

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ МНОГОПРОХОДНЫЕ
 $AlGaAs$ -ФОТОЭЛЕМЕНТЫ
 С ДВУСТОРОННЕЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Ж.И. Алферов, В.М. Андреев,
 К.И. Вакарельска, Ю.М. Задиранов,
 В.Р. Ларионов, А.В. Никитин

Тонкопленочные $AlGaAs-GaAs$ фотоэлементы с удаленной $GaAs$ -подложкой создаются [1, 2] для улучшения весовых характеристик солнечных батарей и снижения расхода арсенида галлия.

„Прямая“ структура энергетических зон $GaAs$ и твердых растворов $Al_xGa_{1-x}As$ при $x < 0.4$ и высокий коэффициент поглощения излучения с $h\nu > E_g$ позволяют создавать элементы с толщиной активной области значительно меньшей, чем, например, в случае кремния. Однако в работах [1, 2], посвященных созданию тонкопленочных СЭ на основе $AlGaAs$ - гетероструктур, минимальная толщина узкозонной области, выполняемой из $GaAs$, составляла 10–20 мкм. Дальнейшее уменьшение толщины структуры связано с трудностями чисто технического характера. Кроме того, в этих структурах отсутствовал тыльный потенциальный барьер. Поэтому при обычно реализуемой в эпитаксиальном материале длине диффузионного смещения неосновных носителей тока $L_D > 5$ мкм в тонкопленочных СЭ с толщиной арсенида галлия, сравнимой с L_D , будут иметь место дополнительные потери фотоносителей, обусловленные рекомбинацией на тыльной поверхности. Большая толщина узкозонной области ($d_a > L_D$) не позволила реализовать в таких структурах с одним р-п-переходом двустороннюю фоточувствительность, обеспечивающую возможность увеличения энергосъема солнечных батарей за счет использования альбеда Земли [3, 4].

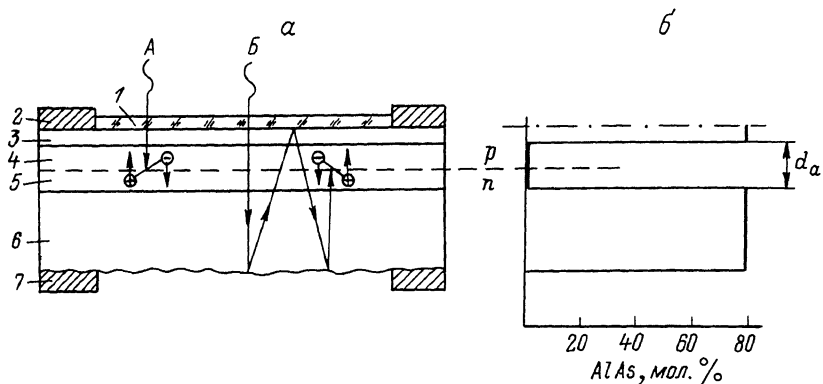


Рис. 1. Схематическое изображение (а) многопроходного бесподложечного фотоэлемента на основе структуры $n\text{-Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ - $p\text{-GaAs}$ - $p\text{-GaAs}$ - $p\text{-Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ и распределение концентрации AlAs по толщине структуры: 1 - просветляющее покрытие, 2 - полосковый контакт к фронтальной области, 3 - фронтальный широкозонный p -слой, 4 - $p\text{-GaAs}$, 5 - $n\text{-GaAs}$, 6 - тыльный широкозонный p -слой, 7 - тыльный полосковый контакт.

В настоящей работе приводятся результаты исследования тонкопленочных фотопреобразователей на основе структур $p\text{-Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ - $p\text{-GaAs}$ - $p\text{-GaAs}$ - $p\text{-Al}_{0.8}\text{Ga}_{0.2}\text{As}$ (рис. 1), в которых благодаря созданию тыльного потенциального барьера и использованию многопроходных эффектов [5] удалось получить высокую двустороннюю фоточувствительность при минимальной толщине активной области (GaAs) ~ 0.6 мкм и суммарной толщине структуры ~ 1.5 мкм.

Структуры (рис. 1) изготавливались методом низкотемпературной кристаллизации из растворов-расплавов [6, 7], обеспечивающей получение слоев толщиной 10^{-1} - 10^{-2} мкм, что необходимо для создания сверхтонкого широкозонного окна (рис. 1, слой 3) и обеспечения широкой спектральной фоточувствительности.

После эпитаксиального выращивания и изготовления фронтального контакта (2) структура отделялась от подложки методом избирательного травления [1, 2, 5]. Для обеспечения эффективного «захвата» структурой излучения, прошедшего без поглощения через узкозонную активную область, и реализации эффектов многопроходности [5] на тыльной поверхности структуры методом негативного профилирования подложки [8] создавался рельеф (рис. 1).

