

# Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

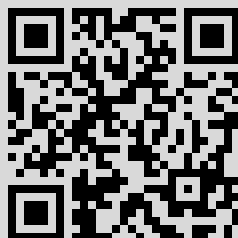
V. I. Brinzari, V. V. Dorogan, M. B. Ivanov,  
V. G. Trofim, V. A. Chumak, L. I. Cheban,  
THIN-FILM SOLAR ELEMENTS (TSE)  
ON (AL, GA)AS HETEROJUNCTIONS,  
*Pisma v Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki*, 1984,  
Volume 10, Issue 8, 455–459

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru  
implies that you have read and agreed to these terms of use  
<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 81.180.74.152

March 19, 2021, 14:30:45



превосходит предельное значение прочности материала мишени  $\sim S^2 p \approx 10^6$  атм. Поэтому максимальные размеры выброшенных частиц могут быть сравнимы с размерами кристаллитов.

### Л и т е р а т у р а

- [1] А в и л о в А.М., В о л о в и к В.Д. - ЖТФ, 1983, т. 53, с. 2226.
- [2] А г л и н ц е в К.К. Дозиметрия ионизирующих излучений, М.: ГИТТЛ, 1957.
- [3] М а т в е е в В.И., П а р и л и с Э.С. - УФН, 1982, т. 138, с. 573.
- [4] В о л о в и к В.Д., И в а н о в С.И., П о п о в Г.Ф. Тр. У1 Межд. симпозиума по нелинейной акустике, М.: МГУ, ч. II, с. 47, 1976.

Харьковский государственный  
университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию  
25 октября 1983 г.

Письма в ЖТФ, том 10, вып. 8

26 апреля 1984 г.

### ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТСЭ) НА ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ ( $Al, Ga$ )As

В.И. Б р ы н з а р ь, В.В. Д о р о г а н,  
М.Б. И в а н о в, В.Г. Т р о ф и м,  
В.А. Ч у м а к, Л.И. Ч е б а н

В настоящее время достигнуты значительные успехи (КПД  $\sim 27\%$  [1]) в области создания высокоэффективных солнечных элементов (СЭ) на основе гетероструктур ( $Al, Ga$ )As, однако, на наш взгляд, их широкое практическое применение будет сдерживаться высокой стоимостью арсенида галлия, используемого в качестве подложек, которые в СЭ, в основном, выполняют роль несущей и обеспечивают механическую прочность на различных стадиях изготовления. Наиболее простым путем устранения этого недостатка является уменьшение расходов пластин монокристаллического  $GaAs$  на подложечный материал в процессах жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ). В работах [2, 3] была показана возможность создания гомо-ТСЭ на  $GaAs$  [2] и гетеро-ТСЭ на ( $Al, Ga$ )As [3] путем отделения структуры ТСЭ от монокристаллической подложки  $GaAs$ . Авторы [2] отмечают, что переход к тонкопленочной технологии позволит существенно снизить стоимость СЭ как для наземных, так и для космических применений. Это в основном достигается многократным использованием подложки  $GaAs$ .

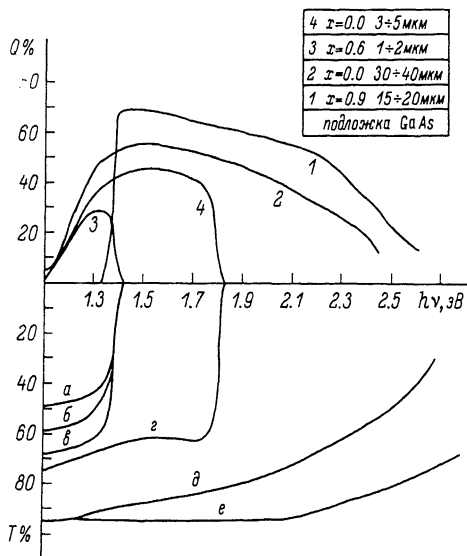
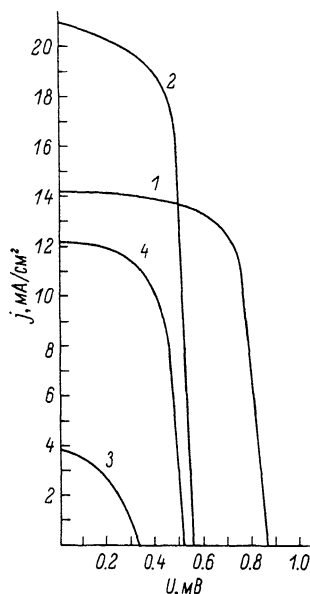


Рис. 1. Спектральное распределение фоточувствительности. 1 - ТСЭ  $AlGaAs/GaAs$ ; 2 -  $Si$  фотоэлемента; 3 -  $Si$  фотоэлемента покрытого ТСЭ  $AlGaAs/GaAs$ ; 4 -  $Si$  фотоэлемента покрытого слоем  $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$  ( $d \approx 10 \text{ мкм}$ ) и спектры пропускания структур: а-в - стекло-эпоксидная смола - ТСЭ  $AlGaAs/GaAs$ ; г - стекло-эпоксидная смола -  $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$ ; д-е - стекло-эпоксидная смола-стекло; в, е - без термостжига; б - после термоотжига при  $T = 250^\circ C$ ; а - после термоотжига при  $T = 320^\circ C$ .

