coatings and reduced resistance loss”. *Appl. Phys. Lett.*, 66 (26), 3636, 1995.

[9] M.Peters, A.Bielawny, B.Bläsi, R.Carius, S.W.Glunz, J.C.Goldschmidt, H.Hauser, M.Hermle, T.Kirchartz, P.Löper, J.Üpping, R.B.Wehrspohn and G.Willeke, “Photonic concepts for solar cells, in *Physics of Nanostructured Solar Cells*” (eds V. Badescu and M. Paulescu), NOVA Science Publishers, Inc. 2010.

[10] H.Atwater and A.Polman, “Plasmonics for improved photovoltaic devices”. *Nat. Mater.*, 9 (3), p. 205, 2010. [10] J.Zhao, A.Wang, P.Altermatt and M.A. Green, “Twenty-four percent efficient silicon solar cells with double layer antireflection coatings and reduced resistance loss”. *Appl. Phys. Lett.*, 66 (26), 3636, 1995.



Спасибо за внимание!

*Андижанский государственный университет
Ул. Университетская, д. №129, 170100, г. Андижан, Узбекистан
e-mail: alievuz@yahoo.com*