

Султанов А.М.

НамИТИ, доцент, кафедра «физика», sulix80@mail.ru.

Абдулазизов Б.Т.

Наманганский Государственный Университет. bt_abdulazizov@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСИ Ag НА
СЛАБОЛЕГИРОВАННЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ p^0-n^0 -
ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ И СОЗДАНИЕ НА ИХ ОСНОВЕ
СУБНАНОСЕКУНДНЫЕ ФОТОННО-ИНЖЕКЦИОННЫЕ
ТИРИСТОРЫ.**

Аннотация. *Арсенид галлия, как и многие другие полупроводники A^3B^5 , является важнейшим материалом для сверхбыстрых электронных и оптических приборов, но они почти всегда содержат точечные дефекты кристаллической решетки, размер которых равен размеру атомов решетки [1]. Проведены эксперименты и изучено влияние Ag примеси на высоковольтных p^0-n^0 гетеропереходов и приборов на основе слаболегированного слоя арсенида-галлия. Исследовано влияние примеси Ag на место положения p^0-n^0 перехода, определена концентрация и характер распределения основных носителей заряда, диффузионная длина неосновных носителей заряда, подвижности носителей заряда, возникновения глубоких уровней в слаболегированного слоя арсенида-галлия.*

Ключевые слова. *Гетеропереходы, высоковольтные p^0-n^0 переходы, слаболегированные слои GaAs, примеси, диффузионная длина, и подвижности носителей заряда, глубокие уровни.*

Sultanov A.M.

NamITI, Associate Professor, Department of Physics. sulix80@mail.ru.

Abdulazizov B.T.

Namangan State University. E-mail: bt_abdulazizov@mail.ru

STUDY OF THE INFLUENCE OF Ag IMPURITY ON LIGHTLY DOPED HIGH-VOLTAGE p^0-n^0 -HETEROJUNCTIONS AND CREATION ON THEIR BASIS OF SUBNANOSECOND PHOTON-INJECTION THYRISTORS.

Annotation. Gallium arsenide, like many other A^3B^5 semiconductors, is an essential material for ultrafast electronic and optical devices, but they almost always contain point defects in the crystal lattice, the size of which is equal to the size of the lattice atoms [1]. Experiments have been carried out and the influence of Ag impurity on high-voltage p^0-n^0 heterojunctions and devices based on a lightly doped gallium arsenide layer has been studied. A study of the influence of Ag impurities on the position of the p^0-n^0 transition, the concentration and nature of the distribution of the majority charge carriers, the diffusion length of minority charge carriers, the mobility of charge carriers, the occurrence of deep levels in a lightly doped gallium arsenide layer were determined.

Keywords. Heterojunctions, high-voltage p^0-n^0 junctions, lightly doped GaAs layers, impurities, diffusion length, and charge carrier mobility, deep levels.

Введение. Проведение исследований [2] по созданию мощных высоковольтных переключающих приборных структур на основе слаболегированного арсенида галлия связано с необходимостью поиска альтернативных принципов коммутации электрической мощности в субнано- и пикосекундном диапазонах времени [3,4,5]. В настоящее время чрезвычайно быстро развивается субнано- и пикосекундная импульсная техника, что связано с потребностями лазерной локационной, радиопередающей техники, термоядерная энергетика, пикосекундная спектроскопия жидкостей и твердых тел, топография и ряд областей преобразовательной техники, а также техники физического эксперимента требуют создания именно полупроводниковых коммутаторов этого диапазона мощностей, обладающих традиционными преимуществами полупроводниковых приборов: большим сроком службы, надежностью,

высоким к.п.д. и устойчивостью к внешним воздействиям и мгновенной готовностью к работе [6].

Актуальной является задача получения эпитаксиальных слоев и приборов на основе соединений A^3B^5 (GaAs, GaP) с заданными и новыми свойствами, в которых компенсация слоев, распределение концентрации фоновых мелких примесей и дефектов с глубокими уровнями (ГУ) определяются технологическими условиями кристаллизации расплава. На момент выполнения работы практически отсутствовали экспериментальные исследования по влиянию содержания изовалентной примеси Ag в жидкой фазе при выращивании эпитаксиальных слоев GaAs на концентрацию и тип образующихся при этом собственных дефектов решетки, и не было достаточного понимания роли и природы акцепторных дефектов с ГУ, а также и донорного дефекта типа EL2, участвующих в компенсации такой структуры. Актуальной проблемой физики дефектов и полупроводников являются исследования метастабильности дефектов и их свойств, в первую очередь EL2-дефекта и DX-центра в GaAs и AlGaAs, а также других дефектов, образующихся в процессе эпитаксиального роста и при их радиационном облучении протонами и электронами. Вопрос о том, что такое EL2-дефект – изолированный antisite-дефект или его комплекс с междоузельным мышьяком, может ли он быть сформирован в GaAs, выращенном из раствора-расплава в Ga и при радиационном облучении или нет, так же, как DX-центр – это дефект с отрицательной корреляционной энергией, а если так, то может ли он перейти в метастабильное антисвязанное состояние Al_i донора замещения, был до последнего времени открытым.

