

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ И КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

С. О. Иванчиков, З. А. Никонова, О. Ю. Небеснюк, М. Салам Алайк

Запорожская государственная инженерная академия

просп. Ленина, 226, г. Запорожье, 69006, Украина. E-mail: nza@zgia.zp.ua

Предложен оптимальный режим изготовления контактных систем для фотоэлектрических преобразователей на кремниевых эпитаксиальных структурах и проведены сравнительные исследования контактного сопротивления и стабильности Al, Al-Cu и Al-Cu-Si контактов. Исследовано поведение обнаруженных дефектов механической обработки при воздействии на пластину высоких температур. Разработана контактная система Al-Cu-Si, которая обладает повышенной устойчивостью к электромиграции и одновременно предотвращает эрозию кремния в контактных окнах. Как известно фотоэлектрический метод преобразования солнечной энергии представляет наибольший интерес среди методов, используемых в нетрадиционной энергетике. Технология создания фотоэлектрических преобразователей включает подготовку подложек и исходных компонентов, контактных систем и токо-съемных сеток к ним, разделение полученных образцов на отдельные элементы и другие. Улучшение качества традиционных, а также освоение новых полупроводниковых материалов и различных типов металлизации позволило разработать ряд классов оптоэлектронных приборов. Особенно большие перспективы сулит применение эпитаксиальных композиций для изготовления фотоэлектрических преобразователей. Четко проявляются тенденции создания сложнейших электронных устройств на основе многослойных эпитаксиальных структур. При этом формулируются очень высокие требования к электрофизическим свойствам и совершенству структуры каждого слоя, ставятся задачи создания совершенных и резких p-n переходов и гетерограниц на больших площадях эпитаксиальных композиций.

Ключевые слова: дефект, подложка, контактные системы, пластина, фотоэлектрические преобразователи.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ДЕФЕКТОУТВОРЕННЯ ПРИ ОТРИМАННІ ЕПІТАКСІЙНИХ КОМПОЗИЦІЙ І КОНТАКТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

С. О. Іванчиков, З. А. Ніконова, О. Ю. Небеснюк, М. Салам Алайк

Запорізька державна інженерна академія

просп. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69006, Україна. E-mail: nza@zgia.zp.ua

Запропоновано оптимальний режим виготовлення контактних систем для фотоелектричних перетворювачів на кремнієвих епітаксієвих структурах і проведено порівняльні дослідження контактного опору і стабільності Al, Al-Cu і Al-Cu-Si контактів. Досліджено поведінку виявлених дефектів механічної обробки при впливі на пластину високих температур. Розроблено контактну систему Al-Cu-Si, яка має підвищену стійкість до електроміграції і одночасно запобігає ерозії кремнію в контактних вікнах. Як відомо фотоелектричний метод перетворення сонячної енергії викликає найбільший інтерес серед методів, які використовуються в нетрадиційній енергетиці. Технологія створення фотоелектричних перетворювачів включає підготовку підкладок і вихідних компонентів, контактних систем і струмознімальних сіток до них, розподіл отриманих зразків на окремі елементи та інші. Поліпшення якості традиційних, а також освоєння нових напівпровідникових матеріалів і різних типів металізації дозволило розробити ряд класів оптоелектронних приладів. Особливо великі перспективи обіцяє застосування епітаксієвих композицій для виготовлення фотоелектричних перетворювачів. Чітко проявляються тенденції створення найскладніших електронних пристроїв на основі багатопшарових епітаксієвих структур. При цьому формулюються дуже високі вимоги до електрофізичних властивостей і досконалості структури кожного шару, ставляться завдання створення досконалих та різких p-n переходів і гетерограниць на великих площах епітаксієвих композицій.

