

выделяющейся в канале разряда, незначительно смещается в сторону меньших времен с ростом амплитуды импульсного напряжения. Максимальная мощность достигается значительно раньше, чем максимальный ток. Это объясняется инерционностью ионов (по сравнению с электронами), участвующих в переносе заряда. В данном случае – протонов H^+ . Полная энергия, выделяющаяся в расплавах, оказывается пропорциональной начальной скорости нарастания тока. Рост крутизны нарастания тока, обусловленный увеличением амплитуды импульсного напряжения, при неизменных параметрах разрядной цепи приводит к

пропорциональному возрастанию максимальной скорости выделения энергии в канале разряда.

Литература

1. Гаджиев С.М. Высоковольтная электропроводность и релаксационные процессы в бинарных смесях дигидрофосфатов рубидия и цезия. Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). № 12 (69). 2019. С. 60-63.
2. Gadzhiev S.M., Shabanov O.M., Gadghiev A.S., Shalikhova A.M., Alieva S.S., G.S.Efendieva. High-Voltage Electrical Conductivity and Its Postactivation Relaxation in the Binary $NaHSO_4 - CsHSO_4$ System. Russian Metallurgy. Vol. 2015. No 2. pp 103-109.

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОПТИМИЗАЦИИ АНТИОТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.С.Насриддинов¹, М.А.Муйдинова²

¹Доктор технических наук, старший научный сотрудник
Института физики полупроводников и микроэлектроники при
Национальном университете Узбекистана, г. Ташкент

²Преподаватель кафедры физики Андиганского государственного университета, г. Андиган

DIGITAL MODELLING OF OPTIMIZATION PROCESS OF ANTIREFLECTION COVERING FOR SILICON SOLAR CELLS

S.S.Nasritdinov¹, M.A.Mujdinova²

¹Доктор engineering science, senior researcher of Institute of semiconductors physics and microelectronics at National university of Uzbekistan, Tashkent

²Преподаватель chairs of physics of the Andizhan state university, Andijan

DOI: [10.31618/nas.2413-5291.2020.1.56.236](https://doi.org/10.31618/nas.2413-5291.2020.1.56.236)

Аннотация

Обсуждены результаты исследования влияния одно и многослойных антиотражающих покрытий на оптические характеристики кремния. Результаты получены программной системой "PVlighthouse" с приложением "STGraphs", разработанным авторами на основе "C#9.0". Приведены спектральные кривые зависимости показателя поглощения света от толщины антиотражающего покрытия и базового кремния. Использование многослойных антиотражающих покрытий не позволяет сохранить уровень поглощения света при малых толщинах кремния. Целесообразно использовать текстурирование поверхности, способствующий более эффективному удлинению пути луча в толщине кремния.

Abstract

Results of research of influence of single and multilayered antireflection coverings on optical characteristics of silicon are discussed. Results received by program system "PVlighthouse" with the appendix "STGraphs", developed by authors on a basis "C#9.0". Spectral curve dependences of an indicator of absorption of light on a thickness of an antireflection covering and base silicon are resulted. Using of multilayered antireflection coverings aren't sufficient for keeping of absorption level of light at small thickness of silicon. It is expedient to use surfaces texturing which promote more effective lengthening of a beams way of in a thickness of silicon.

Ключевые слова: Кремний; солнечный элемент; антиотражающее покрытие; фронтальная поверхность; однослойное и многослойное покрытие.

Key words: Silicon; solar cell; antireflection cover; frontal surface; single and multi covers.

Известно, что оптические свойства базового материала для солнечных элементов имеют важное значение в определении эффективности полупроводниковых солнечных элементов (СЭ) [1]. Более 85 % используемых в практике СЭ изготовлены на основе поли-, мульти- и монокристаллического кремния [2]. Методы и технологии усовершенствования оптических свойств фронтальной поверхности кремниевых СЭ остается одним из актуальных объектов

исследования полупроводниковой фотовольтаики. Если, изначально использовали однослойные антиотражающие покрытия (АОП), в последствии предложили использовать многослойные АОП. Достигнуты существенные результаты по снижению отраженной части света от фронтальной поверхности СЭ. При этом представляет интерес задача об определении роли АОП в процессе поглощения света самим кремнием. Другими словами, если АОП может стимулировать более

эффективное поглощение света в кремнии, то возникает возможность уменьшения толщины кремния, что, следовательно, приводит к снижению стоимости СЭ, к чему посвящена настоящая работа.

