Uzbek Journal of Physics
25(1), 40-45, 2023. DOI: https//doi.org/ 10.52304/.v25i1.404

Механизм переноса тока в гетероструктурах *n*-GaAs-*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$

С.З. Зайнабидинов, А.Ю. Бобоев*, Д.П. Абдурахимов

Андижанский государственный университет, ул. Университетская 129, 170100, Андижан, Узбекистан

Получена 23.01.2023, revised 15.02.2023

* Corresponding author: e-mail: aboboevscp@gmail.com, Phone: +99 890 122 20 50

Монокристаллические твердые растворы $(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ выращены методом жидкофазной эпитаксии. Исследованы вольтамперные характеристики (ВАХ) гетероструктуры *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ при различных температурах, построенные в логарифмическом масштабе. Определено, что в прямых направлениях тока ВАХ хорошо укладываются на прямые и они описываются степенными зависимостями типа $J = AV^\alpha$ с разными значениями степени α. Анализ вольтамперной характеристики гетероструктур *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ с протяжённым промежуточным слоем показывает, что дрейфовый механизм переноса заряда преобладает в прямом направлении токопрохождения.

Ключевые слова: твердый раствор, гетеропереход, вольтамперная характеристика, температура, дрейфовый механизм.

Single-crystal solid solutions $(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ are grown by liquid-phase epitaxy. Structures *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ are investigated at various temperatures plotted on a logarithmic scale. It is determined that the forward currents good fit to straight lines and they are described by power-law dependences of the type $J = AV^\alpha$ with different values of α. An analysis of the current-voltage characteristic of the heterostructures *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ with an extended intermediate layer shows that the drift mechanism of charge transfer predominates in the forward current direction.

Keywords: solid solution, heterojunction, current-voltage characteristic, temperature, drift mechanism.

I. Введение

Одна из актуальных задач сегодняшнего дня связана с расширением возможностей нано- и микроэлектронных систем и комплексов, а именно, возможность их одновременного функционирования в широких диапазонах полупроводникового приборостроения. Хотя в настоящее время имеется большое число работ, посвященных этому вопросу, в связи с возможностью легирования полупроводников различными примесями (атомарные, молекулярные, изовалентные), многие вопросы по механизмам влияния примесей на электрофизические свойства полупроводников и на ряд физических процессов, протекающих в неравновесных состояниях, еще далеко не выяснены. Особенно мало работ, посвящённых исследованию молекулярных примесей, поведению примесей в твердом растворе в зависимости от состава базового материала, взаимодействию примесей в полупроводниковых материалах.

Авторы [1] методом изовалентного замещения получили гетеропереходы на основе соединения $A^{III}B^{V}$-$A^{II}B^{VI}$ и исследовали особенности физических свойств таких структур [2, 3]. Процесс получения гетеропереходов имел диффузионный характер. В результате диффузии изовалентных атомов между подложкой и

диффузионным гетерослоем образуется твердый раствор замещения переменного состава, что сглаживает параметр решетки и коэффициент термического расширения, а также ликвидирует несогласованность решеток контактирующих материалов. В таких структурах за счет изовалентных примесей получена эффективная краевая люминесценция. Концентрация изовалентных примесей достигает $\sim 10^{19}$ см$^{-3}$, ширина запрещенной зоны полупроводника не меняется. При изовалентном замещении наблюдается эффект «очищения» материала, т.е. собственные дефекты (вакансии) излечиваются примесными атомами, что приводит к снижению концентрации безызлучательных центров рекомбинации [4].

В [5] моноатомное, трехатомное и кластерное легирование изучено в системе ZnSe-GaAs с использованием расчетов псевдопотенциальных плоских волн. Кластерное легирование $(Zn\text{-}Se_4)^{3+}$ (как донор) и $(Se\text{-}Zn_4)^{3-}$ (как акцептор) в GaAs, а также $(As\text{-}Ga_4)^{3+}$ (как донор) и $(Ga\text{-}As_4)^{3-}$ (как акцептор) в ZnSe будет стабильным при экстремально предельных химических потенциалах, а также будет способствовать внесению большого количества свободных носителей. Кластерное легирование дает более низкий уровень акцептора или донора, чем моноатомное или трехатомное легирование. Большая склонность к кластеризации Ga+As в ZnSe, нежели Zn+Se в GaAs, приводит к асимметричной зависимости запрещенной зоны от состава твердого раствора. В частности, добавление небольшого количества Ga+As в ZnSe приводит к резкому уменьшению ширины запрещенной зоны базового материала, тогда как добавление Zn+Se в GaAs не очень сильно меняет ширину запрещенной зоны [5].

