ВЛИЯНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Э.З.Имамов, Р.А.Муминов, Т.А.Джалалов, Х.Н.Каримов

Мақолада гелиоэнергетика самародорлигини оширишнинг инновацион усули тақдим этилган. Қуёш элементининг иккита компоненти (таглик материали ва p-n ўтиш характери)га қўйилувчи талаблар аниқланган. Қуёш элементи таглигини нанотехнологик тайёрлаш зарурати кўрсатилган. Техник кремнийга таглик сифатида қарашга имкон берувчи шарт-шароитлар аниқланган. Яримўтказгичли ситемаларнинг ўз ўзини ташкил қилиш физикавий эффекти асосида таглик сиртида нанлокластерлар ўсиш жараёнининг физик манзараси берилган.

***Калит сўзлар**: қуёш элементи, нанотехнология, нанокластер, креминий, нанокомпонент.*

В статье представлен инновационный способ повышения эффективности гелиоэнергетики. Определены требования, предъявляемые к двум компонентам солнечного элемента (материалу подложки и характеру p-n перехода). Показана необходимость нанотехнологической подготовки подложки солнечного элемента. Определены условия, при которых можно в качестве подложки рассматривать технический кремний. Дана физическая картина процесса роста нанокластеров на поверхности подложки на основе фундаментального физического эффекта самоорганизации полупроводниковых систем.

***Ключевые слова**: солнечный элемент, нанотехнология, нанокластер, кремний, нанокомпонент.*

In article presents an innovative way to improve the efficiency of solar energy. The requirements for the two components of the solar cell (the substrate material and the nature of the p-n junction) are determined. The necessity of nanotechnological preparation of the solar cell substrate is shown. The conditions under which technical silicon can be considered as a substrate are determined. A physical picture of the growth process of nanoclusters on the substrate surface based on the fundamental physical effect of self-organization of semiconductor systems is given.

***Key words**: solar cell, nanotechnology, nanocluster, silicon, nanocomponent.*

Инновационный способ повышения эффективности гелиоэнергетики

Современная гелиоэнергетика требует разработки инновационных способов повышения эффективности производства солнечного электричества. Без этого она будет не в состоянии конкурировать с углеводородной энергетикой.

Проблемы солнечной энергетики упираются в себестоимость вырабатываемой солнечной энергии. А она определяется технологиями добычи (производства), хранения и транспортировки солнечной энергии, необходимостью учета климатических, географических и других природных факторов. Для полноценной конкуренции с углеводородной энергетикой необходимы в гелиоэнергетике серьезные структурные преобразования, способные обеспечить резкое повышение эффективности солнечных станций [1].

Основным параметром эффективности гелиоэнергетики является относительная обобщенная стоимость вырабатываемой энергии. В нее входят:

- относительная стоимость выходной продукции (электрической энергии) по сравнению с продукцией углеводородной энергетики;
- расходы, связанные с сохранением длительного работоспособного состояния самой станции и отдельных её комплектующих элементов;
- стоимость эксплуатационных затрат, расходы на периодическую модернизацию станции и многие другие побочные затраты.

Процесс активной конкуренции солнечных станций с углеводородной энергетикой может дать положительный исход только при коренном пересмотре существующих классических представлений о технологических процессах изготовления высокоэффективного разделяющего контакта для солнечного элемента. Это означает, что эффективность солнечной энергетики определяется эффективностью её основной комплектующей элементарной структурной компоненты, а именно солнечным элементом, в котором осуществляется прямое преобразование излучения Солнца в электричество.

Высокая эффективность солнечного элемента означает дешевизну технологии его производства, дешевизну применяемых при их создании материалов, долговечность, устойчивость и стабильность их функционирования.

Для создания солнечных элементов, удовлетворяющих в полной мере вышеперечисленным требованиям, необходим поиск новых нетрадиционных подходов и методов.

