

Фотодиоды для ближней инфракрасной области спектра на основе GaSb/GaAlAsSb-гетероструктур

© Е.В. Куницына, И.А. Андреев, Г.Г. Коновалов, Э.В. Иванов, А.А. Пивоварова, Н.Д. Ильинская, Ю.П. Яковлев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: kunits@iropt9.ioffe.ru

(Получена 29 января 2017 г. Принята к печати 5 февраля 2017 г.)

Созданы и исследованы неохлаждаемые GaSb/GaAlAsSb-фотодиоды для спектрального диапазона 1.1–1.85 мкм. Уникальный метод выращивания GaSb из свинцовых растворов-расплавов позволил достичь низкой концентрации носителей в активной области $n = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Емкость фотодиодов составляла 70–110 пФ при диаметре чувствительной площадки 300 мкм и 150–250 пФ при диаметре 500 мкм соответственно. Для приборов на основе GaSb разработанные фотодиоды характеризуются высокой спектральной чувствительностью $S_\lambda = 0.95 \text{ А/Вт}$ в максимуме, относительно малой величиной плотности обратного темнового тока $j = (4-9) \cdot 10^{-3} \text{ А/см}^2$ при $U_{\text{rev}} = 1.0-2.0 \text{ В}$, высоким быстродействием (время отклика 5–10 нс).

DOI: 10.21883/FTP.2018.09.46158.8830

1. Введение

Экологические проблемы, связанные с техногенным загрязнением атмосферы и водной среды, являются одним из вызовов современному обществу. В ближнем ИК-диапазоне, в окне прозрачности атмосферы 0.95–1.8 мкм, лежат обертоны колебаний легких молекул. В последние годы многие научные центры в мире работают над созданием оптических сенсоров для экологического мониторинга в ближнем ИК-диапазоне, в состав которых входят высокоэффективные фотоприемники.

Предел скорости передачи информации существующих волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) не превышает нескольких гигабит в секунду, что во многом определяется параметрами излучателей и фотоприемников. В настоящее время практически используется окно прозрачности кварца вблизи длин волн 1.3 и 1.55 мкм, имеющих большое значение для развития единой системы обработки и передачи информации [1]. Однако следует ожидать смещения в сторону больших длин волн (вплоть до 3.0 мкм), где меньше оптические потери, и передача информации будет идти с большей скоростью.

В современных оптоволоконных системах наименьшее ослабление оптического сигнала наблюдается вблизи длины волны 1.55 мкм, где большой коэффициент поглощения демонстрируют германий и твердые растворы InGaAs. Широкое применение получили фотоприемники на основе гетероструктур InP/In_{0.53}Ga_{0.47}As, активную область которых имеет коэффициент поглощения $\alpha = 0.705 \text{ мкм}^{-1}$ на длине волны 1.55 мкм и, по сравнению с Ge, более низкую собственную концентрацию носителей [2].

Сегодня промышленные фотодиоды для спектрального диапазона 0.9–1.9 мкм выпускает компания „Hamamatsu“ (Япония) на основе гетероструктур

InGaAs/InP. Неохлаждаемые InGaAs/InP-фотодиоды с длинноволновой границей спектральной чувствительности 1.9 мкм имеют диаметр фоточувствительной площадки 300–3000 мкм, типичную величину обратного темнового тока $I = 1-100 \text{ нА}$ при напряжении смещения $U_{\text{rev}} = 0.5 \text{ В}$, типичную емкость $C = 25-2000 \text{ пФ}$ при $U_{\text{rev}} = 0 \text{ В}$ [3].

На основе GaSb и его твердых растворов были разработаны неохлаждаемые фотодиоды, в том числе лавинные, для средней ИК-области спектра 1.8–2.4 мкм [4,5]. Исследования в этом направлении продолжаются в связи с развитием новых областей применения таких приборов и современными требованиями к их параметрам [6]. Однако для ближней ИК-области спектра на основе GaSb фотоприемники не производятся. Основным препятствием на этом пути является высокая концентрация природных акцепторов $p \sim (2-3) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в GaSb [7], что ограничивает возможности его использования в активной области быстродействующих фотоприемников.

