

УЧ ТЎСИҚЛИ ФОТОДИОДЛИ ТУЗИЛМАЛАРНИНГ СПЕКТРАЛ ВА ФОТОЭЛЕКТРИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ ҲАМДА УЛАРНИ ТАЙЁРЛАШ УСУЛЛАРИ

Зоирова Лола Хамидовна,
физико-математика фанлари номзоди, доцент;
Хашимова Феруза Сайдовна,
катта ўқитувчи

Навои давлат кончилик институти

Аннотация. Мақолада $A^{III}B^V$ ва $A^{II}B^{IV}$ яримўтказгичли бирикмалар асосида уч барьерли фотодиод тузилмаларини олиш усуллари, уларнинг технологик босқичлари, шунингдек, физик ва технологик хусусиятлари тасвирланган. Уч барьерли фотодиод $Au-p(\text{AlGa})_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{As-nGaAs:O-Ag}$ - тузилмаларда ток оқимининг ўтказилиш механизми аралашма даражалари ва аралашма марказларининг электронларни тортиб олишни қамраб олувчи генерацион жараёнлар, шунингдек, ёпиладиган барьерлар ҳажмий заряд соҳасидаги асосий бўлмаган ташувчилар генерацияси билан белгиланади. Уч барьерли фотодиод $Au-p\text{AlGaInAs-nGaAs-Ag}$ - тузилмалар функционал мақсадига қараб, гетероген қатламдаги индий миқдори-нинг ўзгартиришига асосланган.

Таянч тушунчалар: уч тўсиқли фотодиод, яримўтказгичли аралашмалар, технологик хусусиятлар галлий арсениди, концентрация, гетероген қатлам, плёнка, таглик, гетероген ўтиш.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХБАРЬЕРНЫХ ФОТОДИОДНЫХ СТРУКТУР И СПОСОБЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Зоирова Лола Хамидовна,
кандидат физико-математических наук, доцент;
Хашимова Феруза Сайдовна,
старший преподаватель

Навоийский государственный горный институт

Аннотация. В работе приведены способы получения трехбарьерных фотодиодных структур на основе полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{IV}$, их технологические этапы, а также физические свойства и технологические характеристики. Механизм токопереноса в трехбарьерной фотодиодной $Au-p(\text{AlGa})_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{As-nGaAs:O-Ag}$ - структуре определяется генерационными процессами с участием примесных уровней и захватом электронов примесными центрами, а также генерацией неосновных носителей в области объемного заряда запираемых барьеров. Трехбарьерные фотодиодные $Au-p\text{AlGaInAs-nGaAs-Ag}$ - структуры основаны на варьировании количества индия в гетерослое в зависимости от его функционального назначения.

Ключевые слова: трехбарьерный фотодиод, полупроводниковые примеси, технологические свойства, арсенид галлия, концентрация, гетерослой, пленка, подложка, гетеропереход.

SPECTRAL AND PHOTOELECTRIC CHARACTERISTICS OF THREE-BARRIER PHOTODIODE STRUCTURES AND THEIR PRODUCTION METHODS

Zoirova Lola Khamidovna,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate professor;
Khashimova Feruza Saydovna,
Senior Lecturer

Navoi State Mining Institute

Abstract. The paper describes the methods of obtaining three barrier photodiode structures based on the semiconductor compounds $A^{III}B^V$ and $A^{II}B^{IV}$, their technological stages, as well as physical properties and technological features. It studies the current transport mechanism in the three-barrier photodiode $Au-p(\text{AlGa})_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{As-nGaAs:O-Ag-}$ structure determined by generation processes involving impurity levels and electron capture by impurity centers, as well as by the generation of minority carriers in the space charge region of the barriers to be blocked, in particular three-barrier photodiode $Au-p\text{AlGaInAs-nGaAs-Ag-}$ structures based on varying the amount of indium in the heterolayer depending on its functional purpose.

