

Список литературы

1. Горбачкий Г.В. Проблемы, связанные с ликвидацией последствий разливов нефти в арктических морях/Г.В.Горбачкий. – Ленинград.: Изд-во Ленинградского университета, 1973. – Ч.3, -70с.
2. Иванов, А.Ю. Поведение и мониторинг разливов нефти в водах арктических морей (на примере Баренцева моря) / А.Ю. Иванов, Н.В. Турлева, Д.В. Ивонин, А.А. Кучейко // Журн.: Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2015. №5. – С. 5-15.
3. Измайлов В.В. Трансформация нефтяных пленок в системе океан-лед-атмосфера // Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана / В.В. Измайлов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – Т. 9. – 145с.
4. Немировская И.А. Нефть в океане: загрязнение и природные потоки / под ред. А.П. Лисицына. – М.: Научный мир, 2013. - 428с.
5. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – 247с.
6. Поттер, С. Ликвидация разливов нефти на арктическом шельфе. Передовой международный опыт: пер. с англ. / С. Поттер, И. Бьюст, К. Трудель и др.; под общей ред. Д. Шольца; - М., 2013. – 139с.
7. Ликвидация чрезвычайных ситуаций и создание в арктической зоне Дальневосточного федерального округа специальных поисково-спасательных мероприятий: Материалы международной конференции «Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике, включая вопросы аварийных разливов нефти», 20-22 августа 2013 г. Москва / редкол.: И.В. Платоненко. – Москва: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. – С. 70-77.
8. Разливы нефти: проблемы, связанные с ликвидацией последствий разливов нефти в арктических морях. – М.: Изд-во WWF, 2011.
9. Технологии ликвидации разливов нефти в ледовых морях в условиях Арктики: Материалы XVI научно-практической конф., «Технологии обеспечения комплексной безопасности, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций – проблемы, перспективы, инновации», 17-19 мая 2011 г. Москва / редкол.: А.В. Оиспов, П.А. Попов. – Москва: Всероссийский НИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2011. – С. 261-270.

ЛАЗЕРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЧЕРЕЗ ПЛЕНКУ ДИЭЛЕКТРИКА

Тюнин Дмитрий Геннадиевич

аспирант 2 курса кафедры микро- и нанозлектроники (МНЭЛ)

Рязанский государственный радиотехнический университет (РГРТУ), г. Рязань

Щелушкин Виктор Николаевич

главный специалист, ООО «СОЛЭКС-С», г. Рязань

Рыбин Николай Борисович

к.ф-м.н., доцент кафедры МНЭЛ РГРТУ, г. Рязань

Толкач Никита Михайлович

аспирант, м.н.с. кафедры МНЭЛ РГРТУ, г. Рязань

АННОТАЦИЯ.

Рассмотрены некоторые результаты исследования влияния лазерного излучения на поверхность кремниевых солнечных элементов (чернение), покрытых тонкими слоями диэлектрических пленок.

ABSTRACT.

Some results of studying the effect of laser radiation on the surface of silicon solar cells (blacking) covered with thin layers of dielectric films are considered.

Ключевые слова. Нановискеры, солнечный элемент, лазерная обработка, диэлектрическая пленка, модификация поверхности, повышение КПД солнечного элемента.

Keywords. Nanowhiskers, solar module, laser processing, dielectric film, surface modification, increase efficiency of solar module.

1. Введение

Солнечная энергетика – важное и перспективное направление альтернативной энергетики современности. Одно из направлений развития данной сферы связано с получением новых материалов, типов, моделей солнечных элементов, а также улучшением уже используемых. Основная задача науки в развитии солнечной энергетике – повышение эффективности преобразующей способности каждого доступного миллиметра солнечного элемента. Современный уровень КПД промышленных образцов солнечных элементов находится на уровне 9-24%,

лабораторные образцы позволяют достигать значений до 46% [1]. Ученым приходится буквально сражаться за каждую десятую часть процента КПД в промышленных образцах.

