

сти тензосвойствами материала, что позволяет не только создать новый класс тензодатчиков, но и начать новое научное направление по использованию тензоэффекта в объемнонаноструктурированном материале.

Выводы.

Тензосвойства кремния с нанокластерами атомов марганца существенно отличаются от тензосвойств обычных полупроводников, в том числе кремния легированного различными примесными атомами. Установлено, что повышение температуры и освещение существенно увеличивают тензочувствительность материала.

Литература

1. Проценко И.Г., Брусенцов Ю.А. Определение механических деформаций и напряжений полупроводниковыми тензочувствительными элементами // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Россия, 2014, №1(50). -С. 272-280.
2. Дружинин А.А., Кутраков А.П., Лях-Кагуй Н.С., Вуйчик А.М. Двухфункциональный датчик давления-температуры на основе нитевидных кристаллов кремния // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2013, №4. -С. 23-26.
3. Бахадирханов М.К., Аюпов К.С., Мавлянов Г.Х., Илиев Х.М., Исамов С.Б. Фотопроводимость кремния с нанокластерами атомов марганца // Микроэлектроника. –Москва: 2010, Т. 39. Вып. 6. -С. 426-429.
4. Bakhadyrkhanov M.K., Mavlonov G. Kh., Isamov S. B., Iliev Kh. M., Ayupov K.S., Saparniyazova Z. M., and Tachilin S. A. Transport Properties of Silicon Doped with Manganese via Low-Temperature Diffusion // Inorganic Materials. Russia. 2011, Vol. 47, No. 5, -P. 479-483.
5. Баринев И.Н. Полупроводниковые тензорезистивные датчики давления на основе КНД-структуры // Компоненты и технологии. –Москва: 2009, № 5, -С. 12-15.
6. Бахадирханов М.К., Илиев Х.М., Зикриллаев Х.Ф. Влияние одноосного сжатия на фотопроводимость сильнокомпенсированного Si <B. Mn>. // Письма в ЖТФ. – 1998, - Т.24. №22. –С. 23-28.
7. Моллаев А. Ю., Арсланов Р. К., Камилов И. К., Арсланов Т.Р., Залибеков У.З., Федорченко И. В. Влияние высокого давления на электросопротивление и изменение объема в ферромагнитных полупроводниках $A^{II}B^{IV}CV$: Mn // Журнал Неорганической химии. - Москва: 2015, Т. 60. Вып. 8, -С. 1095-1099.
8. Бахадирханов М.К., Абдураимов А. Влияние упругого сжатия в направлении [100] на параметры ТЗН в кремнии, легированном марганцем. // Физика и техника полупроводников. - 1986, - Т. 20. - Вып. 9. - С. 1561-1564.
9. Турсунбаев С.А., Камалов А.Б., Илиев Х.М., Тачилин С.А., Кушиев Г.А. Тензосвойства кремния с нанокластерами. // Физика полупроводников и микроэлектронике. Научный журнал. 2019, том 1, выпуск 4. Издательство ООО «VNE-SHINVESTPROM». –Ташкент: DOI 10.37681/2181-9947-2019-4.
10. Маматкаримов О.О., Хамидов Р.Х. Тензорезистивный эффект кремния с примесью олова при статическом и динамическом давлениях. Письма в ЖТФ. 2003. Т.29. №3. -С. 24 - 28.

РЕЗЮМЕ

Таркибида марганец атомлари нанокластерлари бўлган кремнийнинг тензохоссалари оддий яримўтказгичлар, жумладан турли киришма атомлари билан легирланган кремний, тензохоссаларидан фарқ қилиши кўрсатилган. Ҳарорат ва ёритилганликнинг ортиши материал тензосезгирлигининг сезиларли даражада ортишига олиб келиши топилган. Топилган натижалар нанокластер (квант нукталар) да ҳамда материалда ташкил топган минизоналарда энергетик спектрлар кенгайиши билан тушунтирилади.

РЕЗЮМЕ

В статье приводятся данные о том, что тензосвойства кремния с нанокластерами атомов марганца существенно отличаются от тензосвойств обычных полупроводников, в том числе кремния легированного различными примесными атомами. Обнаружено, что повышение температуры и освещение существенно увеличивают тензочувствительность материала. Полученные результаты объясняются расширением энергетического спектра как в нанокластерах (квантовых точках), так и в сформированных мини зонах в таком материале.