На рис. 2 представлены спектры фотоответа фотоэлементов на основе структур с толщиной узкозонного слоя $d_a = 0.6$ мкм (кривая 1), 0.8 мкм (2), 1.5 мкм (3, 4, 5) и 3 мкм (6) при толщинах фронтального широкозонного слоя 0.1 мкм (7) и 0.6 мкм (8). Спектры фотоответа структур с GaAs -подложкой (кривые 1, 2, 3) имеют «завал» в длинноволновой области, связанный с неполным поглощением излучения в тонком узкозонном слое и его последующим поглощением в GaAs подложке.

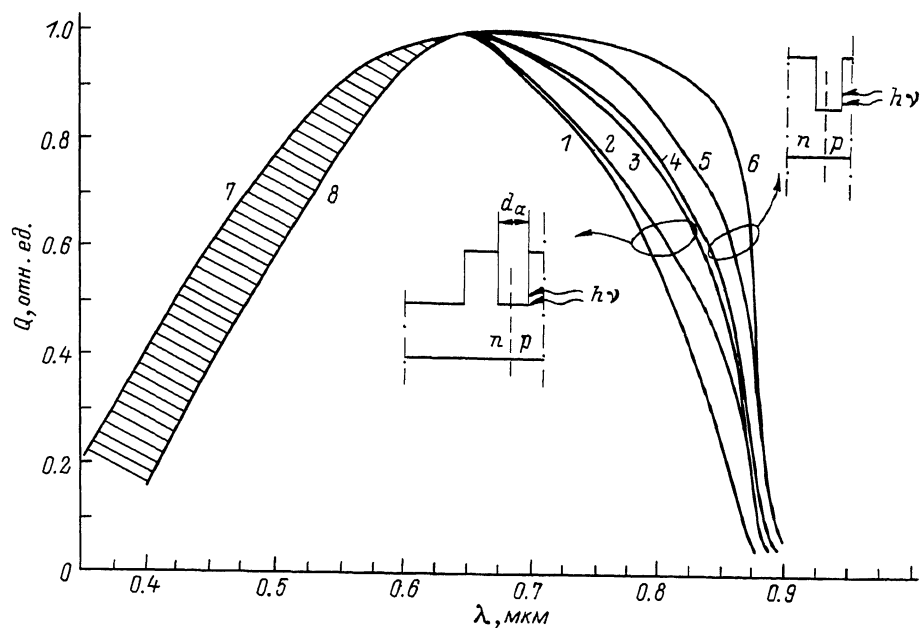


Рис. 2. Спектральное распределение коэффициента сбора фотоэлементов на основе структур: 1, 2, 3 - с $GaAs$ -подложкой при толщине узкозонной активной области $d_a = 0.6, 0.8, 1.5$ мкм соответственно, 4, 5, 6 - после стравливания подложки при: 4 - $d_a = 1.5$ мкм с зеркальной тыльной поверхностью, 5 - $d_a = 1.5$ мкм с рельефной тыльной поверхностью, 6 - $d_a = 3$ мкм, 7-8 - коротковолновая часть спектров при толщине фронтального широкозонного слоя $W_p = 0.1$ и 0.6 мкм соответственно.

Удаление подложки обеспечивает отражение части этих лучей от тыльной поверхности структуры (лучи Б, рис. 1), увеличение длины их пути в узкозонной активной области, а в итоге - увеличение интегрального фототока. Эффект многопроходности оказывается более существенным в структурах с рельефной тыльной поверхностью (кривая 5, рис. 2). При этом максимальная fotocувствительность в длинноволновой области достигается при увеличении толщины узкозонной области до $d_a \approx 3$ мкм (кривая 6, рис. 2). Коротковолновый фронт фотоответа зависит только от толщины фронтального широкозонного слоя и находится между кривыми 7 и 8 (рис. 2) при изменении толщины этого слоя от 0.1 до 0.6 мкм.

Одним из важных преимуществ рассматриваемых фотоэлементов с тонкой активной областью является обеспечение двусторонней fotocувствительности при наличии только одного р-п-перехода. На рис. 3 представлены спектры фотоответа при освещении фотоэлементов с фронтальной стороны (кривые 1, 3) и тыльной стороны