Ключові слова: дефект, підкладка, контактні системи, пластина, фотоелектричні перетворювачі.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В современном производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем широко применяются кремниевые однослойные эпитаксиальные структуры (КОЭС), кремниевые обращенные эпитаксиальные структуры (КСО) и кремниевые структуры с диэлектрической изоляцией (КСДИ) [1–5]. Актуальной задачей является тщательное изучение дефектов таких структур, источников их образования, эволюции дефектов на различных технологических этапах процесса изготовления фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Анализ показывает [6–10], что наиболее существенным источником дефектов в эпитаксиальных структурах являются напряжения, возникающие в

них в процессе кристаллизации или последующего охлаждения от температуры выращивания. К основным причинам возникновения напряжений относят:

1) различие периодов решетки сопрягающихся материалов Δa , вызывающее появление напряжений несоответствия $\sigma_{\Delta a}$;

2) различие коэффициентов термического расширения сопрягающихся материалов $\Delta \alpha$ или неравномерное распределение температуры по толщине и поверхности наращиваемого слоя, являющиеся источником термических напряжений в эпитаксиальной композиции;

3) наличие градиента состава по толщине эпитаксиального слоя;

4) повышенная концентрация дефектов структуры на границах раздела.

В очень тонких пленках дополнительным источником напряжений являются силы поверхностного натяжения, которые в зависимости от знака поверхностной энергии могут вызывать сжатие или растяжение наращиваемого слоя. Возникающие напряжения в зависимости от их величины, пластичности материала эпитаксиальной структуры, толщины наращиваемых слоев и тепловых условий выращивания могут частично релаксировать с образованием дислокаций, а остаточные напряжения вызывают упругую деформацию эпитаксиальных структур.

Напряжение несоответствия определяется несоответствием периодов решетки f :

$$\sigma_{\Delta\alpha} = \frac{E}{1-\nu} f, \quad \text{где } f = \frac{\Delta\alpha}{\bar{\alpha}}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости;

ν – коэффициент Пуассона;

$\Delta\alpha = \alpha_{\Pi} - \alpha_{\text{С}}$ – разница периодов решетки подложки и наращиваемого слоя;

$\bar{\alpha}$ – среднее значение периода решетки сопрягающихся материалов.

Значения напряжений несоответствия в зависимости от значений $\Delta\alpha$ изменяются в достаточно широких пределах. Минимальные $\sigma_{\Delta\alpha}$ имеют место в условиях гомоэпитаксии, где значения несоответствия периодов решетки обычно не превышают $f \leq (2 \div 4) \cdot 10^{-4}$. При гетероэпитаксии f может составлять единицы процентов, а соответствующие напряжения несоответствия, рассчитанные в упругом приближении, могут даже превысить предел прочности материала. Так как напряжения несоответствия возникают непосредственно в процессе наращивания эпитаксиального слоя при температуре кристаллизации, т.е. при максимальной температуре в системе, то достаточно велика вероятность их релаксации в самом процессе осаждения с образованием дислокаций несоответствия и других дефектов.

Установлено, что термические напряжения в эпитаксиальных структурах могут быть вызваны как различием коэффициентов термического расширения сопрягающихся материалов, так и неравномерным распределением температуры в пределах наращиваемого слоя.

В первом случае термические напряжения, обусловленные различием коэффициентов термического расширения подложки и наращиваемого слоя, возникают в процессе охлаждения эпитаксиальной структуры от температуры выращивания или в процессе ее нагрева и охлаждения при последующих термообработках. Их величина и знак определяются разностью изменений периодов решеток подложки и пленки при температурах выращивания и измерения:

$$\sigma_{\Delta\alpha} = \frac{E}{1-\nu} \left(\frac{\alpha_{\Pi}^T - \alpha_{\Pi}^{T_0}}{\bar{\alpha}_{\Pi}} - \frac{\alpha_{\text{С}}^T - \alpha_{\text{С}}^{T_0}}{\bar{\alpha}_{\text{С}}} \right), \quad (2)$$

где α_{Π}^T и $\alpha_{\text{С}}^T$ – периоды решетки подложки и эпитаксиального слоя при температуре выращивания;

$\alpha_{\Pi}^{T_0}$ и $\alpha_{\text{С}}^{T_0}$ – эти же периоды при температуре измерения;

$\bar{\alpha}_{\Pi}$ и $\bar{\alpha}_{\text{С}}$ – средние значения периодов решетки подложки и слоя в исследуемом интервале температур.