Данная работа является первым шагом к созданию быстродействующих фотоприемников для спектрального диапазона 1.1–1.85 мкм на основе GaSb с низкой концентрацией носителей.

2. Получение экспериментальных образцов

Гетероструктуры GaSb/GaAlAsSb для создания экспериментальных образцов фотодиодов выращивались методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ) на подложках n-GaSb ориентации (100), легированных теллуром до концентрации носителей $(1-5) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Активная область фотодиода GaSb была получена с использованием свинца. Данный метод позволяет изменить соотношение атомных долей сурьмы и галлия в растворе-расплаве и

уменьшить концентрацию природных структурных дефектов в GaSb и его твердых растворах [8–10]. С ростом приведенной концентрации сурьмы в жидкой фазе X_{Sb}^* ($X_{Sb}^* = X_{Sb}/(X_{Sb} + X_{Ga})$, где X — мольная доля компонента в жидкой фазе), концентрация дырок в GaSb уменьшается, достигая минимума в области $X_{Sb}^* = 0.76–0.8$, затем снова растет. Подвижность основных носителей максимальна при $X_{Sb}^* = 0.6$ и резко падает при $X_{Sb}^* = 0.76–0.8$, затем снова возрастает. При этом свинец является нейтральным растворителем, т.е. не образует соединений с компонентами расплава и не включается в твердую фазу и, следовательно, не оказывает непосредственного влияния на электрофизические свойства материала. Таким образом, использование свинца при выращивании эпитаксиального GaSb позволяет получить чистый материал p -типа с низкой концентрацией носителей тока. Для получения материала n -типа проводимости активная область легировалась теллуром. Концентрация в активной области различных образцов гетероструктур GaSb/GaAlAsSb составляла $n = (2.0–30.0) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ в зависимости от содержания свинца в жидкой фазе и уровня легирования. В свою очередь широкозонное „окно“ GaAlAsSb легировалось германием до концентрации $p = (6–8) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Значение ширины запрещенной зоны при $T = 300 \text{ К}$: для GaSb — 0.72 эВ, для GaAlAsSb с содержанием Al в твердой фазе $X_{Al} = 0.34–1.1$ эВ. Толщина слоя n -GaSb для активной области составила 5.0–5.5 мкм, широкозонного „окна“ p -GaAlAsSb — 1.5–2.0 мкм.

Из выращенных образцов гетероструктур методами контактной фотолитографии и жидкостного химического травления были созданы чипы мезоконструкции с диаметром фоточувствительной площадки 300 и 500 мкм. В качестве контактной системы к материалам n - и p -типа использовалась многослойная композиция Cr/Au/Ni/Au, полученная методом термического вакуумного напыления. На лицевые омические контакты — кольцевой для мезы с диаметром 500 мкм и точечный для мезы с диаметром 300 мкм — дополнительно электрохимически осаждался слой Au, толщиной 2 мкм. Фотодиодные чипы монтировались на стандартные корпуса ТО-18.

3. Экспериментальное оборудование и методики исследования

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) фотодиодов исследовались с помощью автоматизированного измерителя ВАХ. Напряжение источника питания изменялось дискретно с шагом 0.05 В. Значения приложенного напряжения и соответствующего ему темнового тока, протекающего через фотодиод, регистрировались в цифровом виде. Полученные данные обрабатывались с помощью компьютерной программы, графики ВАХ, и значения выводились в режиме реального времени на монитор компьютера. Исследования температурных

зависимостей проводились с помощью климатической камеры Thermotron.

Измерения спектров фоточувствительности исследуемых образцов фотодиодов проводились по схеме синхронного детектирования с использованием призменного монохроматора SPM2 (Carl Zeiss), механического модулятора и синхронного детектора Stanford Research SR830. Ключевым дисперсионным элементом монохроматора являлась призма LiF. Излучение от глобара фокусировалось конденсорным зеркалом на входную щель монохроматора. Механический модулятор обеспечивал частоту модуляции излучения 500 Гц. Величина фототока измерялась при подключении исследуемых фотодиодов в фотогальваническом режиме с малым нагрузочным сопротивлением 100 Ом, так как анализ значений дифференциального сопротивления различных образцов показал, что фотодиодные мезоструктуры обладают дифференциальным сопротивлением от 1 до 10 кОм. Сигнал с нагрузочного сопротивления измерялся синхронным детектором сигналов Stanford Research System SR830. Для определения токовой монохроматической чувствительности $S_I(\lambda_{\max})$ использовался метод сравнения с калиброванным приемником излучения.

