

results of the estimated and experimental determination of E_2

Initial water			Ee.q. g-eqv/m ³	g	α	E ₂	
C ₀	G ₀	C _{Ca}				estimated	experim
60	10	5	906	10.8	0.89	660	640
120	20	10	898	4.4	0.71	586	560
200	30	15	964	11.8	0.89	730	680
312	76	26	690	8.3	0.91	512	525
320	72	13	518	12	0.97	408	400
380	130	20	445	12	0.95	327	300

Adequacy of the resulting model was verified by comparison of calculated values of E_2 with experimental data, given earlier in table 1.

Calculation of E_2 was made on computer as method above, by method of consistent approximation, namely by preliminary accepted E_2 value the g , $h_{p.e.}$, α were calculated, then the E_2 value was specified.

For the condition that the calculation is completed, the discrepancy between adjacent values of the exchange capacity was taken, following the inequality:

$$E_2 \leq 1\% \text{ from } E_2$$

Analysis of the obtained results (table3) shown that average deviation of experimental and estimated values of E_2 does not exceed 7%, which is quite acceptable for implementation of practical calculation.

Received model was used for study of the height of cationite layer on the exchange capacity of cationite within values of specified factor which cannot be sustained under laboratory conditions.

It have been determined, that by increase of catalyst layer from 1 up to 3 m a working exchange capacity is increased by 18%, 12% and 20% respectively by processing of mineralized waters (look the table 3).

Thus, the mathematical model of the Mg-Na zeolite softening process of wide class of mineralized waters was obtained, allowing:

- comprehensively research and optimal process;
- solve practical problems by calculation and projection of the water supply plants ensuring non-scale regime work of the heat-engineering systems;
- the same for enterprises of oil production oil refining and other branches of industry.

List of literary references:

1. Сенявин М.М. Ионный обмен в технологии и анализа неорганических веществ. –М: Химия, 1980, 272с.
2. Фейзиов Г.К. Новый способ для предотвращения образования сульфатной накипи на поверхностях нагрева дистилляционных опреснительных установок. // Теплоэнергетика, 1972, №3, с.74-75.
3. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981, 184с.
4. Методы оптимизации обработки высокоминерализованных сточных вод. – Баку, АГНА, Известия ВУЗов, №2, 2005.

Муйдинова М.

Андижанский государственный университет

СТИМУЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРЕМНИЯ ПУТЕМ ТЕКСТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

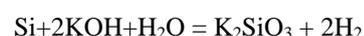
Аннотация. Приведены результаты расчетного анализа влияния геометрических размеров пирамидальной текстуры на коэффициенты отражения и поглощения света видимой области спектра. Определена роль антиотражающего покрытия из SiO₂ в кремниевых пластинах с пирамидальной текстурой.

Ключевые слова: текстура, кремний, отражение, поглощение, антиотражающее покрытие.

Известно, что оптические свойства кремниевых пластин, используемых в качестве базового материала для фотоэлектрических солнечных элементов (СЭ) являются важными показателями, определяющих их эффективность. Для улучшения оптических свойств пластин используются различные формы поверхностного текстурирования. В современных СЭ наибольшее применение получили пирамидальные текстуры, которые традиционно формируются методом щелочного анизотропного травления [1, 2].

Такая технология позволяет создавать неоднородные пирамидальные текстуры с

геометрическими размерами 0,5 - 4 мкм на поверхности пластин кремния. Для достижения однородной поверхностной текстуры необходима предварительная обработка кремниевой пластины с целью удаления нарушенного слоя. В качестве текстурирующего реагента обычно используются водные растворы КОН или NaOH. Взаимодействие кремния и раствора щелочи, например гидроксида калия описывается химической реакцией:



В процессе анизотропного химического травления на поверхности кремния образуются пирамиды, грани которых оказываются кристаллографическими плоскостями. Формирование такого микрорельефа объясняется сильной зависимостью скорости травления кристалла от ориентации кристаллографических плоскостей. Самая низкая скорость травления достигается на плоскости (111). Это связано тем, что плотность упаковки атомов здесь выше всего. В результате наиболее эффективно пирамиды формируются на кремниевых пластинах с ориентацией (100).

Обычно для получения более ровной огранки пирамид в раствор добавляются поверхностно активные вещества, например изопропиловый спирт. С поверхности текстурированных пластин удаляется тонкий слой образовавшегося оксида кремния. После формирования *p-n*-перехода или другой барьерной структуры наносится пассивирующие или антиотражающие покрытия.