Проведен расчет основных оптических параметров (отражение, поглощение и пропускание) кремниевой пластины с различной толщиной при помощи открытой программной системы “PVlighthouse” с дополнительным приложением “STGraphs”, разработанным авторами на основе “C#9.0” [3]. Приложение “STGraphs” позволяет импортировать большой объем файлов “csv” формата, полученных “PVlighthouse” программой и выполнять их

многофункциональную переработку. В итоге пользователь может получить результаты в виде табличной или диаграммной зависимости с многочисленными аргументами, которые могут быть сохранены в виде файлов “png” или “jpeg”.

Результаты расчета приведены на рис. 1 – рис. 3. В частности, на рис. 1. представлена зависимость показателя поглощения света в кремниевой пластине с толщиной 200 мкм от толщины однослойного антиотражающего покрытия из SiO₂. Можно заметить высокое поглощение света, т. е. минимальное отражение света от поверхности кремния при покрытии его поверхности АОП из SiO₂ с толщиной 100 нм.

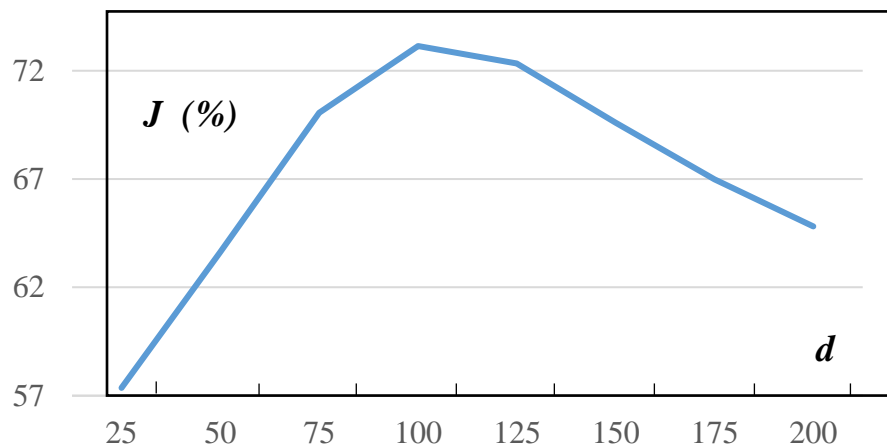


Рис. 1. Зависимость показателя поглощения света в кремнии с толщиной 200 мкм от толщины однослойного антиотражающего покрытия из SiO₂.

Предварительная оценка уровня поглощения света в кремнии, имеющего однослойное покрытие показала ее несущественность. Поэтому, выполнен анализ влияния многослойного антиотражающего

покрытия на процессы поглощения света в кремнии. При этом использована структура от однослойного до четырехслойного покрытия типа “SiN_x/ SiO₂/ SiN_x/ SiO_{x2}/ Si”.