4. Экспериментальные результаты и обсуждение

4.1. Спектральные характеристики фотодиодов на основе GaSb/GaAlAsSb-гетероструктур

Распределение спектральной чувствительности при $T = 300 \text{ К}$ для GaSb/GaAlAsSb-фотодиодов с диаметром мезы 300 и 500 мкм представлено на рис. 1. Как видно из рисунка, фотодиоды демонстрируют спектральную чувствительность (не менее 10% от максимальной) в диапазоне длин волн от 1.1 до 1.85 мкм, при этом максимальную чувствительность — от 1.2 до 1.7 мкм.

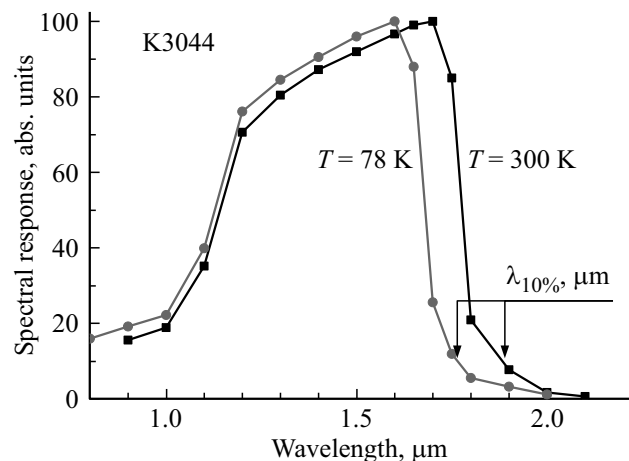


Рис. 1. Распределение спектральной чувствительности GaSb/GaAlAsSb-фотодиода.

