

02; 06.2; 06.3; 07; 12

© 1991

СВЕТОДИОДЫ НА ОСНОВЕ $InAsSbP$
ДЛЯ АНАЛИЗА ОКИСЛОВ УГЛЕРОДАМ. А й д а р а л и е в, Н. В. З о т о в а,
С. А. К а р а н д а ш е в, Б. А. М а т в е е в,
Н. М. С т у с ь, Г. Н. Т а л а л а к и н

В последние годы усилия многих исследователей были направлены на разработку светодиодов с длинами волн 4.2–4.8 мкм [1, 2] с целью создания на их основе малогабаритных анализаторов двуокиси [3] и окиси углерода.

Одним из путей получения полупроводникового материала для высокоэффективных излучателей с максимумом спектра электролюминесценции в области длин волн, больших 4 мкм, является выращивание методом ЖФЭ кристаллически совершенных градиентных слоев твердых растворов в условиях высокой пластичности подложки, когда основная часть напряжений несоответствия снимается за счет пластической деформации и изгиба подложки [4]. Таким методом удалось получить неохлаждаемые светодиоды с $\lambda < 4.6$ мкм [1], градиентные слои $InAs_{1-x}Sb_x$ ($0.15 \leq x \leq 0.54$) на подложке $InAs$ с убывающей в направлении роста шириной запрещенной зоны (E_g) и резким краем оптического поглощения в области 4–13 мкм [5], а также инжекционные лазеры с длиной волны 3.9 мкм [6]. Вывод электролюминесцентного излучения в таких структурах можно осуществлять в направлении увеличения ширины запрещенной зоны, например, через „прозрачную“ подложку, при этом область р–п перехода (узкозонная часть слоя) может быть максимально приближена к теплоотводу светодиода. Однако подобные светодиоды с $\lambda = 3–5$ мкм не исследовались.

В данной работе приводятся результаты исследований светодиодов с выводом излучения как через широкозонные, так и через узкозонные области градиентных гетероструктур $InAs_{1-x-y}Sb_xP_y/InAs$ (111) ($0.09 \leq x \leq 0.2$), ($0 \leq y \leq 0.2$), полученных методом ЖФЭ в условиях высокой пластичности подложки $InAs$ ($T=650–720$ °С). При этом концентрация фосфора в эпитаксиальных слоях плавно убывала от подложки к поверхности слоя, а содержание сурьмы увеличивалось. Толщины слоев лежали в пределах 50–100 мкм.

Р–п переход создавался легированием эпитаксиального слоя цинком в процессе выращивания. Положение р–п перехода в градиентном слое рассчитывалось в соответствии с требуемой длиной волны излучения. Расчет проводился с использованием зависимости $E_g InAs_{1-x-y}Sb_xP_y$ от состава [7], учитывая то, что рекомбинация происходила в р–области за счет переходов зона проводимости

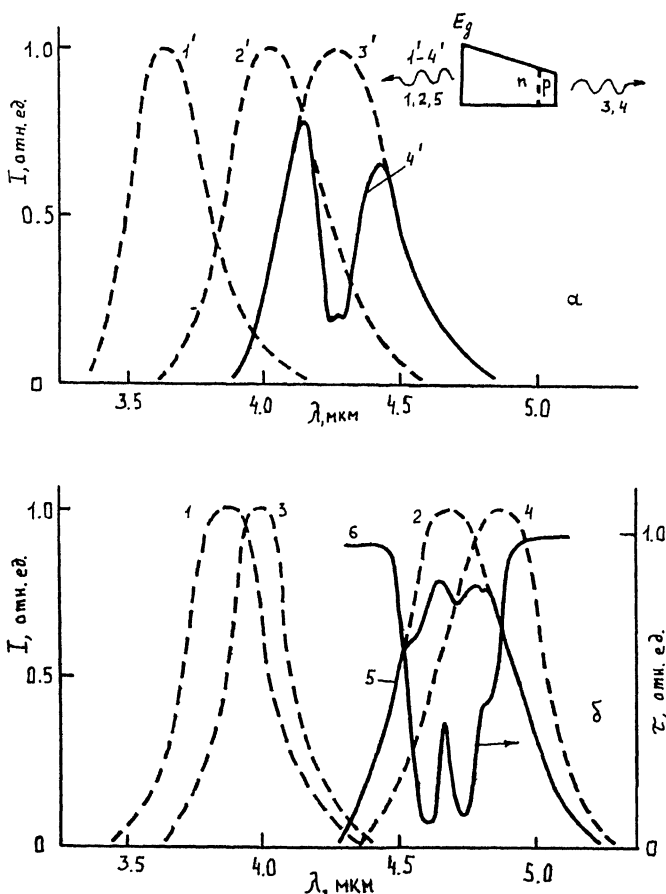


Рис. 1. Спектры электролюминесценции светодиодов на основе $InAs_{1-x-y}Sb_xP_y$, измеренные в атмосфере азота (пунктир) и в реальной атмосфере (сплошная линия). а - $x=0.08$, $y=0$; вывод излучения через широкозонный слой структуры Т, К: 1' - 77, 2' - 240, 3' - 300; б - $x=0.12$, $y=0$; вывод излучения через широкозонный (1, 2, 5) и узкозонный (3, 4) слой структуры; 5 - спектр после прохождения через кювету с 3.5 % CO , оптический путь 100 мм; 6 - спектр поглощения CO . Т, К: 1, 3 - 77, 2, 4, 5, 6 - 300.

На вставке - энергетическая диаграмма структуры.

акцепторный уровень ($\Delta E_a \sim 0.01$ эВ). Глубина залегания р-п перехода составляла ~ 5 мкм. При изготовлении светодиодов подложка $InAs$ удалялась. Образцы монтировались на держателе светодиода либо р-, либо п-стороной структуры, при этом кристалл

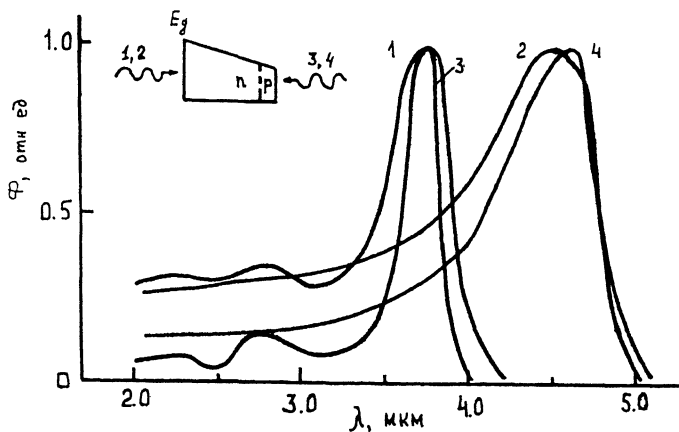


Рис. 2. Спектральная чувствительность р-п структур на основе *InAsSbP* при засветке через широкозонную (1, 2) и узкозонную (3, 4) часть структуры. Т, К: 1, 3 - 77, 2, 4 - 300. На вставке - энергетическая диаграмма структуры.

находился в фокусе миниатюрного параболического отражателя, собирающего излучение с поверхности и горла образца.

На рис. 1, а представлены спектры электролюминесценции (ЭЛ) светодиода при 77, 240 и 300 К с составом в активной области $x=0.08$ и $y=0$, измеренные в атмосфере азота и обычной атмосфере (концентрация $CO_2 \sim 0.03\%$, оптический путь ~ 200 см).

На рис. 1, б приведены спектры ЭЛ светодиода с составом активной области $x=0.12$, $y=0$, измеренные при 77 и 300 К при выводе излучения в направлении увеличения ширины запрещенной зоны (1, 2) и через р-область *InAsSbP*, т.е. через узкозонную часть гетероструктуры 3, 4). В первом случае корпус светодиода контактировал с тонкой р-областью, увеличивая теплоотвод, во втором - с широкозонной п-областью. Эффективность светодиода в 1-ом случае была в 3 раза выше. Там же приведен спектр излучения светодиода при $T=300$ К, прошедшего через смесь азота с угарным газом (3.5 % об. CO , оптический путь 100 мм) (рис. 1, б).