Весьма актуальными задачами являются идентификация дефектов в сложных слоистых структурах и исследования физических характеристик в локальных областях полупроводниковых материалов и приборов. Этим требованиям отвечают электронно-зондовые методы исследования. К моменту начала работ, связанных с изучением материалов и структур на основе эпитаксиального нелегированного GaAs, не было достаточно адекватных

электронно-зондовых методов определения параметров дефектов и примесей в локальных областях материалов и приборов, а также однородности в их распределении. Актуальной задачей стала потребность в разработке таких методов. Целью настоящей работы является выращивание, экспериментальное исследование и выявление новых свойств и природы точечных дефектов решетки с глубокими уровнями в эпитаксиальных слоях и структурах на основе соединений A^3B^5 (таких, как GaAs, Ga и GaAsAl), образующихся при различных методах роста, отжига и радиационном облучении слоев. Весьма актуальными задачами являются идентификация дефектов в сложных слоистых структурах и исследования физических характеристик в локальных областях полупроводниковых материалов и приборов [7,9]. Этим требованиям отвечают электронно-зондовые методы исследования. К моменту начала работ, связанных с изучением материалов и структур на основе эпитаксиального нелегированного GaAs, не было достаточного сведения адекватных электронно-зондовых методов определения параметров дефектов и примесей в локальных областях материалов и приборов, а также однородности в их распределении. Актуальной задачей стала потребность в разработке таких методов

Метод. Представляет интерес изучение влияния изовалентных атомов на процесс формирования плавных p^0-n^0 переходов, поскольку их применение позволяет изменять уровень концентрации и спектр мелких примесей и глубоко уровневых ловушек за счёт взаимодействия с фоновыми примесями в расплаве и изменения собственных точечных дефектов в эпитаксиальных слоях. Эпитаксиальные методы выращивания позволяют совместить во времени процесс кристаллизации полупроводникового материала и получение приборной структуры.

Основное распространение получили газотранспортная, молекулярно-лучевая и жидкофазная эпитаксии (ЖФЭ).

Идеальная стиковка кристаллических решеток в полупроводниковый гетеропереход возможна при использовании ЖФЭ. Этот метод позволяют

изготовить не только двухслойные но и многослойные гетероструктуры. Понимание роли примесей и возникающие при этом дефектов имеет решающее значение для объяснения ряда явлений от диффузии до односторонней инжекции, или для построения теории процессов, происходящих в легированных материалах.

Для достижения указанных целей решался следующий комплекс задач [8,10,13].

- Исследование и определение влияние примеса Ag на основные физические параметры слаболегированного слоя арсенида галлия, таких как: место положение высоковольтных p^0-n^0 переходов;

- характер распределения и концентрации основных носителей заряда;

- диффузионные длины неосновных носителей заряда и их подвижности в слаболегированных слоях арсенида галлия;

- оптимизацию технологии получения слоев и структур с управляемым содержанием дефектов для создания новых, эффективных приборов микро- и оптоэлектроники;

- Разработка электронно-зондовых методов исследования процесса рекомбинации и спектроскопии центров с ГУ в локальных областях эпитаксиальных слоев, основанных на регистрации тока, индуцированного электронным зондом.

- Определение энергетического спектра ГУ дефектов решетки и квантовых состояний точек, а также анализ влияния на этот спектр как внешних, так и встроенных электрических полей с помощью ЭЛТБ спектроскопии при различных условиях предварительного обратимого изохронного, изотермического и оптического отжига.

- Применение вольт фарадных измерений и нестационарной спектроскопии ГУ для определения механизма деградации лазеров с квантовыми ямами.