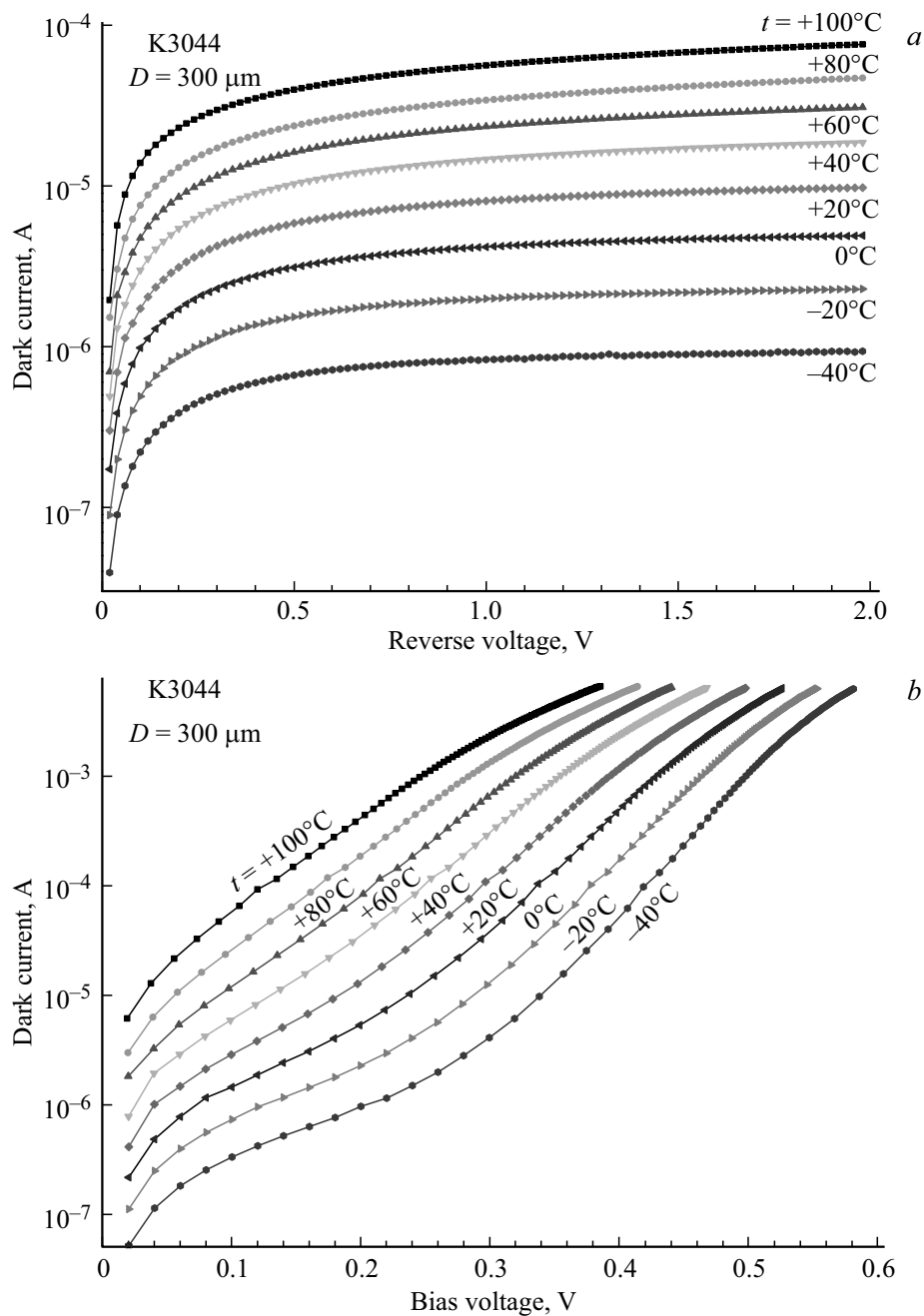


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики GaSb/GaAlAsSb-фотодиода с диаметром чувствительной площадки 300 мкм: *a* — обратная ветвь, *b* — прямая ветвь.

Длина волны, соответствующая 50% спаду fotocувствительности, — 1.75 мкм, что определяется шириной запрещенной зоны материала активной области — GaSb, $E_g = 0.72$ эВ при $T = 300$ К. Токовая монохроматическая чувствительность на длине волны $\lambda = 1.7$ мкм составила 0.95–1.00 А/Вт, что соответствует квантовой эффективности 70–75%.

При расчете температурного сдвига ширины запрещенной зоны активной области $\Delta E_g/\Delta T$ принималось, что E_g зависит от температуры как E_g (эВ) = $0.813 - 3.78 \cdot 10^{-4} \cdot T^2/(T + 94)$ [11]. В диапазоне

$T = 230$ – 370 К была получена величина $\Delta E_g/\Delta T = -3.65 \cdot 10^{-4}$ эВ/К.

4.2. Вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики фотодиодов на основе GaSb/GaAlAsSb-гетероструктур. Быстродействие

Одной из основных задач при разработке фотодиодов является уменьшение величины обратного темнового тока, поскольку обнаружительная способность определя-

ется величиной темнового тока I_d (фотодиодный режим) или шунтирующим сопротивлением $R_0 = (dU/dI)_{U=0V}$ (фотовольтаический режим). Как темновой ток, так и шунтирующее сопротивление сильно зависят от значения ширины запрещенной зоны материала активной области и механизма протекания темнового тока:

$$I_d \propto \exp(-E_g/nkT), \quad (1)$$

где I_d — величина темнового тока, E_g — значение ширины запрещенной зоны, k — постоянная Больцмана, T — температура, n — параметр, который определяется природой темнового тока и изменяется от $n = 1$ (механизм межзонной рекомбинации) до $n = 2$ (механизм генерации-рекомбинации).

Вольт-амперные характеристики GaSb/GaAlAsSb-фотодиодов были исследованы в широком интервале температур от 233 до 373 К (-40°C — $+100^\circ\text{C}$). ВАХ имеют диодный характер, напряжение отсечки в прямой ветке 0.42 В. Зависимости обратного темнового тока от обратного смещения и температуры для фотодиодов с диаметром чувствительной площадки 300 мкм представлены на рис. 2, а. Величина обратного темнового тока для лучших диодов с $D = 300$ мкм достигает значений 1.5–3.0 мкА при обратном напряжении $U_{\text{rev}} = 1$ В. Величина дифференциального сопротивления, оцененная по ВАХ, составляет $R_0 = 40$ –50 кОм при $T = 300$ К.