Целью данной работа является исследование электрофизических свойств $(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ твердых растворов, синтезированных на подложках кремния методом жидкофазной эпитаксии.

II. Образцы и методика эксперимента

Эпитаксиальные слои n-GaAs–p-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ были выращены методом жидкостной эпитаксии по технологии, изложенной в работе [6]. В вертикальной графитовой кассете укрепляли две горизонтально расположенные подложки – верхнюю и нижнюю. Арсенид-галлиевые подложки, вырезанные из монокристаллического GaAs с ориентацией (100) в форме шайбы диаметром 20 мм и толщиной ~350 мкм имели n-тип проводимости с концентрацией носителей 5×10^{17} см$^{-3}$. Процесс кристаллизации тонкой пленки проведен принудительным охлаждением в атмосфере водорода, очищенного палладием из оловянного раствора-расплава. Состав раствора-расплава был выбран на основе данных [7, 8] и первоначальных исследований GaAs-Ge-ZnSe-Sn системы. Образцы выращивали при различных значениях параметров жидкостной эпитаксии. Пленки с заданными заранее физическими свойствами были выращены в температурном интервале кристаллизации висмут-содержащего раствора-расплава 750÷650°C при скорости охлаждения подложки 1 град/мин. Выращенные пленки имели p-тип проводимости и толщину 10 мкм.

При исследовании вольтамперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых гетероструктур особое место занимает качество омических контактов, тщательный подбор их состава и условий нанесения Это означает, что на контакте не должна происходить инжекция носителей и соблюдается линейная зависимость тока от напряжения в обоих полярностях. Контакт должен быть строго омическим. В нашем случае это достигается созданием области сильного легирования между металлом и полупроводником. Для получения омических контактов к гетероструктурам n-GaAs–p-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ мы использовали Au и Ag.

Качество омичности полученных контактов предварительно оценивалось на характереографе, а в последующем проверялась измерением падения напряжения, а также определением их сопротивления. Для дырочного типа проводимости полупроводниковых твердых растворов $(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ контакты с наименьшим удельным сопротивлением и с хорошей линейностью получены при вакуумном напылении Au и Ag на поверхность эпитаксиальных слоев с последующим отжигом при температуре 150°C.

III. Экспериментальные результаты

Для исследования ВАХ структур, полученных методом вакуумного напыления, создавались омические контакты, сплошные с тыльной стороны, и четырехугольные площадью 6 мм^2 из серебра со стороны эпитаксиального

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

слоя. Вольтамперные характеристики измеряли в прямом (когда «+» прикладывался к p-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ и обратном (когда «–» прикладывался к n–GaAs) направлениях при различных температурах (рис. 1).

На рис. 1 приведены типичные ВАХ многокомпонентных гетероструктур n-GaAs–p-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$, откуда видно, что структура имеет хорошие выпрямляющие свойства с коэффициентом выпрямления, определяемым как отношение прямого тока (J_{dir}) к обратному (J_{rev}). При одинаковых значениях приложенного напряжения $k = J_{dir}/J_{rev}$ принимает значения от 2000 до 2500 в интервале подаваемого напряжений от 0.1 до 3 V. Кроме того, в этом диапазоне напряжений как в прямом, так и в обратном направлениях приложенного напряжения на ВАХ не наблюдается насыщения тока при всех температурах, что свидетельствует о низкой плотности поверхностных состояний на границе раздела p-n-перехода [9].

Анализ показывает, что ВАХ при всех температурах, построенные в логарифмическом масштабе, в прямых направлениях тока хорошо укладываются на прямые, и они описываются степенными зависимостями типа $J = AV^{\alpha}$ с разными значения-ми степени α.

