

12-20-2018

TRANSFER OF ELECTRIC POWER IN HETERO-STRUCTURE n-GaAs-p-(GaAs) $_{1-x}$ (ZnSe) $_x$ ($0 \leq x \leq 0.80$)

Sh.N Usmonov

Institute of Physics and Technology "Physics - Sun" of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, k_gaimnazarov@umail.uz

K.G Gaimnazarov

Gulistan State University

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/gulduvestnik>

 Part of the [Higher Education Administration Commons](#)

Recommended Citation

Usmonov, Sh.N and Gaimnazarov, K.G (2018) "TRANSFER OF ELECTRIC POWER IN HETERO-STRUCTURE n-GaAs-p-(GaAs) $_{1-x}$ (ZnSe) $_x$ ($0 \leq x \leq 0.80$)," *Bulletin of Gulistan State University*. Vol. 2018 : Iss. 4 , Article 2.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/gulduvestnik/vol2018/iss4/2>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Bulletin of Gulistan State University by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

УДК 666.3.017

ПЕРЕНОС ТОКА В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x$ ($0 \leq x \leq 0.80$)

Ш.Н.Усмонов*, К.Г. Гаимназаров**

*Физико-технический институт НПО «Физика – Солнце» АН РУз

**Гулистанский государственный университет

E-mail: k_gaimnazarov@umail.uz

Проблема синтеза непрерывных полупроводниковых твердых растворов на основе ($A^{\text{III}}B^{\text{V}}$) и ($A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$) представляется актуальной задачей современной микроэлектроники. Среди материалов данной группы твердые растворы на основе бинарного соединения GaAs-ZnSe являются перспективными. Поскольку ширина запрещенной зоны и постоянная решетки таких соединений меняются в определенных пределах, то на их основе можно синтезировать полупроводниковые материалы с широким диапазоном электрических и фотоэлектрических свойств, получить сверхрешетки с квантовыми точками, разработать гетеропереходные структуры. На основе твердых растворов GaInAsSb, AlGaAsSb разработаны эффективные светодиоды [1] и быстродействующие фотодиоды [2], работающие в спектральном диапазоне 1.5–4.8 мкм, в котором имеются линии поглощения паров воды, CO₂, азотсодержащих молекул (N₂O, NO₂, NH₃), молекул углеводов.

Материал и методы

На основе структур GaAs:Cr/ZnS:Cu,Al разработаны твердотельные преобразователи изображения при возбуждении структуры инфракрасным и рентгеновским излучениями, с яркостью свечения, соответствующей пороговым значениям для черно-белого (10–2 cd/m²) и цветного (3 cd/m²) изображений при дозах 0–12 R/s [3].

Несмотря на большой успех в исследовании и разработке различных оптоэлектронных приборов на основе полупроводниковых соединений A^3B^5 и A^2B^6 , в настоящее время практическое применение нашли только некоторые из них. Это связано с относительной сложностью их очистки и выращивания совершенных кристаллов, что делает их еще достаточно дорогостоящими по сравнению с элементарными полупроводниковыми материалами - германием и кремнием.

Полученные результаты и обсуждение

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований вольт-амперной характеристики (ВАХ) гетероструктур $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x$ ($0 \leq x \leq 0.80$). Структуры были изготовлены выращиванием из жидкой фазы твердого раствора $p\text{-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x$ на $n\text{-GaAs}$ подложках. Подложки имели кристаллографической ориентации (100), концентрации свободных носителей $n = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и толщину ~ 400 мкм. Рост эпитаксиального слоя осуществлялся из малого объема оловянного раствора-расплава, ограниченного двумя подложками в атмосфере очищенного палладием водорода. Для приготовления жидкого раствора-расплава была изучена растворимости GaAs и ZnSe в Sn в интервале температур 720–650 °С методом потери веса образцов арсенида галлия и селенида цинка, помещенных в жидкое олово и выдержанных в нем до насыщения раствора. При этом учитывалось влияние GaAs на растворимость ZnSe. Состав раствора-расплава Sn-GaAs-ZnSe рассчитывался на основе литературных данных [1-4] и результатов предварительных опытов с учетом растворимости бинарных компонентов. При выбранных температурах Ga-As и Zn-Se находятся в жидком олове в виде молекул, что является важным для выращивания твердого раствора замещения.

