

6. Ақромхўжаев М. Беруний—геологик ходисалар, минераллар ва жавохирларни ўрганган дастлабки тадқиқотчи, Беруний туғилган қунининг 1000 йиллиги бағишланган тўплам. —Тошкент: “Фан”, 1973.

7. Матвиевская Т.П. Беруний ва табиий фанлар. —Тошкент: “Фан”, 1963.

8. Ўзбекистон миллий энциклопедияси. 1-жилд. —Тошкент: Давлат илмий нашриёти, 2000.

REZYUME. Ulug' donishmand bobomiz Beruniy fizika va astronomiya fanlarida birinchi bo'lib materiya, o'lchash kattaliklari, tezlik, chiziqli va burchak tezlik, vaznlik, solishtirma vaznlik, tutash idishlar, favvora, artezion quduqlari, bo'shliq, atmosfera bosimi, konvektsiya, suyuqlik zarrachalar orasidagi tortilish kuchi, inertsia, ta'sir, jismlarning erkin tushishi, oddiy mexanizmlar, oy va quyosh tutilishi, ob-havo, zarrachalarning yemirilishi va boshqa ishlarni oz zamoninda ko'rsatgan.

РЕЗЮМЕ. Наш великий мудрец Беруни первым в науках физики и астрономии ввел материю, измерение величин, скорость, линейную и угловую скорость, вес, удельный вес, соединительные сосуды, фонтан, артезианские колодцы, пространство, атмосферное давление, конвекцию, жидкость. За короткое время были показаны сила притяжения между частицами, инерция, удар, свободное падение предметов, простые механизмы, лунные и солнечные затмения, погода, распад частиц и многое другое.

SUMMARY. Our great-wise grandfather Berunius was the first in the sciences of physics and astronomy to show matter, measurement magnitudes, velocity, linear and angular velocity, weight, comparative weight, contiguous vessels, fountain, artesian wells, space, atmospheric pressure, convection, tension force between liquid particles, inertia, impact, free fall of bodies, simple mechanisms, Lunar and solar eclipses, weather, decay of particles, and other works.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С НАНОГЕТЕРОПЕРЕХОДАМИ

Э.З.Имамов – доктор физико-математических наук, профессор
Ташкентский университет информационных технологий

М.А.Аскарров – PhD докторант

К.А.Исмаилов – доктор физико-математических наук, профессор
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: кўёш элементи, нано-гетероўтиш, мульти-экситонли генерация, ташувчиларни кўпайтириш.

Ключевые слова: солнечный элемент, нано-гетеропереход, мульти-экситонная генерация, умножение носителей.

Key words: solar cell, nano-heterojunction, multi-exciton generation, carrier multiplication.

Введение. Эффективность солнечной панели определяется главным образом эффективностью её основной компонентой – солнечного элемента, а точнее – свойством его *p-n* перехода, где происходит преобразование энергии солнечного излучения в электричество.

В работе предлагается солнечный элемент, *p-n* переход которого – это контакт между двумя абсолютно не традиционными для солнечной энергетики инновационными компонентами: **макро** размерный бесструктурный некристаллический полупроводник в контакте с другим **нано** размерным кристаллическим полупроводником. В работе конкретно рассмотрен нано-макро-контакт (или нано-гетеропереход - НГП), образующийся между макроскопическим кремнием (Si) и нано размерным халкогенидом свинца – PbX (X может быть S; Se; Te), то есть рассмотрен НГП <Si:PbX> - специфический кремниевый солнечный элемент с многими НГП.

Не традиционность предлагаемой контактной структуры вызвала необходимость определения соответствующей технологии их производства, а также более детального обоснования выбора его компонент и взаимной совместимости контактирующих материалов НГП.

Особенно основательного обоснования потребовало использование дешевого бесструктурного некристаллического Si в качестве одного из компонент солнечного элемента. Дело в том, что традиционно высокая эффективность солнечного элемента достигалась только при использовании монокристаллического, дорогостоящего Si (или, в крайнем случае, поликристаллического Si). Поэтому вопреки всем негативным ожиданиям подобное нетрадиционное сочетание бесструктурного Si и нано кристаллов PbX оказалось возможным в силу ряда ниже представленных экспериментально подкреплённых и запатентованных их свойств:

- улучшение преобразующих свойств и КПД одиночного *p-n* перехода с уменьшением его размера [1,2];
- значительное повышение эффективности фото преобразования за счет эффектов много экситонной генерации и умножения носителей в нано кристаллах PbX на поверхности α-Si [3,4];

- наиболее вероятный и преимущественный рост «островков» нано кристалла PbX именно на отдельных кристаллических участках бесструктурного Si [5,6].