Требования к двум компонентам солнечного элемента

Поскольку основная комплектующая элементарная структурная компонента, а именно, солнечный элемент состоит только из полупроводниковой подложки и p-n перехода (разделяющей контактной структуры), то проблема эффективности кроется в необходимости их совершенствования. Надо искать другой материал для подложки солнечного элемента и совершенствовать технологический процесс изготовления высокоэффективных разделяющих контактов, то есть создание принципиально новых типов p-n переходов [2].

Материал полупроводниковой подложки. В противовес существующим классическим представлениям о пригодности только строго кристаллического кремния (желательно с высокой степенью чистоты), предлагается в качестве материала подложки солнечного элемента использовать сильно дефектный некристаллический технический кремний [3-7].

Он многократно дешевле монокристаллического (на два порядка), имеет слабо выраженную кристаллическую структуру, обладает высокой степенью дефектности. Спектр дефектов по качеству и разнообразию весьма богат: они различны и по размерам, и по типу формирующих ими электронных энергетических состояний.

Использование технического кремния в качестве подложки солнечного элемента может привести (при определенных условиях) к резкому удешевлению процесса получения солнечного электричества, к повышению эффективности солнечного преобразования, а также к росту сферы прикладных возможностей солнечной энергетики.

Именно в этом нетрадиционность, уникальность и инновационость предлагаемых солнечных элементов.

Подобная метаморфоза свойств солнечного элемента с сильно дефектной подложкой не наблюдалась никогда ранее. Всегда сильная дефектность материала контактных структур считалась негативным фактором.

Нанотехнологическая подготовка подложки солнечного элемента

Выясним те условия, при которых технический кремний становится эффективным материалом в качестве подложки солнечного элемента. Реализовать такое преобразование свойства материала, оказывается, возможно, только после предварительного нанотехнологического воздействия на поверхность подложки, которое в состоянии резко изменить характер проявлений её электрофизических и оптических свойств [1].

На отполированной поверхности подложки из технического кремния методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) выращиваются нанокластеры из другого полупроводника. Физика процесса роста основана на фундаментальном физическом эффекте самоорганизации полупроводниковых систем [8]. При тщательном соблюдении необходимых условий постановки эксперимента, эффект самоорганизации позволяет спонтанно формировать равновесные, периодически упорядоченные, когерентно напряженные, трехмерные нанокластеры на поверхности широкозонного полупроводника.

Материал подложки должен быть однородным и должен представлять замкнутую систему. И тогда освещаемая поверхность кремниевой подложки в соответствии с эффектом самоорганизации будет самопроизвольно и упорядоченно покрываться бездислокационными и устойчивыми, пространственно ограниченными в трех измерениях нановключениями (или нанокластерами). Только в этом случае нанокластеры будут равновесными, периодически упорядоченными, когерентно напряженными, с высоким кристаллическим трехмерным совершенством и высокой однородностью по размерам.

Спонтанный характер формирования нанокластеров (или нановключений) особенно эффективно происходит, если в качестве материала нанокластера использовать узкозонный полупроводник (относительно широкозонного кремния с $\Delta E_g \approx 1{,}08$эВ) с высокой электроемкостью.

Высокая электроемкость нановключения необходима для концентрации в себе большого количества электронов. Полупроводники из семейства халкогенидов свинца [9] (например, PbS или PbSe) являются наиболее приемлемыми:

- они узкозонные: $\Delta E_g^{PbS;PbSe} \sim 0{,}2 \div 0{,}4$ эВ;
- обладают высокими значениями диэлектрической проницаемости: $\varepsilon_{PbS} = 175$, $\varepsilon_{PbSe} = 250$, $\varepsilon_{Si} = 12$;
- у них малые значения эффективных масс носителей заряда: для PbS $m_n/m_o = 0{,}8 = m_p/m_o$, для PbSe $m_n/m_o = 0{,}04$ и $m_p/m_o = 0{,}03$

Механизм и условия эпитаксиального роста нанокластеров

Рост нанокластеров обусловлен дальнодействующими полями упругих напряжений двух контактирующих поверхностей (подложки и нанокластера). Ощутимы также упругие напряжения между гранями и границами ребер наружной поверхности самой наноструктуры [10-12].