Показано, что как рост температуры начала кристаллизации при выращивании GaAs из раствора-расплава в Ga, так и изменение содержания Ag в жидкой фазе позволяют контролировать концентрацию и номенклатуру

собственных акцепторных (HL2, HL5 и HF1) и донорных (EL2) точечных дефектов, компенсацию слоев и структур [10,13].

Показано, что *in situ* отжиг AlGaAs слоев способствует формированию бездислокационных когерентных КТ, аннигиляции точечных дефектов решетки, связанных с образованием дислокаций в слое матрицы GaAs (EL2), локализованных на гетерогранице AlGaAs/GaAs, и уменьшению на порядок концентрации остальных дефектов.

Новое научное направление исследований, которое сформировалось в процессе выполнения данной работы - это исследования новых свойств и природы точечных дефектов решетки с глубокими уровнями в эпитаксиальных слоях и структурах на основе соединений A^3B^5 (таких, как GaAs, и GaAlAs), эффектов их взаимодействия с самоорганизующимися Ga/GaAs квантовыми точками с использованием новых методов исследования центров с глубокими уровнями в локальных областях слоистых структур.

Эксперимент. Для решения поставленных задач использованы следующие методы:

После выращивания эпитаксиальных структур в первую очередь определялись толщины слоев, их планарность и место положение p^0-n^0 перехода. Для определения местоположения p^0-n^0 перехода или области пространственного заряда (ОПЗ) использовался метод электрооптического эффекта [12]. Электрооптический эффект проявляется в возникновении двойного лучепреломления в электрическом поле. В случае эпитаксиальной структуры с p^0-n^0 переходом двойное лучепреломление должно возникать в ОПЗ за счёт индирования оптической анизотропии на p^0-n^0 переходе. При исследованиях использовался микроскоп МИК – 5.

Для определения концентрации и характера распределения основных носителей заряда применялся вольтёмкостной метод с помощью ртутного зонда при послойном стравливании слоев арсенида галлия. Типичная

распределения концентрации носителей заряда в одном из полученных p^0 - n^0 структурах показано на рис. -1.

Диффузионная длина ННЗ является важнейших характеристик любого полупроводникового материала [6,11,14]. Для определения диффузионной длины ННЗ в слаболегированных слоях GaAs введенных примесями Ag и применялся способ изучения распределения тока, индуцированного электронным зондом малого диаметра, и определяется выражением

$$I = I_0 \exp \left(-\frac{r_0 - x}{L_p} \right)$$

где x – расстояние от области возбуждения до p^0 - n^0 перехода, r_0 – радиус области возбуждения.

Диффузионные длины L_d в n^0 – GaAs, определенные данным способом по наклону зависимости $L_{n1} = f(x)$, достигали $6 \div 15$ мкм при нулевом смещении и увеличивались до ≥ 80 мкм при $U_{обp} = 100$ В.

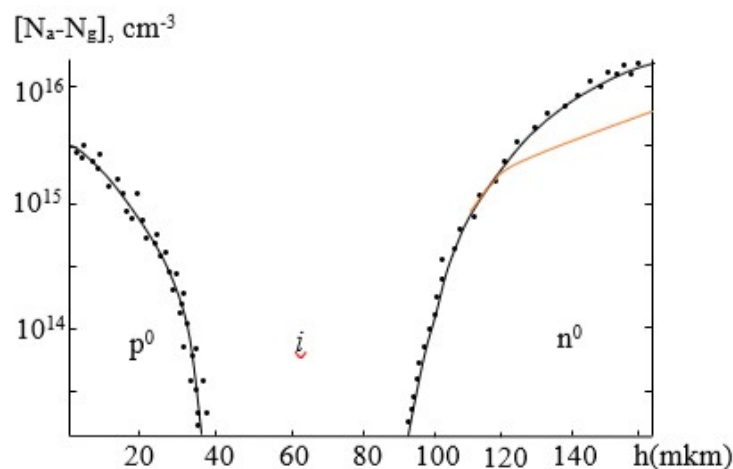


Рис. - 1. Распределения концентрации носителей заряда в одном p^0 - n^0 структурах.

Измерения проводились с помощью растрового электронного микроскопа микроанализатора jXA-5A. На рис.- 2. представлены зависимости диффузионной длины электронов от тока в слаболегированном слое p^0 – GaAs толщиной 35 мкм.