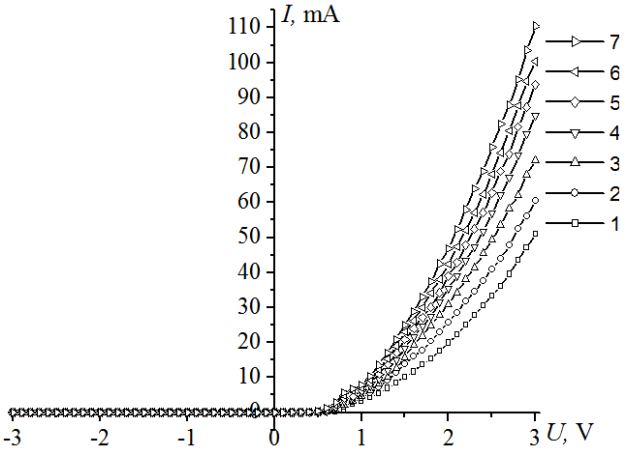


Рисунок 1. Типичные вольтамперные характеристики n-GaAs–p-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ гетероструктур при различных температурах: *1* – 30°C, *2* – 50°C, *3* – 70°C, *4* – 90°C, *5* – 110°C, *6* – 130°C, *7* –150°C.

На начальном участке ВАХ от 0.1 до 0.3 V наблюдается участок всплеска: $J \sim V^{\alpha}$ ($\alpha \approx 2$) (рис. 2).

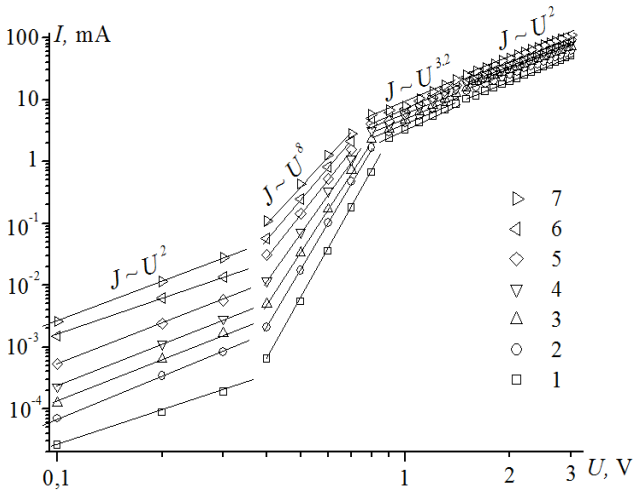


Рисунок 2. Вольтамперные характеристики n-GaAs–p-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ гетероструктур в прямом направлении в логарифмическом масштабе при различных температурах: *1* – 30°C, *2* – 50°C, *3* – 70°C, *4* – 90°C, *5* – 110°C, *6* – 130°C, *7* –150°C.

Проведенный анализ показывает, что такая зависимость подчиняется закономерности [10]

$$V = M(J)B_0\sqrt{\frac{J}{2}}, \qquad (1)$$

где $M(J)$ вычисляется по следующей формуле:

$$M(J) \approx 1 + 3m\left[2 + C\left(\alpha\tau_i / c_p\right)\sqrt{J}\right]^2, \qquad (2)$$

$m = 2\tau_i N_d V_p^* / 8b(b+1)n_p d$ и $C = [bn_p / qV_p^*(b+1)]$.

В данных соотношениях V_p^* – параметр, обусловленный неидеальным характером инжектирующего контакта [11]. B_0 – величина, связанная со статистической диэлектрической проницаемостью.

ВАХ в виде (1) проявляется тогда, когда в знаменателе этого выражения скорость рекомбинации имеет вид [11]:

$$u_r = N_r \frac{c_n c_p (pn - n_i^2)}{c_n(n+n_1) + c_p(p+p_1) + \alpha\tau_i pn}, \qquad (3)$$

где N_r – концентрация рекомбинационных центров (комплексов); n, p – концентрации электронов и дырок; n_i – собственная концентрация в полупроводнике; c_n, c_p – коэффициенты захвата электронов и дырок; n_1, p_1 – равновесные концентрации электронов и дырок, когда уровень Ферми совпадает с энергетическим уровнем примеси (так называемые статические факторы Шокли-Рида); τ_i – время, учитывающее

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

те или иные процессы электронного обмена внутри рекомбинационного комплекса; α – коэффициент, зависящий от типа дефектов-комплексов. Аналогичный вид рекомбинации возможен не только в перечисленных случаях, но также в полупроводниках с развитыми рекомбинационно-стимулированными перестройками метастабильных рекомбинационных комплексов типа отрицательно заряженный акцептор-положительно заряженный ион внедрения или положительно заряженный донор-отрицательно заряженная вакансия, что приводит к «задержке» рекомбинационных процессов.

