

Д. ф.-м. н. А. В. КАРИМОВ, к. ф.-м. н. Д. М. ЁДГОРОВА,
к. ф.-м. н. Ф. А. ГИЯСОВА, Л. Х. ЗОИРОВА, О. А. АБДУЛХАЕВ,
Д. Р. ДЖУРАЕВ

Республика Узбекистан, г. Ташкент, НПО «Физика-Солнце»;
Бухарский государственный университет
E-mail: karimov@uzsci.net; djuraev2002@mail.ru

Дата поступления в редакцию
23.04 2009 г.

Оппонент к. т. н. Я. Я. КУДРИК
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

МОДИФИКАЦИЯ БАРЬЕРНОЙ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}$ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫМИ БАРЬЕРАМИ

Исследовано влияние последовательно соединенных потенциальных барьеров на физические процессы, протекающие в гетеропереходе на примере одно- и многобарьерных структур. В результате модификации увеличивается фоточувствительность приемника и расширяется его спектральный диапазон.

В настоящее время быстрыми темпами расширяется область применения оптических сигналов в оптоэлектронных устройствах различного назначения. Создано большое количество типов излучателей света, которые требуют разработки фотоприемных структур для различного спектрального диапазона, обладающих соответствующими оптимальными параметрами и характеристиками как по фоточувствительности, так и по быстродействию.

Величина фоточувствительности определяется квантовым выходом, т. е. числом генерированных электронно-дырочных пар при поглощении одного фотона. Максимальное значение фоточувствительности идеального фотодиода с одним $p-n$ -переходом или барьером может достичь 0,93 А/Вт, при этом частотный диапазон будет ограничен [1]. Чтобы этого избежать, стали разрабатываться аналоги диода Рида ($p^+-n-i-n^+$ или $n^+-p^+-i-p^+$) и инжекционно-пролетные диоды типа «металл—полупроводник—металл» [2], обладающие высокой рабочей частотой и быстродействием. В них заданное (протяженное) распределение электрического поля за счет последовательно соединенных двух и трех барьеров позволяет повысить фоточувствительность. В частности, в [3] для повышения быстродействия уменьшена емкость структуры путем создания встречно-штыревых планарных структур с двумя барьерами Шоттки на основе арсенида галлия. Двухсторонне чувствительные двухбарьерные $m-p-m$ - и $m-n-m$ -структуры с двумя барьерами Шоттки на основе кремния, обладающие высокой фоточувствительностью в коротковолновой области спектра, описаны в [4].

Для повышения фоточувствительности и быстродействия фотодиодных структур в [4, 5] осуществлено интегрирование $p-n$ -перехода с обратно включенными переходами «металл—полупроводник» в единую структуру на основе гетерослоя GaInAs и AlGaAs .

Описанные эксперименты проведены на различных полупроводниковых материалах, однако имеющиеся к настоящему времени данные литературных источников не позволяют получить сведения о последовательном управлении параметрами при модификации конструкции фоточувствительной структуры.

В данной работе приведены технологические принципы изготовления поэтапно модифицированных от одно- до трехбарьерной фотодиодных структур на основе гетероперехода $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}$, и исследовано влияние наличия последовательно соединенных барьеров к $p-n$ -переходу на физические процессы, протекающие в структурах.

Изготовление образцов для исследования

Исследуемые образцы были изготовлены известным методом [6] в специальном устройстве [7] путем выращивания из жидкой фазы гетерослоев $p\text{AlGaInAs}$ на подложках $n\text{GaAs}$, легированных теллуром, а также кислородом. Одновременное использование алюминия и индия в гетерослоях открывает дополнительную степень свободы при регулировании параметров и свойств гетерослоя. Особенности его получения приведены в работах авторов [8]. Получение соответствующих структур с омическим и выпрямляющим $p-n$ -переходом и контактом «металл—полупроводник» требует, кроме подбора состава гетерослоя, еще и выбора концентрации носителей как в гетерослое, так и в подложке $n\text{GaAs}$.

В связи с этим, для исследований изготавливались образцы с концентрацией носителей в гетерослоях, соответствующей предназначению контактов.

Однobarьерные фотодиодные структуры получены созданием омических контактов к обеим поверхностям гетероперехода $p\text{AlGaInAs}(\text{Zn})-n\text{GaAs}$. Концентрация носителей в эпитаксиальном гетерослое $p\text{AlGaInAs}(\text{Zn})$ толщиной около 1 мкм выбрана равной $N_p = 4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, а подложки $n\text{GaAs}$, легированной теллуром, — $N_n = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Омические контакты к поверхности гетерослоя $p\text{AlGaInAs}$ созданы напылением сплава $\text{Au}+\text{Zn}$ через прозрачную Ш-образную маску, а с тыльной стороны напылен сплошной контакт из сплава $\text{In}+\text{Sn}$.