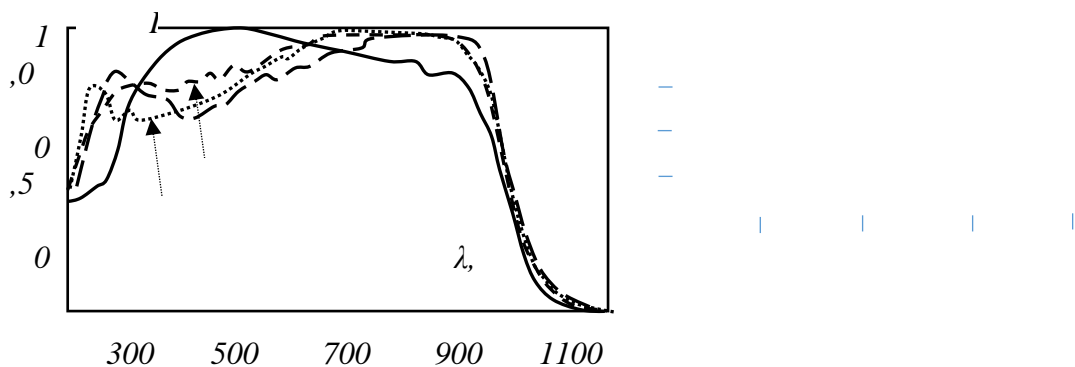


Рис. 2. Зависимость показателя относительного поглощения света в кремнии с толщиной 200 мкм от длины волны света при использовании многослойных антиотражающих покрытий из SiN_x и SiO₂.

Кривые на рис. 2 соответствуют 1- однослойному, 2-двухслойному, 3-трехслойному и 4-четырёхслойному покрытиям с толщиной каждого слоя 75 нм. Как следует из графика, при использовании однослойного покрытия достигается более высокая чувствительность к видимой области спектра с четко выделенным пиком. При использовании многослойных покрытий наблюдается некоторое ухудшение

фоточувствительности в видимой области, но при этом улучшается чувствительность в области ближнего ИК-излучения и частично в области ультрафиолетового излучения.

Известно, что физическая природа использования антиотражающего покрытия на поверхности кремния основана на явление интерференции оптического излучения [4]. При этом имеется вероятность удлинения пути

проникающего в кремний светового луча после многократного преломления на границе “покрытие/кремний”. С целью оценки вклада такого удлинения пути луча в процессе поглощения света выполнен анализ влияния толщины базового кремния на процесс поглощения света в видимой области спектра.

Результаты приведены на рис. 3. Как следует из графика независимо от присутствия

антиотражающего покрытия из SiN_x с толщиной 75 нм, толщина самого кремния существенно влияет на поглощение им света. С уменьшением толщины кремния правая часть спектра передвигается на левую коротковолновую сторону. Так, часть света ближнего ИК-излучения, проходящего через структуры “ SiN_x / Si ” возрастает с уменьшением толщины кремния.

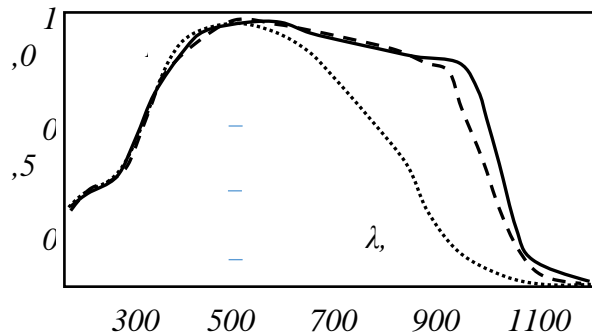


Рис. 3. Зависимость показателя относительного поглощения света в кремнии с различной толщиной (1 – $d=200$ мкм; 2 – $d=100$ мкм; 3 – $d=10$ мкм) от длины волны света при использовании антиотражающего покрытия из SiN_x .

В заключении можно отметить, что использование многослойных антиотражающих покрытий не позволяет сохранить уровень поглощения света при уменьшении толщины базового кремния. По-видимому для этой цели целесообразно использовать дополнительный метод текстурирования поверхности, при котором можно наблюдать более эффективное удлинение пути светового луча в толщине кремния.

Литература

1. В.П.Афанасьев, Е.И.Теруков, А.А.Шерченков Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2-е изд. СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. -168 с.
2. С.Зайнабидинов, Р.Алиев, М.Муйдинова Особенности поглощения излучения в кремнии с

поверхностной текстурой и излучение на свойства фотоэлектрических преобразователей. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» 2019, № 28-33. С. 264-266.

3. М.Муйдинова, Ж.Фуломов, Н.Юлдашева Программный продукт для ЭВМ. Авторское свидетельство РУз № DGU 08078 (2020).

4. С.Б.Мусалинов, И.В.Бычков, А.П.Анзулевич, А.С.Гудовских Моделирование двух- и трехслойных просветляющих покрытий для гетероструктурных солнечных элементов. // Вестник Челябинского государственного университета. 2015. № 7 (362). Физика. Вып. 20. С. 60–63.