При малом уровне возбуждения, т.е. $c_n(n+n_1)+c_p(p+p_1) >> \alpha\tau_i pn$, вклад этого члена в знаменателе (3) становится пренебрежимо малым, и скорость рекомбинации описывается статистикой Шокли-Рида. В этом случае ВАХ в дрейфовом режиме токопереноса имеет обычный вид, соответствующий омической релаксации объемного заряда [12],

$$V = \sqrt{\frac{8d^3J}{9q\mu_p\mu_n\tau_p N_d}} = B_0\sqrt{J}\,, \qquad (4)$$

которая определяется следующим образом. Сначала из наклона экспериментальной прямой $J = V^{\alpha}$ определяется величина B_0, которая в данном случае составляет B_0=0.001 В·А$^{-1/2}$ (В – единица напряжения, А – единица тока) при комнатной температуре. Затем при помощи выражения

$$B_0 = \sqrt{\frac{8d^3}{9q\mu_p\mu_n\tau_p N_d}} \qquad (5)$$

и используя экспериментальные данные для d = 5 мкм, $\tau_p \approx 10^{-8}$ с, находим значение N_d – концентрацию мелких донорных примесных центров, которая равна 1.2×10^{15} см$^{-3}$. Подвижность основных носителей, дырок, определенная по методу Холла, составила μ_p = 300 см^2/В·с, для оценки принималось значение подвижностей неосновных носителей $\mu_n = b\mu_p$ = 1890 см^2/В·с, где b – отношение подвижностей электронов и дырок, которое, по нашим оценкам, составило 6.3 [11].

Значение B_0 увеличивается от 0.001 В·А$^{-1/2}$ до 0.369 В·А$^{-1/2}$ с ростом температуры, при этом подвижность μ_p и время жизни τ_p основных носителей (и соответственно концентрация мелких донорных примесных центров N_d) уменьшаются. Это, по-видимому, позволяет заключить, что в данном твердом растворе превалирующую роль в механизме подвижности играет рассеяние носителей на ионах глубоких примесей [13].

С дальнейшим ростом напряжения, как видно из рис. 2, начиная с V = 0.4 V наблюдается резкий рост тока $J = AV^{\alpha}$ с показателем степени $\alpha \approx 8$. Такой участок называют предпробойным. Как раз в этом случае третий член в знаменателе выражения (3) для скорости рекомбинации становится существенным, и скорость рекомбинации уже не подчиняется статистике Шокли-Рида, а приобретает совсем иной вид [14]:

$$u_r = \frac{N_r}{\tau_i}\left(1 - \frac{2}{\tau_i c_p p}\right), \qquad (6)$$

ВАХ имеет вид

$$J = \frac{q^2(b+1)^2 N_r d^3}{\varepsilon\tau_i^2 c_p (V_0 - V)}\,, \qquad (7)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость, $V_0 = \sqrt{\frac{q(b+1)N_r d^4}{2\varepsilon\tau_i\mu_p}} = const$. Из (7) видно, что знаменатель этого выражения убывает с ростом напряжения, т.е. ток быстро растёт. Резкий рост тока в интервале напряжения V = (0.4–0.8) V описывается этой зависимостью [13].

Согласно теории [15], участок от 0.9 до 1.5 V ВАХ описывается выражением $J = AV^{3.2}$ (рис. 2) и реализуются тогда, когда рекомбинация неравновесных носителей тока преимущественно происходит с задержкой, т.е. с участием комплексов, внутри которых происходит электронный обмен. В этом случае в знаменателе выражения (3) реализуется неравенство

$$c_n(n+n_1)+c_p(p+p_1) < \alpha\tau_i pn \qquad (8)$$

и ВАХ имеет следующее аналитическое выражение

$$V = \frac{(b+1)d^2N_r}{N_d\mu_p\tau_i} + \frac{d}{q\mu_p(b+1)C}\sqrt{J} - \frac{2(b+1)N_r d^2 c_p}{N_d\mu_p\alpha\tau_i C}\frac{1}{\sqrt{J}} = A + B\sqrt{J} - \frac{D}{\sqrt{J}}\,, \qquad (9)$$

где A, B и D – параметры, зависящие от концентрации ионизованных атомов глубоких

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

примесей, отношения подвижностей электронов и дырок, толщины базы межслойного перехода, которые могут быть определены из экспериментальных данных.

В таблице приведены величины параметров *A*, *B* и *D* в зависимости от температуры. Видно, что с ростом температуры параметр *A* почти не меняется. Это свидетельствует о том, что в первом слагаемом выражения (9) отношение N_r/τ_i не меняется. Результаты расчетов показывают, что с ростом температуры параметр *D* увеличивается, а значение *B* уменьшается. Это может быть следствием увеличения параметра *C* в (2), который связан с концентрацией дырок на границе раздела пленки *p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ и подложки *n*-(GaAs) и коэффициентом захвата дырок c_p.