Эпитаксиальные слои с наилучшими параметрами получались при расстоянии между верхними и нижними подложками 1–1.5 мм, температурном интервале от 700–710 °С до 640–650 °С и интервале скорости охлаждения 0.5–2 градус/мин. Выращенные пленки имели дырочный тип проводимости с концентрацией свободных носителей заряда $(3\text{--}5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. В зависимости от параметров технологического процесса толщина выращенных пленок составляла от нескольких до 15 мкм.

Для исследования ВАХ гетероструктур $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x$ ($0 \leq x \leq 0.80$) путем вакуумного напыления серебра к структуре создавались омические контакты. Типичная вольт-амперная

характеристика, снятая при комнатной температуре, представлена на рис. 1. Структура имеет хорошими выпрямляющими свойствами с коэффициентом выпрямления $k = I_{\text{прямой}} / I_{\text{обратный}}$, принимающим значения от 2 до 90 при изменении подаваемого напряжения от 0.1 до 2 В.

Из анализа ВАХ следует, что ее начальный участок хорошо описывается экспоненциальной зависимостью вида,

$$I = I_0 \cdot \exp\left(\frac{qV}{ckT}\right) \quad (1)$$

с предэкспоненциальным множителем $I_0 = 0.164$ мкА и показателем экспоненты $c = 4.1$. За экспоненциальным участком следуют участки со степенными зависимостями тока от напряжения, например в диапазоне напряжения от 0.4 до 0.8 В наблюдается более резкая зависимость $- I = 323 \cdot V^4$, а затем до 1.4 В, квадратичная зависимость $- I = 195 \cdot V^2$, которая сменяется на более слабую зависимостью $- I = 262 \cdot V^{1.5}$. Такую зависимость можно качественно объяснить в рамках модели двойной инжекции для $n-p-p^+$ структуры при условии существования минимума в распределении концентрации неравновесных носителей ($n(x)$) в высокоомной p - базе [4]. Только в этом случае возможно наблюдение зависимости $I \sim V^4$, которая возможна при условии, когда один инжектирующей переход – идеальный, а второй – неидеальный. Исследованную структуру можно представить в виде переходов $R_{\Omega}-n-p-p^+-R_{\Omega}$ с базовыми областями, состоящими из сравнительно низкоомной подложки $n(\text{GaAs})$, широкозонной высокоомной эпитаксиальной пленки твердого раствора $p-(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ($0.20 \leq x \leq 0.80$) и сравнительно низкоомной пленки твердого раствора $p^+(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ ($0.04 \leq x \leq 0.10$) инжектирующими переходами $n-(\text{GaAs})-p-(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$, $p-(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x-p^+(\text{GaAs})_{1-x}(\text{ZnSe})_x$ и омическими контактами - R_{Ω} . По-видимому в нашем случае в качестве идеального контакта выступает $p-p^+$ переход, так как на этом переходе имеется барьер для электронов, возникающий за счет разницы ширины запрещенной зоны p - и p^+ - областей, и ток через этот переход при небольших уровнях инжекции будет иметь только дырочную составляющую. А в качестве неидеального контакта выступает $n-p$ переход. Только в этом случае зависимость концентрации неравновесных носителей на границах высокоомной p - области будет иметь следующий вид - $n(0) \sim \sqrt{I} < n(d) \sim I$, а выражение для минимальной концентрации в этой области принимает вид [7]:

$$n_{\min} = 2\sqrt{n(0) \cdot n(d)} \cdot \exp\left(-\frac{d}{2L}\right) \sim I^{3/4}, \quad (2)$$

где d - толщина высокоомной p - базы, L – диффузионная длина основных носителей. Полное падение напряжение в такой структуре складывается из падения напряжения $n-p$ - и $p-p^+$ переходах, высокоомной p - базе и относительно низкоомных n - и p^+ - областях: $V = V_{n-p} + V_{p-p^+} + V_p + V_n + V_{p^+}$.