Несмотря на доступность и простоты, анизотропное щелочное текстурирование имеет некоторые недостатки [2]. Прежде всего

неидеальная плоскость поверхности кремния приводит к значительному разбросу скоростей травления на различных участках. Поэтому на гранях формирующихся пирамид возрастает вероятность возникновения многочисленных дефектов и ступенек, которые играют роль рекомбинационных центров и негативно сказываются на итоговой эффективности СЭ.

Поэтому целесообразен поиск новых способов текстурирования или последовательного нанесения пассивирующих и антиотражающих материалов для получения СЭ высокой эффективности. Выполнение такой задачи экспериментально требует больших материальных и трудовых ресурсов. Поэтому целесообразно выполнять такие исследования теоретически или методом компьютерного моделирования.

Представленная работа посвящена расчетному анализу влияния высоты пирамид текстуры на поверхности кремния на оптические параметры: коэффициента отражения и коэффициента поглощения. Расчет выполнен используя разработанную на «VisualBasic» программу. Результаты расчета представлены на рис. 1 – рис. 4.

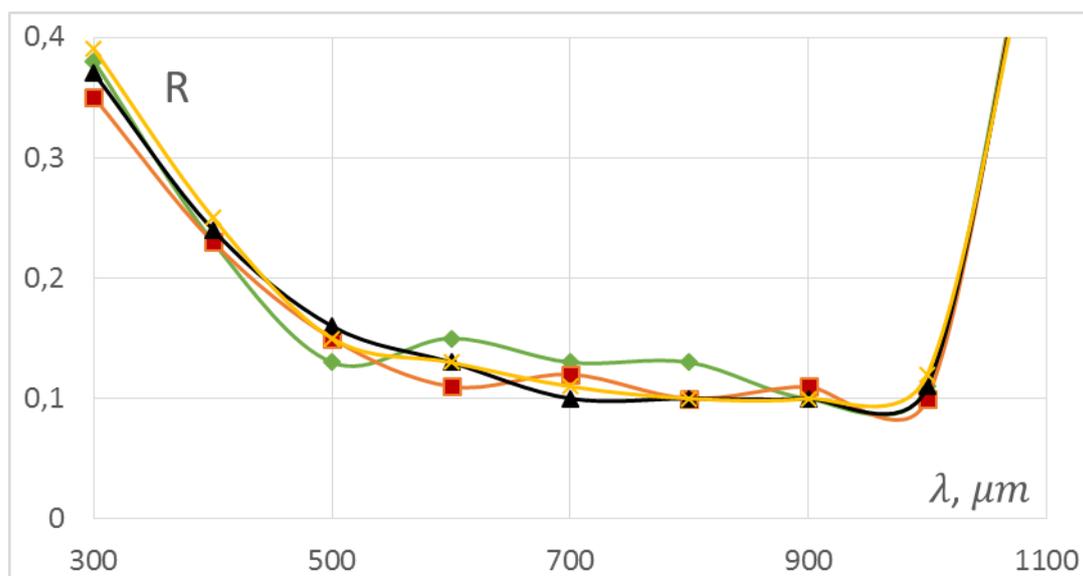


Рис. 1. Спектральная зависимость коэффициента отражения света от поверхности текстурированного кремния. Высоты пирамид составляют: $h=1$ мкм (◆), $h=4$ мкм (■), $h=7$ мкм (▲), $h=10$ мкм (✕).

Как видно из рис. 1, при выборе пирамид с высотой ≈ 1 мкм в области длин волн света 600 – 800 нм наблюдается некоторое высокое значения коэффициента отражения. В области 600 – 900 мкм лучший результат показывает значение высоты

пирамиды ≈ 4 мкм. А при высоте пирамиды ≈ 10 мкм лучшие показатели заметны при длине волны света более 700 нм. Для всего указанного диапазона высоты пирамид коэффициент отражения изменяется в пределах от 0,09 % до 0,15 %.