Keywords: three barrier photodiode, semiconductor admixture, technological characteristics, arsenide gallium, concentration, heterolayer, tape, substrate, heterojunction.

Введение

Известно, что для преобразования световой (солнечной) энергии в тот или иной вид энергии широко используются приборы – фотодиоды в области физики полупроводников. Фотодиоды изготавливаются на основе полупроводниковых примесей типа $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{IV}$.

Мы используем полупроводниковую примесь арсенида галлия (GaAs). В арсениде галлия уровень Ферми автоматически фиксируется на уровне 2/3 ширины запрещенной зоны (за счет поверхностных состояний), поэтому к нему выпрямляющий барьер создается независимо от работы выхода металла. Воспроизводимость – очень высокая. Для конкретного металла, особенно для серебра и золота, получаются близкие значения высоты барьера [1].

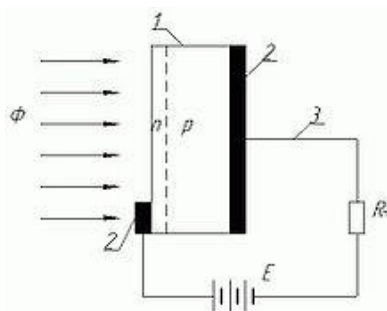


Рис. 1. Структурная схема фотодиода:

1 – кристалл полупроводника; 2 – контакты;
3 – выводы; Φ – поток электромагнитного излучения; E – источник постоянного тока;
 R_H – нагрузка

Основная часть

Напыление осуществляли из вольфрамовой спирали в виде конуса с диаметром и глубиной 3 мм. Туда же помещали серебряную фольгу размером 6-8 мм² и толщиной 50 мкм. Путем подбора расстояния между образцом и испарителем получали полупрозрачные слои золота [2].

Такие образцы получали в количестве 100 и более штук. В нашем эксперименте использовали более 15 структур с номерами от 90 до 100. Во всех образцах выпрямляющие барьеры получены напылением серебра и золота, которые имеют самые низкие удельные сопротивления. Серебро является наилучшим проводником электричества. Его удельное сопротивление при 20 °C равно 0,016 Ом·мм/м (0,017 – для меди, 0,024 – для золота) или 0,0000016 Ом·см [2].

Концентрация носителей в гетерослое задается источником арсенида галлия с заданной концентрацией носителей во время процесса получения эпитаксиального гетерослоя с помощью вертикально установленной графитовой кассеты.

В качестве подложки использован арсенид галлия n -типа проводимости по паспортным данным. Гетерослой получен из раствора-расплава галлия и расплавленного в нем арсенида галлия p -типа проводимости, легированного цинком с заданной концентрацией 10^{16} см^{-3} [3].

Толщину гетерослоя задавали со скоростью роста гетерослоя, в нашем случае 1 мкм за 1,5 минуты и проверяли на тестовых структурах типа полевого транзистора вольт-емкостными измерениями [5].

Для получения гетерослоев нами использована специально разработанная графитовая кассета с вертикальным расположением подложки, что обеспечивает воспроизводимое смачивание подложки раствором-расплавом и его удаление. В результате удалось получить гетерослой с ровной поверхностью [3]. Связь между вводимыми долями алюминия и индия в раствор-расплав и получаемым в выращенном слое составом согласуется с

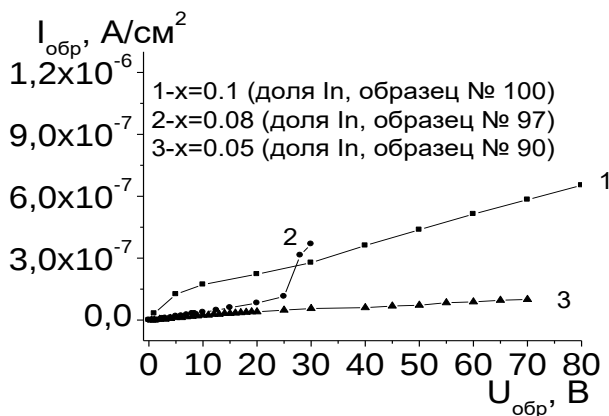
данными в монографии «Жидкостная эпиктаксия в технологии полупроводниковых приборов» В.М. Андреева и др. Они проведены при выполнении совместной работы с Институтом физики полупроводников НАН Украины, где проводились исследования полученных образцов.