SUMMARY

The article presents the data that tensorial properties of silicon with nanoclusters of manganese atoms differ from that of ordinary semiconductors, including from that of silicon doped with different impurity atoms. It is found that increase of temperature and illumination substantially increase tensorial sensitivity of the material. The obtained results are explained by the widening of energetic spectrum in both nanoclusters (quantum dots) and formed minizones in the material.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

К.А.Исмаилов – доктор физико-математических наук, профессор

Е.Ж.Косбергенов – докторант

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: кремний асосида куёш элементи, деградация, кучланишнинг температура коэффициент, поликристалл кремний.

Ключевые слова: кремниевый солнечный элемент, деградация, температурный коэффициент напряжения, полукристаллический кремний.

Key words: silicon solar cell, degradation, voltage temperature coefficient, polycrystalline silicon.

Введение. Эффективность солнечной панели в течение срока службы постоянно снижается, поскольку компоненты панели стареют во время наружного воздействия. Первоначальная деградация солнечных панелей происходит с самых первых часов работы в полевых условиях. Через некоторое время мощность стабилизируется на определенном уровне относительно исходной мощности [1]. На сегодняшний день большинство (более 90 %) доступных солнечных модулей (СМ) изготовлены из моно или поликристаллического кремния [2]. Примерно 95% фотоэлектрических мо-

дулей изготовлены с использованием кремниевых подложек р-типа, которые подвержены деградации при воздействии солнечного света, даже при таких низких температурах, как 70°C, встречающихся в типичных условиях работы солнечных панелей [3].

В последнее время, в связи с накоплением опыта эксплуатации СЭ, особое внимание уделяется вопросам прогнозирования долгосрочных значений параметров СЭ и их изменению с течением времени, в результате чего в реальных условиях выходная мощность отличается от ожидаемой, измеренной в лабора-

торных условиях. Основными факторами, определяющими деградационные процессы, являются: термоциклирование, ультрафиолетовое излучение, воздействие влаги. В процессе эксплуатации все вышеуказанные факторы приводят к снижению мощности, однако выявить точный вклад отдельного фактора в процессе эксплуатации затруднительно [4].

Экспериментальная часть. Цель работы - установить закономерности изменения основных параметров при высокой температуре и определить влияние освещенности и температуры на темп деградации параметров кремниевых солнечных элементов. В настоящей работе приводятся результаты исследования дополнительного легирования атомами никеля кремниевых фотоэлементов. Образцы (p-n-структуры) делились на три группы для получения разных структур. Группа I — контрольные образцы; группа II — образцы, у которых на тыльной стороне структур в вакууме был напылен тонкий металлический слой чистого никеля толщиной 1 мкм; группа III — образцы у которых металлическая пленка никеля создавалась на поверхности. Все образцы подвергались диффузионному термоотжигу в одинаковых условиях при $T = 1200^\circ\text{C}$, $t = 10$ мин. Далее все три группы образцов подвергались термообработке в течение часа при температуре $T = 800^\circ\text{C}$.

В этом исследовании источником света для проведения ускоренных испытаний солнечных элементов была выбрана галогенная лампа с уровнем освещенности около 1000 Вт/м^2 . Типичный спектр излучения галогеновой лампы хорошо соответствует спектру солнечного излучения. Солнечные элементы помещаются на металлическую пластину, которая приводит к почти однородному распределению температуры.

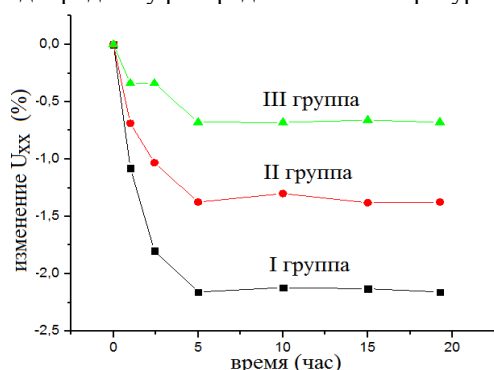


Рисунок 1 Деградация солнечных элементов на основе поликристаллического кремния при температуре 110-115°C и эквивалентном уровне освещенности 1000 Вт/м^2

Одним из дефектов, снижающим срок службы СЭ является формирование борокислородных (BO) комплексов. Другим дефектом является межузельное железо, образованная в последствии попадания света на пары железо-бор (FeB) [1]. Для монокристаллических клеток полученных методом Чохральского (Cz) борокислородные дефекты являются доминирующими, так как во время роста кислород включается в значительном количестве в кремниевый материал. Железо играет гораздо меньшую роль, но было показано, что железо в случае недостаточного геттерирования может иметь эффект такой же как в монокристаллическом материале [5].

