

14. Schmitke J. L., Stern L. J., Klivanov A. M. Comparison of x-ray crystal structures of an acyl-enzyme intermediate of subtilisin Carlsberg formed in anhydrous acetonitrile and in water // Proc Natl Acad Sci USA. 1998. № 95(22). P. 12918–12923.
15. Большаков А. С. Технологические свойства активированной воды / А. С. Большаков, Л. А. Сарычева, А. А. Борисенко, Т. П. Шаганова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1992. № 2. С. 56–58.
16. Дарвиш Д. М. Выделение коллагена из отходов телячьих шкур / Д. М. Дарвиш, Л. В. Кухарева, И. И. Шамолина, Н. В. Цурикова, А. П. Сеницын // Материалы Международной научно-практической конференции «Биотехнология. Вода и пищевые продукты». М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2008. С. 247.

УДК 621.382:621.315.592

**Девицкий Олег Васильевич, Сысоев Игорь Александрович,
Батищев Виталий Викторович, Васильев Виктор Александрович,
Касьянов Иван Владимирович**

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ GaP / Si МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО НАПЫЛЕНИЯ¹

Методом импульсного лазерного напыления получены гетероструктуры GaP / Si. Проанализированы методы снижения величины механических напряжений в полученных пленках, методом комбинационного рассеяния света установлено, что, применяя метод импульсного лазерного напыления при 300 °С для гетероструктуры GaP / Si, можно добиться снижения величины механических напряжений. Установлена зависимость глубины залегания p-n перехода в гетероструктуре GaP / Si при различных температурах от времени отжига, а также оптимальные параметры получения СЭ на основе гетероструктуры GaP / Si. Исследовано приборное применение гетероструктур GaP / Si в качестве кремниевого солнечного элемента с широкозонным окном GaP. Показано, что максимальное значение напряжения холостого для полученного СЭ достигает 900 мВ при значении внешней квантовой эффективности около 74,5 %.

Ключевые слова: солнечный элемент, гетероструктуры A^3B^5 / Si, импульсное лазерное напыление, широкозонное окно.

Oleg Devitsky, Igor Sysoev, Vitaliy Batishchev, Viktor Vasiliev, Ivan Kasyanov PREPARATION AND RESEARCH OF HETEROSTRUCTURES GaP / Si BY PULSED LASER DEPOSITION

Pulsed laser deposition method was heterostructure GaP / Si. The methods of reducing the magnitude of the mechanical stresses in the resulting film, Raman scattering found that using the method of pulsed laser deposition at 300 °C for heterostructure GaP / Si is possible to reduce the value of the mechanical stresses. Installed depth dependence of occurrence p-n transition in the heterostructure GaP / Si at different temperatures of the annealing time and also obtaining optimum parameters based heterostructure solar cell GaP / Si. Investigated the use of instrumentation GaP/Si heterostructures as a silicon solar cell c wide-window GaP. It is shown that the maximum open circuit voltage obtained solar cell reaches 900 mV at a value of the external quantum efficiency of about 74,5 %.

Key words: solar cell, A^3B^5 / Si heterostructures, pulsed laser deposition, wide-screen.

Широкозонные полупроводниковые соединения типа A^3B^5 на подложке GaAs являются одним из базовых материалов современной фотовольтаики, они обладают множеством неоспоримых достоинств, основным из которых является высокая эффективность (до 47 %) солнечных элементов (СЭ)

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания по проекту №2014/216, код проекта: 2516.

на их основе. Однако высокая стоимость подложек GaAs создает определенные трудности для их массового использования, в частности в качестве СЭ. Фотопреобразователи на основе моно- и поликристаллического кремния занимают более 85 % мирового рынка наземной солнечной энергетики, в то же время их эффективность преобразования энергии достаточно невелика и в среднем составляет около 11–17 %. Объединение этих двух видов СЭ создаст возможность получения качественно нового СЭ соединений A^3B^5 на кремниевых подложках, который будет обладать достаточно высокой эффективностью при относительно невысокой стоимости и минимальном количестве технологических операций в процессе изготовления. Создание такого СЭ, на наш взгляд, является одной из наиважнейших задач современной фотовольтаики [3]. Одним из способов решения этой задачи является поиск некоторых технологических решений, направленных на снижение величины механических напряжений в гетероструктурах A^3B^5 , а также нахождение таких методов получения, которые могли заметно упростить и удешевить процесс получения данных пленок без потери качества [2].