Выражение (2) использовалось для расчета максимальных упругих напряжений на границе раздела, если в эпитаксиальной структуре не происходит пластической деформации. При линейной температурной зависимости периодов решетки это выражение совпадает с известным выражением для расчета термических напряжений [7]:

$$\sigma_{\Delta\alpha} = \frac{E}{1-\nu} \Delta\alpha \Delta T, \quad (3)$$

где $\Delta\alpha$ – разность значений температурных коэффициентов расширения подложки и эпитаксиального слоя в исследуемом интервале температур ΔT .

Таким образом, $\sigma_{\Delta\alpha}$ могут в зависимости от их величины, а также механических свойств материала и условий выращивания приводить к упругой или пластической деформации или к механическому разрушению. Следует также отметить, что в зависимости от знаков разности $\Delta\alpha$ и $\Delta\alpha$ подложки и слоя напряжения $\sigma_{\Delta\alpha}$ могут как складываться с $\sigma_{\Delta\alpha}$, возникающими в процессе роста слоя, так и компенсировать их. Поскольку $\Delta\alpha$ достаточно мало ($\sim 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), $\sigma_{\Delta\alpha}$ обычно меньше, чем $\sigma_{\Delta\alpha}$, и основной причиной образования дислокаций является различие периодов решетки.

Для исследований широко используются пластины бездислокационного кремния в качестве подложек при получении кремниевых эпитаксиальных композиций. Установлено, что в процессе эпитаксии на монокристаллическую подложку действуют помимо термических напряжений еще и напряжения со стороны осаждающегося на эту подложку слоя; подобное воздействие оказывается особенно сильным при выращивании эпитаксиальных слоев толщиной 300...500 мкм. В условиях достаточно длительного (0,2...3,0 часа) действия возникающих напряжений и высоких температур (1400...1500 К) протекают процессы дефектообразования как в растущей пленке, так и в подложке композиции, на развитие которых оказывают большое влияние структурные несовершенства исходной подложки [11–14].

Цель работы – изучение дефектов кремниевых однослойных эпитаксиальных структур и разработка системы, обладающая повышенной устойчивостью к электромиграции и одновременно предотвращающая эрозию кремния в контактных окнах.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Исследования проводились на подложках для КОЭС, изготовленных из бездислокационных монокристаллов кремния, легированных сурьмой до удельного сопротивления $10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{см}$, а подложки КСО – из нелегированных бездислокационных монокристаллов дырочного типа проводимости с удельным сопротивлением 60...100 Ом·м. Подлож-

ки прошли стандартный цикл механической обработки, включающий резку монокристалла алмазным кругом с внутренней режущей кромкой на пластины толщиной 380 мкм при диаметре 28, 40 или 60 мм и толщиной 500 мкм при диаметре 76 мм, полировку алмазной пастой и химико-механическую полировку (ХМП) суспензией на основе алюмосиликата.

Выращивание эпитаксиальных слоев проводилось на установке вертикального типа с кварцевым реактором. Эпитаксиальные слои осаждались из газовой смеси водорода с трихлорсиланом или дихлорсиланом. Для легирования осаждаемого слоя в парогазовую смесь вводились фосфин или диборан. При использовании трихлорсилана температура подложек составляла 1490 К, скорость роста – $0,03 \text{ мкм}\cdot\text{с}^{-1}$, а при использовании дихлорсилана – соответственно 1390 К и $0,025 \text{ мкм}\cdot\text{с}^{-1}$.

Структурные дефекты в пластинах и готовых композициях выявлялись при помощи хромового травителя и исследовались металлографическими методами, включая двухлучевую микроинтерферометрию.

Применение метода интерферометрии позволило авторам существенно дополнить и уточнить информацию о морфологии нарощенных слоев и характере дефектов структуры, выявляемых методами избирательного травления, основная часть которой была получена с помощью металлографического микроскопа.