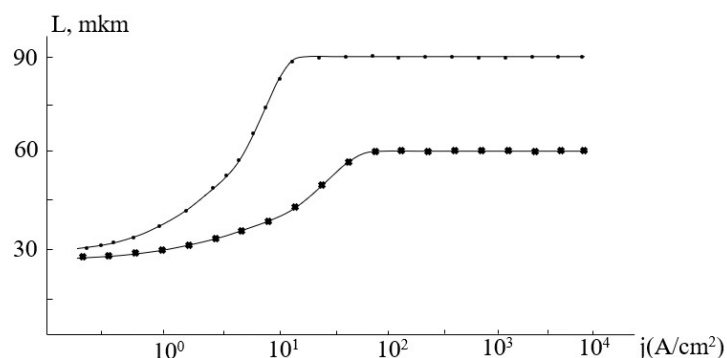


Рис. - 2. Типичные зависимости $L_n = f(j)$ в слоях $p^0 = \text{GaAs}$. 1 – $p^0 = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; 2 – $p^0 = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

Видно, что начиная плотностей тока $j > 50 \text{ А/см}^2$, диффузионная длина L_n практически не меняется и достигает значений $75 \div 85 \text{ мкм}$. Увеличение L_n в области меньших токов, по-видимому, связано с насыщением центров захвата электронов.

Подвижности носителей заряда определялись измерением эффекта Холла в эпитаксиальных слоях, выращенных на полуизолирующих подложках.

Измерения проводились методом Ван-дер-Пау на образцах с шестью омическими контактами, полученными вплавлением индиевых капель в эпитаксиальный слой. Значения подвижности электронов в n^0 - GaAs слоях находятся в пределах $\approx 5000 \div 6000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$, а подвижности дырок в p^0 - n^0 - GaAs слоях $\approx 3000 \div 5000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$.

Результаты исследований подвижности основных носителей заряда в n^0 - областях, показали, что имеется высокая степень компенсации в эпитаксиальных слоях рис. - 3. Как следует из рисунка, степень компенсации в n^0 -слое возрастает по мере приближения к p^0 - n^0 переходу.

Такой характер зависимости подвижности может свидетельствовать о том, что суммарная концентрация заряженных центров в слое уменьшается с увеличением толщины n^0 -слоя и с уменьшением температуры кристаллизации слоя. Для определения энергетических параметров глубоких уровней в слаболегированных слоях введенных примесями Ag и

использовались метод нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS) и

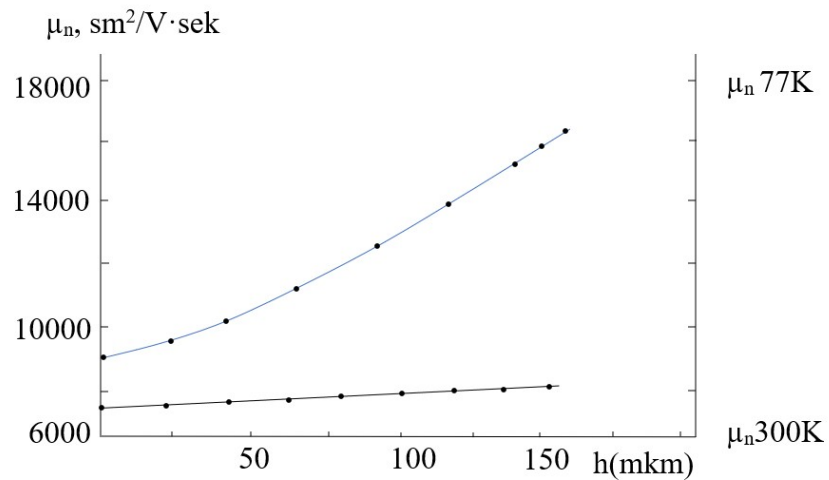


Рис.-3. Результаты исследований подвижности основных носителей заряда в p^0 - областях

фотоемкости (ФЕ). Во всех слоях, полученных методом ЖФЭ помимо мелких акцепторных и донорных уровней обнаружено глубокие уровни $A(E_c + 0,32 \text{ эВ})$, $B(E_c + 0,54 \text{ эВ})$, $C(E_c + 68 \text{ эВ})$ рис. - 4.

В литературе эти уровни обозначаются HL5, HL3, HL2 [3-4].

Рекомбинационные свойства p^0 -области в значительной степени определяются глубокими акцепторными A и B центрами. При этом основную роль эти центры играют в p – части p^0 -области.

