

06.2

## Светодиоды на основе гетероструктур InAsSbP/InAsSb ( $\lambda = 4.7 \mu\text{m}$ ) для детектирования угарного газа

© А.С. Головин, А.А. Петухов, С.С. Кижаяев, Ю.П. Яковлев

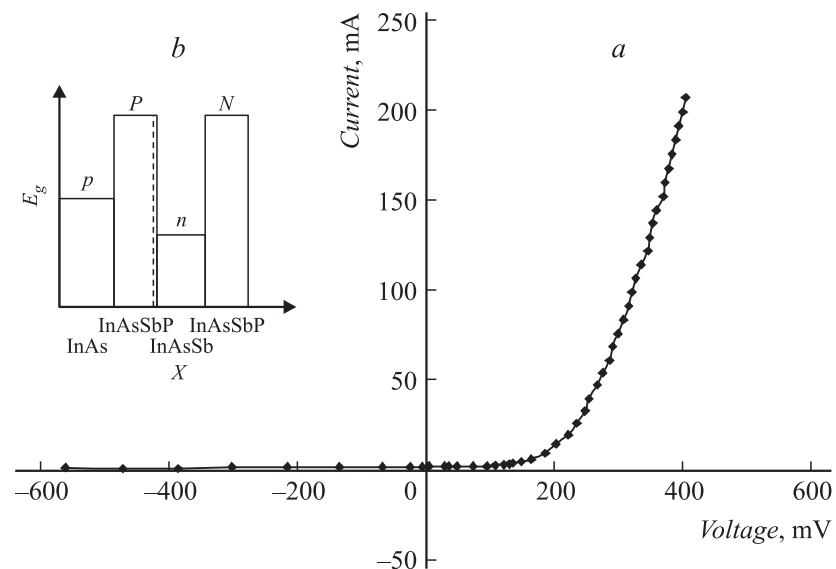
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург  
E-mail: and-golovin@yandex.ru

Поступило в Редакцию 31 января 2011 г.

Созданы светодиоды в спектральном диапазоне 4.4–4.8  $\mu\text{m}$  для определения наличия угарного газа в воздухе. Для создания светодиодов использовались гетероструктуры InAsSbP/InAsSb с активной областью InAs<sub>0.85</sub>Sb<sub>0.15</sub>, выращенные методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Исследованы электролюминесцентные свойства диодов. Мощность светодиодов в импульсном режиме составила 50  $\mu\text{W}$  при токе 2 А, в квазинепрерывном режиме — 1  $\mu\text{W}$  при токе 200 мА. Исследовано поглощение излучения в среде с содержанием угарного газа. Созданные светодиоды могут применяться одновременно для регистрации как CO<sub>2</sub> ( $\lambda = 4.3 \mu\text{m}$ ), так и CO ( $\lambda = 4.67 \mu\text{m}$ ).

В диапазоне длин волн 4–5  $\mu\text{m}$  находятся полосы поглощения большого количества органических веществ, что делает возможным их детектирование при помощи оптических методов [1,2]. Оптические излучатели в этом диапазоне найдут применение в спектроскопии, газоанализе, для решения задач медицины, биологии, аналитической химии и т.д. По своим возможностям оптические методы превосходят приборы на основе электродинамических и каталитических методов, обеспечивая высокое быстродействие, селективность, устойчивость к агрессивным средам, продолжительный срок службы.

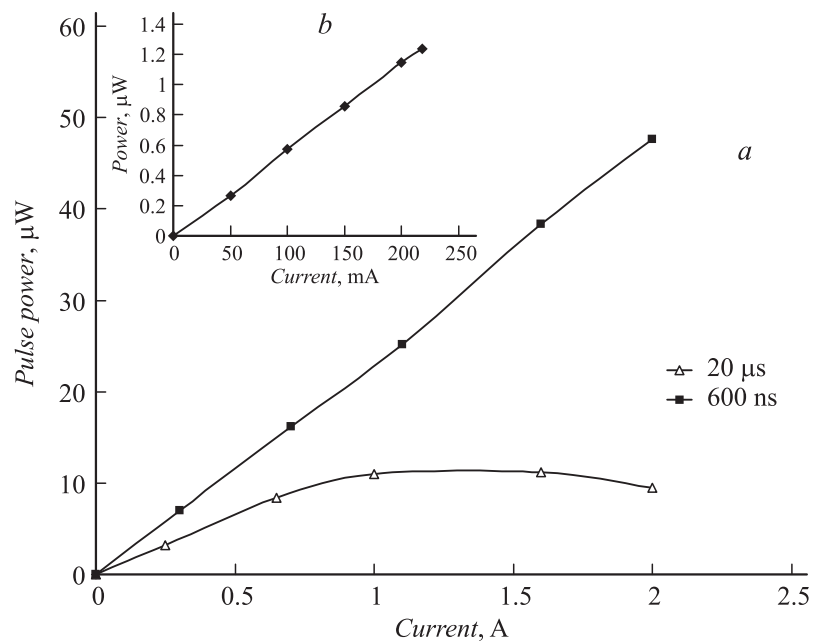
В настоящее время в большинстве оптических газоанализаторов в качестве источника излучения используются, как правило, тепловые источники (глобары) с широким спектром излучения. Полупроводниковые светодиоды имеют ряд преимуществ по сравнению с тепловыми источниками: они потребляют меньшую мощность, обладают высокой частотой модуляции и узким спектром излучения, имеют существенно меньшие размеры [3].