Микроинтерферометр МИИ-4, использованный в ходе исследований, позволяет производить визуальную оценку микрорельефа образца, достоверно отличить впадины от выступов, а также измерить их глубину и высоту.

Исследования показали, что используемая методика механической обработки в целом обеспечивает достижение достаточно высокого качества поверхности пластин. За исключением периферии пластины шириной 0,5 мм, которая не включается в рабочую площадь пластины, на остальной ее площади не обнаружены никакие микронеровности в пределах разрешающей способности метода двухлучевой микроинтерферометрии (0,03 мкм); в пределах чувствительности хромового травителя не выявлены участки с остаточными деформациями кристаллической решетки. Однако края пластин содержат макро- и микросколы, микротрещины, микроцарапины глубиной до 100 мкм, а также участки с остаточными деформациями решетки.

Сравнительное исследование степени дефектности краев пластин после каждого из этапов обработки позволило авторам установить, при каких операциях технологического процесса образуются конкретные виды дефектов. Оказалось, что сколы образуются на этапе резки монокристалла на пластины; по мере удаления нарушенного слоя на последующих этапах механической обработки количество сколов, их площадь и глубина уменьшаются. Микротрещины появляются на этапе механической полировки. ХМП не вносит новых механических дефектов ни на краях, ни на остальной площади пластины. Влияние толщины и диаметра пластины, а также присутствие легирующей примеси в исходном монокристалле в интервале исследованных значений соответствующих параметров на характер и

степень дефектности краев и рабочей площади пластин нами не обнаружено.

Далее было исследовано поведение обнаруженных дефектов механической обработки при воздействии на пластину высоких температур.

Пластины бездислокационного высокоомного кремния диаметром 60 мм, толщиной 300, 500 и 1000 мкм подвергались отжигу в атмосфере водорода при температуре 1450 К в течении 10 минут.

С помощью избирательного травления было выявлено дислокации в периферийной области отожженных пластин. Авторами установлено, что активными источниками генерации дислокаций служат микросколы на краях пластин, а микроцарапины и участки с остаточными деформациями решетки – дополнительными источниками их генерации на краях пластин. Совокупность процессов генерации дислокаций макро- и микросколами, микроцарапинами и участками с деформационной решеткой ответственна за образование при различных высокотемпературных технологических операциях периферийного кольца кремниевых пластин шириной 1...3 мм с высокой плотностью дислокаций ($\sim 10^3 \text{ см}^{-2}$).

Микротрещины на краях пластин вызвали при отжиге образование линий скольжения, распространяющихся по кристаллографическим направлениям на расстоянии до 1мм. При эпитаксии длина линий скольжения, исходящих из микротрещин, достигает 5...15 мм; в ряде случаев микротрещины инициируют образование ступеней сдвига, пронизывающих всю толщину подложки и эпитаксиального слоя и имеющих длину до 0,7 диаметра пластины [15–19].

Следует отметить, что на рабочей площади пластины, где дефекты механической обработки отсутствовали, образование дислокаций при отжиге наблюдалось только в пластинах, содержащих микродефекты А-типа; при наличии микродефектов иных типов рабочая площадь отожженных пластин свободна от дислокаций.

Поскольку в ходе экспериментальных исследований было установлено, что на степень структурного совершенства рабочей площади готовых кремниевых композиций влияют только микротрещины, то для устранения таких дефектов требовалась корректировка именно этой операции.

С этой целью авторами исследовано качество полировки на стенках СДП-100 с использованием сепаратора и на станках М-201.

Во втором случае пластины наклеивались на планшайбу и, в отличие от первого, при полировке на них не оказывается давление по краям. Установлено, что полировка свободным абразивом на станках М-201 не приводит к образованию микротрещин и участков с остаточными деформациями кристаллической решетки. Использование подложек, обработанных по описанной выше технологии с выполнением операции механической полировки на станках М-201, позволило устранить образование линий скольжения и ступеней сдвига при эпитаксиальном выращивании не только однослойных кремниевых структур (время осаждения около 15 минут), но и

обращенных кремниевых структур (время выращивания 2...3 часа). Однако производительность станка М-201 значительно ниже, чем СДП-100, поэтому применение первого можно рекомендовать лишь в тех случаях, когда предъявляются требования к структурному совершенству кремниевых эпитаксиальных композиций.