Тогда вольт-амперная характеристика будет иметь вид [16]:

$$I = I_0 \cdot \exp\left(\frac{qV}{ckT}\right) + A \cdot V^4 + C \cdot V, \quad (3)$$

где, A и C – постоянные, зависящие от электрофизических параметров материала.

При сравнительно небольших напряжениях первое слагаемое в (3) играет определяющую роль, поэтому на начальном участке мы наблюдаем экспоненциальную зависимость с $c = 4.1$ (1). С ростом уровня инжекции реализуется ситуация с определяющей ролью падения напряжения на высокоомной p - базе и вольт-амперная характеристика приобретает вид: $I = 323 \cdot V^4$. С дальнейшим ростом напряжения барьер на $p-p^+$ переходе для электронов изменяется, и инжектирующий переход перестает быть идеальным, т.е. ток через этот переход будет иметь не только дырочную, но и электронную составляющую и $n(d) \sim \sqrt{I}$. Тогда реализуется ситуация, когда в p - базе имеется минимум в распределении концентрации неравновесных носителей (2), но $n_{\min} \sim I^{1/2}$ и, соответственно, зависимость тока от падения напряжения будет иметь вид: $I \sim (V - V_0)^2$, где $V_0 = V_{n-p} + V_{p-p^+} + V_n + V_{p^+} - V_D$, что соответствует параболической зависимостью - $I = 195 \cdot V^2$ на

участке экспериментальной ВАХ от 0.8 до 1.2 В. V_D – разность потенциала Дембера, который определяется выражением:

$$V_D = \frac{kT}{q} \cdot \frac{b-1}{b+1} \cdot \ln \frac{p(d)}{p(0)}, \quad (4)$$

где, $b = \mu_n/\mu_p$ – отношение подвижностей электронов и дырок.

И, наконец, с дальнейшим ростом уровня инжекции модуляция сопротивления высокоомной базы уменьшается и существенную роль играют низкоомные области, что и приводит к почти омической зависимости $I = 262 \cdot V^{1.5}$.

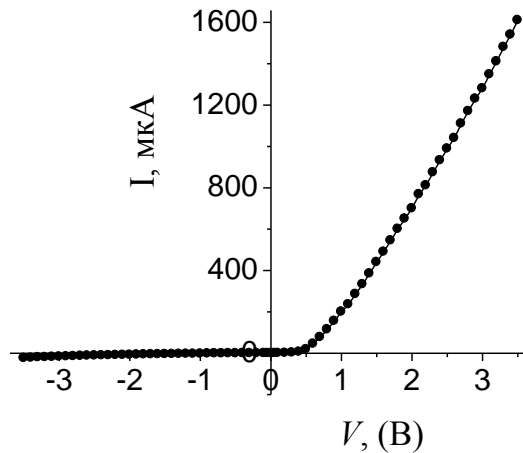


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика гетероструктурn-GaAs-p-(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x (0 ≤ x ≤ 0.80).

Таким образом, на основе модели двойной инжекции для $n-p-p^+$ - структуры при условии существования минимума в распределении концентрации неравновесных носителей можно объяснить экспериментально наблюдаемой вес участок вольт-амперной характеристики гетероструктурn-GaAs-p-(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x (0 ≤ x ≤ 0.80).

Работа выполнена в рамках гранта ПФИ ФА-Ф2-003 АН РУз.