Далее для последовательного соединения барьера к $p-n$ -переходу был получен барьер Шоттки на поверхности с тыльной стороны подложки, а также $p\text{AlGaInAs}(\text{Zn})$ -гетерослой с соответствующей концентрацией носителей.

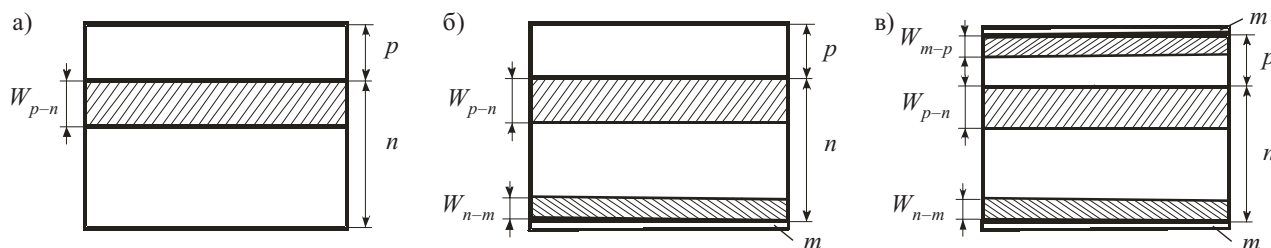


Рис. 1. Геометрия структур:

a — однобарьерная $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}$; *б* — двухбарьерная $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}$; *в* — трехбарьерная $\text{Au}-p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Ag}$

В двухбарьерных фотодиодных структурах концентрация носителей в эпитаксиальном гетерослое $p\text{AlGaInAs}(\text{Zn})$ толщиной около 1 мкм составляла $N_p = 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. На их поверхности также напылением через Ш-образную маску сплава $\text{Au}+\text{Zn}$ создавались омические контакты. Концентрация носителей в подложке $n\text{GaAs}$ толщиной 350 мкм составляла $N_n = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, с ее тыльной стороны формировали потенциальные барьеры из Au толщиной 70 Å [9]. Подложка $n\text{GaAs}$ в заводских условиях была легирована кислородом, который дает донорный примесный уровень с глубиной залегания 0,8 эВ [10]. С целью получения очередного последовательно соединенного барьера к p - n -переходу был сформирован барьер Шоттки со стороны гетерослоя, как это показано в [11]. Параметры гетерослоя были следующими.

Четырехслойные трехбарьерные двухбазовые фотодиодные структуры были получены напылением в вакууме полупрозрачного слоя Au толщиной 70 Å, на поверхность слоя $p\text{AlGaInAs}$ (толщина 2 мкм, $N_p = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$). Со стороны подложки $n\text{GaAs}$ потенциальный барьер был получен напылением слоя Ag толщиной 70 Å. Толщина области $n\text{GaAs}$ с концентрацией носителей $N_n = 1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, которая была также легирована кислородом, составляет 350 мкм [12]. На рис. 1 приведена геометрия структур этих образцов.

Таким образом, для исследования влияния наличия последовательно соединенных потенциальных барьеров на физические процессы, протекающие в p - n -гетеропереходе, были изготовлены одно- и многобарьерные структуры на основе гетероперехода $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}$, каждая из которых может быть использована в различных оптоэлектронных схемах, предназначенных для фотоприемных устройств.

Исследование электрофизических и фотоэлектрических характеристик образцов

Для сравнительного анализа физических процессов, протекающих в базовых областях одно- и многобарьерных структур, были проведены исследования вольт-амперных, вольт-емкостных и спектральных характеристик изготовленных экспериментальных образцов.

Для однобарьерной $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}$ -структуры, как видно из рис. 2, *a*, в режиме обратного смещения гетероперехода при увеличении рабочего напряжения наблюдается рост обратного тока. Величина темнового тока от 10^{-8} А на начальном участке с повышением напряжения до 1,6 В увеличивается более чем на два порядка. При освещении со стороны пленки темновые и световые кривые пересекаются при

напряжении выше 1,2 В. В режиме запирания уже на начальном участке появляется световой ток, величина которого затем становится сравнимой с темновым током. При этом за счет инжекции носителей через прямосмещаемый p - n -переход сопротивление структуры уменьшается (рис. 3, *a*). Из этого следует, что однобарьерная $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}$ -структура обладает фоточувствительностью лишь в режиме запирания или при освещении со стороны мелкозалегающего фотоприемного p - n -перехода.

Двухбарьерная $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}$ -структура, являясь однобазовой ($n\text{GaAs}$), обладает двухсторонней фоточувствительностью и работоспособностью при обеих полярностях рабочего напряжения.