Влияние решеточного рассогласования можно снизить, получая слои, близкие по параметру решетки к кремнию (например, слои GaP или $In_xGa_{1-x}P$), влияние же разницы КТР пленки и подложки снизить достаточно более проблематично. Добиться снижения количества прорастающих дислокаций при температуре получения пленок является возможным, но после охлаждения их до температуры окружающей среды естественным образом увеличивается. Таким образом, для пленок соединений A^3B^5 на кремниевых подложках при согласовании параметров решетки критичным оказывается большая разница в КТР пленки и подложки. Очевидно, что понижение температуры синтеза будет являться одним из основных путей получения монокристаллических пленок A^3B^5 на Si с низкой плотностью прорастающих дислокаций. Наиболее перспективным в этом отношении методом, обеспечивающим низкотемпературный синтез тонких пленок A^3B^5 , является метод импульсного лазерного напыления (ИЛН).

Целью данной работы было получение и исследование гетероструктур GaP / Si методом импульсного лазерного напыления.

Методика эксперимента. Получение гетероструктур GaP / Si осуществлялось с применением учебно-экспериментального технологического комплекса импульсного лазерного напыления, созданного на базе вакуумной камеры установки «Varicoat-430A» и AYG:Nd³⁺ лазера. Процесс напыления осуществлялся распылением вращающихся мишеней $Al_{0,7}Ga_{0,3}As$ и GaP лазерным излучением второй гармоники AYG:Nd³⁺ лазера в вакуумной камере. Энергия лазерного импульса составляла 150 мДж при длительности импульса в 15 нс, частота повторения импульсов равнялась 50 Гц. Расстояние от поверхности мишени до подложки составляло 50 мм, температура подложки при напылении составляла 300 °С. Для предотвращения появления микрокапель на поверхности синтезируемых пленок был применен метод механической сепарации осаждаемых частиц. В качестве сепаратора использовалась комбинация двух вибрирующих сеток с частотой 100 Гц. Площадь ячейки сетки составляет 1 мм². Очистка поверхности кремниевых подложек от органических загрязнений проводилась смесью изопропанола и ацетона в ультразвуковой ванне с последующим травлением 5 %-ным раствором плавиковой кислоты для удаления естественного оксидного слоя и пассивации поверхности атомами водорода.

Экспериментальные результаты и обсуждения. Спектры комбинационного рассеяния света гетероструктур GaP/Si были получены с помощью спектрометра in Via Raman Microscope (Renishaw plc., Великобритания). На рис. 1 показаны спектры КРС в геометрии $x(y, z)x$ для монокристаллической подложки GaP (мишень – кривая 1) и гетероструктуры GaP / Si (кривая 2), полученные с помощью метода импульсного лазерного напыления. Наличие в спектрах всех образцов пика на частоте 520 см⁻¹, соответствующего связи Si–Si, говорит о том, что глубина проникновения лазерного луча больше толщины слоя пленки.

