

Распределение излучения в светодиодах на основе GaInAsSb/GaSb

© А.Л. Закгейм⁺, Н.Д. Ильинская[≠], С.А. Карандашев[≠], Б.А. Матвеев^{≠¶},
М.А. Ременный[≠], А.Е. Черняков⁺, А.А. Шленский*

⁺ Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур при Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия

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

* Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности (ГИРЕДМЕТ), 119017 Москва, Россия

(Получена 5 августа 2008 г. Принята к печати 2 сентября 2008 г.)

Представлены результаты исследования картин ближнего поля инфракрасных флип-чип светодиодов на основе твердых растворов GaInAsSb, излучающих в области 2 мкм. Обсуждаются отражательные и электрические свойства контактов, а также анализируется характер распределения излучения в ближнем поле в зависимости от тока и электрических и геометрических параметров светодиодов.

PACS: 78.55.Cr, 78.60.Fi, 85.60.Jb

1. Введение

Свето- и фотодиоды, имеющие рабочую длину волны в области 2.0–2.5 мкм, представляют интерес в связи с возможностью создания на их основе малогабаритных оптических анализаторов, например, определяющих уровень глюкозы в крови [1]. При разработке таких светодиодов, равно как и при их использовании, помимо средней мощности излучения, важным является ее пространственное распределение. Информация о распределении излучения в „ближнем поле“ важна также и при проектировании пассивных оптических деталей, например, иммерсионных линз или оптических волокон, интегрированных с чипом [2]. Указанная информация для светодиодов, излучающих в области длины волны $\lambda = 2$ мкм, в литературе практически отсутствует; в то же время игнорирование неравномерности пространственного распределения излучения может являться причиной ошибок при определении эффективности работы светодиодов, например, при оценке интегральной мощности излучения, основанной на измерениях с помощью фотоприемника, имеющего меньшие по сравнению со светодиодом размеры. В работе [2] приводится изображение флип-чип диода на основе структур GaSb/InGaAsSb при прямом смещении, полученное на длине волны $\lambda = 2.2$ мкм, однако оно получено с недостаточно высоким пространственным разрешением. Помимо этого, в [2] отсутствуют изображения при нулевом токе, содержащие дополнительную информацию, позволяющую судить, например, об отражающих свойствах границы полупроводник/металл (контакт). Нам не удалось найти в литературе данных об отражательных свойствах контактов, использующихся в свето- и фотодиодах диапазона $\lambda = 2.0$ –2.5 мкм, хотя важность этих свойств отмечается большинством авторов, описываю-

щих работу свето- или фотодиодов, изготовленных на прозрачных подложках и(или) буферных слоях.

Так, например, авторы [3,4] сообщали об отражении излучения от тыльного контакта в фотодиодах, выращенных на подложках *n*-GaSb и освещаемых со стороны подложки и эпитаксиального слоя соответственно. При этом авторы [3] указанное отражение обосновывают изменениями времени спада и интенсивности фотолуминесценции по сравнению с аналогичными образцами без отражающего контакта; в работе [4] обоснование высокой отражательной способности контакта не приводится.

В данной работе мы приводим инфракрасные „собственные“ и в отраженных лучах изображения высокого разрешения флип-чип диодов на основе *p*-InGaAsSb/*n*-InGaAsSb, имеющих рабочий диапазон длин волн $\lambda = 2.0$ –2.2 мкм (300 К), и анализируем распределение излучения и отражательные характеристики омических контактов к *n*- и *p*-GaSb.

2. Образцы и методика эксперимента

Исследовались образцы двух типов, а именно выращенные на подложках GaSb(100) *n*- либо *p*-типа проводимости толщиной 400–500 мкм. Образцы типа 1 (L7) были аналогичны описанным нами ранее в [2,5] и состояли из слоя *n*-In_{0.15}Ga_{0.85}As_{0.13}Sb_{0.87} толщиной 2–3 мкм, слоя *p*-In_{0.15}Ga_{0.85}As_{0.13}Sb_{0.87} толщиной 0.5–1 мкм и сильно легированного германием контактного слоя *p*⁺-GaSb с концентрацией дырок $p = (0.5–1) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ толщиной 3–5 мкм, сформированных на подложке *n*-GaSb(Te) (концентрация электронов $n = 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, удельное сопротивление $\rho \approx 6.1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$).