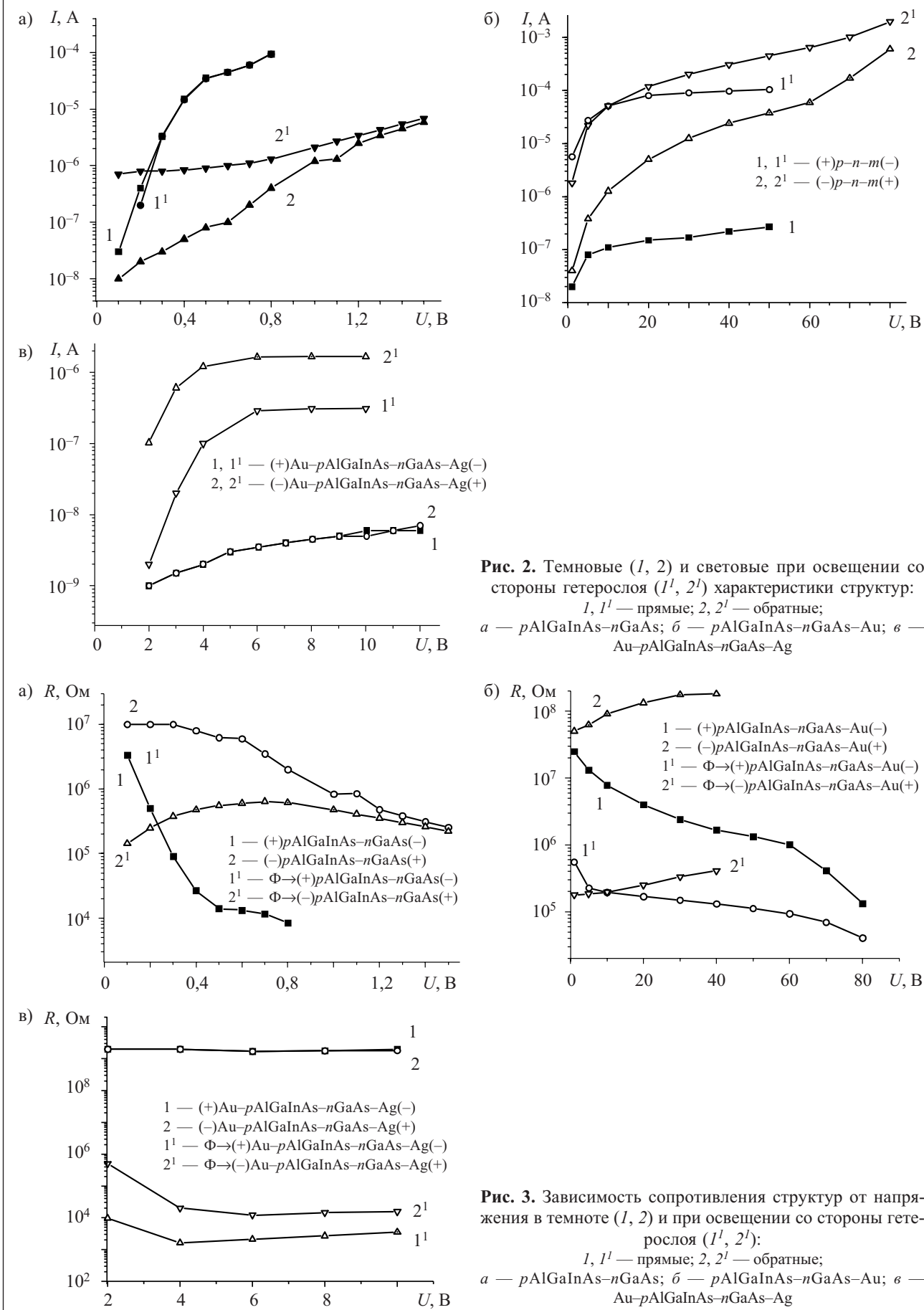
Трехбарьерная $\text{Au}-p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Ag}$ -структура также является двухсторонне чувствительной и работоспособной при любых полярностях рабочего напряжения и при этом имеет две модулируемые базы ($p\text{AlGaInAs}$ и $n\text{GaAs}$).

В двухсторонне чувствительных структурах существует четыре семейства световых характеристик: в режиме прямого смещения гетероперехода и в режиме запирания гетероперехода для двух случаев — при подсветке со стороны гетерослоя и со стороны подложки. Так как эффекты примесной фоточувствительности двухбарьерной $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}$ -структуры к монохроматическому излучению подробно исследованы в [6], ограничимся рассмотрением ее фотоэлектрических характеристик при подсветке со стороны гетерослоя, к которому примыкает трехбарьерная двухбазовая $\text{Au}-p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Ag}$ -структура, создавая выпрямляющий контакт.

В двухбарьерной однобазовой $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}$ -структуре в режиме прямого смещения гетероперехода темновой ток при увеличении напряжения от 0 до 80 В возрастает на четыре порядка, а в режиме запирания — не более чем на один, когда ток достигает насыщения (рис. 2, *б*).