Температурная зависимость обратного тока фотодиодов с $D = 300$ мкм при смещении $U = -1.0$ В показана на рис. 3. Теоретический расчет температурных зависимостей для генерационно-рекомбинационного и диффузионного механизмов протекания тока выполнен по формулам:

$$I_{G-R} \propto T^{3/2} \exp(-E_g/2kT), \quad (2)$$

$$I_{\text{diff}} \propto \exp(-E_g/kT). \quad (3)$$

Как видно из рис. 3, в диапазоне температур 233–373 К экспериментальные данные не согласуются с результатами теоретического расчета температурных зависимостей ни для одного из двух механизмов протекания тока (см. (1), (2)). Отклонение экспериментальной зависимости от теоретической для генерационно-рекомбинационного тока при низких температурах связано с возрастанием влияния туннельной компоненты темнового тока [12], температурная зависимость которой более слабая. В узкозонных материалах туннельная компонента становится определяющей при высоких напряжениях и низких температурах.

При комнатной температуре для обратных напряжений выше 0.2–0.5 В зависимость $I(U)$ слабая ($I \propto W \propto U^{1/2}$) и описывается соотношением

$$I_{G-R} = q \cdot n_i \cdot W \cdot A / \tau_{\text{eff}}, \quad (4)$$

где q — заряд электрона, A — площадь p - n -перехода, W — ширина слоя объемного заряда, n_i — собственная

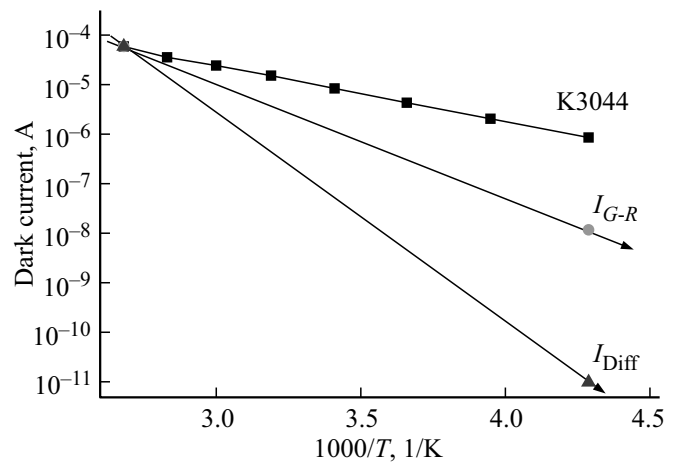


Рис. 3. Зависимость обратного темнового тока GaSb/GaAlAsSb-фотодиода (образец K3044) с диаметром чувствительной площадки 300 мкм от температуры при $U = -1$ В.

концентрация носителей заряда, τ_{eff} — эффективное время жизни неосновных носителей заряда.

Из экспериментальной величины обратного темнового тока было определено эффективное время жизни неосновных носителей заряда: $\tau_{\text{eff}} = (4.0$ – $6.0) \cdot 10^{-9}$ с при $n_i = 1.5 \cdot 10^{12}$ см $^{-3}$ и $W \approx 2$ мкм. Плотность обратного темнового тока для лучших фотодиодов составила $j = (4$ – $9) \cdot 10^{-3}$ А/см 2 при $U = -(0.2$ – $1.0)$ В.

Анализ прямых ветвей ВАХ (рис. 2, б) показал, что ток может быть представлен зависимостью

$$I \propto \exp(qU/\beta kT), \quad (5)$$

где β увеличивается с понижением температуры от 2.03 в температурном диапазоне 373–233 К до значения 4.2. Это свидетельствует о смене механизма прохождения темнового тока от генерационно-рекомбинационного к туннельному.