В p^0 - GaAs они, обнаруженные методом ёмкостной спектроскопии (DLTS) приписываемые к дефектом роста, являются ловушками для дырок, причем концентрация их падает экспоненциально с уменьшением температуры роста.

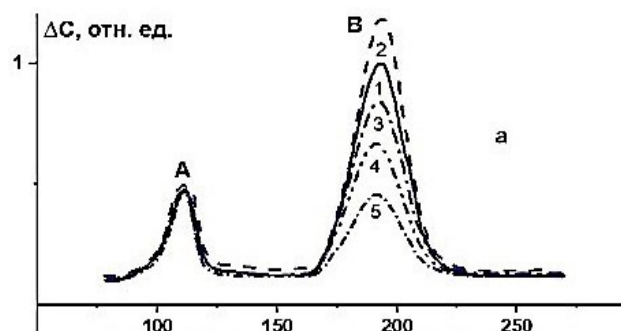


Рис.-4. DLTS спектр один из образцов легированный примесом Ag.

Сечения захвата глубоких уровней при этом соответствует значениям $\sigma = 8 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2, 6 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2, 4 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$.

Спектр ИК - поглощения этих образцов, легированный Ag примесем при температуры от 20 °С до 200 °С представлены на рас. - 5, а кинетика влияния температуры в интервале от 20 °С до 200 °С на глубоких уровней показано в рис. - 6.

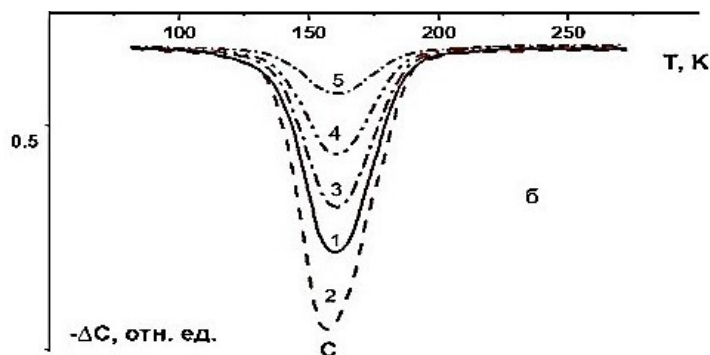


Рис. - 5. Спектр ИК-поглощения легированный Ag при различных рабочих температур.

Наряду с мелкими акцепторами и мелкими донорами, глубокие акцепторы определяют положение p^0 - n^0 перехода и размеры ОПЗ. Часть p^0 -слоя примыкающая к подложке, имеет сравнительно высокую концентрацию мелких акцепторов, большую, чем концентрация мелких доноров и глубоких акцепторов. По мере смещения от подложки вглубь слоя у разность $N_{д.м.} - N_{м.а.}$ уменьшается, а затем становится равной нулю и меняет знак, однако, за счёт наличия глубоких акцепторов (рис.6), тип проводимости слоя не меняется.

Если $0 < N_{д.м.} - N_{а.м.} < N_{а.г.}$, то уровень Ферми будет близок к положению первого глубокого акцепторного уровня – А. При дальнейшем смещении вглубь слоя, когда $N_{а.г.} < N_{д.м.} - N_{а.м.} < N_{а.г.}$, уровень Ферми будет приближаться к положению второго уровне – В и дальше третьего уровне – С.

Оценка показывают, что удельное сопротивление области непольной ионизации центров с уровнями А, В и С при 300 К составляет $10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и более. Координата слоя, где $N_{д.м.} = N_{а.м.} + 2N_{а.г.}$ есть место положения p^0 - n^0

перехода. Далее в слое p^0 – типа концентрация электронов будет определяться снижением $N_{д.м.} - N_{а.г.}$. Поэтому p^0 – область состоит из двух частей низкоомной p^0 – и высокоомной i – части, а p^0 - p^0 переход находится на границе i - и p^0 – области.

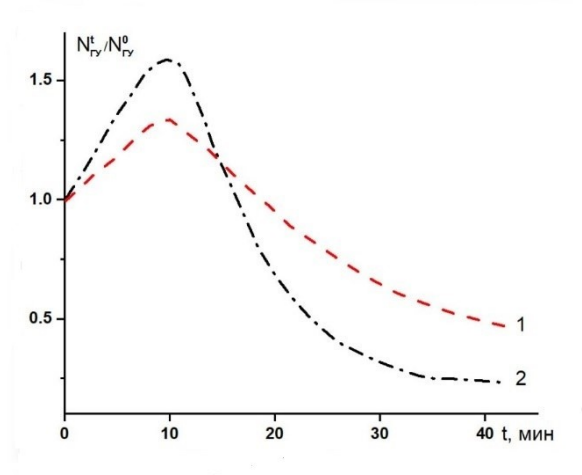


Рис. - 6. Кинетика влияния рабочих температуры на ГУ образцах легированных Ag.