При освещении со стороны гетерослоя в прямом направлении появляется фототок, величина которого с увеличением напряжения «маскируется» возрастающим темновым током, обусловленным одновременной инжекцией темновых носителей в базовую область в режиме прямого смещения гетероперехода. Это подтверждается относительно резким уменьшением сопротивления $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}$ -структуры, т. е. модуляцией базовой области (рис. 3, *б*, кривая 1).

При смене полярности рабочего напряжения с ростом величины световой ток достигает насыщения, а сопротивление $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}$ -структуры



Емкость структур (в пФ) для различных значений напряжения (в В)

Однobarьерная				Двухбарьерная однобазовая				Трехбарьерная двухбазовая			
(+)p-n(-)		(-)p-n(+)		(+)p-n-m(-)		(-)p-n-m(+)		(+)m-p-n-m(-)		(-)m-p-n-m(+)	
U	C	U	C	U	C	U	C	U	C	U	C
0	60	0	60	0	11,90	0	11,49	0	8,60	0	8,70
0,057	60	0,055	60	0,1	11,93	0,4	11,39	1	8,61	0,5	8,74
0,5	60	0,5	60	0,5	12,30	1,0	11,22	4	8,63	2	8,70
0,6	60	0,6	60	1,0	12,16	1,6	10,96	7	8,637	4	8,67
0,7	60	0,7	60	2,0	12,18	2,0	10,80	9	8,639	6	8,65
				3,0	12,18	6,0	9,76			8	8,63
						10,0	8,80			10	8,61
						20,0	8,55				

увеличивается. Такое поведение световых характеристик можно объяснить отсутствием инжекции носителей в данном режиме, т. к. иначе уменьшалось бы сопротивление базы. Что касается трехбарьерной Au-pAlGaInAs-nGaAs-Ag-структуры, то инжекция носителей в ней отсутствует при любых режимах, в результате чего ее сопротивление не уменьшается с ростом напряжения (рис. 3, в).

Трехбарьерная Au-pAlGaInAs-nGaAs-Ag-структура имеет симметричную вольт-амперную характеристику, т. е. при смене полярности прямая и обратная ветви характеристики совпадают, однако световой ток больше темнового (см. рис. 2, в). Что касается сопротивления, то его величина с увеличением рабочего напряжения сначала несколько уменьшается, а затем начинает расти, что обусловлено замедлением прироста тока, т. е. отсутствием инжекции носителей в базовую область.

Таким образом, для однobarьерной гетероструктуры характерны уменьшение фототока с увеличением рабочего напряжения и односторонняя фоточувствительность. В двухбарьерной однобазовой pAlGaInAs-nGaAs-Au-структуре наблюдается уменьшение фототока с ростом напряжения, обусловленное инжекцией носителей в базовую область через прямосмещенный p-n-гетеропереход. В трехбарьерной двухбазовой Au-pAlGaInAs-nGaAs-Ag-структуре с ростом рабочего напряжения фототок увеличивается.

Однobarьерные pAlGaInAs-nGaAs-структуры имеют емкость, определяемую концентрацией носителей в p- и n-областях. Ее величина для значений концентрации носителей $N_p = 4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ и $N_n = 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ составляет 60 пФ (см. таблицу).

В однobarьерной структуре модуляция базы осуществляется с одной стороны от границы p-n-перехода. При создании второго барьера «металл—полупроводник» последовательно к p-n-переходу с тыльной стороны nGaAs-гетероструктура становится модулируемой с двух сторон, причем балластная паразитная часть базы становится рабочей. В результате последовательного присоединения емкости второго барьера общая емкость двухбарьерной однобазовой pAlGaInAs-nGaAs-Au-структуры существенно

уменьшается, в нашем случае — до 12 пФ. Формирование третьего барьера к поверхности гетерослоя pAlGaInAs превращает гетероструктуру в двухбазовую Au-pAlGaInAs-nGaAs-Ag-структуру, емкость которой становится еще меньше — до 8,5 пФ, что приводит к существенному повышению быстродействия фотодиодной структуры на основе гетероперехода pAlGaInAs-nGaAs.

Исследования спектральных характеристик одно- и многobarьерных структур показали, что спектральный фототок I_{ϕ} в однobarьерной структуре имеет максимум при энергии излучения 1,34 эВ, что соответствует ширине запрещенной зоны гетерослоя (рис. 4, кривая 1). В двухбарьерной структуре наблюдается расширение спектра максимального фототока в направлении длинноволновой области ($\lambda = 1,1—1,5 \text{ мкм}$), обусловленное возбуждением фотоносителей с уровней собственного дефекта и примесей кислорода (кривая 2). В трехбарьерной структуре спектральный диапазон максимального фототока расширяется в обе стороны (кривая 3, $\lambda = 0,6—1,6 \text{ мкм}$) за счет охвата уровней примесей слоем объемного заряда потенциальных барьеров.

Таким образом, в двухбарьерной структуре физические процессы, протекающие в гетеропереходе, становятся в определенной степени управляемыми вторым барьером.