Один из способов повышения КПД солнечного элемента – структурирование поверхности образца с целью повышения площади поглощающей поверхности элемента. Указанной тематике посвящено много работ [2-4], Цель настоящей работы – анализ результатов совместных исследований сотрудников кафедры МНЭЛ РГРТУ и ООО «СОЛЭКС-С» (г. Рязань).

2. Описание проведенных исследований

Исследования проводились на образцах монокристаллического р-кремния, покрытого тонким слоем диэлектрика (рис. 1).

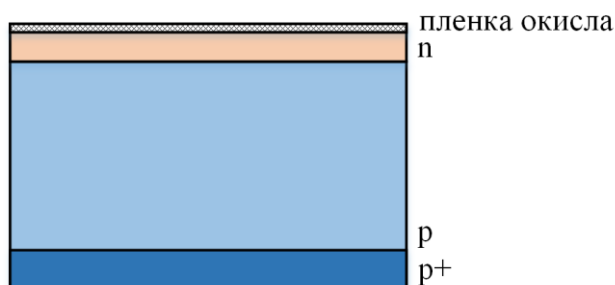


Рисунок 1. Схема структуры исследуемого образца

Исследуемый образец подвергался воздействию импульсного лазерного излучения с длиной волны 266 нм, удельной мощностью 0,3 Дж/см² и длительностью импульса 20 наносекунд без гомогенизатора, количество импульсов – 1000. В результате описанного воздействия на поверхности образца сформировались нановискеры (рис. 2, 3). Отличительной особенностью данных вискерообразных структур является то, что в аналогичных работах с лазерной модификацией поверхности [3-6], их образование происходило в процессе плавления кремния.

Новизна наших исследований заключается в том, что процесс образования вискерообразных структур идет без плавления кремния под слоем диэлектрика. Поверхность образца покрывается тонким слоем диэлектрика, который почти прозрачен для лазера (увеличение поглощения лазерного излучения наблюдается с уменьшением его длины волны). Данный процесс протекает при меньших значениях

удельной мощности лазерного излучения, а также позволяет уменьшить количество воздействующих импульсов.

Механизм образования вискерообразных структур в данных условиях в литературе не описан и до конца не понятен. Нами высказано предположение, что наблюдаемое изменение структуры поверхности происходит за счет твердофазного испарения. Однако установлено, что присутствие на поверхности пленки диэлектрика на кремнии является важным фактором.

Исследования проведены с пленками SiO₂ разной толщины (70, 140, 210, 280, 350, 420 нм) и пленками (SiN)_x. Во всех случаях были получены идентичные вискерообразные структуры, но методом визуального анализа выявлено, что максимально однородно и равномерно удается модифицировать поверхность, покрытую слоем пленки SiO₂ толщиной 70 нм.

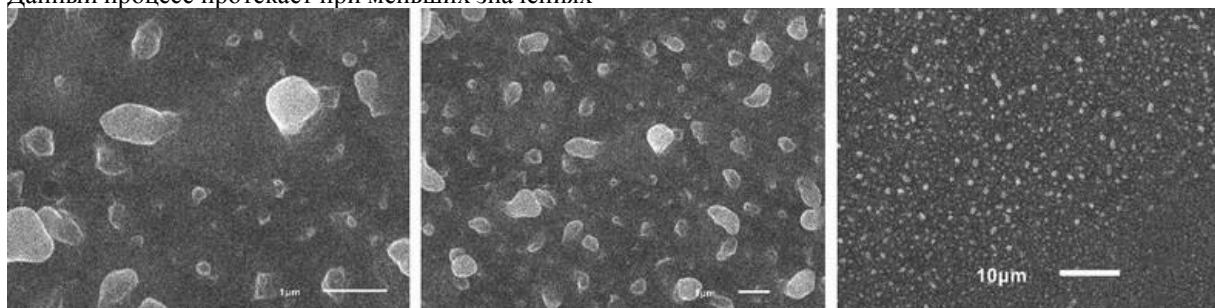


Рисунок 2. Вискеры на гладкой поверхности образца в разных масштабах (вид сверху)