В образцах типа 2 (C171) на подложке *p*-типа ($p = 1.1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $\rho \approx 0.11 \text{ Ом} \cdot \text{см}$) последовательно наращивались слои *p*-In_{0.15}Ga_{0.85}As_{0.13}Sb_{0.87} (2.1–2.3 мкм) и *n*-GaSb (5.0–5.2 мкм).

¶ E-mail: bmat@iropt3.ioffe.rssi.ru

Образцы обрабатывались с помощью методов стандартной „мокрой“ фотолитографии и представляли собой меза-диоды с круглой активной областью и расположением омических контактов (круглого и подковообразного, т.е. подобного латинской букве U) на эпитаксиальной стороне структуры, как показано на рис. 1. Изготовленные вакуумным термическим распылением Ni, Cr, Au контакты, утолщались путем электролитического (гальванического) осаждения золота; контакты специально не вжигались. Исследовались образцы со следующими соотношениями диаметров мезы и круглого кон-

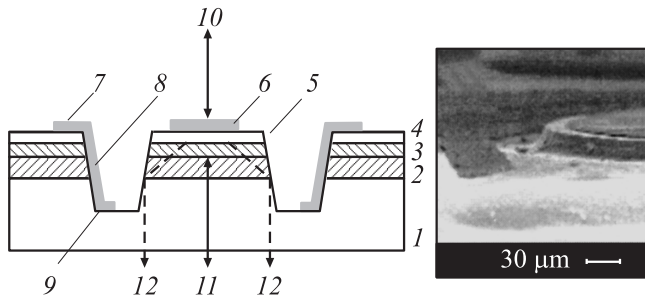


Рис. 1. Схема (разрез) (слева) и изображение в сканирующем электронном микроскопе (справа) исследуемых чипов. 1 — подложка GaSb, 2 — первый от подложки слой InGaAsSb, 3 — второй от подложки слой InGaAsSb, 4 — контактный сильно легированный слой GaSb, 5 — круглая меза, 6 — круглый металлический контакт к мезе, (7, 8, 9) — U-образный металлический контакт (7 — плоская часть, „лежащая“ на GaSb, 8 — склон контакта, 9 — плоская часть, „лежащая“ на подложке), 10 — направление наблюдения со стороны эпитаксиальных слоев, 11 — направление наблюдения со стороны подложки, 12 — лучи, отраженные от стенок мезы. Образцы типа 1: (1, 2) — слои *n*-типа, (3, 4) — слои *p*-типа проводимости. Образцы типа 2: (1, 2) — слои *p*-типа, (3, 4) — слои *n*-типа проводимости.

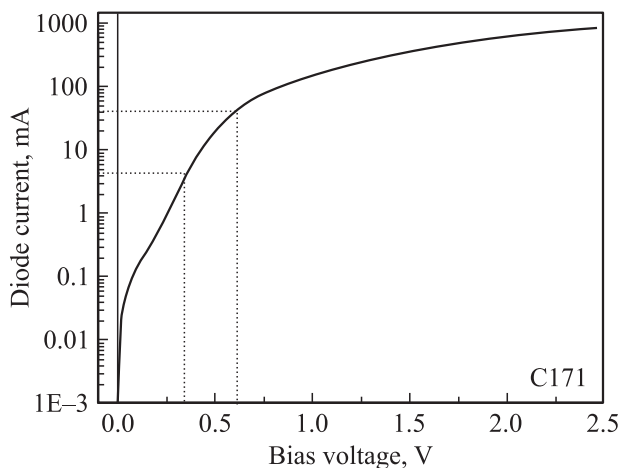


Рис. 2. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики образцов типа 2. Показаны значения токов, использованных при получении изображений: 4 мА (область экспоненциального изменения тока) и 40 мА (переходная область, близкая к линейному участку характеристики). Диаметр мезы $D = 430$ мкм.

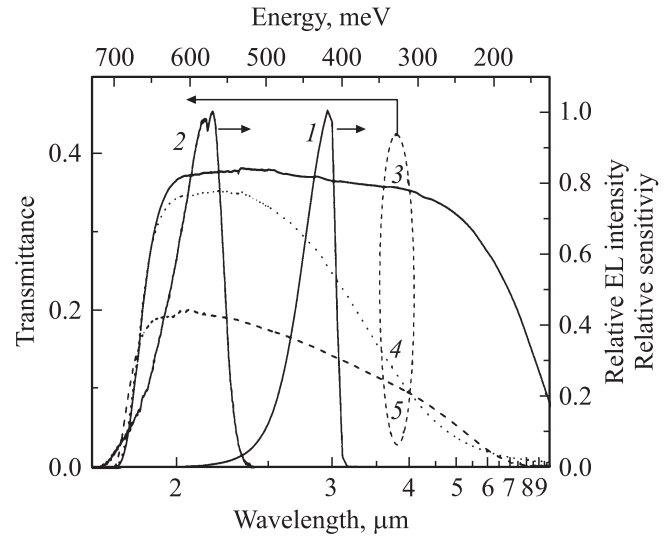


Рис. 3. Спектры чувствительности фотоприемной системы (1), электролюминесценции (EL) чипов типа 2 (2) и пропускания подложек толщиной 500 мкм *n*-GaSb с $n = 4 \cdot 10^{17}$ (3), $1.5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ (5) и *p*-GaSb с $p = 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (4).

такта: 300/240 мкм, 200/150 мкм (для образцов типа 1) и 430/390 мкм (для образцов типа 2).

В работе изучались как „электрически пассивные“ диодные чипы, лежащие на прозрачных сапфировых пластинах, так и чипы, собранные по методу флип-чип, а именно припаянные на монтажную плату из полупроводящего кремния с нанесенными на нее электродами для подачи смещения U на *p-n*-переход. На рис. 2 приведена вольт-амперная характеристика диода типа 2; вольт-амперные характеристики образцов типа 1 в целом были аналогичны приведенным нами ранее в работе [5].

Регистрация излучения осуществлялась с помощью инфракрасного микроскопа, изготовленного на основе гибридной микросхемы охлаждаемого (77 К) матричного фотоприемного устройства InAs 128×128 с шагом элементов 50 мкм [6]; размеры поля зрения микроскопа составляли 400×400 мкм.¹ В ряде измерений использовалась внешняя подсветка с помощью „иммерсионного“ светодиода, питаемого постоянным током 20 мА и имевшего максимум излучения при $\lambda = 2.9$ мкм (300 К) [7].² На рис. 3 приведены спектральные характеристики фотоприемного устройства, спектры электролюминесценции исследованных чипов, а также спектры пропускания пластин *n*-GaSb и *p*-GaSb толщиной 500 мкм.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Электрически пассивные чипы ($U = 0$)

На рис. 4 приведены фотография поверхности свободного, т.е. электрически неактивного и без монтажной

¹ Микроскоп изготовлен в Институте физики полупроводников СО РАН (Новосибирск, Россия).

² Светодиод изготовлен в ООО „Июффе ЛЕД“.

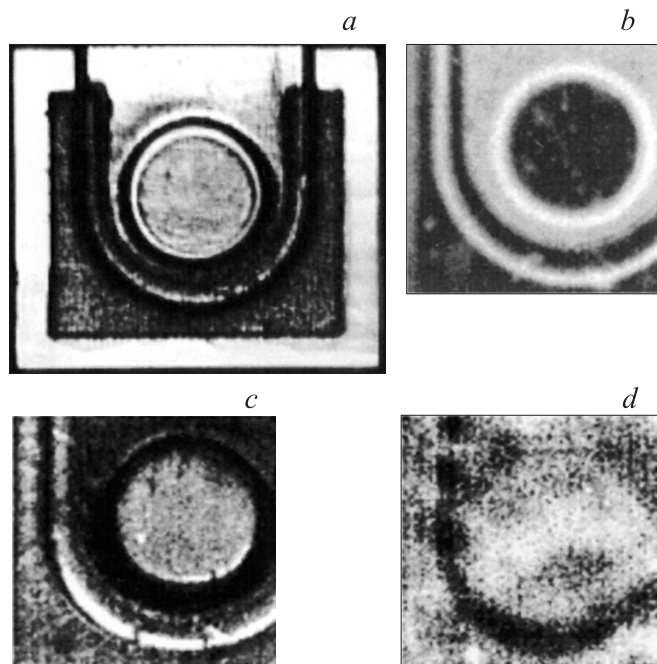


Рис. 4. Фотография чипа типа 1 (*a*), его ИК изображения со стороны контактной поверхности (*b, c*) и со стороны подложки (*d*). Изображение (*c*) получено при внешней подсветке.

платы чипа типа 1 (*a*), и его инфракрасные (ИК) изображения, полученные с эпитаксиальной стороны *p*-типа (т.е. со стороны контактов), при термодинамическом равновесии с окружающей средой (температура $T = 300$ К) (*b*) и при подсветке внешним источником (*c*). На этом и последующих рисунках слабо светящиеся области — темные, а области с повышенной светимостью — светлые. В соответствии с принципом Кирхгофа пониженная излучательная способность в равновесных условиях указывает на высокий коэффициент отражения объекта; применительно к нашему случаю (рис. 4, *b*) такими объектами являются центральная круглая и U-образная области, покрытые гальваническим золотом, т.е. соответственно анод и катод. Вывод о высокой отражательной способности гальванического золота подтверждается данными рис. 4, *c*, из которого видно, что при подсветке внешним источником прежде темные области изображения инвертируются в яркие области. На ИК изображениях можно рассмотреть также и другие детали, отражающие особенности топологии чипа: светлая линия в виде буквы U на рис. 4, *b* соответствует изображению склона катодата; аналогично этому склон мезы также проявляется в виде яркого кольца вокруг темного круглого контакта.

При измерениях со стороны подложки *n*-GaSb (рис. 4, *d*) ИК изображения теряют некоторые из вышеописанных деталей, однако на них все же можно различить элементы, схожие по геометрии с топологией чипа. Действительно область U-образного катода, не

содержащая слоев *p*-GaSb/*p*-InGaAsSb/*n*-InGaAsSb (химически вытравленная область — позиция 9 на рис. 1), проявляется в виде узкой темной полосы. Это указывает на эффективное отражение излучения в данной области чипа, т.е. на высокий коэффициент отражения от границы *n*-GaSb/металл в области внутренней (ближней к мезе) кромки катода. Размытость изображения объясняется присутствием неоднородностей (ямok травления) на обращенной к микроскопу поверхности *n*-GaSb.

Инфракрасные изображения контактной поверхности в образцах типа 2, выращенных на *p*-GaSb, аналогичны приведенным на рис. 4, однако изображения, полученные со стороны подложки, выглядят иначе: в отличие от образцов типа 1 в них на равновесных изображениях хорошо различим круглый контакт (катод) к мезе (см. рис. 5, *b*). Катод представлен на изображении в виде темного диска, что, очевидно, связано с его хорошими отражательными характеристиками. Вместе с тем нам не удалось получить четкое изображение U-образного анода ни в области его контакта с подложкой *p*-GaSb в свободной от слоев *n*-GaSb/*p*-InGaAsSb части (рис. 5, *b*), ни в удаленных от склона контакта областях, в которых металл напылен на *n*-GaSb. Поскольку анод и катод формировались на двух разных стадиях изготовления диода, то отличия отражательных свойств номинально одного и того же набора металлов связано, вероятно, с неконтролируемыми различиями в процессах напыления.

При включении внешней подсветки оба контакта в образце типа 2 проявляют отражательные свойства, что представлено светлым фоном в соответствующих областях на рис. 5, *c* (направление наблюдения *II* на рис. 1). Можно, однако, заметить, что вышесказанное не относится к узкой области в виде буквы U, местоположение которой соответствует области анода шириной ~ 40 мкм, осуществляющей электрический контакт с подложкой *p*-GaSb (9 на рис. 1). Эта область не проявляет отражательных свойств ни в равновесных условиях (рис. 5, *b*), ни при подсветке (рис. 5, *c*).

С использованием данных по распределению отраженного излучения в области длины волны $\lambda = 3$ мкм определялось отношение амплитуд излучения, отраженного от контакта и от близко расположенной к нему границы полупроводник/воздух (P_1/P_2); коэффициент отражения от контакта полагался равным $R_1 = R_2 P_1/P_2$, где $R_2 = 0.34$. Согласно предложенному подходу, в исследованных образцах граница катод/*n*-GaSb характеризовалась коэффициентом отражения $R_1 \approx 0.7$, в то же время нами не получено данных, подтверждающих, что граница анод/*p*-GaSb также является отражающей. В силу слабой зависимости коэффициента отражения металла от длины волны сказанное можно, по-видимому, распространить и на область $\lambda = 2$ мкм, т.е. на рабочую область диодов.

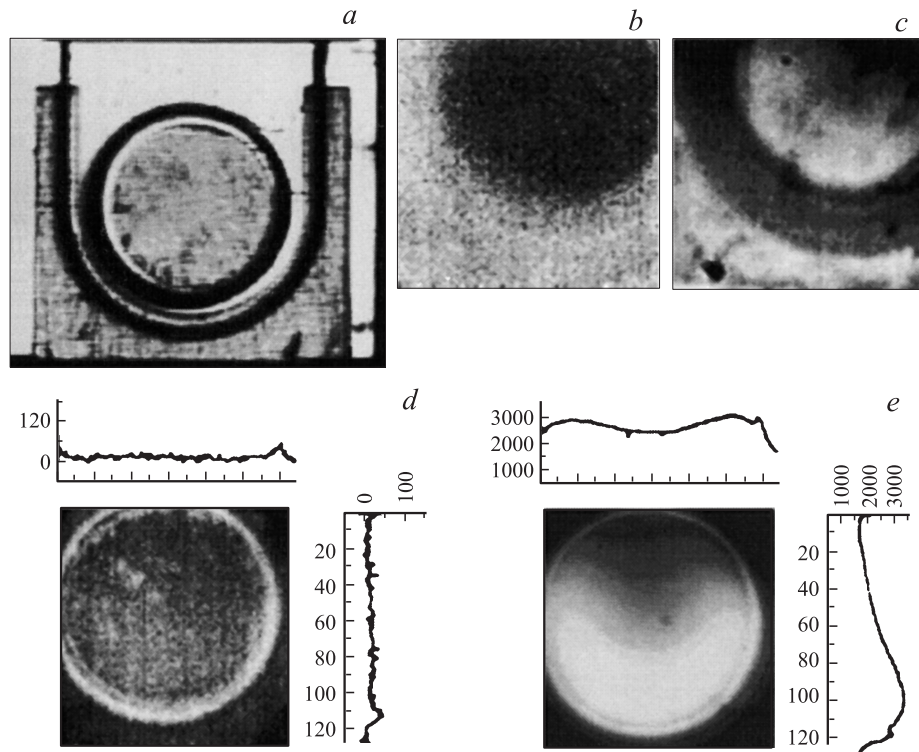


Рис. 5. Фотография чипа типа 2 (*a*), его ИК изображения в равновесных условиях (*b*) и при подсветке (*c*) со стороны подложки *p*-GaSb. *d, e* — изображения со стороны подложки *p*-GaSb при постоянном токе через диод амплитудой 4 и 40 мА соответственно.

3.2. Электрически активные чипы ($U \neq 0$)

При подаче постоянного прямого смещения на диоды многие неяркие детали равновесных изображений, описанные выше, не выявлялись из-за высокой интенсивности электролюминесценции. Изображения диодов со стороны подложки *n*-GaSb (образцы типа 1, направление наблюдения *II* на рис. 1) при малых токах в целом повторяли основные черты изображений, приведенных в работе [2], а именно имели центральное симметричное „плато“ с равномерным в его пределах распределением интенсивности излучения вдоль излучающей поверхности. При больших токах в нашем случае имелось некоторое размытие изображения, выражающееся прежде всего в появлении ореола вокруг основного изображения мезы. Появление ореола обусловлено особенностями конструкции микроскопа и будет обсуждено в отдельной работе. Ожидаемый после вычета ореола размер плато меньше, чем размер анода, в соответствии с преломлением лучей на границе полупроводник/воздух.

Наиболее интересными нам представляются „электролюминесцентные“ изображения образцов типа 2, выращенных на подложках *p*-GaSb, поскольку в них была обнаружена неоднородность излучения вдоль излучающей поверхности, обусловленная особенностями конструкции чипов. Получение такого распределения стало возможным благодаря невысокой прозрачности *p*-GaSb (см. рис. 3) и возможности получать четкие изображения

без ореола не только при малых, но также при средних и больших значениях тока. На рис. 5, *d, e* приведены ИК изображения диода, полученные при токе через диод 4 и 40 мА соответственно. Распределение интенсивности излучения в вертикальном и горизонтальном относительно чертежа сечениях представлено соответственно справа и сверху от основного изображения.

При токе 4 мА на рис. 5 хорошо различимо светящееся кольцо, расположенное по краю мезы; центральная часть мезы при этом имеет более слабое, чем в кольце, равномерно распределенное свечение. При больших токах (40 мА) равномерность свечения нарушается: светящаяся область стягивается в серп, ориентированный по изогнутой (нижней на рис. 5) части анода, при этом в „горизонтальном“ сечении, проходящем через центр мезы, имеется провал интенсивности свечения в ее центре, а в „вертикальном“ — концентрация излучения вблизи от изогнутой части анода. Из сопоставления яркости и геометрического расположения соответствующих областей понятно, что светимость локальных областей диода убывает при увеличении расстояния от анода.

Для объяснения причин различий распределения интенсивности электролюминесцентного излучения в образцах типов 1 и 2 сделаем предположение о несущественности фотонного перераспределения излучения в двух вышеописанных структурах. Такой подход оправдан тем, что внутренний квантовый выход в подобных структурах значительно меньше 70% [5]. В рамках этого

предположения распределение излучения приблизительно следует распределению плотности тока в структурах, которое определяется как геометрией контактов, так и соотношением сопротивлений слоев и контактов, пронызываемых током.

Ввиду малости сопротивления p - n -перехода при больших смещениях заметный вклад в последовательное сопротивление диодов второго типа ($R_s = 1.8 \text{ Ом}$) вносит подложка p -GaSb из-за ее высокого удельного сопротивления ($\rho \approx 0.11 \text{ Ом} \cdot \text{см}$). В пользу этого свидетельствуют оценки величин переходных контактных сопротивлений ($R_c^n = 0.24$, $R_c^p = 0.81 \text{ Ом}$), показывающие несущественность сопротивления круглого катода на фоне сопротивления других областей диода.³ Поэтому для областей p - n -перехода, удаленных от U-образного анода (верхние области на рис. 5, *e*), величина суммарного локального последовательного сопротивления для протекающего тока выше, чем в областях, приближенных к последнему (т.е. для нижних областей на рис. 5, *e*). В соответствии с этим локальная плотность тока при больших смещениях неравномерна по поверхности, она максимальна для близких к аноду областей и минимальна для удаленных, например, для областей в центре мезы. Нетрудно видеть, что область с максимальным значением интенсивности излучения смещена внутрь мезы относительно ее края, что, вероятно, обусловлено полным внутренним отражением излучения на границе p -GaSb/воздух. Последнее сужает наблюдаемое ИК изображение относительно исходного (т.е. внутри кристалла) распределения.

В образцах с подложкой n -GaSb с низким объемным сопротивлением ($\rho \approx 6.1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$) основной вклад в сопротивление вносит контактное сопротивление. Действительно, согласно данным из работы [5], последовательное сопротивление в образцах с аналогичными размерами контактных областей составляет 0.37 Ом , что с учетом различий в методах получения подложек и контактных слоев близко к оценке контактных сопротивлений, сделанных в данной работе ($R_c^n \approx R_c^p \approx 0.4 \text{ Ом}$). Очевидно, что распределение линий тока при этом слабо зависит от удаленности катода от локальных областей в пределах мезы (точнее — в пределах надконтактной области) и является поэтому равномерным. В этой связи можно упомянуть экспериментальные наблюдения стягивания области свечения, имеющей плато, до размеров, близких к размеру анода в диодных структурах, полученных на низкоомных подложках n -InAs [9], являющихся аналогами рассматриваемых здесь образцов как с точки зрения геометрических параметров, так и с точки зрения соотношения между

³ Значения удельных контактных сопротивлений ρ_c^n, ρ_c^p были получены при измерениях на описанных выше подложках GaSb n -, p -типа проводимости с использованием метода TLM (transmission line method) с набором фотошаблонов, предложенных в [8]. Значения сопротивлений R_c^n, R_c^p получали делением ρ_c^n, ρ_c^p на электрически активную (эффективную) площадь контактов.

сопротивлением подложки и контактным сопротивлением анода.

Вышеприведенные соображения объясняют также равномерность распределения излучения при малых токах (рис. 5, *d*) в образцах обоих типов. Действительно, в области малых токов (см. рис. 2) экспоненциальный характер изменения тока (I) от напряжения (U) $I = I_0 [\exp(qU/\eta kT) - 1]$, где I_0 — ток насыщения, q — заряд электрона, T — температура, k — постоянная Больцмана, $\eta = 2.7$, свидетельствует о доминирующем вкладе сопротивления области объемного заряда и несущественности вклада в сопротивление других областей диода. В нашем случае при токе 4 мА сопротивление p - n -перехода в образцах второго типа достигает $\sim 74 \text{ Ом}$; растекание тока (распределение излучения) при этом равномерно по мезе (см. рис. 5, *d*). Дальнейшее увеличение тока приводит к падению общего сопротивления прибора до $\sim 13 \text{ Ом}$ (40 мА) и неравномерности токопрохождения с последующим ограничением тока последовательным сопротивлением.

Приведенные объяснения согласуются также с оценками эффективной длины растекания, определяющей расстояние от края контакта, на котором амплитуда тока спадает в e раз, в структурах, в которых оба контакта располагаются на одной стороне образца, т.е. в аналогах рассматриваемых здесь образцов [10]:

$$L_s = \sqrt{(R_c + \rho_p t_p) t_n / \rho_n},$$

где R_c — сопротивление контакта на мезе, t_n, t_p, ρ_n, ρ_p — толщины и объемные сопротивления для слоев n - и p -типа проводимости соответственно. Используя приведенные выше данные для ρ_n, ρ_p , а также значения контактных сопротивлений мы получили существенно различные значения эффективной длины растекания в образцах, полученных на n - и p -подложках GaSb ($L_s^{(1)} \approx 9$, $L_s^{(2)} \approx 0.4 \text{ мм}$ соответственно),⁴ что согласуется с приведенными выше объяснениями различия растекания тока.

Одной из особенностей ИК изображений диодов является светящееся кольцо, окаймляющее основное изображение мезы (рис. 5). Возможной причиной появления кольца является отражение электролюминесцентного излучения от наклонных стенок мезы, показанное штриховыми линиями на рис. 1. Кольцо хорошо видно как при малых, так и при больших токах, однако приведенное соображение не дает полного объяснения всех особенностей изображения, в частности не объясняет различия в соотношении между интенсивностью в кольце и внутри мезы: при малых токах излучение в кольце более интенсивное, чем в областях вблизи центра мезы, при больших токах соотношение интенсивностей зеркально противоположное.

⁴ Для образцов второго типа при вычислениях произведена замена индексов $n \rightarrow p, p \rightarrow n$.

4. Заключение

Получена и качественно объяснена зависимость характера распределения электролюминесцентного излучения в ближнем поле от соотношения объемного сопротивления подложки и контактного сопротивления в диодах на основе p -GaInAsSb/ n -GaInAsSb.

Проведенные исследования показали, что с использованием разработанной нами методики нанесения металлов Ni, Cr, Au можно изготовить омические контакты с отражательными свойствами в области длины волны $\lambda = 3$ мкм как на границе с воздухом ($R \approx 0.7$), так и на границе контакт/ n -GaSb ($R \approx 0.7$). В то же время граница контакт/ p -GaSb, по-видимому, слабо отражает излучение в области 3 мкм. Рассмотренные в работе подходы и методика оценки отражательных свойств контактов будут полезны при разработке светодиодов, фотодиодов и лазеров среднего ИК диапазона (2–5 мкм).

Авторы выражают благодарность А.А. Усиковой и М.В. Чаус за помощь в работе.

Работа частично поддержана грантом седьмой рамочной программы ЕС (FP7, MINIGAS, #224625).

Список литературы

- [1] B.L. Carter, E. Shaw, T. Olesberg, W.K. Chan, T.C. Hasenberg, M.E. Flatte. *Electron. Lett.*, **36**, 1301 (2000).
- [2] С.А. Карандашев, Б.А. Матвеев, М.А. Ременный, А.А. Шленский, Л.С. Лунин, В.И. Ратушный, А.В. Корюк, Н.Г. Тараканова. *ФТП*, **41**, 1389 (2007).
- [3] M.H.M. Reddy, J.T. Olesberg, C. Cao, J.P. Prineas. *Semicond. Sci. Technol.*, **21**, 267 (2006).
- [4] Б.Е. Журганов, Н.Д. Ильинская, А.Н. Именков, М.П. Михайлова, К.В. Калинина, М.А. Сиповская, Н.Д. Стоянов, Ю.П. Яковлев. *ФТП*, **42**, 468 (2008).
- [5] Н.В. Зонова, Н.Д. Ильинская, С.А. Карандашев, Б.А. Матвеев, М.А. Ременный, Н.М. Стусь, А.А. Шленский. *ФТП*, **40**, 356 (2006).
- [6] В.М. Базовкин, А.А. Гузев, А.П. Ковчавцев, Г.Л. Курышев, А.С. Ларшин, В.Г. Половинкин. *Прикл. физика*, № 2, 97 (2005).
- [7] www.ioffeled.com
- [8] А.Н. Андреев, М.Г. Растегаева, В.П. Растегаев, С.А. Решанов. *ФТП*, **32**, 832 (1998).
- [9] Н.В. Зонова, Н.Д. Ильинская, С.А. Карандашев, Б.А. Матвеев, М.А. Ременный, Н.М. Стусь. *ФТП*, **42**, 641 (2008).
- [10] X. Guo, E.F. Schubert. *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 3327 (2001).

Редактор Л.В. Шаронова

Radiation distribution in GaInAsSb/GaSb flip-chip diodes

A.L. Zakgeim⁺, N.D. Il'inskaya⁺, S.A. Karandashev⁺, B.A. Matveev⁺, M.A. Remennyi⁺, A.E. Cherniakov⁺, A.A. Shlenskii*

⁺ Scientific–Technological Center for Microelectronics and Submicron Heterostructures at Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences, 194021 St. Petersburg, Russia ⁺ Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences, 194021 St. Petersburg, Russia
* State Research Institute for Rare-Metal Industry, 119017 Moscow, Russia

Abstract Here we present near-field distribution in infrared GaInAsSb based light emitting diodes (LED) emitting around 2 μ m spectral band. Electrical and reflective properties of ohmic contacts are discussed together with radiation distribution at different bias conditions.