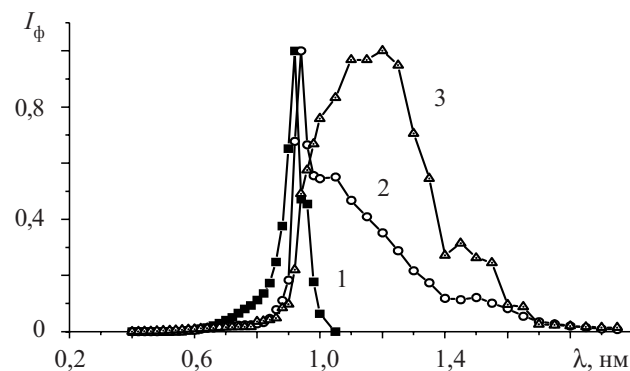


Рис. 4. Спектральные характеристики структур при освещении со стороны гетерослоя:

1 — (-)pAlGaInAs-nGaAs(+) при 0,6 В; 2 — (+)pAlGaInAs-nGaAs-Au(-) при 2 В; 3 — (+)Au-pAlGaInAs-nGaAs-Ag(-) при 2 В

Анализ фотогенерационных процессов в гетероструктуре

Сопоставление вольт-амперных, световых и спектральных характеристик исследуемых структур показывает, что каждая структура обладает специфическими свойствами. Это обусловлено физическими процессами, протекающими в них.

Как было показано ранее, для *однобарьерной pAlGaInAs–nGaAs*-гетероструктуры характерно наличие фоточувствительности лишь в режиме запираания *p–n*-перехода (рис. 2, а). При этом ее величина уменьшается с ростом запирающего напряжения, что обусловлено существенным увеличением темновых токов, генерируемых в слое объемного заряда гетероперехода [13]. Из рис. 4 (кривая 1) следует, что спектральная чувствительность такой структуры максимальна при длине волны $\lambda=0,92$ мкм. Это связано с поглощением фотонов в собственной области, которая соответствует ширине запрещенной зоны гетерослоя. Отсутствие фототока при $\lambda>1$ мкм связано с резким уменьшением квантового выхода и невозможностью возбуждения примесных носителей.

В соответствии с зонной диаграммой на рис. 5, в *однобарьерной pAlGaInAs–nGaAs*-структуре в равновесном состоянии создается контактная разность потенциалов и соответствующий слой объемного заряда между *p*- и *n*-областями, а остальная часть базы остается «мертвой» из-за того, что на большом расстоянии от *p–n*-перехода нанесены омические контакты. В режиме прямого смещения *p–n*-перехода уменьшение контактной разности потенциалов приводит к сужению области объемного заряда, а приложенное прямое напряжение вызывает инжекцию и рекомбинацию электронов и дырок (рис. 5, б). В режиме запираания *p–n*-перехода в области объемного заряда генерируются неосновные носители, создающие обратный ток, а при подсветке со стороны гетерослоя (1 мкм) электронно-дырочные пары разделяются, создавая фототок.

В *двухбарьерной* *однобазовой pAlGaInAs–nGaAs–Au*-структуре с ростом рабочего напряжения световой и темновой токи ведут себя в зависимости от режима включения (рис. 2, б). Сближение световых то-

ков (прямого и обратного) обусловлено инжекцией дырок через прямосмещенный гетеропереход в базовую область. Неизменность токов (светового и темнового) при прямом смещении связана с генерацией неосновных темновых и фотоносителей в слоях объемного заряда потенциальных барьеров [13]. В такой двухбарьерной структуре в режиме прямого смещения гетероперехода в примесной области ($\lambda=1,5$ мкм), обусловленной наличием уровней кислорода в базовой области, появляется фототок. Максимальный фототок создается при длине волны $\lambda=0,92$ мкм, что вызвано поглощением фотонов в гетерослое *pAlGaInAs*. Однако в коротковолновой области спектра во всех исследуемых структурах фототок мал, что можно объяснить низкими значениями коэффициента поглощения в гетерослое, содержащем индий.

В *двухбарьерной pAlGaInAs–nGaAs–Au*-структуре к широкозонной базе (*nGaAs*) сформированы два барьера, а к гетерослою — омический контакт (рис. 6). В режиме прямого смещения гетероперехода дырки инжектируются в направлении базовой области, а электроны переходят через барьер «металл—*nGaAs*». При освещении со стороны гетерослоя в базовой области разделяются электронно-дырочные пары, а из примесных уровней кислорода освобождаются электроны. При смене освещаемой поверхности имеем разделение фотоносителей из области объемного заряда запираемого барьера, а также высвобождение электронов из металла. При смене полярности рабочего напряжения из области объемного заряда генерируются электроны и дырки, создавая темновой ток (рис. 6, б). При подсветке со стороны гетерослоя создаются электронно-дырочные пары с примесных уровней кислорода в области объемного заряда и базовых областей.