Для обеспечения минимального уровня шума необходимо, чтобы фотодиод имел низкий обратный темновой ток или соответственно высокое темновое сопротивление в нуле смещения при работе в фотовольтаическом режиме. Задача снижения величины обратного темнового тока взаимосвязана с повышением величины R_0 . Произведение значения дифференциального сопротивления в нуле смещения R_0 на площадь фотодиода A ($R_0 \cdot A$) должно быть максимально высоким при работе в фотовольтаическом режиме, где $R_0 = (dI/dU)^{-1}$ при $U = +10$ – -10 мВ. Для исследуемых GaSb/GaAlAsSb-фотодиодов среднее значение $R_0 \cdot A$ составило 3.0–5.5 Ом · см 2 . Зависимость R_0 от температуры представлена на рис. 4.

Исследование вольт-фарадных характеристик GaSb/GaAlAsSb-фотодиодов с диаметрами чувствительной площадки 300 и 500 мкм показало, что распределение примесей резкое, при этом концентрация носителей в

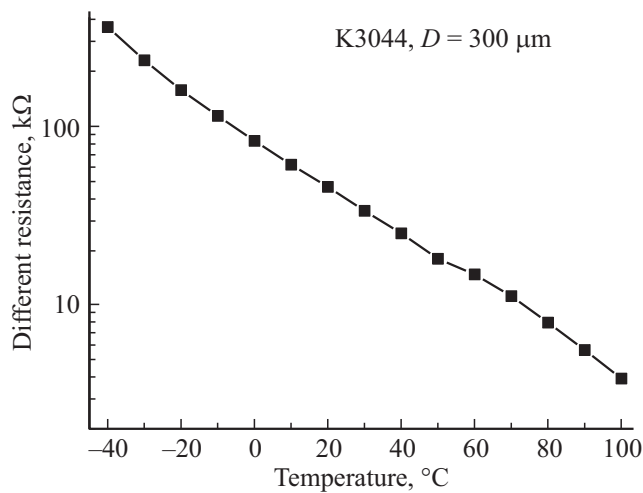


Рис. 4. Дифференциальное сопротивление GaSb/GaAlAsSb-фотодиода с диаметром чувствительной площадки 300 мкм.

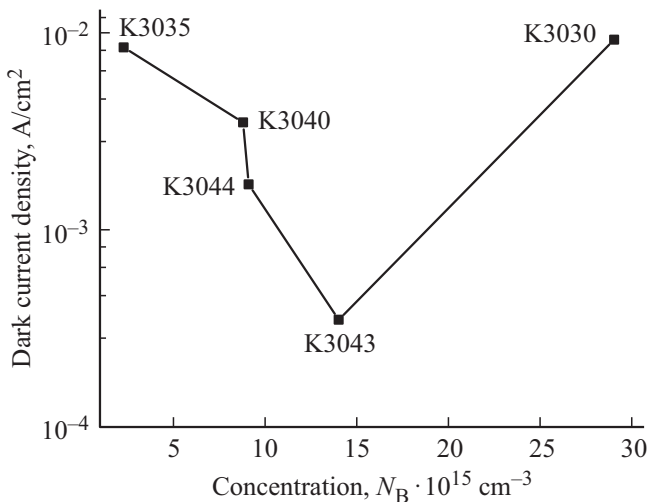


Рис. 5. Зависимость плотности обратного темнового тока GaSb/GaAlAsSb-фотодиодов от концентрации носителей в активной области.

активной области гетероструктуры GaSb/GaAlAsSb снижена до $n = (2.0-30.0) \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Емкость фотодиода составляет 70–110 пФ при диаметре чувствительной площадки 300 мкм и 150–250 пФ при диаметре 500 мкм соответственно. Следует отметить, что емкость фотодиода является величиной, определяющей его быстродействие или увеличение частотной полосы пропускания. Кроме того, следует учитывать влияние расположения $p-n$ -перехода относительно гетерограницы. Для фотодиодов, выращенных методом ЖФЭ, время отклика определяется только RC-компонентой, поскольку гетерограница GaSb/GaAlAsSb практически совпадает с положением $p-n$ -перехода и носители сразу разделяются электрическим полем. При нагрузке в 50 Ом время отклика фотодиодов ($D = 300 \text{ мкм}$) при импульсном воздействии излучения изменялось в диапазоне 5–10 нс.

