

06.2;07

Светодиоды на основе гетероструктур InAs/InAsSb для спектроскопии CO₂ ($\lambda = 4.3 \mu\text{m}$)

© А.С. Головин, А.П. Астахова, С.С. Кижаяев, Н.Д. Ильинская,
О.Ю. Серебренникова, Ю.П. Яковлев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
E-mail: and-golovin@yandex.ru

Поступило в Редакцию 23 июля 2009 г.

Созданы светодиоды на основе гетероструктур InAs/InAsSb, выращенных методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений, работающие в спектральном диапазоне 4.1–4.3 μm . Для увеличения вышедшего из кристалла излучения выбрана флип-чип конструкция светодиодов. Созданы два типа светодиодов — с гладкой и развитой световыводящей поверхностью. Исследованы электролюминесцентные свойства. Показано, что светодиоды с развитой световыводящей поверхностью более эффективны за счет увеличения выхода излучения из кристалла из-за переотражения от криволинейной поверхности. Мощность светодиодов в квазинепрерывном режиме (QCW) составила 30 μW при токе 200 мА, в импульсном режиме — 0.6 мW при токе 2 А.

В настоящее время существует потребность в приборах, контролирующих концентрацию углекислого газа в окружающей среде. Основная полоса поглощения CO₂ лежит в диапазоне длин волн 4.1–4.5 μm . По своим возможностям оптические методы газового анализа обладают рядом преимуществ перед используемыми в этом классе приборами на основе электрохимических и каталитических методов, обеспечивая высокое быстродействие, селективность, устойчивость к агрессивным средам, продолжительный срок службы [1–3]. В современных оптических методах измерения концентрации CO₂ в атмосфере, как правило, используют тепловые источники излучения [4]. Полупроводниковые светодиоды имеют ряд преимуществ по сравнению с тепловыми источниками — они потребляют меньшую мощность, обладают высокой частотой модуляции и узким спектром излучения, имеют существенно меньшие размеры [4–6].

Основным недостатком светодиодов для спектроскопии CO_2 , ограничивающим их применение, является низкая оптическая мощность. Увеличение мощности излучения светодиодов может быть достигнуто за счет увеличения как внутреннего, так и внешнего квантового выхода. Однако увеличение внутреннего квантового выхода для светодиодов $4.1\text{--}4.3\ \mu\text{m}$ значительно ограничивается высокой безызлучательной Оже-рекомбинацией по сравнению с более коротковолновыми светодиодами, а также дислокациями в гетероструктуре из-за рассогласования параметров решетки эпитаксиального слоя InAsSb и подложки InAs . Увеличение внешнего квантового выхода может быть достигнуто за счет усовершенствования конструкции светоизлучающего чипа, направленного на увеличение вывода света из кристалла.

Данная работа направлена на увеличение предельной мощности светодиодов на основе гетероструктур InAs/InAsSb за счет использования флип-чип конструкции с развитой световыводящей поверхностью и является продолжением наших работ по созданию эффективных светодиодов средней инфракрасной области спектра [6,7].

Для создания светодиодов из полученных полупроводниковых структур была выбрана флип-чип конструкция (рис. 1). Достоинством флип-чип светодиодов является расположение электрических контактов с одной стороны и вывод излучения через свободную обратную поверхность. Отсутствие контактов на световыводящей поверхности дает возможность применения иммерсионных линз. Монтаж кристалла эпитаксиальным слоем вниз существенно улучшает теплоотвод и, таким образом, позволяет использовать большие рабочие токи. К недостаткам флип-чип конструкции следует отнести неомогенное растекание токов по кристаллу.

Светодиодные чипы формировались методом стандартной фотолитографии. Для создания омических контактов наносилась система Cr , Au , Ni . Размер чипов $670 \times 770\ \mu\text{m}$, толщина $200\ \mu\text{m}$. Чипы монтировались на стандартный корпус типа TO-18.

Было изготовлено два типа светодиодов. Тип А — светодиоды с гладкой световыводящей поверхностью. Тип В — светодиоды с развитой световыводящей поверхностью, изготовленной с помощью селективного химического травления. Применение такой конструкции позволяет увеличить долю вышедшего из кристалла излучения за счет многократного переотражения от криволинейной световыводящей поверхности [9].