Повышение температуры оказывает существенное влияние на дефектообразование в эпитаксиальных структурах, на электрические характеристики и параметры ФЭП, а также на качество их КС, которые должны обладать высокой электро- и теплопроводностью, механической прочностью и надежностью в эксплуатации.

Авторами предложен оптимальный режим изготовления КС для ФЭП на кремниевых эпитаксиальных структурах и проведены сравнительные исследования контактного сопротивления и стабильности Al, Al-Cu и Al-Cu-Si контактов.

Исследования проводились на специальных тестовых структурах размером 3,8x6,35 мкм². Диаметр пластин составлял 76 мм, а толщина 500 мкм. На соответствующие партии пластин наносилась Al, Al-Cu (2%) и Al-Cu (2%) - Si (1%) металлизация толщиной 0,8 мкм магнетронным распылением на постоянном токе.

Непосредственно перед осаждением пластины полировались в растворе HF (концентрированном) 30 секунд, после травления промывались в горячей, затем холодной дистиллированной воде, промывались в спирте и высушивались в термостате. После этого пластины помещались в рабочую камеру установки магнетронного распыления. Интервал времени между операциями обработки подложек и загрузки их в рабочую камеру составил 30 мин. После формирования заданной топологии металлизации пластины отжигались в среде азота при температуре 450 °С в течении 15 мин. и наносился защитный слой SiO₂ толщиной 0,9 мкм. Затем над выводными площадками окисел удаляли и разделяли на отдельные кристаллы. Монтаж тестовых кристаллов в корпус осуществлялся с использованием сплава Au-Ge. На заключительной стадии к выводным площадкам ультразвуковым методом приваривали выводы и герметизировали тестовый модуль стеклом при температуре 450 - 500 °С [8–19]. Среднее значение контактного сопротивления, полученное из 20 измерений для каждого типа металлизации, приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Среднее значение контактного сопротивления для различных типов металлизации

Тип металлизации	Контактное сопротивление, Ом
Al	2,40±0,11
Al-Cu	6,25±2,04
Al-Cu-Si	4,72±1,58

ВЫВОДЫ. Предложен оптимальный режим изготовления КС для ФЭП на кремниевых эпитаксиальных структурах и проведены сравнительные исследования контактного сопротивления и стабильности Al, Al-Cu и Al-Cu-Si контактов. Исследовано

поведение обнаруженных дефектов механической обработки при воздействии на пластину высоких температур. Разработана контактная система Al-Cu-Si, которая обладает повышенной устойчивостью к электромиграции и одновременно предотвращает эрозию кремния в контактных окнах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lin Jyi-Tsong. A novel planar-type body connected FinFET device fabricated by self-align isolation-last process // *Solid-State and Integrated Circuit Technology*. – 2010. – PP. 1235–1237.
2. Odinson V.V., Pavlov G.Ya. New processing equipment for innovative technologies micro, nano - and radio electronics // *Technology and de-signing in the electronic equipment*. – 2011. – V. 3. – PP. 41–43.
3. Levinson D., Nikonov A., Nebesnyuk O. Modeling the distribution of impurities in the preparation of heavily instrumental silicon layers using high-energy treatment // *Материалы международной научной конференции «Scientific researches and their practical application. Modern state and ways of development 2013»*. – 2013. – V. J 21310.
4. Green M.A. Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond // *Physica*. – 2002. – Vol. E 14. – PP. 65–70.
5. Brown A.S., Green M.A. Limiting efficiency of multiple band solar cells: an overview // *Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference*. – 2001. – PP. 246–249.
6. Norman A., Hanna M., Dippe P. et al. InGaAs / GaAs QD superlattices: MOVPE growth, structural and optical characterization, and application in intermediate-band solar cells // *Proceedings of the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition*. – 2005. – PP. 3–7.
7. Maronchuk I.E., Erochin S.Yu., Kulutkina T.F. et al. Solar cells heterostructures with InAs quantum dots obtained by liquid phase epitaxy // *Third World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*. – 2003. – PP. 11–18.
8. Марончук И.Е., Марончук А.И., Кулютина Т.Ф. Формирование квантовых точек в процессе жидкофазной эпитаксии методом импульсного охлаждения насыщенного раствора-расплава // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. – 2005. – № 12. – С. 96–99.
9. Maronchuk I., Minailov A., Andronova E. et al. Quantum dots PV-cells obtained by liquid phase epitaxy // *Proceedings of the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference*. – 2004. – PP. 352–354.
10. Maronchuk I.E., D.yachenko A.M., Minailov A. I. et al. Obtaining heterostructures with quantum dots for sensors by using liquid phase epitaxy // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. – 2004. – Vol. 7, № 4. – PP. 363–367.
11. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // *ФТП*. – 2004. – Т. 38, Вып. 8. – С. 937–947.