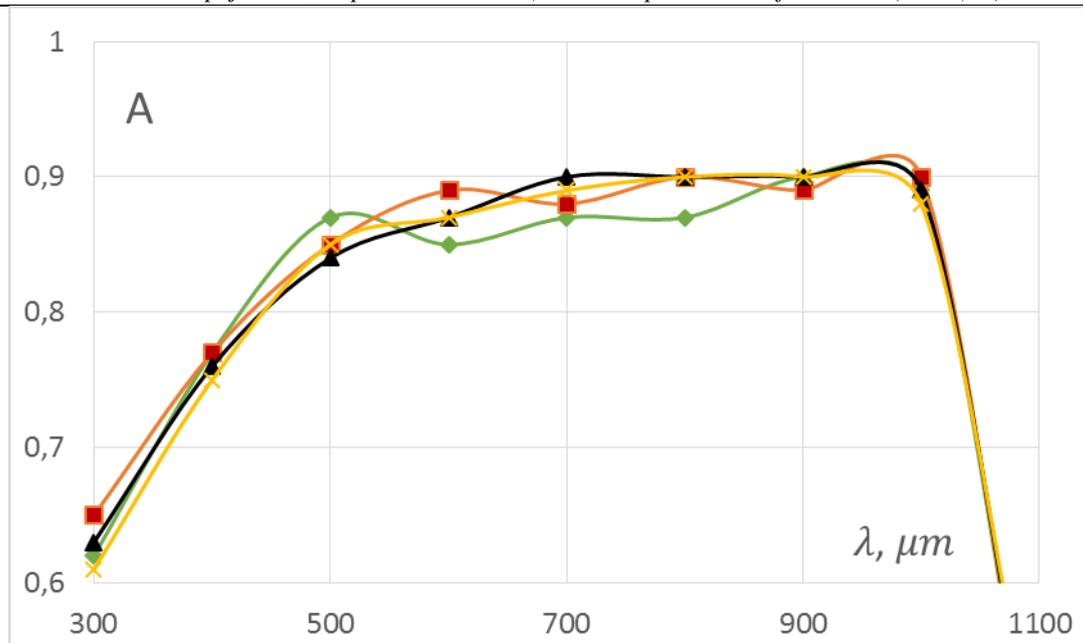


Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициента поглощения света от поверхности текстурированного кремния. Высоты пирамид составляют: $h=1$ мкм (♦), $h=4$ мкм (■), $h=7$ мкм (▲), $h=10$ мкм (×).

На рис. 2 представлены кривые зависимости величины коэффициента поглощения пирамидально текстурированного кремния для различных значений высоты пирамид. В отличие от данных рис. 1, можно отметить, что в области длин волн света 500 – 1000 нм значения коэффициента поглощения пирамидально текстурированного кремния изменяется от 0,84 % до 0,91 %.

Как выше было сказано, с целью пассивирования рекомбинационных центров на поверхности наносится слой оксида кремния. Обычно сверх пассивирующего слоя дополнительный антиотражающий слой диэлектрика.

В промышленной технологии изготовления кремниевых СЭ и в НТТтехнологии гетероструктурных СЭ широко используются слои SiO_2 , $\text{SiO}_2 + \text{Si}_3\text{N}_4$ или другие более сложные многослойные структуры.

Для оценки роли таких окисных слоев в изменении значений коэффициентов отражения и поглощения кремния с текстурированной поверхностью в настоящей работе выполнен расчет. Использован случай, когда на текстурированную поверхность кремния нанесен слой SiO_2 толщиной ≈ 75 мкм. При этом, естественно рассмотрены только оптические свойства материала. Т. е. физический процесс пассивирования поверхностных рекомбинационных центров не рассматривается. Такие расчетные работы выполнены только предварительного анализа, поэтому рассмотрен случай с одним слоем диэлектрика. Считаем, для полноты картины можно выполнит расчет для двухкомпонентных слоев, как $\text{SiO}_2 + \text{Si}_3\text{N}_4$ и другие.

Результаты расчета приведены на графиках рис. 3 и рис. 4 для случая «пирамиды с различной высоты / + SiO_2 ».

