

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ГЕТЕРОСТРУКТУР И СВЕТОДИОДЫ
НА ОСНОВЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ
В ДИАПАЗОНЕ 1 - 2 МКМ

Л. М. Долгинов, Л. В. Дружинина, П. Г. Елизеев,
М. Г. Мильвидский, Б. Н. Свердлов, Е. Г. Шевченко

УДК 621.382.3

Благодаря применению гетероструктур на основе многокомпонентных твердых растворов полупроводниковых соединений A^3B^5 удалось существенно улучшить характеристики светодиодов, работающих в диапазоне длин волн 1-2 мкм.

Применение многокомпонентных твердых растворов расширяет возможности создания совершенных гетеропереходов и источников излучения на их основе в широком спектральном диапазоне λ . В настоящем сообщении описаны гетероструктуры с использованием четырехкомпонентных составов $GaInPAs$, $InGaSbAs$ и $AlGaSbAs$. На их основе созданы и исследованы электролюминесцентные диоды (светодиоды) в диапазоне 1-2 мкм, где имеется ряд "окоп" прозрачности атмосферы, а также линии поглощения газовых примесей, обнаружение которых в атмосфере имеет практический интерес.

Гетероструктуры двухстороннего типа (ДГС) изготавливались методом жидкофазовой эпитаксии на подложках фосфида индия и антимонида галлия. Составы твердых растворов выбирались в согласии с требованием сохранения периода решетки ("изопериодическое" замещение) во всей гетероструктуре. Здесь описываются гетероструктуры, изопериодические с бинарными соединениями подложки и не требующие приготовления переходных градиентных слоев между подложкой и гетероструктурой. Последовательные слои в гетероструктурах даны в таблице I (излучающий слой отмечен звездочкой). Следует отметить относительную простоту гетероструктур на $GaInPAs$ и $InGaSbAs$, в которых для создания ДГС достаточно нарастить два слоя. В этих ДГС подложка прозрачна для излучения, испускаемого четырех-

компонентным составом, что способствует улучшению эффективности светодиодов.

Таблица I

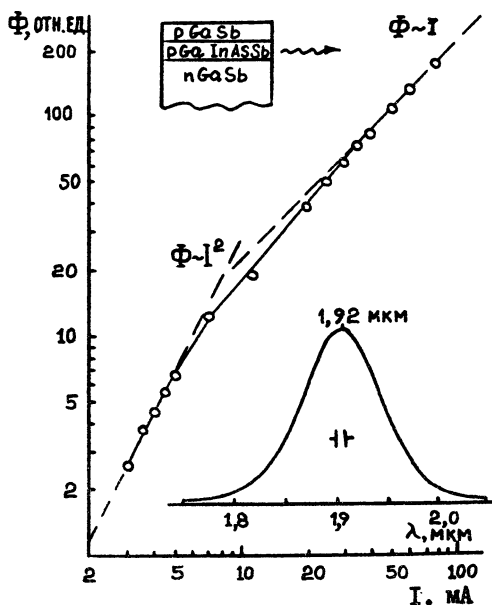
Слои в гетероструктурах

№ ш	Подложка	Гетероэпитаксиальные слои			Длина волны при 300°К, нм
		I	2	3	
1.	n-InP	p-GaInPAs*	p-InP		1000-1200
2.	n-GaSb	n-AlGaSbAs	p-GaSb*	p-AlGaSbAs	1700-1800
3.	n-GaSb	p-InGaSbAs*	p-GaSb		1800-2020

Эпитаксиальные слои были изучены с помощью фотолуминесцентных методов. Анализ распределения интенсивности и длины волны фотолуминесценции (ФЛ) на косых шлифах гетероструктур позволил установить профиль ширины запрещенной зоны E_g в гетероструктурах, а также выявить случаи, когда в многокомпонентных растворах имеется градиент E_g вследствие изменения состава и когда совершенство гетерограниц с точки зрения близости периодов решетки недостаточно. В этих последних случаях неизбежно происходило снижение интенсивности ФЛ в окрестности дефектной гетерограницы. Оценки внутреннего квантового выхода излучательной рекомбинации η_i по измерениям ФЛ привели к выводу, что в излучающих слоях гетероструктур η_i не ниже 0,5, а в слоях GaInPAs он, по-видимому, близок к единице (при комнатной температуре). Ширина спектральной полосы ФЛ в твердых растворах была в 1,5 - 2 раза больше, чем в бинарных соединениях, что связано с локальными вариациями состава.

Светодиоды на основе полученных гетероструктур изготавливались в планарном варианте (вывод излучения через широкозонный слой по нормали к излучающему слою) или в "торцевом" варианте (вывод излучения вдоль излучающего через боковую грань слоя, т.е. геометрия инжекционного лазера). Типичное поведение интенсивности излучения светодиода и спектр показаны на рис.1. Сравнение спектров электролюминесценции различных гетероструктур можно сделать по рис.2.

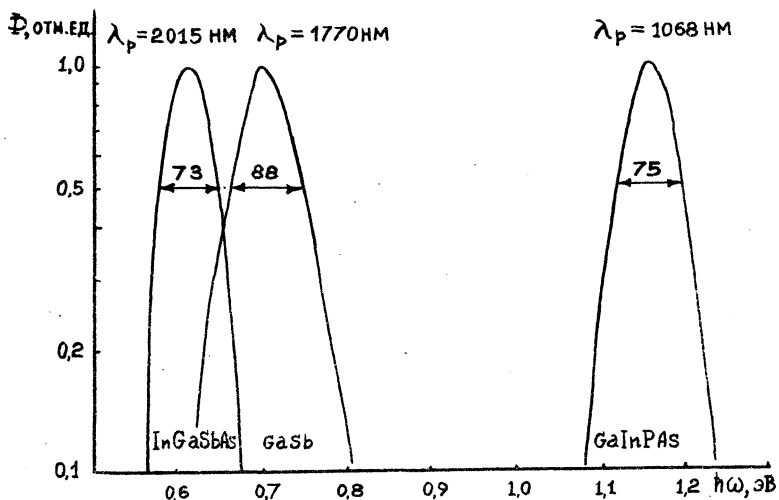
Внешний квантовый выход η светодиода в пренебрежении перепоглощением и переизлучением внутри кристалла может быть приближенно представлен в виде



Р и с.1. Излучение гетероструктуры GaSb - GaInAsSb - GaSb (светодиод торцевого типа); зависимость интенсивности излучения Φ от тока I и спектр излучения при плотности тока около 50 A/cm^2 , $T = 300^\circ\text{K}$

$$\eta = \eta_1 \frac{1}{2} (1 - R)(1 - \cos\theta_m), \quad (I)$$

где R - коэффициент отражения кристалла, θ_m - угол полного внутреннего отражения. Стандартные значения по формуле (I) для диодов с InP составляет $0,016\eta_1$, а для диодов с GaSb $0,012\eta_1$. В планарных светодиодах удается получить $\eta_1 \approx 0,9 \div 1,0$, как видно из таблицы 2, где дана сводка характеристик светодиодов и некоторые литературные данные для сравнения. Превышение стандартного значения η получено в светодиодах на GaInPAs , что



Р и с.2. Спектры излучения светодиодов на основе гетероструктур.
 Ширина полос на полувысоте дана в мμв, $T=300^{\circ}\text{K}$

Таблица 2

Характеристики светодиодов ИК диапазона 1,0 - 2,0 мкм.

1) торцевой вариант, 2) планарный вариант,

3) то же с полимерным куполом

Излучающий материал	Длина волны, нм	Ширина полос, нм	Внешний квантовый выход, %	Ссылка
GaInAs	1030	60	~1	12/
GaAsSb:Si	1060	79	~0,7	13/
GaInPAs	1050-- 1090	60-- 80	1) 1,6 2) 5,0 3) 8,4	Наст. работа
InGaSbAs	1120 1920-- 2015	80 225	1) 1,2 2) 0,95	
GaSb	1770	210	1) 0,5	

обусловлено многократным переизлучением в узкозонном слое с высоким внутренним квантовым выходом. Данные в таблице 2 свидетельствуют о значительном прогрессе характеристик ИК светодиодов, достигнутом благодаря применению многокомпонентных полупроводниковых твердых растворов.

Поступила в редакцию
26 марта 1976 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. П. Богатов, Л. М. Долгачев, Л. В. Дружинина, П. Г. Елисеев, Б. Н. Свердлов, Е. Г. Шевченко. Квантовая электроника, 1, № 10, 2294 (1974).
2. R. E. Mahony, M. A. Pollack, J. C. DeWinter. Appl. Phys.Lett., 25, 146 (1974).
3. S. K. Brierley, C. G. Fonstad. J. Appl. Phys., 46, 3648 (1975).