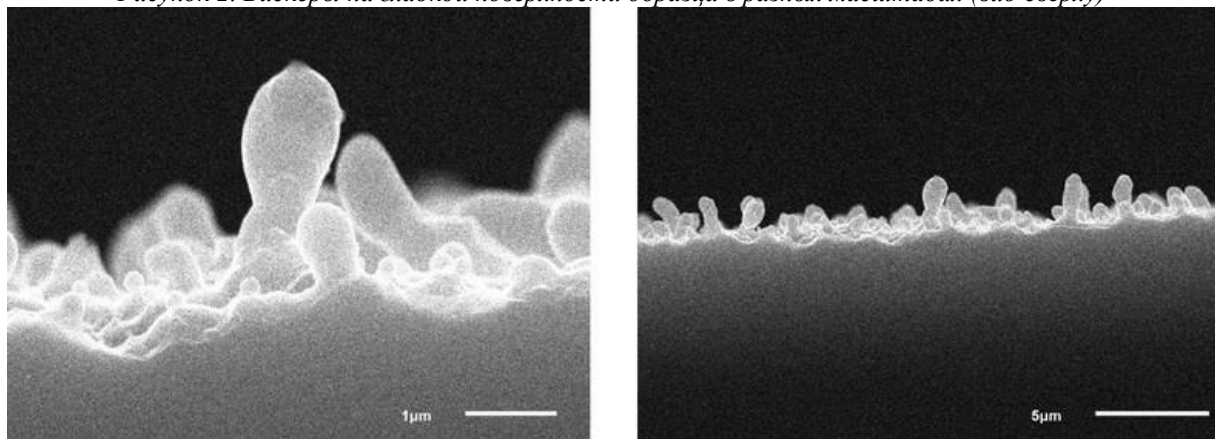


Рисунок 3. Вискеры на гладкой поверхности образца в разных масштабах (вид сбоку)

В наших экспериментах лазерной обработке подвергалась структурированная и не структурированная поверхность кремния. Анализ полученных результатов показал, что на структурированной «пирамидками» поверхности также происходит формирование нановискеров, однако в данном случае они «вырастают» на вершинах «пирамидок»

(рис. 4). Таким образом, плотность вискеро́в оказалась выше на необработанной поверхности, поскольку в этом случае они «вырастают» более равномерно. Также выявлено, что в отличие от химически структурированной поверхности, покрытая нановискерами поверхность имеет нулевой угол блеска, что хорошо наблюдается визуально.