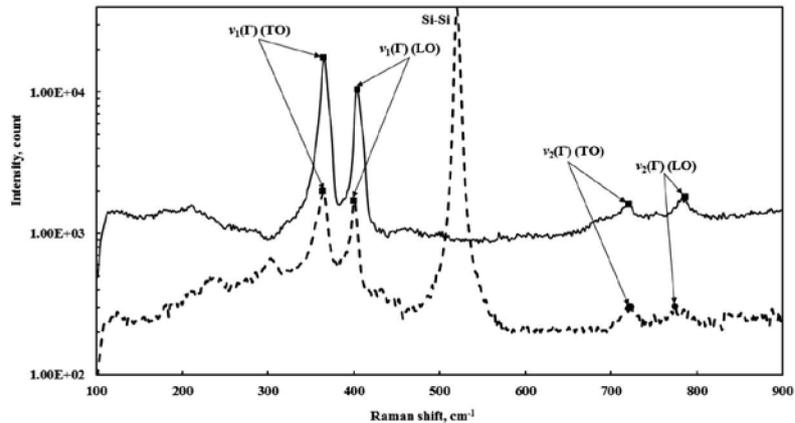


Рис. 1. Спектры КРС объемного материала и гетероструктуры GaP/Si

Сдвиги характерных частот активных фононных мод гетероструктуры GaP / Si относительно мшени GaP составляют $\Delta\nu_1(\Gamma) (\text{TO}) = 1 \text{ см}^{-1}$, $\Delta\nu_2(\Gamma) (\text{TO}) = 2 \text{ см}^{-1}$, $\Delta\nu_1(\Gamma) (\text{LO}) = 0,5 \text{ см}^{-1}$, $\Delta\nu_2(\Gamma) (\text{LO}) = 11 \text{ см}^{-1}$. Столь малые значения сдвигов характерны для гетероструктур с низким уровнем механических напряжений, однако сдвиг продольного оптического фонона $\nu_2(\Gamma) (\text{LO})$ на 11 см^{-1} может говорить о сохранении механических напряжения сжатия. Таким образом, можно сказать, что величина механических напряжений для гетероструктуры GaP / Si была снижена путем применения низкотемпературного напыления ($300 \text{ }^\circ\text{C}$) гетероструктуры методом ИЛН.

Оптимальная толщина СЭ составляет около 100 мкм. Однако на практике используются подложки толщиной 200–500 мкм отчасти из-за трудностей при производстве и обращении с ними, отчасти из-за пассивации поверхности. Для того чтобы *p-n* переход разделит все сгенерированные светом носители, нужно минимизировать как поверхностную, так и объемную рекомбинацию. Для разделения носителей в СЭ необходимо выполнение двух условий: носители должны быть сгенерированы на расстоянии от *p-n* перехода, не превышающем их диффузионную длину L_n , чтобы они смогли диффундировать к переходу до того, как рекомбинируют. Диффузионная длина в кремнии составляет около 100 мкм, однако при легировании уже 10^{17} см^{-3} диффузионная длина возрастает до 100–200 нм. Таким образом, для обеспечения повышения эффективности целесообразно формировать *p-n* переход СЭ на глубине, не превышающей одной диффузионной длины эмиттера и составляющей около 200 нм. Зависимость глубины залегания *p-n* перехода в гетероструктуре GaP / Si при различных температурах от времени загонки примеси представлена на рис. 2 [1].

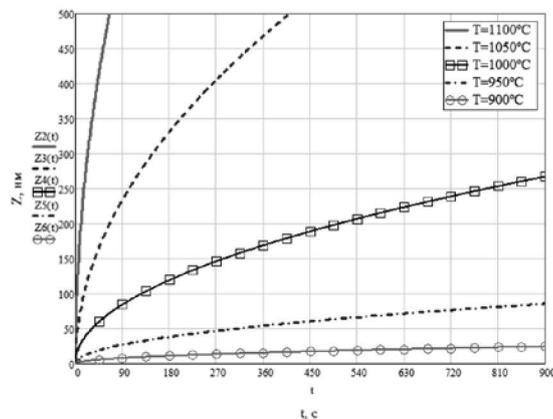


Рис. 2. Зависимость глубины залегания *p-n* перехода в гетероструктуре GaP / Si при различных температурах от времени загонки примеси

Из графика рис. 2 видно, что во временном промежутке до 10 минут достаточной температурой для формирования p - n перехода более чем 150 нм будут температуры более 1000 °С, температуры ниже 1000 °С требуют существенной продолжительности времени загонки, поэтому будут в данном случае неэффективными. Оптимальными параметрами диффузии для получения СЭ на основе гетероструктуры GaP / Si с глубиной залегания p - n перехода 150 нм будут являться: загонки примеси – 270 с, температура загонки примеси – 1000 °С.

По установленным расчетным данным был проведен эксперимент, результатом которого является полученный при помощи CV-профилометра CVP-21 (фирмы WEPcontrol) профиль распределения концентрации носителей заряда по глубине образца СЭ на основе GaP / Si, представленный на рис. 3. Глубина залегания p - n перехода составила 150 нм, что точно подтверждает достоверность полученных ранее оптимальных расчетных параметров процесса диффузии.