12. Круковский С.И., Николаенко Ю.Е. Солнечные элементы на основе тандемных гетероструктур GaAs-InGaAs-AlGaAs // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2003. – № 6. – С. 39–40.

13. Гореленок А.Т., Каманин А.В., Шмидт Н.М. Редкоземельные элементы в технологии соединений $A^{III}B^V$ и приборов на их основе // ФТП. – 2003. – Т. 37, Вып. 8. – С. 922–940.

14. Milanova M., Khvostikov V. Growth and doping of GaAs and AlGaAs layers by low-temperature liquid-phase epitaxy // Journal of Crystal Growth. – 2000. – Vol. 219. – PP. 193–198.

15. Krukovsky S., Bolshakova I., Korbutiak D. et al. Radiation resistance of GaAs, AlGaAs heterostructures doped with isovalent and rare-earth elements // Radiation Physics and Chemistry. – 2001. – Vol. 61. – PP. 553–555.

16. Заячук Д.М., Кемпник В.І., Круковский С.І. та ін. Домішки РЗЕ у напівпровідниках A^4B^6 і A^3B^5 :

поведінка та вплив на фізичні властивості // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2002. – № 459. – С. 110–123.

17. Исследование выходных характеристик тандемных фотопреобразователей на структурах GaAs-InGaAs-AlGaAs / Н.И. Слипченко, В.А. Письменецкий, А.В. Фролов, В.Л. Лукьяненко, Л.В. Савченко // Сб. науч. тр. III Международной научной конференции «Функциональная компонентная база микро-, опто- и нанoeлектроники». – 2010. – С. 230–233.

18. Pathways to 40 % Efficient Concentrator Photovoltaics / R. King, D. Law, C. Fetzez, R. Sherif, K. Edmondson, S. Kurtz. // Proceedings 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference. – 2005. – PP. 53–55.

19. A.G. Norman. InGaAs/GaAs QD Superlattices: MOVPE Growth, Structural and Optical Characterization, and Application in Intermediate - Band Solar Cells // 31 IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition. – 2005. – PP. 33–35.

RESEARCH OF BASIC LAWS DEFECT IN EPITAXIAL COMPOSITIONS AND CONTACT SYSTEMS FOR PHOTOVOLTAIC CONVERTERS

S. Ivanchikov, Z. Nikonova, O. Nyebesnyuk, M. Salam Alaik

Zaporizhzhya State Engineering Academy

prosp. Lenina, 226, Zaporizhzhya, 69006, Ukraine. E-mail: nza@zgia.zp.ua

Purpose. One of the major aims in the engineering of solar elements is increasing their efficiency. For effective transformation of solar radiation into electric energy due to the division of electron-hole pairs by internal electric field, the depth of stratification of the field, that separates them, should be sufficient for penetration of the main stream of photons. The analysis demonstrates that the displacement to the short-waves spectrum increases the efficiency of energy transduction. However, in the conditions of reality, it is necessary to work in the spectrum close to infrared, i.e. of short waves. It can be explained by the fact, that the atmosphere is more transparent for them. To achieve that, the depth of the internal field stratification should be enlarged. In case the wavelength is less than 1,1 μm , photoelectric transducers are not sensitive to the photons stream, as far as their energy is not sufficient for generation of charge carriers. The problem of increasing of PET sensitivity can be solved by means of choosing of heterostructure SNS (semiconductor – nonconductor – semiconductor), that constitutes its fundamentals, and by means of application of high-quality contact systems. **Methodology.** The authors elaborated the contact system Al-Cu-Si, which is marked by increased stability to electro-migration and which prevents silicon erosion in contact windows simultaneously. The function of the backing was done by silicon plates of $nn+$ – type with resistivity 0,5-5 $\text{Ohm}\cdot\text{sm}$. The plates' diameter was 76 mm, their width - 500 μm . On corresponding batches of plates the layers of Al, Al-Cu (2 %) Al-Cu (2 %) –Si (1 %) 0,8 μm thick were pulverized. Immediately before the sedimentation the plates were polished in the solution of HF (concentrated) for 30 seconds, after the etching they were washed in a hot and the in a cold distilled water, in alcohol and dried up in the thermostat. After that the plates were put into the camera of the vacuum pulverization device. The interval between the processings and loadings of the camera was 30 minutes. After the formation of the adjusted topology of metallization, the plates were exposed to nitrogen burning with the temperature of 450°C during 15 minutes and the protective coat of SiO_2 of 0,9 μm thick was applied. It was followed by the oxide removal from the excretive grounds and the splitting into separate crystals was completed. The quality test of instrument structures was held by means of measuring of contact resistance of contact systems. The amount of resistivity ρ for contacts Al-Cu-Si was (0,76-1,52) $10^{-6} \text{Ohm}\cdot\text{sm}^2$. **Results.** The analysis of the stability of contact systems before electro-migration demonstrated, that the Al-Cu-Si systems did not prove any refusal either in the process of exposure to the temperature of 150°C, or in the course of electro-migration tests, whereas for the structures Al and Al-Cu a significant quantity of refusals was observed. Thus, after 1000 hours of exposure to the temperature of 150°C 2 of 15 Al structures and 2 of 15 Al-Cu structures demonstrated refusals. As a result of electro-migration tests during 256 hours with the temperature of 215°C there were 14 refusals (with 20 tested structures) for Al and 7 refusals for Al-Cu. In the course of the analysis of Al-Cu-Si structures neither in the process of exposure to the temperature of 150°C, nor in the course of electro-migration tests, there were no refusals observed, only insignificant amount of silicon precipitate was noticed. For Al and Al-Cu structures a significant amount of refusals and silicon erosion are characteristic. The variation of the contact resistance points out the necessity of thorough preparation of contact windows before the contact. It was also proved, that cleaning of the backings surface in the processing camera of the vacuum device immediately before the metal coating significantly diminishes the variation of the contact resistance. **Practical value.** All in all, it is advisable to apply Al-Cu-Si contact systems for a series of photoelectric appliances. Technological processes of the systems obtained do not demand any complicated equipment, the applying of precious metals and require a small amount of operations. The optimal width of the layers in the contact system recommended was approximately 500 \AA . References 19, table 1.

Key words: defect, the substrate, the contact system, plate, photovoltaic inverters.