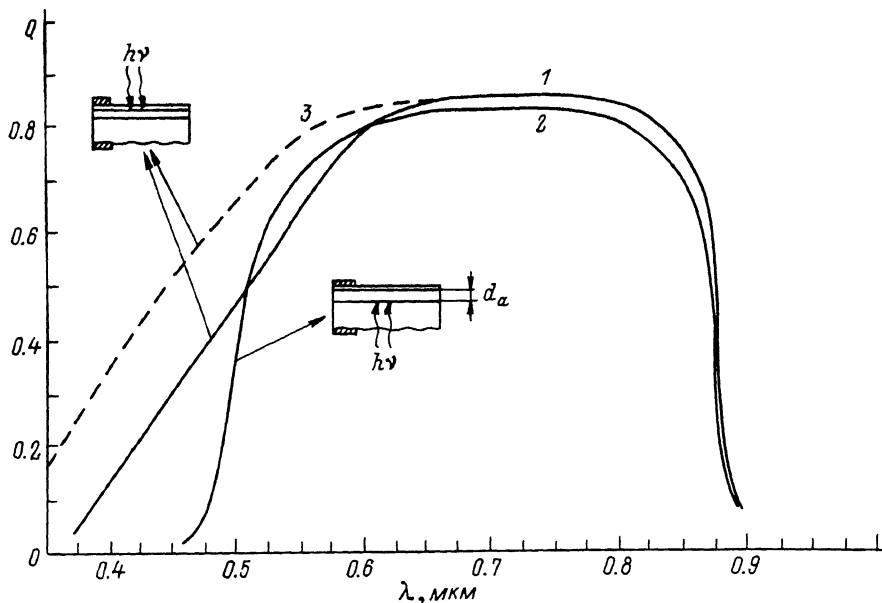


Рис. 3. Спектральное распределение коэффициента сбора бес-
подложечных многопроходных фотоэлементов при освещении: 1, 3 -
со стороны фронтальной р-области при толщине широкозонного фронт-
ального слоя $W_p = 0.6$ мкм (1) и 0.1 мкм (3), 2 - со стороны
тыльной п-области при толщине тыльного широкозонного слоя $W_n =$
 $= 4$ мкм.

(2). Отличие коротковолновых участков спектров связано с раз-
личной толщиной проходимого излучением слоя широкозонного "окна"
 $W = 0.1$ мкм (кривая 3), 0.6 мкм (1) и 4 мкм (2).

В основной полосе чувствительности ($\lambda \approx 0.55-0.85$ мкм) в
данных фотоэлементах спектры фотоответа практически идентичны
при освещении фотоэлемента как с фронтальной, так и с тыльной
сторонами.

Спектры 1, 2 на рис. 3 получены в фотоэлементах на основе
структуры с оптимальными толщинами слоев $n-GaAs$ - 0.5 мкм
и $p-GaAs$ - 2.5 мкм. Увеличение толщин п- и р-слоев $GaAs$
(при $d_n > 1$ мкм и $d_p > 3$ мкм) приводило к снижению фоточувстви-
тельности в коротковолновой области из-за потерь фотоносителей,
обусловленных объемной рекомбинацией в $p-GaAs$ при освещении
с фронтальной стороны и в $p-GaAs$ при освещении с тыльной
сторонами.

Таким образом, на основе тонкопленочных многопроходных струк-
тур с одним р-п-переходом при толщине узкозонного слоя $d_a \approx$
 $\approx 0.5-3$ мкм получены фотоэлементы, обладающие высокой двусто-
ронней фоточувствительностью.

В заключение авторы выражают признательность В.Д. Румянцеву и А.А. Водневу за полезные обсуждения и помощь в эксперименте.

Л и т е р а т у р а

- [1] Андреев В.М., Сараджишвили Н.М., Федорова О.М., Шамухамедов Ш.Ш. - ЖТФ, 1984, т. 54, в. 6, с. 1215-1218.
- [2] Андреев В.М., Бурба Г.С., Дороган В.В., Трофим В.Г., Чумак В.А. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 19, с. 1197-1202.
- [3] Бордина Н.М., Каган М.Б., Любашевская Т.Л., Летин В.А., Таурбаев Т.И., Шорин В.Ф. - Гелиотехника, 1985, № 1, с. 3-7.
- [4] Ахмедов Ф.А. - Гелиотехника, 1987, № 1, с. 3-7.
- [5] Агафонов В.Г., Алферов Ж.И., Андреев В.М., Гарбузов Д.З., Давидюк Н.Ю., Ларионов В.Р. - ЖТФ, 1977, т. 47, в. 8, с. 1756-1764.
- [6] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Воднев А.А., Конников С.Г., Ларионов В.Р., Погребницкий К.Ю., Румянцев В.Д., Хвостиков В.П. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 18, с. 1089-1093.
- [7] Андреев В.М., Ивентьева О.О., Конников С.Г., Погребницкий К.Ю., Пурон Э., Сулима О.В., Фалеев Н.Н. - Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, в. 9, с. 533-537.
- [8] Алферов Ж.И., Андреев В.М., Егоров Б.В., Сырбу А.В. - ФТП, 1977, т. 11, в. 10, с. 1918-1925.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе, АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
28 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 3

12 февраля 1988 г.

ОРИЕНТАЦИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КАПЕЛЬ НЕМАТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

А.В. К о в а л ь ч у к, О.Д. Л а в р е н т о в и ч,
В.В. С е р г а н

В настоящее время особую актуальность приобрела задача о действии внешнего электрического поля на капли нематического жидкого кристалла (НЖК), диспергированные в полимерной матрице, в связи с созданием на их основе устройств отображения информации нового типа [1].