Согласно термодинамическим представлениям возможность спонтанного возникновения нанокластеров обусловлена малостью свободной энергии твердого раствора со сложной формой (например, халкогениды свинца) с неоднородным по профилю составом по сравнению со свободной энергией твердого раствора с постоянным составом (кремний).

Процесс образования наногетероконтактной структуры

Контакт нанокластера из сильно электроемкого полупроводника (например, PbS или PbSe) с поверхностью подложки солнечного элемента сопровождается переходами свободных электронов подложки в нанокластер.

Рост нейтральных нанокластеров, сопровождающийся образованием наноразмерной p-области и длинной n-области, приводит к формированию при каждом нановключении на подложке отдельной наногетероконтактной структуры.

Образование отрицательно заряженной наноразмерной p-области и длинной положительно заряженной n-области вызывает возникновение дополнительного сильного электростатического притяжения между элементами наногетероконтактной структуры, что усиливают и без того цепкое их взаимодействие дальнодействующими полями упругих напряжений двух контактирующих поверхностей.

Пространственные параметры новой контактной структуры позволяют назвать наногетероструктуру «наноразмерным», а её электрические характеристики – «p-n переходом». Расположен этот «наноразмерный p-n переход» прямо у освещаемой поверхности подложки.

Литература

1. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А. Наноструктурный кремниевый солнечный элемент/ Монография. Ташкент: Fan va texnologiya, 2018. – 106 с.

2. Цой Б. Преобразователь электромагнитного излучения // EP2405487 A1 - Патент в Евразийском патентном ведомстве (2012.08.30) и Способ изготовления пучкового перехода, пучковый преобразователь электромагнитного излучения. №WO 2011/040838 // Патент во всемирной организации интеллектуальной собственности (07.04.2011).

3. Djalalov T.A., Imamov E.Z., Muminov R.A., Rakhimov R.Kh. Expamsion of effectivc absorb spectrum Unique opportunity to create cheap but effective silicon solar cells // Computational nanotechnology. – 2018 – №1. – P. 155-157.

4. Jalalov T.A., Imamov E.Z., Muminov R.A., Sabirov H., Atoev Sh.Sh. Solar elements based on noncrystallic silicon with nanostructured impacts // Computational nanotechnology. – 2018. – №3. – P. 85-90.

5. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А., Каримов Х.Н. Расширение спектра эффективного поглощения света // Илмий хабарнома. – 2017. – №3. – P. 18-23.

6. Джалалов Т.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А., Рахимов Р.Х. Анализ роли нанообъектов в удешевлении кремниевых солнечных элементов // Computational nanotechnology. – 2017. – №3. – P. 14-18

7. Imamov E.Z., Djalalov T.A., Muminov R.A., Rakhimov R.Kh. Unique opportunity to create cheap but effective silicon solar cells // Computational nanotechnology. – 2017. – №1. – P. 61-65.

8. Haken H. Synergetics. – Springer, Berlin-Heidelberg, 1997.

9. Бахадирханов М.К., Ортиков И.Б. Малый энциклопедический справочник по полупроводниковым материалам. – Ташкент: ТашГТУ, 2006. – 199 с.

10. Леденцов Н.Н., Устинов В.М., Иванов С.В. и др. Упорядоченные массивы квантовых точек в полупроводниковых матрицах // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166. – №4. – С.423-428.

11. Shchukin V.A., Ledentsov N.N., Kop'ev P.S., Bimberg D. Spontaneous ordering of arrays of coherent strained islands // Physical Review Letters – 1995. – V. 75. – №16. – P. 2968-2971.

12. Леденцов Н.Н., Устинов В.М., Щукин В.А. и др. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры // Физика и техника полупроводников. – 1998. – Т. 32. – .№4. – С. 385-410.

Тошкент ахборот технологиялари университети,
ЎзФА "Физика-Қуёш" ИИБ ФТИ
2018 йил 29 норябрда қабул қилинган
(Тақризчи: акад. С.Зайнобидинов)