Таблица. Значения параметров *A, B* и *D* в выражении (9), вычисленные из экспериментальных данных ВАХ при различных температурах.

t, °C	*A,* В	*D,* $В\cdot мА^{-1/2}$	*B*, $В\cdot А^{1/2}$·
30	0.69	1.38	0.0174
50	0.7	2.12	0.0156
70	0.705	2.44	0.0146
90	0.711	2.94	0.0134
110	0.717	4.16	0.0131
130	0.723	5.58	0.013
150	0.73	7	0.0128

Анализ показал, что выражение (9) позволяет описать значение наклона вольтамперных характеристик типа $J\sim V^\alpha$, в том числе и участка резкого роста тока.

После участка резкого роста тока $J\sim V^\alpha$, где α=2 (рис. 2), когда последний член в знаменателе выражения (3) начинает играть определяющую роль и скорость рекомбинации u_r выходит на полное насыщение $u_r=N_r/\tau_i$, появляется второй квадратичный участок, при этом ВАХ описывается выражением [13]:

$$V=\frac{(b+1)d^2N_r}{2N_d\mu_p\tau_i}+\frac{d}{q\mu_p(b+1)C}\sqrt{J}\ . \qquad (10)$$

Оценка значения N_r/τ_i для данного участка проводится также, как и для участка резкого роста тока. Для двух заданных экспериментальных точек составляется уравнение прямой линии, откуда определяется значение постоянной, соответствующей значению первого члена выражения (10):

$$\frac{A}{2}=\frac{(b+1)d^2N_r}{2N_d\mu_p\tau_i}\ . \qquad (11)$$

Подставляя известные значения *d, b* и N_d в (11), находим величину $N_r/\tau_i = 5.2\times10^{18}$ $см^{-3}с^{-1}$.

IV. Заключение

Таким образом, выращены монокристаллические твердые растворы *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ *p*-типа проводимости на монокристаллических *n*–GaAs подложках с ориентацией (100) методом жидкофазной эпитаксии. Вольтамперные характеристики гетероструктур *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$, имеющих характерный квадратичный закон $J\sim V^2$, сменяется резким предпробойным ростом тока, что хорошо объясняет наблюдаемый нами вид прямой ветви ВАХ, и эта закономерность не меняется при различных температурах. После предпробойного участка наблюдаются два характерных участка, которые описываются выражениями (10) и (11). Анализ ВАХ гетероструктур *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ с протяжённым промежуточным слоем твердого раствора показывает, что при прямых направлениях токопрохождения преобладает дрейфовый механизм переноса заряда.

Исходя из этих данных можно предположить успешную реализацию рассмотренных гетероструктур в схемах умножения напряжения и в преобразователях (выпрямителях) постоянного напряжения, где не предъявляются высокие требования к частотным и временным параметрам сигналов, а также в электронных и в термоэлектронных приборах.

Благодарности. Авторы благодарны д.ф.-м.н. проф. А.С. Саидову за обсуждение результатов по спектральной фоточувствительности гетероструктур.

Метаданные

Mechanism of current transfer in *n*–GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$

S.Z. Zaynabidinov, A.Yu. Boboev, D.P. Abdurakhimov

Andijan State University, University str. 129, 170100, Andijan, Uzbekistan

Single-crystal solid solutions $(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ are grown by liquid-phase epitaxy. Structures *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ are investigated at various temperatures plotted on a logarithmic scale. It is

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.

determined that the forward currents good fit to straight lines and they are described by power-law dependences of the type $J = AV^{\alpha}$ with different values of α. An analysis of the current-voltage characteristic of the heterostructures *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ with an extended intermediate layer shows that the drift mechanism of charge transfer predominates in the forward current direction.

Keywords: solid solution, heterojunction, voltages, current-voltage characteristic, temperature, drift mechanism.

Литература

[1] V.P. Mahniy, M.M. Sletov, N.V. Demich. In sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Aktual'nye problemy fiziki tverdogo tela» (Minsk, 2005), p. 385.

[[2] V.P. Mahniy, M.M. Sletov, S.V.Khusnutdinov. Inorganic Materials **43**, No.12. 1304 (2007).