Известно, что быстродействие фотодиода определяется скоростью разделения носителей полем p - n -перехода и емкостью структуры – чем меньше емкость, тем выше быстродействие [6]. В нашей структуре отсутствует диффузионная емкость, связанная с накоплением и рассасыванием неосновных носителей, и поэтому в ней выше быстродействие по сравнению с диодами с одним p - n -переходом. В полученных структурах емкости на порядок меньше (10 пФ) по сравнению с известными структурами (200-500 пФ) [4].

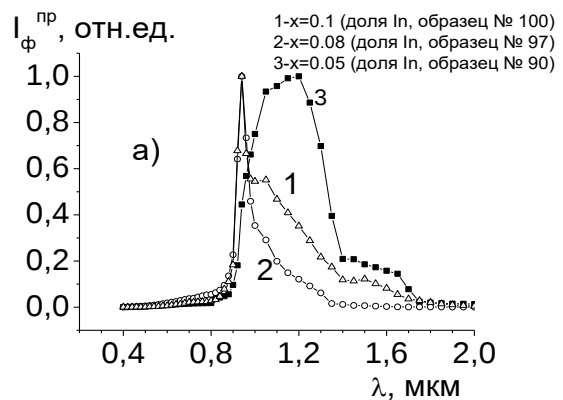
Чтобы пропустить свет, взяли полупрозрачный контакт из золота. Для этого образец устанавливали на пьедес-

тал с прижимным контактом и в измерительную камеру с соответствующими источниками излучения [7].

Кроме того, были определены условия, влияющие на процессы получения выпрямляющих контактов. Экспериментально показано, что влияние содержания индия можно проследить только в режиме запираания $p(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{As}-n\text{GaAs:O}$ - гетероперехода на основе исследования зависимости плотности темнового тока от обратного напряжения. При прямом смещении гетероперехода эта зависимость будет указывать ток, протекающий через базовую область ($n\text{GaAs:O-Ag}$), который не содержит индия (рис. 1 а). А при исследовании световых характеристик независимо от режима включения влияние содержания индия на спектральный диапазон можно проследить только при возбуждении со стороны гетерослоя (рис. 1 б).



а) зависимости плотности темнового тока от обратного напряжения



б) спектральная характеристика

1- $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.82}\text{In}_{0.1}\text{As}$; 2- $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.08}\text{As}$; 3- $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.05}\text{As}$

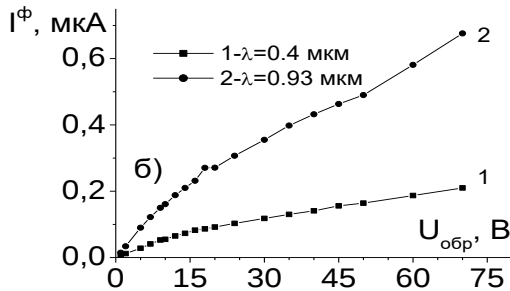
Рис. 1. Темновые и световые характеристики фотодиодных $p(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{1-y}\text{In}_y\text{As}-n\text{GaAs:O}$ -структур в зависимости от количества индия в гетерослое

Из анализа этих результатов установлено, что возбуждение гетероперехода со стороны гетерослоя толщиной, равной диффузионной длине, создает максимальный фототок в области собственного поглощения с охватом примесной области обусловленной возбуж-