В данной работе уменьшение емкости GaSb/GaAlAsSb-фотодиодов и повышение их быстродействия было достигнуто за счет снижения концентрации носителей заряда в активной области фотодиода. Благодаря использованию нейтрального растворителя концентрация в GaSb была снижена почти на 2 порядка величины: от $(2-3) \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ (уровень природных акцепторов в данном материале) до $n = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Однако, как показало исследование ВАХ фотодиодов, снижения значения величины темновых токов также на 2 порядка достичь не удалось. Как можно видеть из рис. 5, вначале с уменьшением концентрации носителей в активной области наблюдается резкое уменьшение плотности обратных темновых токов от $1 \cdot 10^{-2}$ до $3 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ с уменьшением концентрации от $(1-3) \cdot 10^{17}$ до $1.5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Затем при дальнейшем снижении концентрации носителей заряда наблюдается скачок темнового тока фотодиода в сторону больших значений. Мы полагаем, что такое резкое возрастание темнового тока связано с увеличением степени компенсации доноров и акцепторов в активной области GaSb при уменьшении концентрации дырок.

Увеличение эффективности фотодиодов возможно за счет повышения быстродействия и обнаружительной способности. Обнаружительная способность D^* фотодиода определяется по формуле [13]

$$D^* = S_i \cdot A^{1/2} / i_n, \quad (6)$$

где S_i — токовая монохроматическая чувствительность, А/Вт; A — площадь чувствительной площадки, cm^2 ; i_n — величина шумового тока, А. Из формулы (6) следует, что для повышения обнаружительной способности фотодиода необходимо снижать величину шумового тока, который связан с величиной обратного темнового тока следующим образом:

$$i_n = (2qI_d \Delta f)^{1/2}, \quad (7)$$

либо снижать величину шумового тока, который связан с повышением значения темнового сопротивления в нуле смещения:

$$i_n = (4kT \Delta f / R_0)^{1/2}, \quad (8)$$

где I_d — величина обратного темнового тока, А; q — заряд электрона, Кл; Δf — полоса пропускания фотоприемника, Гц; k — постоянная Больцмана; T — температура, К; R_0 — темновое сопротивление в нуле смещения, Ом.

Таким образом, для увеличения эффективности фотодиодов необходимо уменьшать площадь чувствительной площадки для уменьшения емкости и соответственно повышения быстродействия фотодиода, однако, с другой стороны, данную площадь необходимо увеличивать для повышения D^* . Выбор пути решения данной проблемы зависит от задачи исследований и области применения.

Создание фотодиодов в ближней ИК-области спектра на основе n -GaSb с низкой концентрацией носителей в активной области (вплоть до собственной

концентрации $5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$) открывает перспективу для разработки быстродействующих приемников с полосой пропускания 5–10 ГГц. Ожидается, что дальнейшее снижение концентрации в активной области фотодиода до $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и уменьшение диаметра чувствительной площадки до 50 мкм [14] позволят снизить емкость фотодиода до 1–3 пФ, при этом быстродействие достигнет 50–150 пс.

5. Заключение

Были разработаны первые фотодиоды на основе GaSb/GaAlAsSb-гетероструктур для диапазона длин волн от 1.1 до 1.85 мкм. В максимуме спектра ($\lambda = 1.7 \text{ мкм}$) при $T = 300 \text{ К}$ спектральная чувствительность фотодиодов достигала величины $S_\lambda = 0.95\text{--}1.00 \text{ А/Вт}$, обнаружительная способность — $D^* = (7\text{--}9) \cdot 10^{10} \text{ см} \cdot \text{Гц}^{1/2} \cdot \text{Вт}^{-1}$.

Изучение природы темнового тока GaSb/GaAlAsSb-фотодиода показало, что при температуре ниже 233 К, а также при обратном смещении более 4 В наблюдается рост туннельной компоненты темнового тока. Плотность обратного темнового тока при смещении $U = -(1.0\text{--}2.0) \text{ В}$ при комнатной температуре для лучших фотодиодов достигает $j = (4\text{--}9) \cdot 10^{-3} \text{ А/см}^2$, произведение $R_0 \cdot A$ составляло 3.0–5.5 Ом · см².