Поэтому рассмотрим своеобразные оптические и электрофизические свойства контактирующих матери-

алов, контакт между которыми в состоянии обеспечить достаточно эффективный, годами стабильно сохраняющий свои преобразующие качества солнечный элемент.

Некристаллический кремний в солнечном элементе. Строго кристаллических тел с идеальным дальним порядком, а также идеально некристаллических тел с идеальным дальним беспорядком в природе нет, и не бывает. Любой из них имеет в своем активе очень много отклонений от идеальности «порядка» и «беспорядка». Значит, реальные неупорядоченные бесструктурные полупроводники всегда обладают локальными дефектами разных размеров (от нескольких до тысячи нанометров, а то и более), а кристаллические тела сохраняют дальний порядок на больших расстояниях, но в сочетании с определенными структурными нарушениями, то есть с долей «беспорядка» за счет дефектов. В энергетической зонной теории кремния все эти чужеродные дополнения определяются своими дискретными уровнями и эти дискретные энергетические или уровни могут располагаться в разрешенных зонах кремния или в его «запрещенной зоне». В первом случае – это так называемые де-локализованные энергетические состояния, а если в запрещенной зоне – локализованные дефектные энергетические состояния. Волновые функции носителей на дефектных уровнях сосредоточены вблизи соответствующего дефекта и характеризуются энергиями E_i и пространственным расположением в точках r_i .

Концентрация локализованных дефектных энергетических состояний в бесструктурном кремнии очень велика (порядка $10^{24} \div 10^{26} \text{ м}^{-3}$) и частично (или полностью) покрывают равномерно всю запрещенную зону, обладая как донорными (выше уровня Ферми), так и акцепторными свойствами (ниже – акцепторный) [7].

Формирование НГП <Si:PbX>. Образование контактного поля в НГП <Si:PbX> происходит в момент эпитаксиального роста нано кристаллов PbX на поверхности Si. Процесс формирования гетероперехода между Si и PbX с единым уровнем Ферми сопровождается переходами электронов из Si в нановключения PbX. Одновременно с ростом нано кристаллов PbX с глубоких локализованных дефектных энергетических состояний в «запрещенной зоне» Si происходит формирование НГП. При этом электроны Si под влиянием кулонов-

ского взаимодействия между собой будут переходить из a_i ($i = 1, 2, \dots, n$) локализованных дефектных энергетических состояний в C_1 – мульти-экситонное состояние PbX (C_1 – аналог зоны проводимости нано кристалла PbX, рис.1). Предполагается, что локализованные дефектные энергетические состояния обладают донорными свойствами.

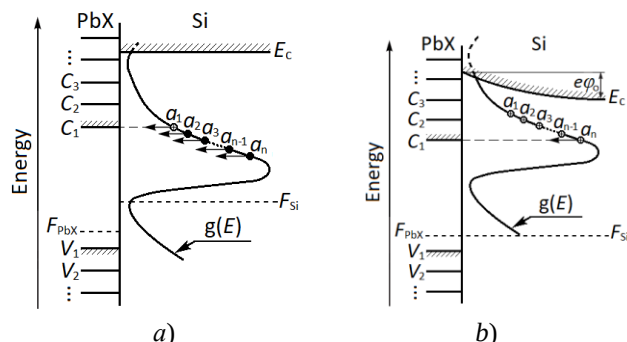


Рис.1. Зонная структура формирования наногетероперехода $\langle \text{Si:PbX} \rangle$: а – начало; б – конец.

Переходы осуществляются до тех пор, пока не сравняются уровни Ферми контактирующих материалов ($\Delta\mu = e\phi_0 = F_{\text{PbX}} - F_{\text{Si}}$).

Эффекты мульти-экситонной генерации и умножения носителей. Нано размерные кристаллы PbX в образовавшемся НГП $\langle \text{Si:PbX} \rangle$ имеют своеобразные оптические особенности. В ультрамалых квантовоограниченных кристаллах PbX за счет эффекта умножения носителей чрезвычайно быстро (время релаксации порядка 10^{-20} фс) генерируют несколько электронно-дырочных пар при поглощении одного высокоэнергетического фотона ($\hbar\omega \gg E_g^{\text{PbX}}$). В процессе релаксации высокоэнергетического электрона в кристалле PbX создается за счет мульти-экситонной генерации несколько вторичных низкочастотных фотонов, каждый из которых в Si вызывает рождение многих дополнительных электронно-дырочных пар и увеличивает эффективность процесса преобразования светового излучения в электричество (рис. 2). Таким образом, в солнечном элементе НГП $\langle \text{Si:PbX} \rangle$ высокочастотные фотоны эффективно участвуют в производстве электриче-

ства из-за проявлений двух своеобразных явлений в нанокристаллах PbX: мульти-экситонная генерация и умножение носителей.