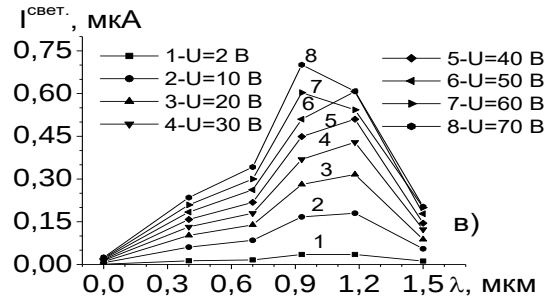
дением носителей с уровней кислорода (рис. 1 б.) Увеличение толщины гетерослоя в два раза приводит к уменьшению примесного фототока из-за увеличения глубины залегания p - n -перехода. При малых количествах индия возбуждение гетероперехода со стороны запираемого

гетерослоя приводит к превалированию примесного фототока и генерации фотоносителей в длинно-волновой области спектра. При подсветке со стороны подложки фототоки в фиолетовой и ИК

областях спектра монотонно увеличиваются с напряжением, а световые токи при заданных диапазонах спектра также увеличиваются с напряжением (рис. 2 а, б.)



Зависимости фототока от напряжения в режиме запирающего гетероперехода

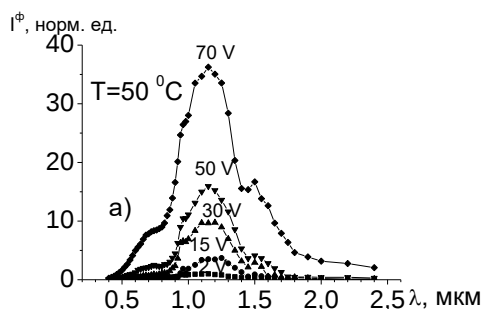


Зависимости световых токов от напряжения в режиме запирающего гетероперехода

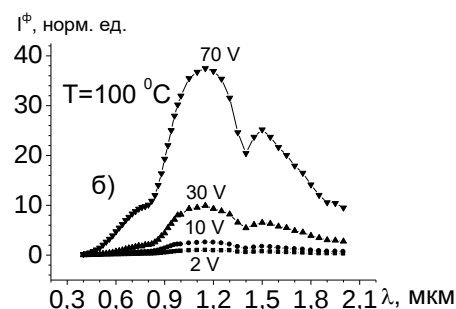
Рис. 2. Фотоэлектрические характеристики трехбарьерных фотодиодных m_1 - $pAl_{0.05}Ga_{0.9}In_{0.05}As$ - $nGaAs:O$ - m_2 - структур

На основе температурных исследований спектральных характеристик при различных напряжениях установлено, что повышение температуры от 50 °С до 100 °С приводит к уширению спектральной характеристики с четким проявлением фототока в примесной области спектра, вызываемого уровнями кисло-

рода (рис. 3 а, б). Такая тенденция сохраняется и при заданных запирающих напряжениях (рис. 4). Однако при прямом напряжении, равном 70 вольт, уже при 50 °С фототок, обусловленный собственными дефектами, достигает максимума, а в примесной области генерируется пропорциональный фототок.