Для *трехбарьерной Au–pAlGaInAs–nGaAs–Ag*-структуры характерным является образование фототока синхронно с темновым независимо от режима включения. Это явление связано с генерационными процессами в областях объемного заряда обедняемых потенциальных барьеров, т. е. с отсутствием инжекции носителей в гетеропереходе. В *трехбарьерной* *двухбазовой* структуре наблюдается смещение пика

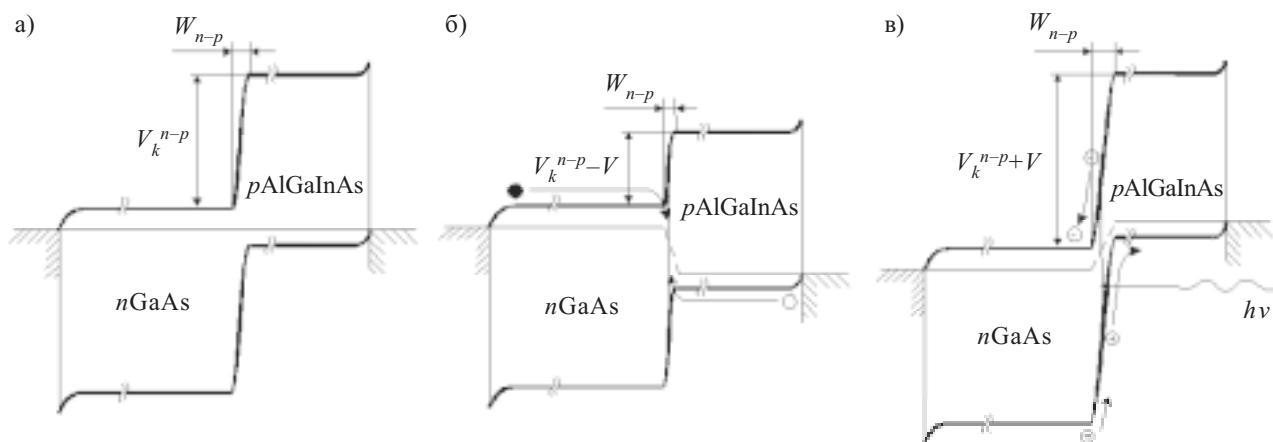


Рис. 5. Энергетические зонные диаграммы *однобарьерной pAlGaInAs–nGaAs*-структуры: а — в равновесном состоянии; б — в режиме прямого смещения; в — при запираании гетероперехода и освещении со стороны гетерослоя

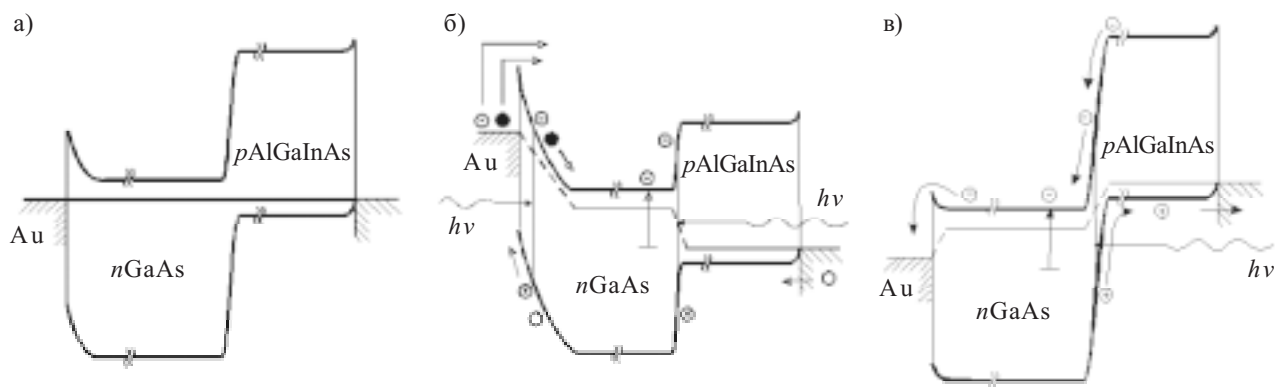


Рис. 6. Энергетические зонные диаграммы двухбарьерной структуры:

a — в равновесном состоянии; *б* — в режиме прямого смещения; *в* — при запирании гетероперехода и освещении со стороны гетерослоя