В настоящей работе исследованы некоторые свойства ТСЭ  $p Al_x Ga_{1-x} As - n GaAs$ , отделенных от подложек  $GaAs$ , и рассмотрены возможности их применения в составе каскадных солнечных элементов (КСЭ) с использованием  $Si$  СЭ в качестве узкозонного элемента.

Исследованные гетеро-ТСЭ получались выращиванием методом ЖФЭ на промышленных подложках  $GaAs$  марки АГЧО, ориентации (100). Схематическое изображение гетероструктур приведено на рис. 1. Последовательность слоев создавалась в двух эпитаксиальных процессах. Слои 1-2 выращивались в первом процессе (легирование осуществлялось  $Sn$ ), а слои 3-4 во втором процессе и легировались  $Zn$ . Следует отметить, что слой 4 впоследствии сохранился только в местах контактов. Структуры ТСЭ отделялись от подложки травлением слоя 1 в плавиковой или соляной кислоте. Размеры отделенных слоев были равны размерам подложек и составляли обычно  $(20 \times 13) \text{ мм}$ , а их толщина не превышала  $50 \text{ мкм}$ . Ввиду того, что слой 3 (рис. 1), выполняющий роль широкозонного окна гетеро-ТСЭ, с торцов не защищался от воздействия травя-

Рис. 2. Нагрузочные характеристики.  
 1 - ТСЭ  $AlGaAs/GaAs$  (КПД 15%); 2 -  $Si$  фотоэлемента (КПД  $\sim 11\%$ ); 3 -  $Si$  элемента покрытого ТСЭ ( $AlGaAs/GaAs$ ) (КПД  $\sim 1.5\%$ ), 4 -  $Si$  фотоэлемента покрытого слоем  $Al_{0.25}Ga_{0.75}As$  (КПД  $\sim 5.7\%$ ).



теля при отделении от подложки, его состав устанавливался не более 60%  $AlAs$ .

Для увеличения механической прочности образцы ТСЭ клеились к стеклу при помощи эпоксидной смолы марки ЭД-16. Контакт к р-области ТСЭ выполнялся после вытравливания углублений в стекле (толщина стекла  $\sim 100$  мкм) плавиковой кислотой и удаления слоя эпоксидной смолы в местах травления кипящим диметилформамидом. Обычно выполнялся периметрический полосковый контакт электролитическим осаждением никеля. Для выяснения влияния такого покрытия на свойства ТСЭ были проведены исследования спектров пропускания структур стекло-эпоксидная смола  $GaAs$ , которые изображены на рис. 1 (кривые а, в).

Там же для сравнения приведены спектры пропускания структуры стекло-эпоксидная смола-стекло без термообработки (кривая е) и после отжига при  $T_{отж.} = 320^\circ C$  ( $t_{отж.} = 5$  мин) (кривая д). Термоотжиг проводился для выяснения возможности вжигания контактов после приклеивания ТСЭ к стеклу. При увеличении  $T_{отж.}$  до  $350^\circ C$  пропускание структур резко ухудшалось из-за разложения эпоксидной смолы.

Для созданных образцов ТСЭ проводились исследования ВАХ, спектральных и нагрузочных характеристик. На рис. 1 (кривая 1) представлена спектральная характеристика гетеро-ТСЭ  $AlGaAs/GaAs$ . Спад квантовой эффективности в коротковолновой части спектра обусловлен поглощением в твердом растворе  $Al_{0.6}Ga_{0.4}As$ , выполняющим роль широкозонного окна. Максимальное значение квантовой эффективности было на уровне 60%, что объясняется потерями на отражение от поверхности стекла и непросветленной поверхности ТСЭ. Нагрузочная характеристика одного из образцов ТСЭ представлена на рис. 2 (кривая 1). Значение КПД составляет  $\sim 15\%$  ( $AM\ 1.5$ ,  $K_C = 1$ ) при факторе заполнения  $FF \sim 0.7$ . Оптимизация контактов и нанесение просветляющих покрытий позволяет увеличить КПД до значений не менее 20%.

В виду того, что для ТСЭ необходима несущая основа и через него проходит ИК излучение, нами была исследована возможность