[3] M.M. Khusnutdinov. Russian Physics Journal **52**, No.2, 216 (2009).

[4] M.M. Slytov, V.P. Mahniy, A.M. Slytov, V.V. Kosolovskiy. Telecommunication and Radio Engineering **73**, No.10, 909 (2014).

[5] L.G. Wang and Alex Zunger Dilute. Physical Review B **68**, 125211 (2003).

[6] A.Sh. Razzakov. Diss. kand. fiz.-mat. nauk “Issledovanija usloviy epitaksial'nogo rosta novykh varizonnykh tverdykh rastvorov $(Ge_2)_{1-x}(ZnSe)_x$ i ikh ne-kotorykh elektricheskikh, fotoelektricheskikh svojstv”, (Tashkent, Fiziko-Tekhnicheskiy Institut, 1998).

[7] A.Y. Boboev. PhD fiz.-mat. nauk. “Strukturnye osobennosti, elektrofizicheskie i fotoelektricheskie svojstva geterostruktur n-(GaAs)-p-$(GaAs)_{1-x-y}(Ge_2)_x(ZnSe)_y$” (Tashkent, Scientific research institute of semiconductor physics and microelectronics (ISPM), 2019).

[8] Sh.N. Usmonov. Dis… dok.fiz.-mat. nauk “Vzaimodeistvie primesei v tverdykh rastvorakh na osnove kremnija, arsenida gallija, selenida tcinka, sernistogo kadmija i elektrofizicheskie svojstva geterostruktur, poluchennykh na ikh osnove”. (Tashkent, Fiziko-Tekhnicheskiy Institut, 2018).

[9] O.O. Mamatkarimov, O. Himmatkulov, I.G. Tursunov. Fizika i Tehnika Poluprovodnikov **54**, No.5, 466 (2020).

[10] A.Ju. Leyderman, M.K. Minbaeva. Fizika i Tehnika Poluprovodnikov *30*, No.10, 1729 (1996).

[11] E.I. Adirovich, P.M. Karageorgiy-Alkalaev, A.Ju. Leyderman. Toki Dvoinoy Inzhektsii v Poluprovodnikakh (Moscow, Sovetskoe Radio, 1978), p. 320.

[12] Sh.A. Mirsagatov, A.Ju. Leyderman, O.K. Ataboev. Fizika i Tehnika Poluprovodnikov **55**, No.8, 1524 (2013).

[13]] A.Ju. Leyderman. In knige: Fizika i Materialovedenie Poluprovodnikov s Glubokimi Urovnjami (Moscow, Metallurgija, 1987), p. 232.

[14] M.K. Minbaeva. Kand. diss. fiz.-mat. nauk “Inzhektcionnye javlenija v poluprovodnikakh s rekombinatcionno-stimulirovannymi perestroikami primesnykh centrov. (Tashkent, Fiziko-Tekhnicheskiy Institut, 1995).

[15] P.M. Karageorgiy-Alkalaev, A.Ju. Leyderman. Foto-chuvstvitel'nost' Poluprovodnikovykh Struktur s Glubokimi Primesyami (Tashkent, Fan, 1978), p. 320.

n-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ гетеротузилмаларида ток ўтиш механизми

С.З. Зайнабидинов, А.Й. Бобоев, Д.П. Абдурахимов

Андижон давлат университети, Университет кўчаси 129, 170100, Андижан, Ўзбекистон

$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ монокристал қаттиқ қоришмаси суюқ фазали эпитаксия усулида ўстирилди. *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ гетеротузилмаларнинг турли ҳароратларда вольтампер характеристикаси тадқиқ қилинди. Токнинг тўғри йўналиши тўғри чизиққа жуда ҳам мос келди ва улар α даражанинг турли қийматларига эга бўлган $J=A\cdot V^{\alpha}$ кўринишидаги даражали боғланишлар билан изохланиши аниқланди. Кенг ўтувчи қатламли *n*-GaAs–*p*-$(ZnSe)_{1-x-y}(Ge_2)_x(GaAs_{1-\delta}Bi_\delta)_y$ гетеротузилмаси вольтампер характеристикасининг таҳлили ток оқими кучланишнинг тўғри йўналишларида заряд ўтишининг дрейф механизми устунлик қилишини кўрсатди.

Калит сўзлар: қаттиқ қиришма, гетероўтиш, кучланиш, вольт-ампер характеристика, харорат, дрейф механизми.

©Академия наук Республики Узбекистан, 2023 г.