Список литературы:

1. В.М. Андреев, Л.М. Долгинов, Д.Н. Третьяков. Жидкостная эпитаксия в технологии полупроводниковых приборов. - Сов. Радио, 1975.- 328 с.
2. М.Хансен, К. Андерко. Структуры двойных сплавов. [Пер. с англ.: М. Hansen, К. Anderko. Constitution of binary alloys, (Toronto-London-N.Y., 1958) v. II]. Металлургиздат, М. (1962) т. II. -1488 с.
3. А.С. Саидов, М.С. Саидов, Э.А. Кошчанов. Жидкостная эпитаксия компенсированных слоев Арсенида Галлия и твердых растворов на его основе. – Ташкент: «Фан», 1986. - 127 с.
4. Э.И. Адирович, П.М. Карагергий-Алкалаев, А.Ю. Лейдерман. Токи двойной инжекции в полупроводниках.- Сов. Радио, 1978. - 320 с.

Аннотация

n-GaAs-*p*-(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x (0 ≤ x ≤ 0.80) ГЕТЕРОСТРУКТУРАДА ТОК ОҚИМНИНГ УЗАТИЛИШИ
Ш.Н.Усмонов, К.Г.Гаимназаров

Суюк фаза эпитаксия методи ёрдамида *n*GaAs чекланган микдордаги қалай эритмасидан доимий (GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x *p*-типли қаттиқ эритмасининг эпитаксиал қатлами олинди. *n*-GaAs-*p*-(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x (0 ≤ x ≤ 0.80) гетероструктуранинг вольт-ампер характеристикаси (ВАХ) ўрганилди. *n-p-p*⁺- структураси учун икки томонлама инжекция моделига асосланиб, ҳар хил массали ташувчилар концентрациясининг тақсимланишида минимал бўлган ҳолда, GaAs-*p*-(GaAs)_{1-x}(ZnSe)_x (0 ≤ x ≤ 0.80) гетероструктуранинг вольт-ампер характеристикаси экспериментал йўл билан тушунтирилди.

Таянч сўзлар: котишма, эритма, таклик, гетероструктура, эпитаксия, яримўтказгич, ўтказувчанлик.

Аннотация

ПЕРЕНОС ТОКА В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x (0 \leq x \leq 0.80)$

Ш.Н.Усмонов, К.Г.Гаимназаров

Методом жидкофазной эпитаксии из ограниченного объема оловянного раствора-расплава выращивались эпитаксиальные слои непрерывного твердого раствора $(\text{GaAs})_{1-x}\text{(ZnSe)}_x$ р-типа проводимости на nGaAs подложках. Исследованы вольт-амперной характеристики (ВАХ) гетероструктур $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x (0 \leq x \leq 0.80)$. На основе модели двойной инжекции для $n\text{-p-p}^+$ -структуры при условии существования минимума в распределении концентрации неравновесных носителей можно объяснить экспериментально наблюдаемой вольт-амперной характеристики гетероструктур $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x (0 \leq x \leq 0.80)$.

Ключевые слова: раствор, расплав, подложка, гетероструктура, эпитаксия, полупроводник, проводимость.

Summary

TRANSFER OF ELECTRIC POWER IN HETERO-STRUCTURE $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x (0 \leq x \leq 0.80)$

Sh.N.Usmonov, K.G.Gaimnazarov

Epitaxial layers of stable hard mixture of $(\text{GaAs})_{1-x}\text{(ZnSe)}_x$ of p-type condition and nGaAs sublayers were grown up by using method of liquid-phase epitaxy from limited volume of basic mixture. Characteristics of VAC hetero-structures $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x (0 \leq x \leq 0.80)$. Basing on double-model of injection for $n\text{-p-p}^+$ -structures under condition of minimal spread of concentration of unstable bases, it is possible to explain experimentally the whole period of VAC for hetero-structures $n\text{-GaAs-p-(GaAs)}_{1-x}\text{(ZnSe)}_x (0 \leq x \leq 0.80)$.

Keywords: mixture, lit, sublayer, hetero-structures, epitaxy, semi-traffic, traffic.