Например, в нано кристаллах PbS из-за мульти-экситонной генерации и умножения носителей наблюдалась генерация четырех электронно-дырочных пар, а в PbSe – даже семи пар [8]. Другими словами, мульти-экситонная генерация и умножение носителей позволяют наблюдать более высокие значения квантового выхода в солнечном элементе НГП $\langle \text{Si:PbX} \rangle$.

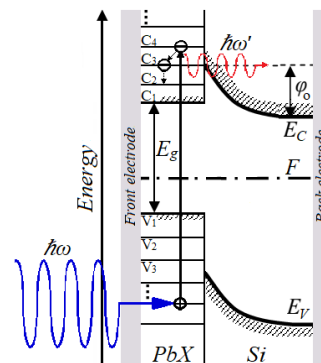


Рис.2. Появление эффектов мульти-экситонной генерации и умножения носителей.

Закключение. Проблема повышения эффективности солнечного элемента решена в работе на основе сочетания с двух технологий: нано технологии и технологии создания полупроводниковых гетеропереходов. Особенно эффективное преобразование солнечной энергии в электричество возможно при сочетании в качестве компонентов гетеропереходов двух материалов: некристаллического кремния и халкогенидов свинца в нано размерном состоянии. Показано, что генерация солнечного электричества определяется только эффективным поглощением фотонов, то есть, когда поглощение фотонов сопровождается фототоком. Показано, что эффекты мульти-экситонной генерации и умножения носителей позволяют наблюдать более высокие значения квантового выхода в солнечном элементе НГП $\langle \text{Si:PbX} \rangle$.

Литература

1. Цой Броня. Преобразователь Электромагнитного Излучения (Варианты), Патент в Евразийском патентном ведомстве. EP2405487 A1, 2012.08.30.
2. Цой Броня. Способ изготовления пучкового перехода, пучковый преобразователь электромагнитного излучения. Патент во всемирной организации интеллектуальной собственности, №WO 2011/040838 A2 (07.04.2011).
3. Schaller R.D., Klimov V.I., Phys. Rev. Lett. 92, 186601. 2004.
4. Schaller R.D., Petruska M.A., Klimov V.I. Appl. Phys. Lett. 87, 253102. 2005.
5. Stancu V., Pentia E., Goldenblum A. et al. // Romanian Journal of Information Science and Technology. 2007. Vol. 10. № 1. -P. 53–66.
6. Springholz G. and G.Bauer: Molecular beam epitaxy of IV– VI hetero- and nano-structures. Phys. stat. sol. (b) 244, №. 8, 2752–2767. 2007.
7. Бонч-Бруевич В.Л. и др. Электронная теория неупорядоченных полупроводников. - М.: «Наука», 1981. –С. 384.
8. V. Klimov, J. Phys. Chem. B2006, 110, 16827–16845.

РЕЗЮМЕ. Маколада нокристал кремнийдан самарадор куёш элементининг таслиги сифатида фойдаланиш масаласи кўриб чиқилган. Нокристал кремнийдан самарадор куёш элементини яратиш факат кремний тақикланган зонасида чуқур ётган локал энергетик ҳолатларининг юқори зичлигида мумкин эканлиги кўрсатилган. Нокристал кремний ва нано ўлчамли кўргошин халкогенидлари материаллари гетероўтишининг таркибий қисмлари сифатида фойдаланиш натижасида куёш энергиясини электр энергиясига самарали айлантириш мумкинлиги кўрсатилган. Кўргошин халкогенидлари нанокристаллари мульти-экситонли генерация ва ташувчиларни кўпайтириш эффектларининг кучли намоён бўлиши билан ажралиб туриши кўрсатилган.

РЕЗЮМЕ. В статье рассмотрен вопрос об использовании некристаллического кремния в качестве подложки эффективного солнечного элемента. Показано, что создание эффективного солнечного элемента из некристаллического кремния возможно только при больших плотностях локализованных дефектных энергетических состояний в глубине запрещенной зоны кремния. Показано, что особенно эффективное преобразование солнечной энергии в электричество возможно при сочетании в качестве компонентов гетеропереходов двух материалов: некристаллического кремния и халкогенидов свинца в нано размерном состоянии. Показано, что особенно халкогенидам свинца свойственны сильное проявление эффектов мульти-экситонной генерации и умножения носителей.

SUMMARY. The article question is considered of using non-crystalline silicon as a substrate of an effective solar cell. It is shown that the creation of an effective solar cell from non-crystalline silicon is possible only at high densities of localized defective energy states in the depth of the silicon band gap. It is shown that a particularly effective conversion of solar energy into electricity is possible when two materials are combined as components of heterojunctions: non-crystalline silicon and lead chalcogenides in the nano-dimensional state. It is shown that especially lead chalcogenides are characterized by a strong manifestation of the effects of multi-exciton generation and carrier multiplication.