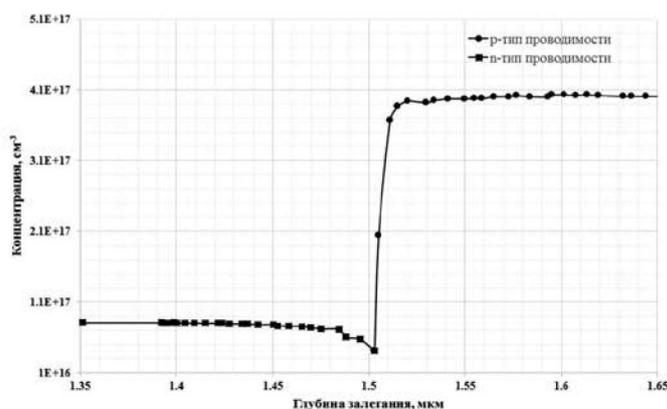


Рис. 3. Профиль распределения концентрации носителей заряда по глубине образца СЭ на основе GaP / Si

Полученные СЭ на основе гетероструктуры GaP / Si имели n - p полярность, то есть были созданы на подложках p -типа проводимости. Выбор данной полярности характерен для большинства современных СЭ. Для экспериментов использовались кремниевые подложки марки КДБ 12 (100) с уровнем легирования около $1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, образцы СЭ были выполнены размером $30 \times 30 \text{ мм}$ с оптимизированным широкозонным окном GaP. На лицевой стороне структуры формировалась контактная сетка никеля, а на тыльную сторону наносился сплошной металлический контакт. Схема конструкции СЭ на основе GaP / Si с широкозонным окном показана на рис. 4. Солнечный элемент на основе гетероструктуры GaP / Si изготавливался по следующему технологическому маршруту:

- образцы выращиваются методом ИЛН на подложках Si с ориентацией (100) марки КДБ. Удельное сопротивление подложек – 12 Ом·см. Температура подложки при выращивании первых слоев GaP около 1 нм, а также последующих основных слоев GaP составляет 300 °С. Скорость роста первых слоев GaP составляет 0,3 нм/имп и 2 нм/имп для последующих основных слоев GaP.

Кремниевые подложки подвергаются стандартной процедуре очистки. Далее при малых скоростях роста (0,3 нм/имп) формируется буферный слой GaP толщиной 300 Å. Далее температура подложки повышается до 800 °С, выдерживается при такой температуре 5 минут, плавно охлаждается до 300 °С и при скорости напыления 2 нм/имп наращивается основной слой GaP толщиной до 400 нм. После этого проводится формирования p - n перехода путем диффузии из источника ограниченной мощности, то есть пленки GaP.

Диффузия атомов фосфора проходит в одну стадию при температуре 1000 °С в течение 10 минут, при этом глубина залегания p - n перехода составляет 150 нм.

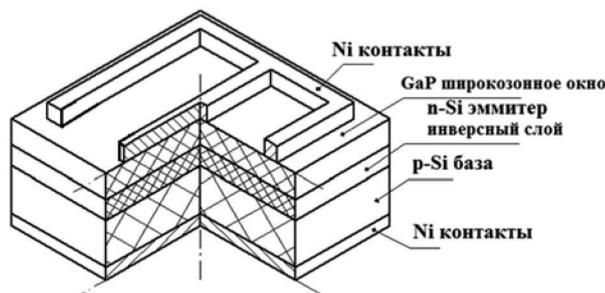


Рис. 4. Схема конструкции СЭ на основе GaP / Si с широкозонным окном

Формирование солнечного элемента завершается выращиванием лицевого и тыльного омических контактов. При создании омических контактов использовался никель. Площадь тыльного контакта составляет $30 \times 30 \text{ мм}^2$, лицевой контактной сетки – 20 мм^2 .

Вольтамперная характеристика солнечного элемента на основе гетероструктуры GaP / Si при различной толщине широкозонного окна с нанесенными никелевыми контактами без просветляющего покрытия при освещенности AM1.5 приведена на рис. 5а, из которого видно, что высокие значения напряжения холостого хода свидетельствуют о высоком структурном качестве полученного $p-n$ перехода, также наблюдается увеличение тока короткого замыкания и напряжения холостого хода СЭ при уменьшении толщины широкозонного окна.

Спектральная характеристика солнечного элемента на основе гетероструктуры GaP / Si без просветляющего покрытия при толщине широкозонного окна 200 нм показана на рис. 5б. Максимальное значение внешней квантовой эффективности изготовленного солнечного элемента достигает 74,5 %.

