

«Сейфуллин окулары – 12: Ғылым жолындағы жастар-болашақтың инновациялық әлеуеті» атты Республикалық ғылыми-теориялық конференция материалдары = Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения-12: Молодежь в науке - инновационный потенциал будущего" . – 2016. – Т.1, ч.3 – С.297-300

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Айдаров А.

Несмотря на большой прогресс в фотовольтаике достигнутый за долгие годы, широкое применение фотоэлектрических преобразователей задерживается из-за относительно низкой эффективности работы, сложности и высокой стоимости их производства. Указанные обстоятельства определяют в большей степени специфику требований которые предъявляются к фотоэлектрическим преобразователям. К ним относятся:

- Высокий коэффициент полезного действия и стабильность электрических параметров;
- Минимальные удельная масса и стоимость;
- Недефицитность исходных полупроводниковых материалов;
- Технологичность производства и хорошая воспроизводимость всех показателей при массовом производстве;
- Устойчивость к воздействию внешних факторов в реальных условиях эксплуатации;

Выше изложенные требования в некоторой степени противоречивы, следовательно возникает необходимость поиска компромиссных решений при проектировании и создании фотоэлектрических преобразователей и соответствующей оптимизации их структуры и параметров. [4]

Первым способом повышения эффективности был поиск более перспективных материалов нежели кремний. Однако к существенному прогрессу это не привело КПД фотоэлектрических преобразователей колебался в пределах 10-11%.

Использование для создания фотоэлектрических преобразователей поликристаллических и монокристаллических полупроводников Si, Ge, Ga, As, CdS является дорогостоящим (имеется в виду в большей степени стоимость подложки, которая составляет 50% от стоимости создания данных элементов). При изготовлении солнечных элементов данного вида используется высококачественное сырье, производство которого в настоящее время является очень энергозатратным. Велики общие потери кремния в результате его обработки и резки. В связи с тем, что монокристаллический и поликристаллический кремний непрямозонные полупроводники и их коэффициент поглощения невысок, для эффективного поглощения солнечного света толщина изготавливаемых из них фотоэлектрических преобразователей должна составлять сотни микрон. Это приводит к

значительным расходом кремния и высокой стоимости солнечных элементов.[5]

Перспективным представляется создание тонкопленочных солнечных элементов на основе аморфного гидрогенизированного и микрокристаллического кремния вместо дорогостоящего кристаллического кремния. Тонкопленочная технология имеет большие потенциальные возможности для снижения стоимости солнечных модулей. Что впервые было отмечено в монографии К. Чопра и С. Даса «Тонкопленочные солнечные элементы».[6]

При тонкопленочной технологии на основе материалов с высоким коэффициентом поглощения, таких как CdTe, Cu (In, Ga) Se₂, которые применяются в виде поликристаллических пленок, аморфный гидрогенизированный кремний (a-Si: H) позволяет значительно снизить расход и стоимость используемого материала. Подобная технология является высокоэффективной при использовании таких материалов, менее энергозатратной и дешевой. К недостаткам таких солнечных элементов можно отнести низкий коэффициент полезного действия и стабильность фотоэлектрических параметров.[5]

Следующий этап в развитии фотовольтаики в некоторой степени устранил эти недостатки. Создание солнечных элементов на основе гетероструктур AlGaAsGaAs открыло новую страницу в солнечной фотоэнергетике. Первые солнечные элементы (СЭ) на основе соединений GaAlAs/GaAs были получены в ФТИ им. А.Ф. Иоффе методом жидкофазной эпитаксии. [7]

Результатом исследований стала практическая реализация широкозонного окна для солнечных фотоэлементов. В гетероструктурах AlGaAs удалось сформировать бездефектную гетерограницу и обеспечить идеальные условия для фотогенерации электронно-дырочных пар и их собирания p-n-переходом. Поскольку гетерофотоэлементы с арсенид-галлиевой фотоактивной областью оказались еще и более радиационно-стойкими, они быстро нашли применение в космической технике, несмотря на значительно более высокую стоимость по сравнению с кремниевыми фотоэлементами.[8]

Так, для подобного рода структур рекордное значение КПД составило 27.6% в условиях освещения концентрированным солнечным светом со спектром AM1.5.[9] Что было достигнуто в лабораторных условиях и требовало высокого уровня концентрации солнечного излучения (в 100 раз), однако такого рода структуры нашли широкое применение в космической технике. Но такие структуры так и не удовлетворили требованиям о низкой стоимости и недефицитности полупроводниковых материалов.