Для поликристаллического материала оба дефекта BO и FeB важны [1]. U_{xx} является подходящим параметром для исследования деградации. Для лучшего сравнения уровней деградации между тремя образцами, вместо использования значений U_{xx} , обычно

используется ΔU_{xx} [6] и его можно рассчитать с помощью уравнения (1),

$$\Delta U_{xx}(t=x)[\%] = \frac{U_{xx}(t=x) - U_{xx}(t=0)}{U_{xx}(t=0)} \cdot 100 \quad (1)$$

где t — время освещения.

На рисунке 1 показана деградация солнечных элементов на основе поликристаллического кремния при температуре $110 - 115^\circ\text{C}$ и эквивалентном уровне освещенности 1000 Вт/м^2 . На рисунке 2 при температуре $150 - 155^\circ\text{C}$. С ростом температуры скорость деградации возрастает. Уровень деградации зависит от температуры, так как образование и уничтожение дефектов имеет разные энергии активации [7]. Быстрая начальная деградация произошла, и напряжение стабилизировалось через 2,5 часа при -4,5% для образцов I группы, при -4% для образцов II группы, при -3% для образцов III группы, как показано на рисунке 1. На рисунке 2 видно, что для образцов III группы напряжение стабилизировалось через 8 часов при -6%. В тоже время уровень деградации составляет -6,8% для образцов II группы, и -8,3% для образцов I группы. При хранении в темноте образцы регенерируются.

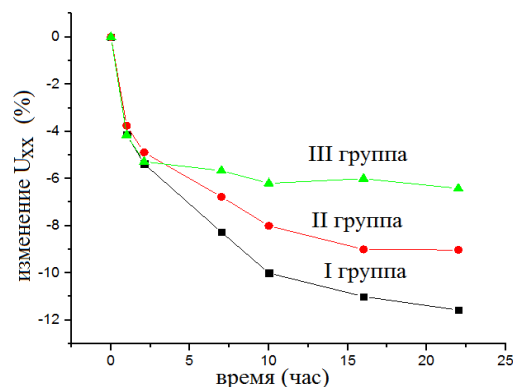


Рисунок 2. Деградация солнечных элементов на основе поликристаллического кремния при температуре $150 - 155^\circ\text{C}$ и эквивалентном уровне освещенности 1000 Вт/м^2

При попадании солнечного излучения в элементах выделяется очень большое количество тепловой энергии, и рабочая температура элементов возрастает. Значительное повышение температуры влияет на концентрацию носителей заряда, а также на процесс поглощения света, в результате чего изменяются выходные параметры солнечных элементов. Концентрация дефектов, определяющая степень деградации параметров элемента, будет зависеть не только от плотности интегрального потока частиц, но и от температуры, которая определяется коэффициентом концентрации солнечного излучения. Это возбудило интерес к изучению влияния температуры и освещенности на фотоэлектрические характеристики кремниевых солнечных элементов [8].

Исследование зависимости параметров солнечных элементов от температуры показало, что с повышением температуры выше комнатной напряжение холостого хода (U_{xx}) уменьшается (рис. 3). В таблице 1 показаны температурные коэффициенты U_{xx} солнечных элементов I, II и III групп. Температурный коэффициент U_{xx} образцов II группы примерно на 7 % меньше, а образцов III группы примерно на 20 % меньше чем у образцов I группы.

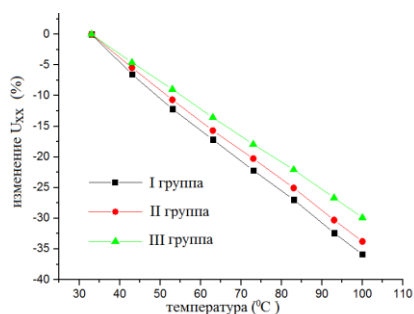


Рисунок 3. Зависимость U_{xx} от температуры поликристаллического кремния

Таблица 1.