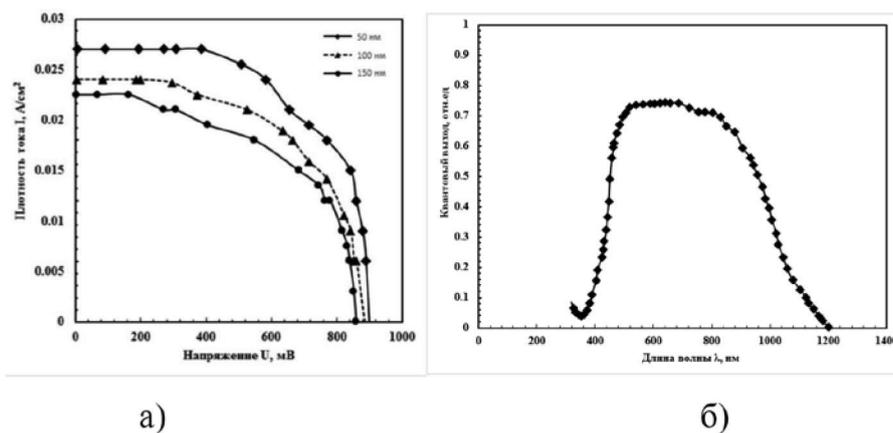


Рис. 5. Вольтамперная характеристика солнечного элемента на основе гетероструктуры GaP / Si при различной толщине широкозонного окна (а) и спектральная характеристика солнечного элемента на основе GaP / Si при толщине широкозонного окна 200 нм (б)

Литература

1. Девичкий О. В., Сысоев И. А. Получение и исследование пленок соединений A^3B^5 на Si, полученных методом импульсного лазерного напыления // Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции (г. Новосибирск). 2016. № 3. 187 с.

2. Девицкий О. В., Сысоев И. А. Программа моделирования получения гетероструктур A^3B^5 на подложке Si методом импульсного лазерного напыления: свидетельство на программу для ЭВМ № 2016616327 от 09 июня 2016 г.
3. Многокомпонентные гетероструктуры A^3B^5 на Si-подложках / Л. С. Лунин, И. А. Сысоев [и др.] // Физические процессы в полупроводниковых гетероструктурах: тезисы докладов V конференции. Т. II. Калуга, 1990. С. 41–42.

УДК 637.528

**Нагдалян Андрей Ашотович, Селимов Магомед Асланович,
Оботурова Наталья Павловна, Гатина Юлиана Сергеевна**

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПИЩЕВОЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ ДОБАВКИ ПРИ РАЗРЯДНО- ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ МЯСНОГО СЫРЬЯ

Рассматривалась возможность применения пищевой антиоксидантной добавки в качестве фактора тормозящего процессы образования свободных радикалов при разрядно-импульсной обработке мясного сырья. В ходе работы было исследовано влияние электрогидравлического эффекта на процессы окисления и уровень свободных радикалов. Также был рассчитан уровень антиоксидантной активности (АОА) опытных образцов мясного сырья подвергнутого обработке по разрядно-импульсной технологии по сравнению с контрольным образцом. По результатам полученных данных было подтверждено действие пищевой антиоксидантной добавки, как ингибитора роста количества свободных радикалов в мясном сырье.

Ключевые слова: электрогидравлический эффект, разрядно-импульсные технологии, флавоноиды, антиоксидантная активность, свободные радикалы.

Andrey Nagdalian, Magomed Selimov, Natalya Oboturova, Yuliana Gatina ABOUT OF PRACTICABILITY OF USAGE OF ANTIOXIDANT ADDITIVES IN THE PROCESS OF MEAT STUFF PULSED DISCHARGES TREATMENT

There have been studying prospects of application of food antioxidant additives like an inhibiting factor of free radicals generation while pulsed discharges treatment. In this work there was investigated the influence of electrohydraulic effect on free radicals level and lipid oxidation. The authors calculated the level of antioxidant activity of treated meat in comparison with untreated meat. По результатам полученных данных было подтверждено действие пищевой антиоксидантной добавки, как ингибитора роста количества свободных радикалов в мясном сырье. Based on results of research, the authors point out inhibitor effect of used antioxidant additives.

Key words: electrohydraulic effect, pulsed discharges treatment, antioxidant activity, free radicals, flavonoids.

Для достижения целей, связанных с совершенствованием технологического процесса и улучшением качества готовой продукции, разрабатывается и изготавливается новое высокоэффективное оборудование, применяются различные физико-химические эффекты и явления на основе научно-технического прогресса и новых технологических подходов в производстве различных продуктов. Одним из таких эффективных способов для решения задач по интенсификации технологического процесса обработки мясного сырья и улучшения качества продукции может стать использование разрядно-импульсных технологий. Разрядно-импульсные технологии относятся к области импульсной