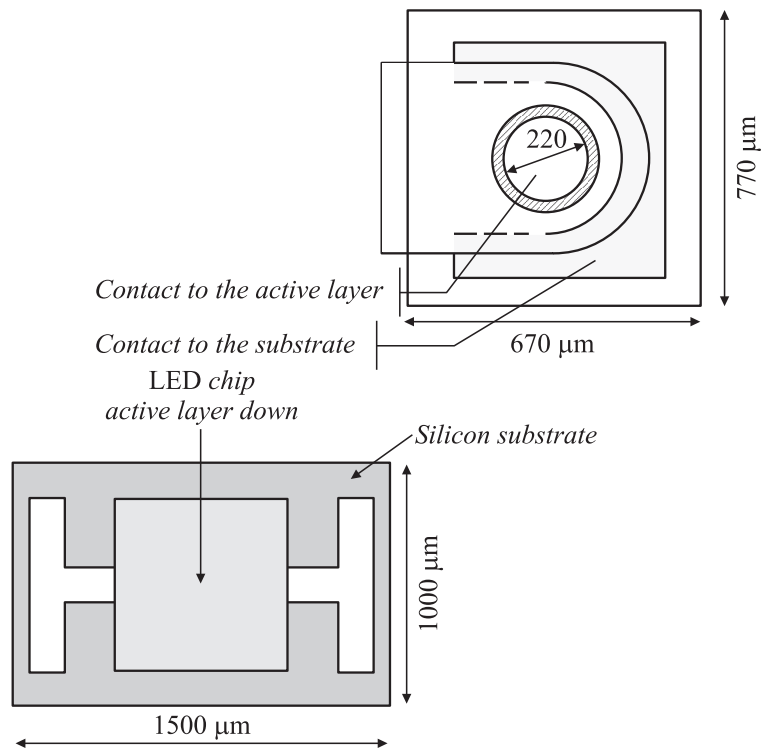


Рис. 1. Конструкция флип-чип светодиода на основе гетероструктуры InAs/InAsSb.

Вольт-амперные характеристики светодиодов обоих типов представлены на рис. 2, *a*. Характеристики имеют обычный диодный вид, прямые ветви характеристик для диодов типа А и В не отличаются.

Измерения электролюминесцентных свойств светодиодов проводились в квазинепрерывном (QCW) и импульсном режиме при комнатной температуре. Мощность излучения измерялась по методике, подробно описанной в [8].

Спектры электролюминесценции в QCW режиме представлены на рис. 2, *b*. Светодиоды имеют максимум излучения на длине волны

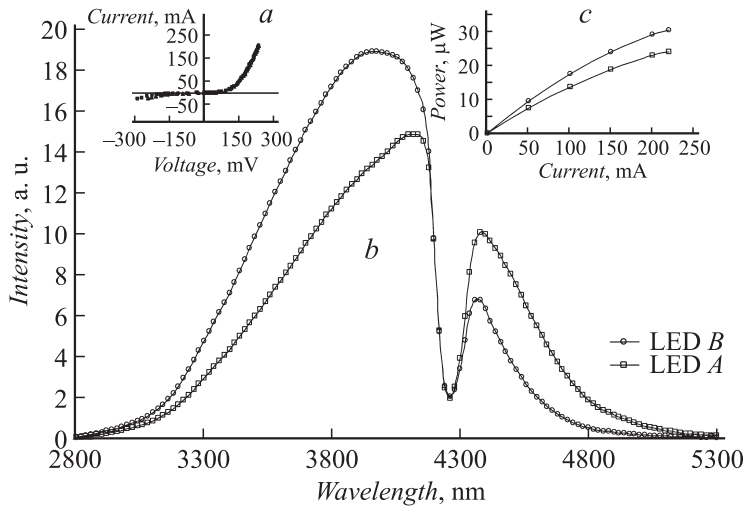


Рис. 2. Спектры электролюминесценции светодиодов на основе InAs/InAsSb: *a* — вольт-амперная характеристика светодиодов типа А и В; *b* — спектры электролюминесценции светодиодов типа А (с гладкой поверхностью) и типа В (с развитой световыводящей поверхностью); *c* — зависимость мощности излучения от тока в квазинепрерывном режиме для светодиодов типа А и В.

$4.3\ \mu\text{m}$. Характерное сильное поглощение в максимуме излучения вызвано присутствием углекислого газа в атмосфере. Интенсивность излучения светодиодов типа В с развитой световыводящей поверхностью в 1.3 раза превышала интенсивность светодиодов типа А с гладкой поверхностью, что, по-видимому, обусловлено увеличением внешнего квантового выхода за счет увеличения вывода излучения из кристалла. На рис. 2, *c* представлена зависимость интегральной оптической мощности светодиодов типа А и В от тока. Светодиоды при токе 200 мА имели мощность порядка $30\ \mu\text{W}$.