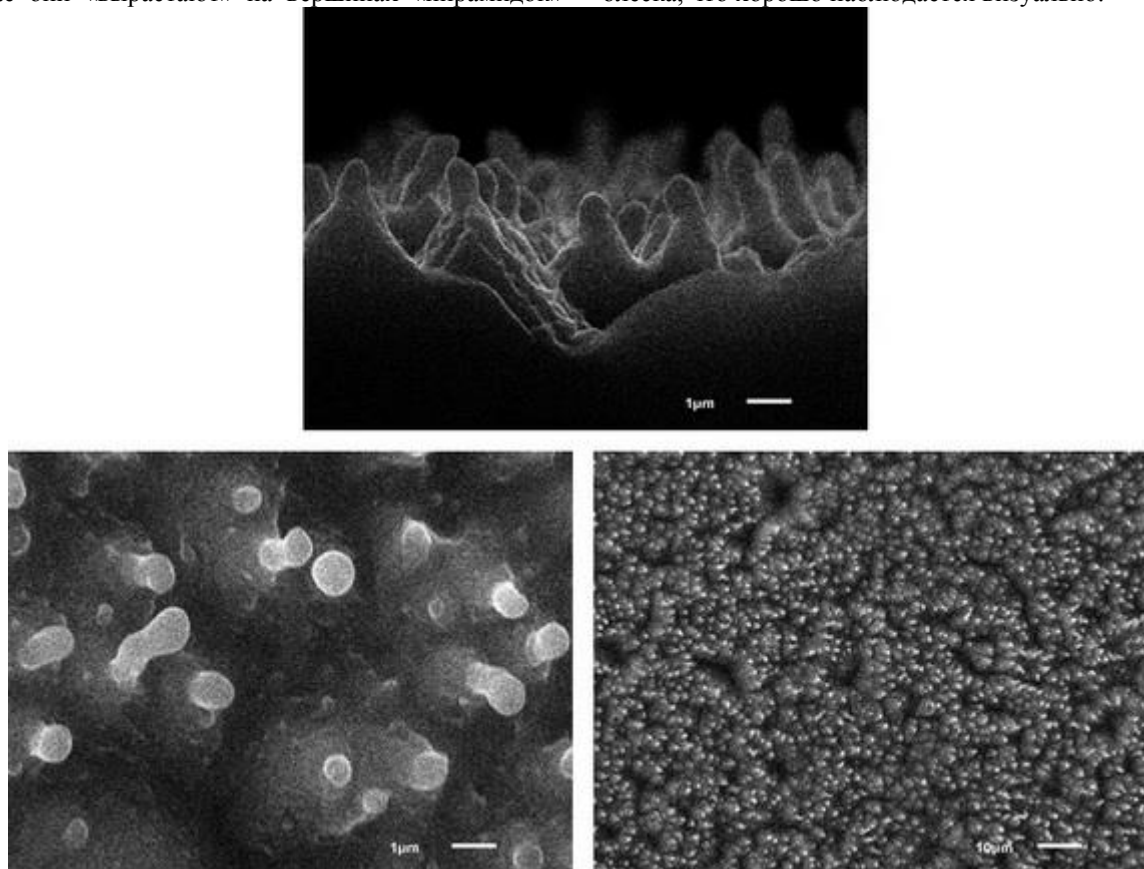


Рисунок 4. Вискеры на структурированной поверхности образца в разных масштабах (вид сбоку и виды сверху)

3. Заключение

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что описанный метод «чернения» поверхности солнечного элемента является весьма перспективным и требует дальнейших исследований. Задачей дальнейших исследований является сопоставление технологических режимов обработки поверхности с характеристиками обработанных образцов и выявление основных преимуществ метода лазерной модификации поверхности солнечных элементов.

Библиографический список

1. «Солнечная батарея» // Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B5%D1%8F (дата обращения: 01.04.2018).
2. Кремнев А. Ю. Лазерная генерация структурных дефектов и твердофазное разрушение поверхности кремния: дис. канд. ф.-м. наук. Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН, Шатура, 2003 - 117 с.

3. Хайдуков Е.В. Лазерное текстурирование кремния для создания солнечных элементов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение - 2011, Т. 54. - № 2. - С. 26 - 32.

4. Банишев А.Ф., Голубев В.С., Кремнев А.Ю. Генерация и накопление дислокаций на поверхности кремния при воздействии импульсно-периодического излучения Nd:YAG лазера // Журнал технической физики - 2001, - Т. 71. - № 8. - 33 с.

5. Pedraza A. J., Fowlkes J. D., Lowndes D. H. Laser ablation and column formation in silicon under oxygen-rich atmospheres // Applied Physics Letters - 2000, V. 77. - No. 19. - P. 3018.

6. Dehghanpour H.R., Parvinb P., Abdolahi S. Performance enhancement of solar panel by surface texturing using ArF excimer laser // Optik - International Journal for Light and Electron Optics - 2015, V. 112. - P. 5496.

7. Способ получения наномодифицированной структуры на поверхности кремния // Патент России № 2649223. 2018. Бюл. № 10. / Хилов С.И., Худыш А.И., Щелушкин В.Н.