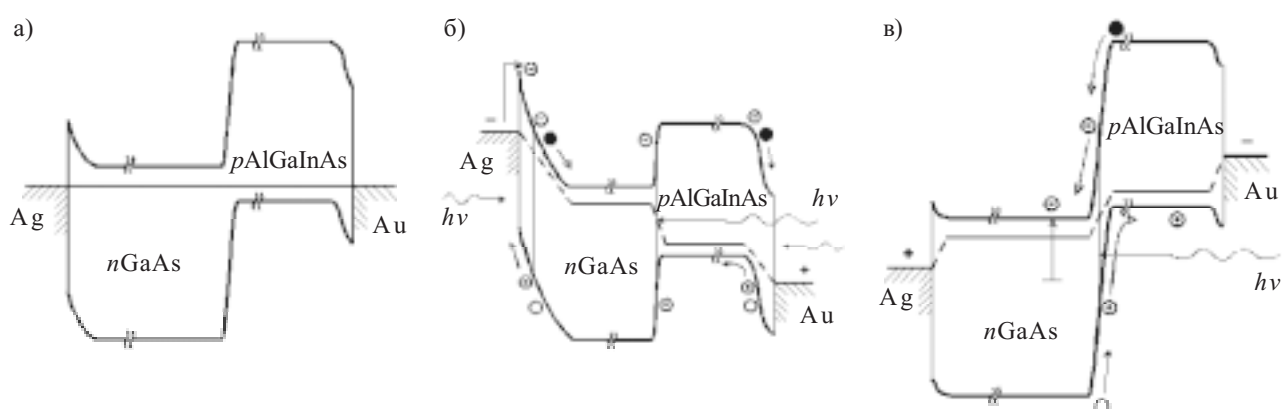


Рис. 7. Энергетические зонные диаграммы трехбарьерной Au-pAlGaInAs-nGaAs-Ag-структуры:

a — в равновесном состоянии; *б* — в режиме прямого смещения; *в* — при запирании гетероперехода и освещении со стороны гетерослоя

максимального фототока в более длинноволновую область ($\lambda=1,1\text{—}1,25\text{ мкм}$), т. е. расширение спектральной характеристики. В данном случае длинноволновое излучение поглощается по всей глубине гетерослоя, включая слой объемного заряда и базовой области из арсенида галлия. При этом в области сильного поля гетероперехода эффективно разделяются фотоносители из примесного уровня кислорода. Наблюдаемый эффект связан с подавлением инжекции носителей через гетеропереход и перераспределением поля между барьерами [14].

В этой трехбарьерной структуре имеются две базовые области, запираемые с обеих сторон (рис. 7). В режиме прямого смещения гетероперехода генерируются электроны и дырки из областей объемного заряда переходов «металл—полупроводник». При этом дырки накапливаются в гетеробазовой области, а по мере увеличения рабочего напряжения переходят к контакту барьера из Ag; электроны — как генерированные, так и фоторазделенные — беспрепятственно переходят к противоположному контакту (рис. 7, б). Темновые токи будут определяться преимущественно электронами, т. е. их значения вначале будут малы. От светового излучения генерируются электронно-дырочные пары из области объемного заряда и из гетерослоя. При освещении со стороны запираемого nGaAs-Ag-барьера происходит генера-

ция фотоносителей из базовой области и слоя объемного заряда барьера. Инжекция носителей извне отсутствует.

В режиме запирания гетерослоя дырки скапливаются в гетеробазе, а электроны, как генерированные в слое объемного заряда, так и фотогенерированные, достигают металлического контакта базы из nGaAs. При этом также из примесного центра кислорода генерируются электроны, что способствует появлению фототока в длинноволновой области спектра. В данном режиме процесс инжекции носителей также отсутствует. Основным механизмом, создающим обратный темновой ток, является генерация неосновных носителей из слоя объемного заряда запираемого гетеробарьера. Соответственно, значения темнового тока — низкие, а входное сопротивление — высокое.

Таким образом, роль потенциальных барьеров, полученных со стороны подложки и пленки, заключается в том, что пассивные участки (базовой области) в однобарьерных структурах становятся активными, т. к. за счет сформированных потенциальных барьеров базовые области становятся одновременно модулируемыми как со стороны области объемного заряда *p-n*-перехода, так и со стороны объемного заряда металлополупроводниковых переходов, что приводит к повышению фоточувствительности структуры и к расширению ее спектрального диапазона.

Закключение

Исследования токовых характеристик одно- и двухбазовых структур показали, что физические процессы в них имеют свои особенности, зависящие от свойств каждого из контактов. Характеристики двухбарьерной $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}$ -структуры с омическим контактом к гетерослою и выпрямляющим контактом с тыльной стороны базы несколько отличаются от характеристик однобарьерных диодов. В двухбарьерной $p-n-m$ -структуре в режиме $(+)p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}(-)$ имеет место медленный рост тока, стремящегося к насыщению. Это является следствием протекания тока через запираемый $n\text{GaAs}-\text{Au}$ -переход, поскольку относительно полярности приложенного напряжения $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}$ -гетеропереход является прямовключенным и в нем нет препятствий для инжектируемых из омического контакта гетерослоя дырок. В результате сопротивление структуры с ростом напряжения уменьшается, при этом толщина слоя объемного заряда гетероперехода также уменьшается, а $n\text{GaAs}-\text{Au}$ -переход расширяется. Инжекция носителей в базовую область приводит к увеличению ее проводимости за счет изменения времени жизни и подвижности носителей.