Температурное смещение спектров ЭЛ р-п *InAsSbP* структур в диапазоне 77-300 К, согласно литературным данным [8, 9], находится в пределах 11-50 мэВ. В наших экспериментах в этом температурном интервале максимум спектра ЭЛ сдвигается на 55 мэВ, что сопоставимо с температурным сдвигом спектров ЭЛ для р-п переходов и изменением ширины запрещенной зоны в арсениде индия [10].

Нами был также измерен температурный сдвиг спектральной зависимости фотоответа светодиодных структур для $T=300-77$ К. При этом фотоответ изучался как при засветке р-, так и п-области

структур. Из рис. 2 видно, что максимумы спектров фотоответа, снятые с широкозонной и узкозонной сторон гетероструктуры, практически совпадают. Небольшое различие в ширине спектров может быть объяснено дрейфом неосновных носителей в варизонном поле. Величина смещения спектральной кривой фотоответа ($\Delta h\nu$) = 55 мэВ также совпадает с температурным сдвигом спектров ЭЛ и изменением E_g *InAs*. Полученные данные свидетельствуют, на наш взгляд, о структурном совершенстве выращенных эпитаксиальных слоев и р-п структур. Действительно, как было показано в работе [9], при увеличении несоответствия периодов решеток в гетероструктурах *InAs_{1-x}Sb_x / InAs* от 0.3 до 7 % разность энергий максимумов спектров фотолюминесценции (ФЛ), измеренных при 77 К (или 10 К и 300 К, в образцах, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии, уменьшается от 35 до 7 мэВ. Одновременно наблюдалось существенное увеличение полуширины спектров ФЛ (от 6 до 57 мэВ), что свидетельствует о возрастании степени дефектности материала.

В нашей работе при эпитаксиальном выращивании благодаря релаксации значительной части упругих напряжений за счет пластического изгиба подложки *InAs* удалось достичь высокого кристаллического совершенства *InAsSbP*, о чем свидетельствует низкое значение плотности дислокаций в эпитаксиальном слое ($\sim 10^3$ см⁻²). Вследствие этого полуширина спектров ЭЛ в исследованных образцах оказалась существенно меньше, чем в [8, 9], а максимумы спектров при изменении Т смещаются на гораздо большую величину ~ 55 мэВ (77–300 К).

Таким образом, в работе получены спектры ЭЛ и фотоответа кристаллически совершенных градиентных структур *InAsSbP/InAs*, на основе которых созданы эффективные светодиоды с выводом излучения через широкозонные области структуры. Полученные светодиоды могут быть использованы в составе оптоэлектронных датчиков, чувствительных к углекислому ($\lambda = 4.3$ мкм) и угарному ($\lambda = 4.7$ мкм) газам.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Aidaraliev M., Zotova N.V., Karandashov S.A., Matveev B.A., Stus' N.M., Talalakin G.N. // Phys. Stat. Sol. (a). 1989. V. 115. P. K117-K120.
- [2] Баранов А.Н., Именков А.Н., Капранчик О.П., Негрескул Валер.В., Чернявский А.Г., Шерстнев В.В., Яковлев Ю.П. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 16. С. 42-47.
- [3] Krier A. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 56. N 24. P. 2428-2429.

- [4] Матвеев Б.А., Стусь Н.М., Талалакин Г.Н. // Кристаллография. 1988. Т. 33. В. 1. С. 216-221.
- [5] Зотова Н.В., Лосев А.В., Матвеев Б.А., Стусь Н.М., Талалакин Г.Н., Филиппченко А.С. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 4. С. 77-79.
- [6] Зотова Н.В., Карандашев С.А., Матвеев Б.А., Стусь Н.М., Талалакин Г.Н. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 23. С. 1444-1447.
- [7] Fukui T., Horicoshi V. // Jap. J. Appl. Phys. 1980. V. 19. N 9. P. L551-L554.
- [8] Van der Ziel J.P., Logan R.A., Mikulyak R.M., Ballman A.A. // IEEE J. of Quant. Electron. 1985. V. OE-21. N 11. P. 1827-1832.
- [9] Yen M.Y., People R., Wecht K.W. // J. Appl. Phys. 1988. V. 64. N 2. P. 952-955.
- [10] Айдаралиев М., Зотова Н.В., Карандашев С.А., Стусь Н.М. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 4. С. 592-596.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, С.-Петербург

Поступило в Редакцию
25 ноября 1991 г.