Новым важным направлением повышения эффективности фотоэлектрических преобразователей способное устранить эти недостатки стало применение наногетероструктур типа сверхрешеток из квантовых ям и систем с квантовыми точками. В последнее время все активнее исследуются

электронные свойства полупроводниковых квантовых точек, представляющих собой предельный случай систем с пониженной размерностью: нуль-мерные системы, состоящие из массива наноразмерных атомных кластеров в полупроводниковой матрице. [10]

Дискретный спектр энергетических состояний в таких кластерах позволяет отнести их к искусственным аналогам атомов, несмотря на то что кластеры содержат большое число частиц. Изменяя размеры квантовых точек, их форму и состав с помощью контролируемых технологических приемов, можно менять свойства таких «атомов». Поэтому периодические структуры, состоящие из многих слоев с упорядоченными ансамблями искусственных „атомов“, могут иметь свойства искусственных кристаллов.[11]

В настоящее время фотоэлектрические преобразователи на основе структур с квантовыми точками становятся новым материалом в фотовольтаике.[12] Исследования показали, что в структурах с квантовыми точками (Ge/Si) при поглощении фотонов возможны переходы электронов из валентной зоны в зону проводимости через состояния в промежуточной зоне, образованные локальными энергетическими уровнями квантовых точек.[13]

Общая оценка показывает, что предельная эффективность таких материалов может достигать 53% за счет поглощения излучения в большом интервале длин волн.[14]

Применение материалов из Si с квантовыми точками Ge способно улучшать свойства фотоэлектрических преобразователей за счет контроля ширины запрещенной зоны.[15]

Исходя из анализа научной литературы посвященной изучению повышения эффективности фотоэлектрических преобразователей, следует отметить, что наибольшего прогресса фотовольтаика достигла с начала исследований по использованию наноструктур в полупроводниковых материалах для солнечных элементов. В частности оптические свойства квантовых точек позволяют расширять спектр поглощаемого излучения, и более того дают возможность создавать структуры на основе кремния, и избегать использования дефицитных полупроводниковых материалов.

Список литературы

1. Фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии. С.В. Тимашев, В.А. Грилихес. 1985 год
2. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. В.П. Афанасьев, Е.И. Теруков, А.А. Шерченков. 2011 год
3. Тонкопленочные солнечные элементы. К. Чопра и С. Дас. Перевод с английского И.П. Гавриловой. 1986г
4. E.D. Jackson. In: Trans. Conf. on the Use of Solar Energy. Univ. of Arizona Press, Tucson (1955). V. 5. P. 122

5. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев. 2004 год
6. V.M. Andreev, A.V. Kazantsev, V.P. Khvostikov, E.V. Paleeva, V.D. Rummyantsev, M.Z. Shvarts. Proc. 1 st World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion (Hawaii, 1994) p. 2096.
7. Н.Н. Леденцов, В.М. Устинов, В.А. Щукин, П.С. Копьев, Ж.И. Алфёров, Д. Бимберг. ФТП 32, 4, 385 (1998).
8. Наногетероструктуры Si-Ge-GaAs для фотоэлектрических преобразователей. О.П. Пчеляков, А.В. Двуреченский, А.И. Никифоров, Н.А. Паханов, Л.В. Соколов, С.И. Чикичев, А.И. Якимов. 2005 год
9. Пчеляков О.П., Болоховитянов Ю.Б., Двуреченский А.В., Соколов Л.В., Никифоров А.И., Якимов А.И., Фойхтлендер Б. ФТП. 2000 год.
10. Эффективность преобразования солнечной энергии солнечным элементом на основе Si с квантовыми точками Ge. А.В. Войцеховский, Д.В. Григорьев, О.П. Пчеляков, А. И. Никифоров. 2010 год
11. Lique A., Marti A. Phys. Rev. Lett. 1997
12. Gavin Conibeer. Si and Other Group IV Quantum Dot Based Materials for Tandem Solar Cells. 2011