Научная новизна работы. Все основные научные результаты, получены впервые.

- Разработаны методы определения оптических параметров центров с ГУ, процессов рекомбинации в локальных областях p^0 - p^0 -структур с помощью электронного зонда и разделения в спектрах БЛТБ сигналов, связанных с квантовыми состояниями точек от дефектов с ГУ.
- Обнаружены и исследованы свойства, условия образования и отжига EL2-дефекта и акцепторного дефекта НВ1 с уровнем $(E_v + + 0,47)$ эВ в эпитаксиальных слоях GaAs, выращенных из раствора-расплава в Ga при температурах начала кристаллизации не выше 900°C .
- Обнаружены и исследованы свойства и условия образования бистабильного дефекта с кинетикой конфигурационной трансформации первого порядка и параметрами в стабильном состоянии, совпадающими с радиационным E1-дефектом, кинетика трансформации которого определяется единичным прыжком междоузельного мышьяка; метастабильного уровня антисвязанного локализованного A1 состояния ОХ-центра в легированных слоях AlGaAs.

В GaAs/AlGaAs-гетероструктурах исследованы влияние дефектов с глубокими уровнями на заселенность состояний квантовых точек; кулоновское взаимодействие между ионизованными дефектами решетки и носителями, локализованными в квантовых точках, с образованием электростатического диполя, встроенное поле которого изменяет высоту потенциального барьера для эмиссии и захвата носителей квантовой точкой.

Показано, что как рост температуры начала кристаллизации при выращивании GaAs из раствора-расплава в Ga, так и изменение содержания Ag в жидкой фазе позволяют контролировать концентрацию и номенклатуру собственных акцепторных (HL2, HL5 и HF1) и донорных (EL2) точечных дефектов, компенсацию слоев и структур.

Показано, что отжиг AlGaAs слоев способствует формированию бездислокационных когерентных КТ, аннигиляции точечных дефектов решетки, связанных с образованием дислокаций в слое матрицы GaAs (EL2), локализованных на гетерогранице GaAs/AlGaAs, и уменьшению на порядок концентрации остальных дефектов.

Заключения. В заключение отметим, что

- Определены места положения p^0 - n^0 перехода или области пространственного заряда слаболегированного слоя GaAs легированного Ag примесями. Толщина p^0 -области обеспечивают значения коэффициента передачи и рекомбинационные свойства получаемых p^0 - n^0 переходов [11,12,14].— Изучены характер и профиль распределения концентрации основных носителей заряда. Концентрация носителей в p^0 - и n^0 – областях лежала в пределах от $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ до $0,1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.
- Определены подвижность носителей заряда. Подвижность носителей заряда составляла, в n^0 - слое $\mu_n \approx (5 \div 6) \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$, и p^0 - слое $\mu_p \approx (400 \div 450) \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$.
- Определены диффузионные длины ННЗ в слаболегированных слоях GaAs легированного Ag примесями;

- Проведено комплексное исследование свойств слаболегированного слоя GaAs, легированного примесями Ag и установлено, что эти примеси образуют глубокие уровни с энергиями ионизации $E_c - 0,32$ эВ, $E_c - 0,82$ эВ, $E_v - 0,55$ эВ в GaAs <Ag>.

- Исследованы процессы влияния глубоких центров, создаваемых примесями Ag и установлено, что примеси нестабильны в решетке арсенида галлия при изменениях рабочих температур и кинетика влияния температуры на глубоких уровнях носит нелинейный характер.

В слоях n^0 - GaAs были обнаружены также уровни, являющиеся ловушками для электронов ($E_c - 0,53$ эВ), ($E_c - 0,82$ эВ) и ($E_v - 0,55$ эВ), обозначенные как EL2, EL3, EL4. Сечение захвата равно $6 \cdot 10^{-14}$ см², $5 \cdot 10^{-17}$ см² и $7 \cdot 10^{-14}$ см² соответственно. Концентрация ловушки EL3 была порядка 10^{17} см³ [10].