На рис. 3, *a* приведены зависимости оптической мощности обоих типов светодиодов от тока инжекции в импульсном режиме. Частота следования импульсов составляла 0.5 kHz, длительность импульса $0.8\ \mu\text{s}$. Видно, что в импульсном режиме мощность светодиодов с развитой световыводящей поверхностью (тип В) также превышает мощность

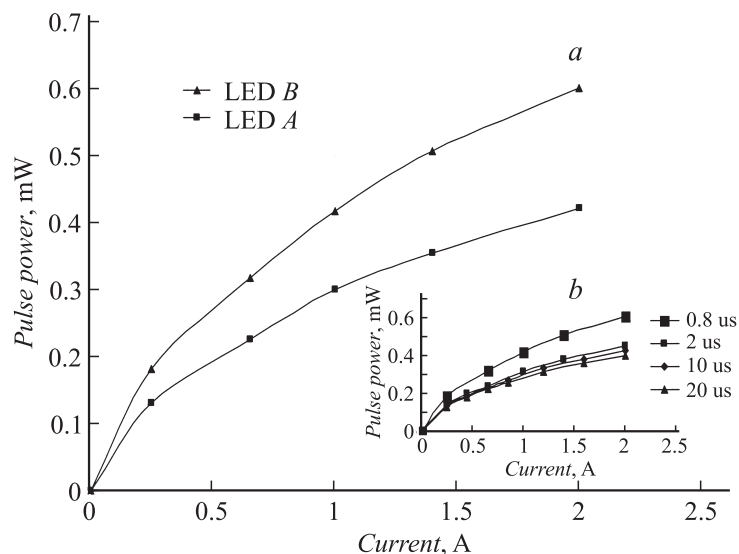


Рис. 3. Зависимость импульсной оптической мощности излучения от тока инжекции для светодиодов типа А и В (а). Зависимость импульсной оптической мощности от длительности импульса для светодиодов типа В (b).

светодиодов типа А. Мощность светодиодов типа В при токе 2 А составила 0.6 mW.

Результаты исследований зависимости оптической мощности от тока при разной длительности импульсов (частота 0.5 kHz) для светодиодов типа В показаны на рис. 3, b. С увеличением длительности импульса при одинаковых токах мощность излучения падает, что обусловлено нагревом светодиодного кристалла.

Таким образом, изготовлены флип-чип светодиоды с длиной волны 4.3 μm на основе гетероструктур InAs/InAsSb, выращенных методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Изготовлены два типа конструкции светодиодов (А и В) — с гладкой световыводящей поверхностью и с развитым рельефом на поверхности. Исследованы электролюминесцентные свойства. Светодиоды с развитой световыводящей поверхностью имеют лучшие значения оптической мощности по сравнению со светодиодами типа А, что связано с увеличением выхода

излучения из кристалла за счет многократного переотражения. Получено значение мощности при комнатной температуре в QCW режиме $30 \mu\text{W}$ при токе 200 mA и 0.6 mW в импульсном режиме при токе 2 A.

Список литературы

- [1] *Popov A.A., Stepanov M.V., Sherstnev V.V., Yakovlev Y.P.* // Technical Phys. Lett. 1998. V. 24. N 8. P. 596–598.
- [2] *Mikhailova M.P., Litvak A.M., Andreev I.A., Popov A.A., Sherstnev V.V., Yakovlev Yu., P. Ereemeev V.I., Molchanov S.S.* // SPIE. 1994. V. 2504. P. 571–576.
- [3] *Taylor F., Schultz J.S.* // CRC Press. 1996. P. 21.
- [4] *Krier A.* // Final report EPSRC. 2004.
- [5] *Malinen J., Kansakoski M., Rikola R., Eddison C.* // Sensors and Actuators. 1998. V. 51. P. 220–224.
- [6] *Стоянов Н.Д., Журтанов Б.Е., Именков А.Н., Астахова А.П., Михайлова М.П., Яковлев Ю.П.* // ФТП. 2007. Т. 41. В. 7. С. 878–882.
- [7] *Зотова Н.В., Кижяев С.С., Молчанов С.С., Попова Т.Б., Яковлев Ю.П.* // ФТП. 2000. Т. 34. В. 12. С. 1462.
- [8] *Стоянов Н.Д., Журтанов Б.Е., Астахова А.П., Именков А.Н., Яковлев Ю.П.* // ФТП. 2003. Т. 37. В. 8. С. 996.
- [9] *Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандышев С.А., Матвеев Б.А., Ременный М.А., Стусь Н.М.* // ФТП. 2006. Т. 40. В. 6. С. 717.