В активной области GaSb/GaAlAsSb-фотодиодов — *n*-GaSb — за счет использования свинца в качестве нейтрального растворителя в сочетании с легированием было достигнуто снижение концентрации носителей заряда почти на 2 порядка величины: от $(2\text{--}3) \cdot 10^{17}$ до $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Исследование вольт-фарядных характеристик показало, что емкость фотодиодов составляла 70–110 пФ при диаметре чувствительной площадки 300 мкм и 150–250 пФ при диаметре 500 мкм соответственно. Быстродействие исследуемых фотодиодов определяется RC-компонентой, и при работе с нагрузкой $R = 50 \text{ Ом}$ время отклика фотодиодов оценивалось как 5–10 нс.

Список литературы

- [1] А.В. Войцеховский, А.П. Коханенко, К.А. Лозовой, А.М. Турапин, И.С. Романов. Успехи прикл. физики, **1** (3), 338 (2013).
- [2] И.Б. Чистохин, К.С. Журавлев. Успехи прикл. физики, **3** (1), 85 (2015).
- [3] www.hamamatsu.com
- [4] И.А. Андреев, М.А. Афраилов, А.Н. Баранов, В.Г. Данильченко, М.А. Мирсагатов, М.П. Михайлова, Ю.П. Яковлев. Письма ЖТФ, **12** (21), 1311 (1986).
- [5] И.А. Андреев, М.А. Афраилов, А.Н. Баранов, М.А. Мирсагатов, М.П. Михайлова, Ю.П. Яковлев. Письма ЖТФ, **14** (11), 986 (1988).
- [6] Е.В. Куницына, Е.А. Гребенщикова, Г.Г. Коновалов, И.А. Андреев, Ю.П. Яковлев. ФТП, **50** (10), 1420 (2016).
- [7] Т.И. Воронина, Б.Е. Джуртанов, Т.С. Лагунова, М.А. Сиповская, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев. ФТП, **32** (3), 278 (1998).
- [8] А.Н. Баранов, Т.И. Воронина, Т.С. Лагунова, И.Н. Тимченко, З.И. Чугуева, В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев. ФТП, **23**, 780 (1979).
- [9] E.V. Kunitsyna, I.A. Andreev, N.A. Charykov, Yu.V. Solovlev, Yu.P. Yakovlev. Appl. Surf. Sci., **142**, 371 (1999).
- [10] R. Hernández-Zarazúa, M. Hernández-Sustaita, F. de Anda, V.A. Mishurnyi, A.Yu. Gorbachev, R. Asomoza, Yu. Kudriavtsev, J.A. Godines. Thin Sol. Films, **461** (2), 233 (2004).
- [11] M.C. Wu, C.C. Chen. J. Appl. Phys., **72** (9), 4275 (1992).
- [12] J.L. Moll. In: *Physics of Semiconductors* (N.Y., McGraw Hill, 1964).
- [13] R.C. Jones. In: *Advances in Electronics* (N.Y., Academic, 1953) v. 5, p. 1.
- [14] И.А. Андреев, О.Ю. Серебренникова, Г.С. Соколовский, В.В. Дюделев, Н.Д. Ильинская, Г.Г. Коновалов, Е.В. Куницына, Ю.П. Яковлев. ФТП, **47** (8), 1109 (2013).

Редактор Г.А. Оганесян

Photodiodes based on GaSb/GaAlAsSb Heterostructures for the Near-Infrared Spectral Range

E.V. Kunitsyna, I.A. Andreev, G.G. Kononov;
E.V. Ivanov, A.A. Pivovarova, N.D. Il'inskaya,
Yu.P. Yakovlev

Ioffe Institute,
194021 St. Petersburg, Russia

Abstract We have developed the GaSb/GaAlAsSb-photodiodes for room temperature operation in the spectral range of 1.1–1.85 μm . A unique method of growing GaSb from lead solution-melts made it possible to achieve low carrier concentration in the active region of $n = 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. Capacity of the photodiodes was 70–110 pF for a diameter of sensitive pad of 300 μm and 150–250 pF for a diameter of 500 μm , respectively. The developed photodiodes are characterized by high spectral sensitivity of $S_\lambda = 0.95 \text{ A/W}$ at the maximum, a relatively low density of the reverse dark current $j = (4\text{--}9) \cdot 10^{-3} \text{ A/cm}^2$ at $U_{\text{rev}} = 1.0\text{--}2.0 \text{ V}$, as well as high speed (response time of 5–10 ns).