Литературы

[1]. Sarkat T. 2007. Epitaxial Design of Direct Optically Controlled GaAs/AlGaAs –based Heterostructure Lateral Superjunction Power Device for Fast Repetitive Switching/ Mazumder S.K. // IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 54. № 3. March.

[2] Rojkov V.A., Sultanov A.M. 2023. Investigation of the effect of Mn impurity on high-voltage p^0 - n^0 heterojunctions based on a low-doped (GaAs) layer. Science and Education in Karakalpakstan. ISSN 2181-9103 № 3/2 (35), 2023. pp. 78-84.

[3] Коротров С.В., Аристов Ю.В., Жмодиков А.Л., Козлов А.К. 2014. Высоковольтные диодно-динисторные импульсы тока. // Приборы и техника эксперимента. // № 4. С. 61-66.

[4] Гусев А.И., Любутин С.К., Рукин С.Н., Словицкий Б.Г., Сиранов С.Н. 2017. Исследование процесса спада напряжения при ударно-ионизационном переключении силовых тиристорov. // Приборы и техника эксперимента. // № 8. С. 95-101.

[5] Аристович Ю.В. и другие. 2007. Мощное полупроводниковое

переключение высоковольтных импульсов с наносекундным фронтом нарастания. // Приборы и техника эксперимента. // № 2. С. 87-90.

[6] Грехов И.В. 2008. Силовая полупроводниковая электроника и импульсная техника. Вестник Российской академии наук. т. 78. № 2. С.106-103.

[7] Шевченко С.А., Ивадов Б.В., Смирнов А.А. и др. 2020. Экспериментальное исследование низковольтного 4H-SiC дрейфового восстановительного диода. /Труд. 2020 IEEE 60 Конференция российских молодых исследователей в области электротехники и электронной техники (2020 ELConRus).

[8] Sultanov A.M., Abdukarimov A.A., Kufian M.Z. 2023. Development of technology for creating high-voltage p^0-n^0 junctions based in GaAs. BULLITIN OF THE KARAGANDA UNIVERSITY. PHYSICS series № 4 (112). pp. 50-56.

[9] Войтович В., Гордеев А., Думаневич А. 2014. GaAs-диоды для PFC SMPS UPS IPM Solar invertors и замены синхронных выпрямителей // Силовая электроника. № 6.. вып.2.

[10] Султанов А.М. Монография. 2022. Разработка технологии создания и исследование фотонно-инжекционных коммутаторов на основе гетероструктур GaAs-AlGaAs. Наманган, Usmon Nosir Media, 116 стр.

[11] A. M. ¹Sultanov , J. Z. ²Mirzarayimov. 2024. MAIN TECHNOLOGICAL FACTORS AFFECTING THE PROPERTIES OF LOW-DOPED LAYERS AND TRANSISTOR $n^+-p^0-n^0$ STRUCTURES. European Journal of Emerging Technology and Discoveries ISSN €: 2938-3617, Volume 2, Issue 3. March.¹Namangan Institute of Engineering and Technology, Namangan, Uzbekistan.²Republic of Uzbekistan the Ministry of Internal Affairs Namangan academic Lyceum.

[12] A.M. Sultanov¹, E.K. Yusupov², R.G. Rakhimov². 2024. Investigation of the Influence of Technological Factors on High-Voltage p^0-n^0 Junctions Based on GaAs. Journal of Nano- and Electronic Physics. vol 16, № 16 01010 (5 pp). Namangan Institute of Engineering and Technology, 160115 Namangan, Uzbekistan.

[13] ¹Рожков А.В., ²Султанов А.М. 2023. Исследование влияние технологических факторов на высоковольтных $p^0 - n^0$ переходов на основе GaAs-AlGaAs. «ТРЕТИЙ РЕНЕССАНС В УЗБЕКИСТАНЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ» Международная научно-практическая онлайн конференция. Издательство «Хаёт нашри-2020» г. Андижан.

[14] А.М. ¹Султанов, Ж.З. ²Мирзарайимов. 2024. УДК 538.915 621.315.592 ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОННО – ИНЖЕКЦИОННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ТИРИСТОРОВ ДЛЯ МОДУЛЯЦИИ УСИЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРО ЛАЗЕРОВ. ¹Namangan Institute of Engineering and Technology, Namangan, Uzbekistan. ²Republic of Uzbekistan the Ministry of Internal Affairs Namangan academic Lyceum.