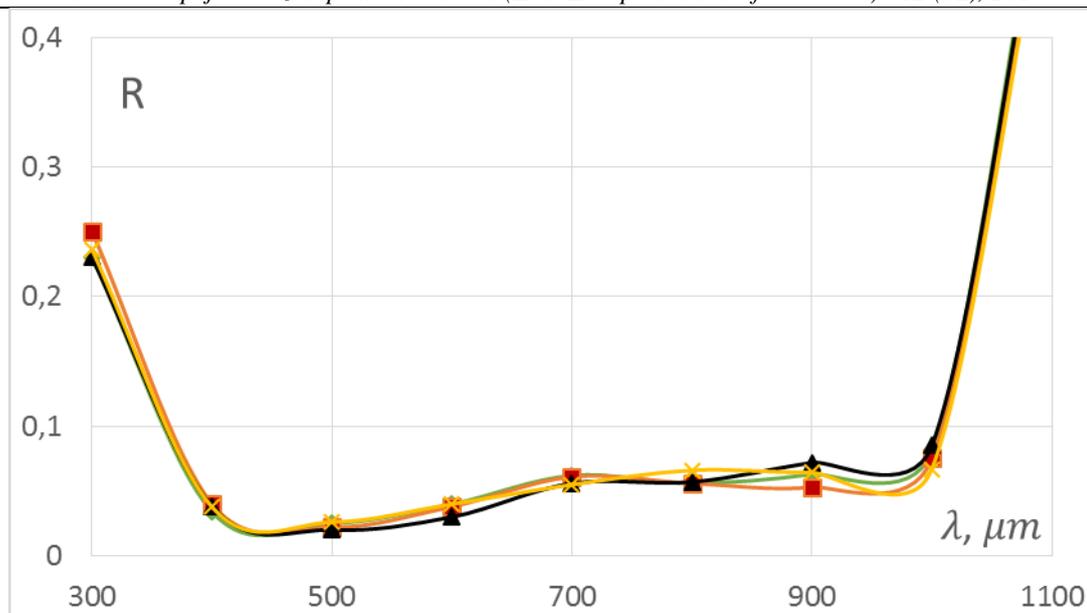


Рис. 3. Спектральная зависимость коэффициента отражения света от поверхности текстурированного кремния с дополнительным АОП из SiO_2 . Высоты пирамид составляют: $h=1$ мкм (◆), $h=4$ мкм (■), $h=7$ мкм (●), $h=10$ мкм (▲).

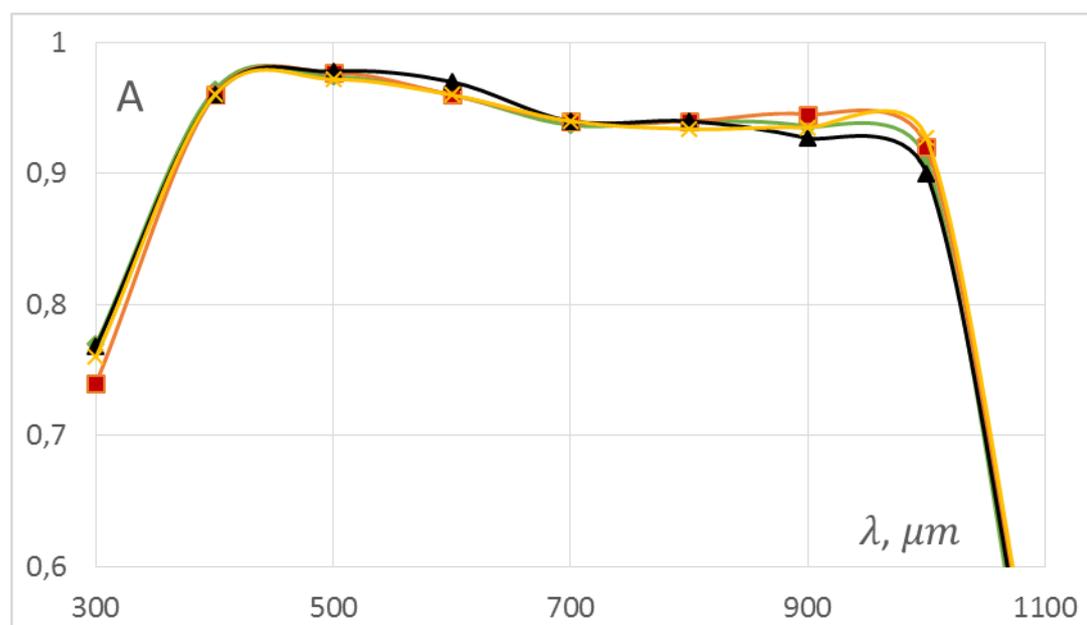


Рис. 4. Спектральная зависимость коэффициента поглощения света от поверхности текстурированного кремния с дополнительным АОП из SiO_2 . Высоты пирамид составляют: $h=1$ мкм (◆), $h=4$ мкм (■), $h=7$ мкм (●), $h=10$ мкм (▲).

По данным рис. 3 и рис. 4 можно отметить, что слой SiO_2 , нанесенный на текстурированную поверхность кремния играет сглаживающую роль. Значения коэффициентов отражения и поглощения в исследованном диапазоне спектра изменяются более узким интервалом чем в случае без окисного слоя.