создания КСЭ с применением  $Si$  СЭ в качестве узкозонного каскада. Практическая реализация такого типа КСЭ была доложена в работе [4]. ТСЭ припаивался тыльным контактом к контакту  $Si$  СЭ, расположенного на фоточувствительной поверхности. Пространство между фотоэлементами ничем не заполнялось. На рис. 1 представлены спектральные характеристики  $Si$  СЭ со свободной поверхностью (кривая 2) и покрытого ТСЭ (кривая 3). Верхний фотоэлемент КСЭ сильно сужает область чувствительности нижнего элемента, уменьшая при этом и значение эффективности. Нагрузочные характеристики созданного КСЭ представлены на рис. 2, при этом каждый элемент подключался на отдельную нагрузку. КПД верхнего элемента был на уровне 15% (АМ 1.5), а КПД нижнего элемента составлял 1.5% (без ТСЭ КПД КСЭ составлял 11%). Таким образом, общий КПД КСЭ составлял 16.5%. Низкое значение КПД нижнего фотоэлемента обусловлено пропусканием ТСЭ  $GaAs/AlGaAs$  (рис. 1, в). Хотя общий КПД такого типа КСЭ выше, чем КПД каждого элемента в отдельности, такая конструкция не является оптимальной. В случае применения  $GaAs$  в составе верхнего элемента, применение  $Si$  для нижнего элемента нецелесообразно, т.к. резко сужается область его спектральной чувствительности. Очевидно, что более подходящими материалами являются  $Ge$  или твердые растворы  $InGaAs$  и  $InGaAsP$ . В случае применения  $Si$  СЭ в качестве узкозонного элемента, верхний элемент должен быть создан на основе более широкозонных (чем  $GaAs$ ) материалов [5]. Наиболее подходящим материалом является твердый раствор  $Al_xGa_{1-x}As$  ( $x \approx 0.25 \div 0.27$ ), ширина запрещенной зоны которого равна 1.8 эВ. Нами исследовалась работа  $Si$  СЭ покрытого слоем  $Al_{0.27}Ga_{0.73}As$  ( $d \approx 10$  мкм). Как видно из рис. 1 (кривая 4), область спектральной чувствительности  $Si$  СЭ существенно расширяется (по сравнению со спектральной характеристикой  $Si$  СЭ, покрытого ТСЭ  $GaAs/AlGaAs$ ). Это обусловлено спектром пропускания слоя твердого раствора (рис. 1, г).

На рис. 2 (кривая 4) показана нагрузочная характеристика элемента покрытого слоем твердого раствора. КПД составлял 5.7% (АМ 1.5) при первоначальном значении КПД 11% (без слоя  $Al_{0.27}Ga_{0.73}As$ ). Таким образом, создание высокоэффективных СЭ на основе твердых растворов  $Al_xGa_{1-x}As$  ( $x \approx 0.27$ ) позволит получить общий КПД в КСЭ типа  $AlGaAs/Si$  более 30%.

## Л и т е р а т у р а

- [1] Андреев В.М., Егоров Б.В., Лантратов В.Д., Румянцев В.Д., Трошков С.И. Солнечные гетерофотоэлементы с увеличенной глубиной залегания р-п перехода. - ЖТФ, 1983, т. 63, № 8, с. 1658-1660.
- [2] Fan J., Bozler C., McClelland R. Thin-film GaAs solar cells. - 15-th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., Kissimmee Fla, May 12-15 1981. New York, 1981, p. 666-672.

- [3] Дороган В.В., Трофим В.Г., Чумак В.А., Яковлев В.П. Получение дешевых солнечных элементов в системе *Al-Ga-As*. - В кн.: Тез. докл. III-й Всес. конф. по физическим процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Одесса, 7-9 июня 1982 г. Одесса: 1982, т. 1, с. 127-129.
- [4] Дьрокина Т.П., Каган М.Б., Любашевская Т.Л., Молчанова И.А. Каскадные солнечные элементы *GaAs-Si*. - В кн.: Тез. докл. III-й Всес. конф. по физическим процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Одесса, 7-9 июня 1982 г. Одесса: 1982, т. 1, с. 130-132.
- [5] Васильев А.И., Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи. М.: Сов. радио, 1971. 244 с.

Кишиневский политехнический институт им. С. Лазо

Поступило в Редакцию  
22 декабря 1983 г.

Письма в ЖТФ, том 10, вып. 8

26 апреля 1984 г.

### ВОЗНИКНОВЕНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ВИХРЕЙ В СМЕСЕВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ ПРИ УДАРНОМ СЖАТИИ

В.В. Соболев

В цилиндрических образцах, состоящих из смеси порошков различных материалов, в результате ударного нагружения формируются разнообразные конфигурации фронтов ударных волн [1], влияющих, как было установлено [2-3], на кристаллическую структуру, химический состав и химическую активность, валентность, плотность дефектов и на многие другие свойства обрабатываемых материалов. В этих работах отмечалось, что при ударном нагружении смесевых материалов по оси цилиндрического образца возникает полость в виде шнура, а материал, прилегающий к стенкам полости, резко отличается по своим свойствам от окружающего вещества. Однако ни в одной из этих работ, описывающих ударно-волновые картины и течения, возникающие в процессе нагружения смесевых образцов, не исследовался вопрос, связанный с изучением течений, предшествующих зарождению осевой полости.

Материал, изложенный в данной работе, является частью результатов исследований, проводимых в этом направлении.

Смесью порошков меди и графита заполнялись цилиндрические ампулы с внутренним диаметром 6 мм и внешним - 22 мм. Динамическое нагружение смеси осуществлялось со стороны боковой поверхности ампулы, скользящим вдоль ее образующей фронтом детонационной волны. Заряды изготавливались из гексогена с плотностью