REFERENCES

1. Jyi-Tsong, L. (2010), "A novel planar-type body connected FinFET device fabricated by self-align isolation-last process", *Solid-State and Integrated Circuit Technology*, pp. 1235–1237.
2. Odinkov, V.V., Pavlov, G.Ya. (2011), "New processing equipment for innovative technologies micro, nano - and radio electronics", *Technology and designing in the electronic equipment*, vol. 3, pp. 41–43.
3. Levinson, D.I., Nikonov, A., Nebesnyuk, O. (2013), "Modeling the distribution of impurities in the preparation of heavily instrumental silicon layers using high-energy treatment", *Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Scientific researches and their practical application. Modern state and ways of development 2013»* [Proceedings of the international scientific conference «Scientific researches and their practical application. Modern state and ways of development 2013], art. J21310.
4. Green, M.A. (2002), "Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond", *Physica*, vol. E 1, pp. 65–70.
5. Brown, A.S., Green, M.A. (2001), "Limiting efficiency of multiple band solar cells: an overview", *Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp. 246–249.
6. Norman, A.G., Hanna, M.C., Dippo, P. et al. (2005), "InGaAs/GaAs QD superlattices: MOVPE growth, structural and optical characterization, and application in intermediate-band solar cells", *Proceedings of the 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition*, pp. 3–7.
7. Maronchuk, I.E., Erochin, S.Yu., Kulutkina, T.F. et al. (2003), "Solar cells heterostructures with InAs quantum dots obtained by liquid phase epitaxy", *Third World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, pp. 11–18.
8. Maronchuk, I.E., Maronchuk, A.I., Kulyutkina, T.F. (2005), "The formation of the quantum dots in the liquid phase epitaxy method of pulse cooling of saturated solution-melt" *Poverhnost. Rentgenovskie, sinhrotronnyie i neytronnyie issledovaniya*, no.12, pp. 96–99.
9. Maronchuk, I., Minailov, A., Andronova, E. et al. (2004), "Quantum dots PV-cells obtained by liquid phase epitaxy", *Proceedings of the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp. 352–354.
10. Maronchuk, I.E., Dyachenko, A.M., Minaïlov, A.I. et al. (2004), "Obtaining heterostructures with quantum dots for sensors by using liquid phase epitaxy", *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, vol. 7, no. 4, pp. 363–367.
11. Alforyov, Zh.I., Andreev, V.M., Rumyantsev, V.D. (2004), "Trends and prospects for the development of solar photovoltaic", *FTP*, T. 38, no. 8, pp. 937–947.
12. Krukovskiy, S.I., Nikolaenko, Yu.E. (2003), "Solar cells based on tandem heterostructures GaAs-InGaAs-AlGaAs", *Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, no. 6, pp. 39–40.
13. Gorelenok, A.T., Kamanin, A.V., Shmidt, N.M. (2003), "Rare earth elements in A^{III}B^V connection technology and devices based on them", *FTP*, T. 37, no. 8, pp. 922–940.
14. Milanova, M., Khvostikov, V. (2000), "Growth and doping of GaAs and AlGaAs layers by low-temperature liquid-phase epitaxy", *Journal of Crystal Growth*, vol. 219, pp. 193–198.
15. Krukovsky, S., Bolshakova, I., Korbutiak, D. et al. (2001), "Radiation resistance of GaAs, AlGaAs heterostructures doped with isovalent and rare-earth elements", *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 61, pp. 553–555.
16. Zayachuk, D.M., Kempnik, V.I., Krukovskiy S.I. et al (2002), "REE impurities in semiconductors A⁴B⁶ and A³B⁵: the behavior and impact on physical properties", *Visn. NU "Lvivska politehnika"*, no. 459, pp. 110–123.
17. Slipchenko, N.I., Pismenetskiy, V.A., Frolov, A.V., Lukyanenko, V.L., Savchenko, L.V. (2010), "Research of the output characteristics of tandem solar cells on GaAs-InGaAs-AlGaAs structures", *sb. nauch. tr. III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Funktionalnaya komponentnaya baza mikro-, opto- i nanoelektroniki"* [Proceedings of the III International Scientific Conference "Functional component base of micro-, opto- and nanoelectronics."], pp.230–233.
18. King, R.R., Law, D.C., Fetzez, C.M., Sherif, R.A., Edmondson, K.M., Kurtz, S. (2005), "Pathways to 40 % Efficient Concentrator Photovoltaics", *Proceedings 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2005, Conversion. Osaka, Japan*.
19. Norman, A.G. (2005), "InGaAs/GaAs QD Superlattices: MOVPE Growth, Structural and Optical Characterization, and Application in Intermediate-Band Solar Cells", *31th IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition*, Buena Vista, Florida, USA.

Стаття надійшла 12.04.2016.