**Рис. 1.** Вольт-амперная характеристика светодиода (а) и зонная диаграмма структуры (b).

В предыдущих работах уже сообщалось о создании светодиодов с длиной волны  $4.3 \mu\text{m}$  для регистрации углекислого газа [4,5]. Целью настоящей работы являлась разработка светодиодов для регистрации угарного газа. Основная линия поглощения CO находится на длине волны  $4.67 \mu\text{m}$ . Монооксид углерода представляет собой бесцветный газ без вкуса и запаха. Предельно допустимая концентрация CO в воздухе рабочей зоны, согласно гигиеническим нормативам, составляет  $20 \text{ mg/m}^3$  [6]. Превышение даже незначительно концентрации CO в воздухе может приводить к тяжелому отравлению и смерти для человека. Поэтому создание портативного оптического сенсора для измерения концентрации угарного газа представляется весьма важной и актуальной задачей.

Гетероструктура InAsSbP/InAsSb для экспериментальных образцов была выращена методом газовой фазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Схематическая зонная диаграмма структуры показана на рис. 1, b. На подложке InAs были выращены широкозонные P- и N-слои InAsSbP с содержанием фосфора 50% и активная область InAsSb с



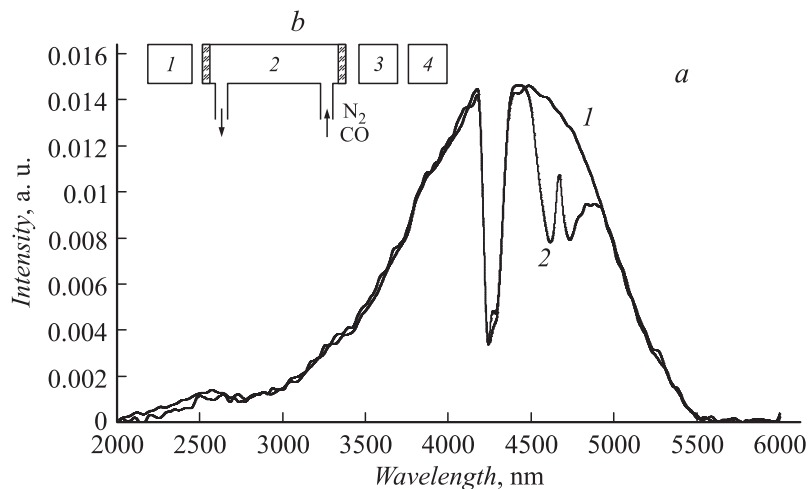
**Рис. 2.** Зависимость оптической мощности излучения от тока в импульсных режимах (а) и непрерывном режиме (b).

содержанием сурьмы 15%;  $p$ - $n$ -переход локализован в слое  $P$ -InAsSbP вблизи границы InAsSbP–InAsSb. По данным [7], в такой структуре образуется гетеропереход 1-го типа.

С помощью фотолитографии были сформированы светодиодные чипы квадратной формы. В качестве верхнего контакта был выбран точечный контакт диаметром  $50 \mu\text{m}$ . Размер чипов  $450 \times 450 \mu\text{m}$ , толщина  $200 \mu\text{m}$ . Чипы монтировались на стандартный корпус TO-18.

Типичная вольт-амперная характеристика светодиодов представлена на рис. 1, а. Характеристика имеет обычный диодный вид. Дифференциальное сопротивление на линейном участке ВАХ составило  $0.9 \Omega$ , напряжение отсечки  $0.24 \text{ V}$ .