Таким образом, улучшение характеристик поглощения света солнечным элементом может быть достигнуто путем анизотропного травления поверхности кремния, в результате которого формируется текстура пирамид. Этот вид текстурирования в сочетании с оптимизированным просветляющим покрытием поверхности СЭ

обеспечивает значительное увеличение оптического поглощения. Для прогнозирования оптимальных параметров такой комбинированной структуры и параметров СЭ может быть эффективно применено численное моделирование с разработанной на «VisualBasic» основе программы.

Литература

1. Н. Angermann, A. Laades, U. Stürzebecher, E. Conrad, C. Klimm, T.F. Schulze, K. Jacob, A. Lawrenz, L. Korte. // Sol. St. Phenomena, 187, 349 (2012).

2. Новые технологические подходы к созданию текстур и согласованию термического расширения в дизайне высокоэффективных

кремниевых солнечных фотопреобразователей. // Физика и техника полупроводников, 2018, том 52, вып. 13. С. 1675-1682.

*Николаев Иван Семенович,
Меньшиков Алексей Сергеевич,
Воронов Виктор Владимирович,
Шиляев Сергей Александрович*

*ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова»,
Россия*

ВНЕДРЕНИЕ PLM СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВО.

Аннотация. В настоящее время экономическая ситуация в России переживают не лучшие времена. Многие государства предъявляют против нас санкции, которые ограничивают возможности нашей страны. В связи с этим, правительством было принято решение повысить количество и качество выпускаемой продукции предприятий на новый уровень. В результате таких изменений современные предприятия столкнулись с рядом проблем, один из которых устаревшие методы управления жизненным циклом изделия. Выходом из сложившейся ситуации послужило внедрение PLM систем. В данной статье рассмотрены улучшения полученные в результате применения программного продукта Teamcenter.

Ключевые слова: машиностроение, изделие, жизненный цикл изделия, PLM, Teamcenter.

В связи с указом президента Российской Федерации об основных направлениях государственной политики по развитию конкуренции № 618 от 12 декабря 2019 года было принято решение повысить удовлетворенность жизни населения с помощью увеличения ассортимента товаров повышения их качества и снижения цен. Необходимо создать условия для производства отечественных товаров, способных эффективно конкурировать с зарубежными аналогами на внешних и внутренних рынках. Повысить экспорт российских промышленных товаров в общем объеме, изготавливаемых на территории нашей страны.

В результате таких изменений увеличивается номенклатура выпускаемой продукции. Одна из проблем, с которой сталкиваются современные предприятия, это устаревшие методы хранения информации. Конструкторская и технологическая документация хранится в бумажном виде (на кальках). Многие документы изнашиваются и теряются. Поиск нужной информации занимает много времени. Это приводит к снижению

производительности и увеличению сроков выполнения поставленной задачи. Тем самым появляется необходимость создания единой базы данных.

Для завоевания устойчивых позиций на высоко-конкурентном рынке машиностроения необходимо внедрять современные методы обмена информации, позволяющие управлять инженерными данными и производственными процессами на всем протяжении жизненного цикла изделия.

Все эти проблемы решают PLM системы.

PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом продукции) – это комплекс современных информационных программ, позволяющий управлять всеми данными об изделии. Дает одновременный доступ разным категориям специалистов, для реализации в полном объеме принципов параллельного проектирования изделий, т.е. продукция конкретного типа может одновременно находиться в нескольких стадиях жизненного цикла, например, в стадиях производства, эксплуатации и ремонта.

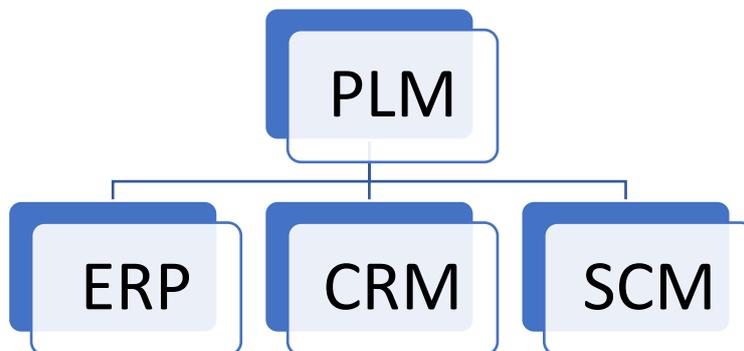


Рисунок 1 – PLM-система и ее место в информационной инфраструктуре предприятия; ERP – контроль ресурсов предприятия; CRM – управление взаимодействием с клиентом; SCM – контроль цепочки поставок.