	I группа	II группа	III группа
Температурный коэффициент U_{xx}	-0.67 %	-0.62 %	-0.52%

Литература

1. Pingel S., Koshnicharov D., Frank O., Geipel T., Zemen Y., Striner B., Berghold J. Initial degradation of industrial silicon solar cells in solar panels, Conference Paper, January 2010.
2. Andreani, L. C., Bozzola, A., Kowalczewski, P., Liscidini, M., & Redorici, L. (2018). Silicon solar cells: toward the efficiency limits. *Advances in Physics*: X, 4(1), 1548305. doi:10.1080/23746149.2018.1548305.
3. Silicon Solar Cells, Brett Hallam, Axel Herguth, Phillip Hamer, Nitin Nampalli, Svenja Wilking. Eliminating Light-Induced Degradation in Commercial p-Type Czochralski. *Applied Sciences* 2017.
4. Khoroshko Vitaliy Viktorovich, Bruy Nikita Mikhaylovich, Markov Aleksey Nikolayevich Li, Vladislav Konstantinovich. Eksperimental'noye issledovaniye parametrov degradatsii solnechnykh elementov. EUROPEAN SCIENCE FORUM. 2020.
5. Laades, A. "Impact of Iron Contamination on CZ-Silicon Solar Cells" EU PVSC (2008).
6. Chia-Mei Lin, Marcus Glaeser, Enno Mälguth, Steffen Uredat, Nobert Bernhard, Dominik Lausch. Accelerated light-induced degradation test for industrial application. Conference Paper · September 2017.
7. Rein, S. "Electrical and thermal properties of the metastable defect in boron-doped Czochralski silicon (Cz-Si)" EU PVSC (2001)
8. Bakirov M.YA. Fotoelektricheskiye i radiatsionnyye kharakteristiki kremniyevykh solnechnykh elementov pri povyshennykh osveshchennostyakh i temperaturakh. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*. 1997, tom 31, № 5.

РЕЗЮМЕ

Маколада поликристалл кремний асосида куёш элементларининг ёруғлик ва температура таъсирида деградациясига тегишли экспериментал натижалар келтирилган. Куёш элементларининг деградациясига никел атомлари билан легирлашнинг таъсири кўрсатилган.

РЕЗЮМЕ

В статье проведены экспериментальные исследования и расчёты деградации солнечных элементов на основе поликристаллического кремния под действием света и температуры. Приводятся результаты влияния дополнительного легирования атомами никеля на деградации солнечных элементов

SUMMARY

The article presents experimental studies and calculations of the degradation of solar cells based on polycrystalline silicon under the influence of light and temperature. The results of the effect of additional doping with nickel atoms on the degradation of solar cells are presented.

ЗАДАЧА НЕВАНЛИННЫ – ПИКА В МАТРИЧНОЙ ОБЛАСТИ

Б.М.Нарекеев – старший преподаватель

Д.Е.Мырзанова - старший преподаватель

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза

Таянч сўзлар: бирлик доира, кетма-кетлик, голоморф функция, матрица-функция, интерполяция.

Ключевые слова: единичный круг, последовательность, голоморфная функция, матрица-функция, интерполяция.

Key words: circle unit, sequence, holomorphic function, matrix-function, interpolation.

Пусть C^{m^2} пространство $[m \times m]$ матриц с комплексными элементами.

Будем обозначать открытый единичный круг в C через D , а ограничивающую его окружность - ∂D , и обобщенный единичный круг в C^{m^2} через τ , а его остов через $S(\tau)$.

К классу B отнесем множество всех голоморфных матриц-функций

$$W(Z) = A_0 + A_1 Z + A_2 Z^2 + \dots, \quad A_k \in C[m \times m] \quad (1)$$

обладающими свойствами: а) $W(Z): \tau \rightarrow \tau$, б) предельные значения $W(Z)$ при $Z \rightarrow U$, $U \in S(\tau)$, лежат в $\tau \cup S(\tau)$.

Рассмотрим следующую задачу: заданы последовательность $[m \times m]$ матриц $\{Z_k\}$ из τ , таких что $\det(Z_i - Z_j) \neq 0$, $i \neq j$, $i, j = 1, 2, \dots$ и последовательность $[m \times m]$ матриц $\{W_k\}$ из $\tau \cup S(\tau)$. Найти необходимые и достаточные условия для последовательности $\{W_k\}$, чтобы существовала матрица-функция $W(Z) \in B$, удовлетворяющая условиям