Измерения электролюминесцентных свойств светодиодов проводились в квазинепрерывном (QCW: частота  $0.5 \text{ kHz}$ , длительность импульса  $1 \text{ ms}$ ) и импульсном режимах при комнатной температуре.



**Рис. 3.** Спектры излучения после прохождения через кювету с азотом (кривая 1) и смесью азота и угарного газа (кривая 2) (а) и схема измерений (b): 1 — светодиод, 2 — кювета, 3 — монохроматор, 4 — фотоприемник.

Мощность излучения измерялась по методике, описанной в работе [8]. Токовая зависимость оптической мощности излучения в непрерывном режиме представлена на рис. 2, b. Зависимость не имеет насыщения до токов 200 мА. Мощность излучения при токе 200 мА составила  $1.2 \mu\text{W}$ . На рис. 2, a представлены токовые зависимости в импульсных режимах. Частота следования импульсов в обоих случаях 16 kHz, длительность импульса 600 ns (кривая 1) и 20  $\mu\text{s}$  (кривая 2), скважность 100 и 3.2 соответственно. В первом случае зависимость не имеет насыщения до токов 2 А, во втором — до 0.7 А.

Для исследования возможности детектирования угарного газа между светодиодом и фотоприемником была размещена кювета с газом. Схема измерений показана на рис. 3, b. Кювета представляла из себя цилиндр длиной 10 см и объемом  $30 \text{ cm}^3$  с оптическими окнами из сапфира на торцах. Через кювету пропускался газ с заданным составом.

Измерения проводились в QCW режиме при токе 200 мА. На рис. 3, a приведены спектры излучения, прошедшего через кювету. Кривая 1 соответствует случаю, когда через кювету пропускался азот, кривая 2 — газовая смесь  $N_2 + CO$  (10 vol.%). Видно поглощение излучения на длине волны  $4.7 \mu\text{m}$ , вызванное присутствием CO. Форма

спектра поглощения (две линии) соответствует известным данным для угарного газа [9]. Поглощение на длине волны  $4.3\ \mu\text{m}$  вызвано углекислым газом в воздухе между излучателем и кюветой, кюветой и монохроматором.

В результате работы созданы светодиоды с максимумом излучения в районе  $4.5\text{--}4.7\ \mu\text{m}$ . Исследованы электролюминесцентные свойства. Мощность светодиодов в импульсном режиме составила  $50\ \mu\text{W}$  при токе  $2\ \text{A}$ , в квазинепрерывном режиме —  $1\ \mu\text{W}$  при токе  $200\ \text{mA}$ . Исследовано поглощение излучения в газовой смеси с содержанием угарного газа  $10\%$ . Созданные светодиоды могут применяться одновременно для регистрации как  $\text{CO}_2$  ( $\lambda = 4.3\ \mu\text{m}$ ), так и  $\text{CO}$  ( $\lambda = 4.67\ \mu\text{m}$ ).

Работа частично поддержана программой президиума РАН № 27 „Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов“, грантами РФФИ 10-02-93110-НЦНИЛ-а, 10-02-00548-а, 11-02-00650-а, 11-03-00387-а, 11-07-00691-а, а также государственными контрактами № 02.740.11.0445 и № 7757р/11304.

## Список литературы

- [1] *Nakanishi K.* Infrared absorption spectroscopy. Tokyo: Nankodo Company Limited, 1962.
- [2] *Brown D.W.* Organic spectroscopy. New York: John Wiley & Sons, 1988.
- [3] *Mikhailova M.P., Litvak A.M., Andreev I.A., Popov A.A., Sherstnev V.V., Yakovlev Yu.P., Eretneev V.I., Molchanov S.S.* // SPIE. 1994. V. 2504. P. 571–576.
- [4] *Головин А.С., Астахова А.П., Кижяев С.С., Ильинская Н.Д., Серебренникова О.Ю., Яковлев Ю.П.* // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. В. 1. С. 105.
- [5] *Зотова Н.В., Ильинская Н.Д., Карандашев С.А., Матвеев Б.А., Ременный М.А., Стусь Н.М.* // ФТП. 2006. Т. 40. В. 6. С. 717.
- [6] ГН 2.2.5.1313-03.
- [7] *Su-Huai Wei, Alex Zunger* // Physical Review. 1995. V. 52. N 16. P. 12039.
- [8] *Стоянов Н.Д., Журтанов Б.Е., Астахова А.П., Именков А.Н., Яковлев Ю.П.* // ФТП. 2003. Т. 37 (8). С. 996.
- [9] *Raymond H., Pierson, Aaron N. Fletcher* // Analytical Chemistry. 1956. V. 28. N 8. P. 1218–1239.