Замена в этой структуре омического контакта к гетерослою на запираемый приводит к тому, что протекающий ток уменьшается примерно на два порядка, при этом двухбарьерная $p-n-m$ -структура превращается в двухбазовую трехбарьерную $m_1-p-n-m_2$ -структуру. Что касается сопротивления структуры, то оно с ростом напряжения несколько уменьшается, а затем постепенно возрастает. Соответственно, проводимость базовых областей остается неизменной, а инжекционные процессы исключаются. Физические процессы, протекающие в базовых областях $m_1-p-n-m_2$ -структуры, управляются запираемыми m_1-p - и $n-m_2$ -переходами. В $m_1-p-n-m_2$ -структуре с ростом рабочего напряжения слои объемного заряда обоих барьеров «металл—полупроводник» расширяются, в то время как слой объемного заряда гетероперехода изменяется незначительно.

На основании сопоставления токовых характеристик $p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Au}$ - и $\text{Au}-p\text{AlGaInAs}-n\text{GaAs}-\text{Ag}$ -структур можно сделать вывод, что в двухбазовой $m_1-p-n-m_2$ -структуре шумы и токи меньше, чем в однобазовой $p-n-m$ -структуре [15]. Такие струк-

туры представляют интерес для волоконно-оптических систем.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Трищенко М. А., Фример А. И. Фотоэлектрические полупроводниковые приборы с $p-n$ -переходами // Сб. статей: Полупроводниковые приборы и их применение.— М.: Сов. радио, 1971.— Вып. 25.— С. 160—165.
2. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. Кн. 2.— М.: Мир, 1984.— С. 150—155.
3. Аверин С. В. Определение характеристик контакта металл-полупроводник для встречно-штыревых фотодиодных структур // Письма в ЖТФ.— 1990.— Т. 16, вып. 4.— С. 49—53.
4. Ёдгорова Д. М., Якубов Э. Н. Детекторы оптического сигнала на основе $\text{Au}-n\text{Si}-\text{Al}$ и $\text{Au}-n\text{Si}$ диодов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2005.— № 4.— С. 39—42.
5. Karimov A. V., Karimova D. A. Three-junction $\text{Au}/\text{AlGaAs}(n)/\text{GaAs}(p)/\text{Ag}$ photodiode // Materials Science in Semiconductor Processing.— 2003.— Vol. 6, iss. 1—3.— P. 137—142.
6. Андреев В. М., Долгинов Л. М., Третьяков Д. Н. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов.— М.: Сов. радио, 1975.
7. А. с. 762253. Способ получения $p-n$ -переходов на основе полупроводниковых соединений A^3B^5 / А. В. Каримов, М. Мирзабаев.— 16.05 1980.
8. Пат. IAP 20060393 РУз. Устройство для жидкостной эпитаксии кольцеобразных слоев на основе соединений A^3B^5 / Д. М. Ёдгорова, А. В. Каримов, Ф. М. Ашрапов и др.— 26.11 2008.
9. Ёдгорова Д. М., Ашрапов Ф. М. Исследование примесного фотоэффекта в микрослойных двухбарьерных $p-n-m$ -структурах // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2006.— № 3.— С. 40—47.
10. Полевые транзисторы на арсениде галлия / Под ред. Д. В. Ди Лоренцо, Д. Д. Канделула.— М.: Радио и связь, 1988.
11. А. С. 167399. Трехбарьерный фотодиод Каримова / А. В. Каримов.— 8.05 1991.
12. Yodgorova D. M., Zoirova L. N., Karimov A. V. The determination of distribution of potential in three-barrier structure // Semiconductor Physics Quantum Electronics Optoelectronics.— 2006.— Vol. 9, N 3.— P. 36—40.
13. Каримов А. В., Ёдгорова Д. М. Одно- и двухбарьерные структуры для оптоэлектроники // Электроника.— 2005.— № 11.— С. 5—13.
14. Зоирова Л. Х. Влияние электрического поля на спектральную чувствительность трехбарьерной структуры // Узбекский Физический журнал.— 2008.— Т. 10, № 4—5.— С. 323—328.
15. Стафеев В. И. Электронные приборы на основе полупроводников // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.— 2007.— № 5.— С. 3—13.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Гуляева Л. Н. Технология монтажа и регулировка радиоэлектронной аппаратуры и приборов.— М.: Академия, 2009.— 256 с.

В учебном пособии приведены сведения об измерениях и измерительных приборах. Рассмотрены виды монтажа радиоэлектронной аппаратуры, технология монтажа источников питания, усилителей, генераторов, устройств импульсной и вычислительной техники, супергетеродинных радиоприемников и телевизоров, особенности монтажа микросхем на печатные платы. Описаны виды электромеханических устройств, а также изделий радиоэлектронной аппаратуры. Для учащихся учреждений начального профессионального образования.