а

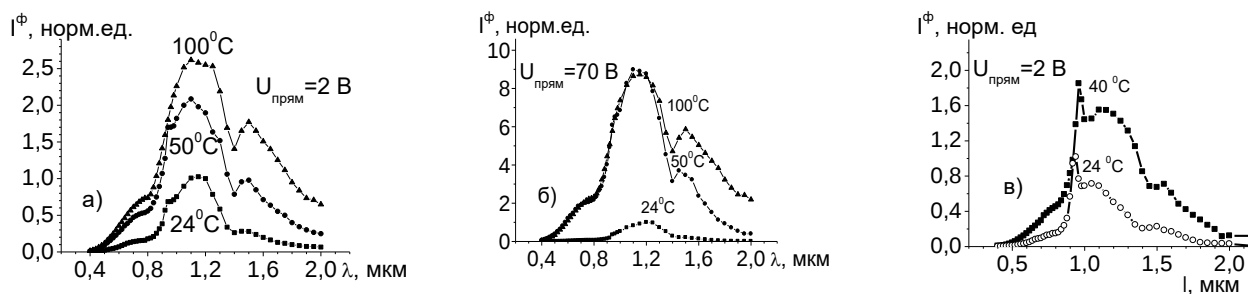


б

Рис. 3. Спектральная характеристика трехбарьерной m_1 - $Al_{0.05}Ga_{0.9}In_{0.05}As$ - $nGaAs:O$ - m_2 - структуры в режиме прямого смещения гетероперехода при освещении со стороны подложки

При возбуждении $pAl_{0.07}Ga_{0.85}In_{0.08}As$ - $nGaAs:O$ - Ag -гетероперехода с два раза большей диффузионной длиной и толщиной гетерослоя фототоки генерируются с широким диапазоном спектра 0,6-1,8 мкм, с максимальным фототоком в области

собственного поглощения, а с повышением температуры до 40 °С образуются три пика, соответствующих собственному поглощению и возбуждению носителей за счет собственных дефектов, а также связанного с примесью кислорода (рис. 4).



$\text{Au-p Al}_{0.05} \text{Ga}_{0.9} \text{In}_{0.05} \text{As-nGaAs:O-Ag.}$

$\text{pAl}_{0.07} \text{Ga}_{0.85} \text{In}_{0.08} \text{As-nGaAs:O-Ag.}$

Рис. 4. Спектральная характеристика трехбарьерной $m_1 - p(\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x})_{1-y} \text{In}_y \text{As-nGaAs:O-m}_2$ - структуры с различным количеством индия при возбуждении со стороны подложки

Таким образом, были получены двух- и трехбарьерные полупроводниковые фотодиодные структуры на основе арсенида галлия, которые нашли широкое

применение в отрасли приборостроения, оптоэлектроники, коммуникационной и сотовой связи, преобразования световой (солнечной) энергии и т. д.

Источники и литература

1. Вяткин А.П., Максимова Н.К., Филонов Н.Г. Электрофизические свойства структур с барьером Шоттки на GaAs // Вестник Томского государственного университета. – Томск, 2005. – № 1. – С. 121-128.
2. Аверин С.В. Импульсный отклик МПМ фотодиода с гетеробарьером // ЖТФ. – СПб., 2004. – Т. 74. – № 6. – С.51-56.
3. Karimov A.V., Karimova D.A. Three-junction Au/AlGaAs(n)-GaAs(p): Agphotodiode// Materials Science in Semiconductor Processing. – February-June 2003. – Vol. 6. – Issues 1-3. – Pp. 137-142.
4. Каримов А.В., Ёдгорова Д.М. Некоторые особенности получения фототока в одно- и многобарьерных фотодиодных структурах // ФТП. – СПб., 2010. – Т. 44. – № 5. – С. 674-679.
5. Корольков В.И., Рожков А.В., Петропавловская Л.А. Высоковольтные арсенидгаллиевые диоды с субнаносекундными временами восстановления блокирующего напряжения // Письма в ЖТФ. – СПб., 2001. – Т. 27. – № 17. – С. 46-50.
6. Атабаев И.Г. Влияние различных химических обработок поверхности на высоту барьеров Al-pSiGe, Au-nSiGe / Атабаев И.Г., Матчанов Н.А., Хажиев М.У., Пак В., Салиев Т.М. // ФТП. – СПб., 2010. – Т. 44. – Вып. 5. – С. 631-635.
7. Ёдгорова Д.М. Комбинированный способ выращивания эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений $A^{III}B^V$ / Ёдгорова Д.М., Каримов А.В., Гиясова Ф.А., Саидова Р.А. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2007. – № 3. – С. 56-58.

Рецензент:

Тошболтаев М.Т., доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научным делам и инновациям Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства.