

СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ПРИБОРЫ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 520÷550 нм НА ОСНОВЕ Ga_{1-x}Al_xP

Джахуташвили Т. В., Михелашвили В. М.,
Сагинури М. И., Скаун Т. А., Чиковани Р. И.

На основе полупроводниковых твердых растворов Ga_{1-x}Al_xP созданы не имеющие аналогов светоизлучающие приборы с длиной волны 520—550 нм и квантовой эффективностью $(1.5 \div 5.4) \cdot 10^{-5}$. Мощность излучения и сила света негерметизированных кристаллов составили $(0.8 \div 2.5) \cdot 10^{-6}$ Вт и 50÷200 мккд при токе 20 мА и температуре 293 К (напряженье 2.8÷4 В). Быстродействие порядка 60÷100 нс.

Исследованы их основные электрические и излучательные характеристики в широком диапазоне токового и температурного воздействия.

Введение. Одним из перспективных полупроводниковых материалов для создания структур, излучающих в чисто зеленой области спектра, являются твердые растворы Ga_{1-x}Al_xP, допускающие при изменении их состава смещение длины волны максимума излучения в коротковолновую область вплоть до $\lambda = 520$ нм.

В [1] впервые сообщается о создании светоизлучающего диода (СИД) на основе диффузионного *p-n*-перехода в Ga_{1-x}Al_xP ($x=0.25$) с длиной волны излучения 543÷550 нм и внешней квантовой эффективностью $\sim 10^{-5}$. Однако положение максимума спектральной полосы в указанной области длин волн менялось незакономерно вследствие неконтролируемого содержания алюминия в области *p-n*-перехода. Двойные гетероструктуры на основе Ga_{1-x}Al_xP, изготовленные в [2], излучали на длине волны 550 нм. Яркость меза-диодов составила 1200 кд/м² при плотности тока 30 А/см². В работах [3, 4] созданы структуры, излучающие в области длин волн 525 и 530 нм, однако данные об эффективности излучения не приводятся.

В настоящей работе сообщаются результаты по созданию на основе Ga_{1-x}Al_xP приборов с длиной волны излучения 545÷550 нм, в 3—5 раз более эффективных, чем в [1, 2], и не имеющих аналогов приборов с $\lambda = 520 \div 545$ нм и квантовой эффективностью $(1.5 \div 3.5) \cdot 10^{-5}$. Приводятся данные исследования их основных электрических и излучательных характеристик в широком диапазоне токового и температурного воздействий.

1. Изготовление приборов

Излучательные *p-n*-гетероструктуры выращивались методом жидкостной эпитаксии в горизонтальной графитовой кассете сдвигового типа в потоке очищенного водорода. В качестве подложек использовались механически полированные пластины GaP *p*-типа проводимости ($p = 3 \cdot 10^{18}$ см⁻³). Подложки проходили дополнительную химическую обработку непосредственно перед процессом эпитаксиального наращивания.

Содержание алюминия в эпитаксиальных слоях изменялось в диапазоне $x = 0.12 \div 0.72$. Толщина *p*-слоя составляла 8÷10 мкм, *n*-слоя — 12÷15 мкм. Легирование слоев Ga_{1-x}Al_xP проводилось цинком (*p*-слой) и теллуrom (*n*-слой) в процессе роста непосредственно из расплава до концентраций $p = (2 \div 6) \times 10^{17}$ см⁻³, $n = (1 \div 8) \cdot 10^{17}$ см⁻³.

После создания омических контактов площадью 0.15×0.15 мм структуры разрезались на кристаллы размером 0.4×0.4 мм, которые монтировались на стандартном держателе типа КТ-21.

Значения длин волн, мощности и квантовой эффективности излучения приведены в таблице.

№ п. п.	Содержание алюминия в активной области x , мол. доля	Длина волны в максимуме спектра излучения λ , нм	Мощность излучения (при токе 20 мА) $P \cdot 10^6$, Вт	Квантовая эффективность (при токе 20 мА) $\eta \cdot 10^5$
1	0.12	550	$1.8 \div 2.5$	$3.8 \div 5.4$
2	0.22	545	$1.2 \div 1.8$	$2.5 \div 3.8$
3	0.34	538	$1.1 \div 1.5$	$2.3 \div 3.1$
4	0.59	530	$0.8 \div 1.0$	$1.7 \div 2.1$
5	0.72	520	$0.6 \div 0.8$	$1.3 \div 1.7$

2. Электрические характеристики

а) Семейство вольтамперных характеристик прибора 4 (см. таблицу), измеренных в диапазоне температур $150 \div 340$ К, приведено на рис. 1. Падение напряжения при токе 20 мА ($T=300$ К) варьируется от образца к образцу в диапазоне $2.8 \div 4.0$ В. Приборы выдерживают обратное смещение не менее 20 В.

б) Зависимость дифференциальной емкости C от напряжения U на диоде (рис. 1) в координатах $C^{-2}-U$ линейна, что указывает на наличие резкого $p-n$ -перехода. Емкостное напряжение отсечки при $T=300$ К меняется от образца к образцу в диапазоне $2.5 \div 3.5$ В. Ширина области пространственного заряда $W = (2.5 \div 3.5) \cdot 10^{-5}$ см. Приведенная концентрация носителей в актив-

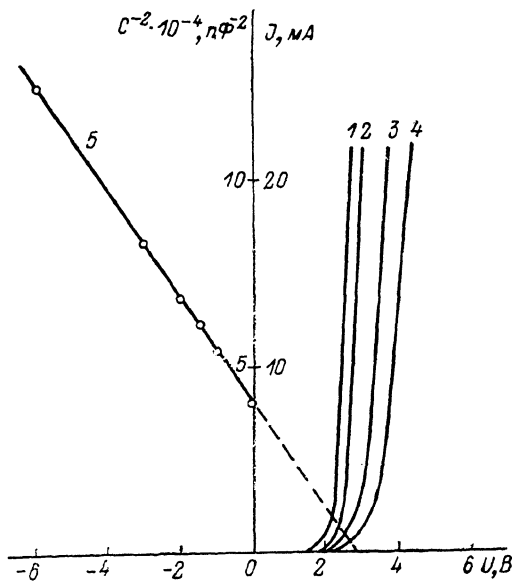


Рис. 1. Вольтамперные (1—4) и вольт-фарадная (5) характеристики.

Т, К: 1 — 150, 2 — 200, 3 — 300, 4 — 340.

ной области, определенная из данных $C-U$ -характеристик, составляет $10^{16} \div 10^{17}$ см $^{-3}$.

в) Постоянная времени нарастания переднего фронта импульса излучения на уровне 0.9 равна 60 нс.

3. Излучательные характеристики

а) На рис. 2 приведены измеренные при комнатной температуре спектры электролюминесценции (ЭЛ) приборов, изготовленных из структур, различающихся содержанием алюминия в активной области. Энергия максимумов спектров следует за изменением ширины запрещенной зоны от состава (рис. 3); наблюдаемая композиционная зависимость хорошо совпадает с данными [4]

и дополняет их в области больших (до $x=0.72$) составов. На рис. 4 на примере прибора с содержанием алюминия в активной области $x=0.62$ показан харак-

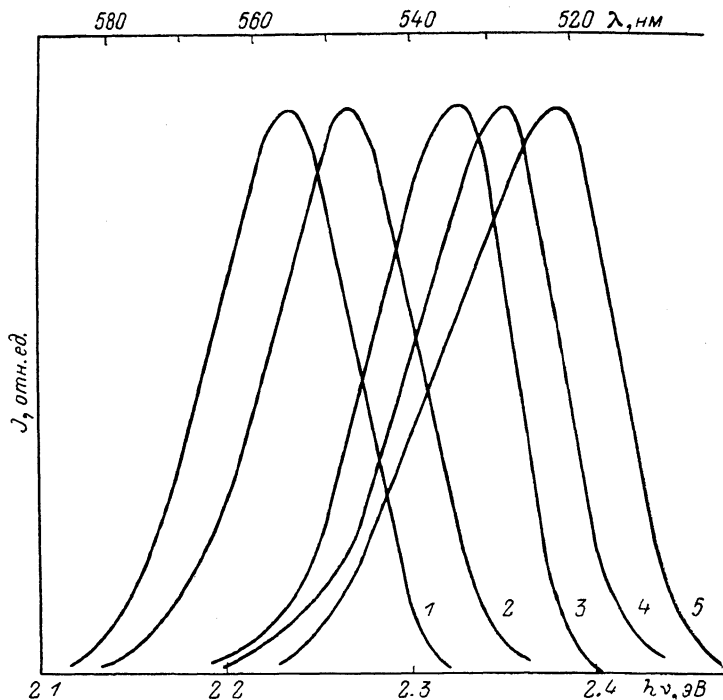
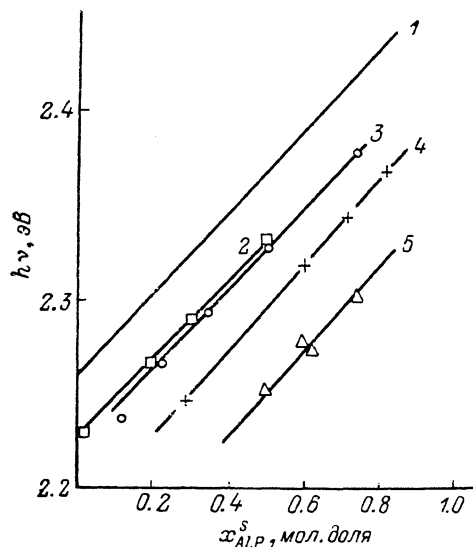


Рис. 2. Спектры ЭЛ приборов, различающихся составом активной области ($T=300$ К). x : 1 — 0.12, 2 — 0.22, 3 — 0.34, 4 — 0.59, 5 — 0.72 (для образцов 1—5 соответственно).

тер изменения спектров ЭЛ с током при $T=77$ К (а) и температурой (б). Тонкая структура спектров в коротковолновой части обусловлена, по-видимому, рекомбинацией связанного экситона без участия фононов (полоса С, энергия



которой меньше ширины запрещенной зоны на 30 мэВ) и с испусканием LO -фонона [полоса $C-LO$, отстающая от C на $48 \div 52$ мэВ, аналогично тому, как это имело место в [5], при исследовании ЭЛ $GaP:Al$ и катодолюминесценции (КЛ) $Ga_{1-x}Al_xP$ ($x=0.7$)]. В пользу этого предположения свидетельствует быстрое возрастание интенсивности этих полос с увеличением тока и температуры. При повышении температуры коротковолновые полосы C и $C-LO$ смещаются в длинноволновую область, перекрываются и становятся доминирую-

Рис. 3. Зависимость максимума спектральной полосы ЭЛ от состава активной области. 1 — $E_g(x)$ по данным работы [3], 2 — [4], 3 — настоящей работы, 4 — [6], 5 — [5].

щими при $T=300$ К. Подтверждением является различие между энергией максимумов спектров ЭЛ (рис. 3, кривая 3) и шириной запрещенной зоны (рис. 3, кривая 1) на величину $40 \div 42$ мэВ. Реализация преимущественно собственного излучения приводит к смещению максимумов спектров излучения изготовленных структур в коротковолновую область (при одинаковых соста-

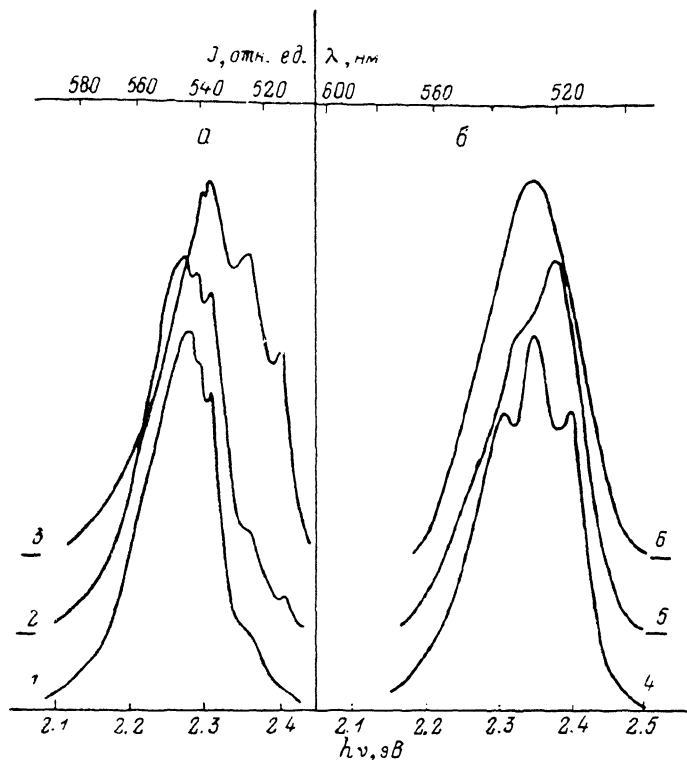


Рис. 4. Спектры ЭЛ прибора (состав активной области $x=0.59$), измеренные при различных токах и температурах.

а) $T=77$ К; J , мА: 1 — 5, 2 — 20, 3 — 40. б) $J=20$ мА; T , К: 4 — 150, 5 — 200, 6 — 300.

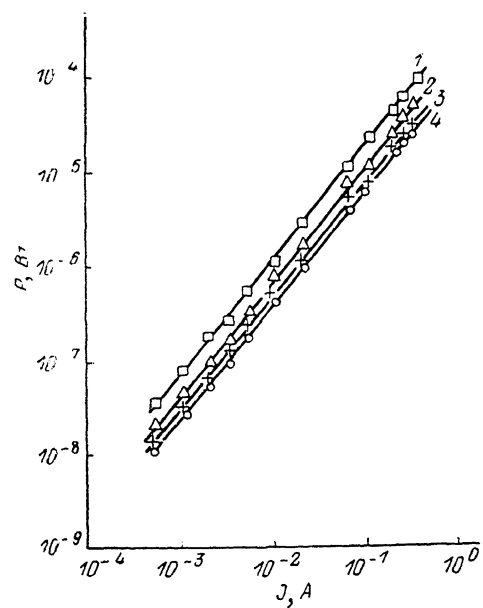


Рис. 5. Ваттамперные характеристики, измеренные при различных температурах.

T , К: 1 — 150, 2 — 200, 3 — 300, 4 — 340.

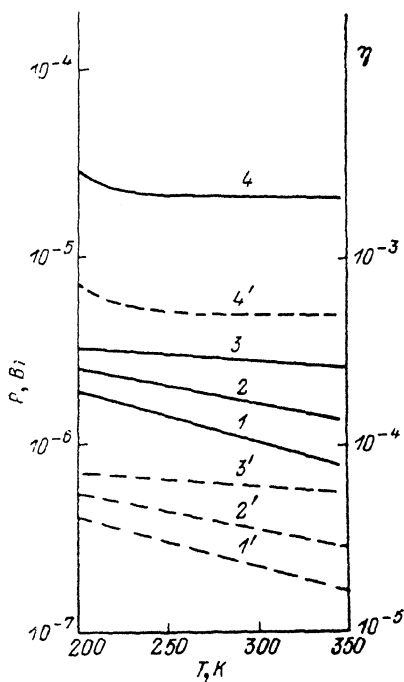


Рис. 6. Зависимость мощности (1—4) и квантовой эффективности (1'—4') излучения от температуры ($J=20$ мА).

Образцы: 1, 1' — 4; 2, 2' — 3; 3, 3' — 1; 4, 4' — GaP : N.

вах активной области) по сравнению с данными [3, 6] и свидетельствует о высоком качестве выращиваемых эпитаксиальных слоев $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$. Наблюдаемая при низких температурах в спектрах ЭЛ практически всех приборов (независимо от состава) тонкая структура в полосе $2.28 \div 2.31$ эВ связана, очевидно, с переизлучением в подложке GaP [7].

б) В диапазоне температур $150 \div 340$ К и токов вплоть до 300 мА ваттамперные характеристики (рис. 5) остаются слабо сверхлинейными с дифференциальным наклоном $1.2 \div 1.3$ (для предотвращения джоулева разогрева измерения при токах выше 10 мА проводились в импульсном режиме с длительностью импульсов 10^{-5} с).

На рис. 6 представлен характер изменения мощности излучения (кривые $I-\beta$) и квантовой эффективности (кривые $I'-\beta'$) различных приборов с температурой. Видно, что с уменьшением содержания алюминия в активной области зависимости $P=f(T)$ [и соответственно $\eta=f(T)$] становятся более пологими и приближаются к соответствующим зависимостям для GaP:N (кривые 4, 4'); значение усредненного температурного коэффициента мощности $\frac{1}{P} \frac{dP}{dT}$ меняется в диапазоне $0.15 \div 0.6$ %/К при изменении состава в диапазоне $x = 0.12 \div 0.72$.

в) Сила света негерметизированных кристаллов с длиной волны излучения $545 \div 550$ нм достигает 0.2 мкд, с $\lambda = 520 \div 545$ нм — $0.05 \div 0.1$ мкд.

Необходимо отметить, что хотя достигнутая эффективность излучения в 3—4 раза выше, чем в существующих приборах в области спектра $520 \div 550$ нм, она в 10—20 раз ниже, чем в промышленных приборах на основе GaP:N с длиной волны излучения 565 нм; однако квантовая эффективность КЛ слоев $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{P}$ довольно высока (всего лишь в 2—5 раз ниже, чем в GaP:N), что указывает на возможность при соответствующей оптимизации параметров излучающих структур создания приборов, конкурентоспособных с GaP:N в определенных областях применения, например для достижения повышенного цветового контраста с СИД желтого цвета свечения и для применения их в качестве опорных источников света.

Список литературы

- [1] Kressel H., Ladany J. // J. Appl. Phys. 1968. V. 39. N 11. P. 5339—5340.
- [2] Абрамов В. С., Бобров А. П., Свиридов В. А. // Электрон. техн. Сер. 2. Полупроводн. приборы. 1979. В. 8 (134). С. 27—30.
- [3] Grote N., Beneking H. // Proc. 6 Int. Symp. on GaAs and Related Compounds. London, 1977. P. 335.
- [4] Tanaka A., Unno H., Sugiura T., Suegawa T. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 12. P. 9049—9052.
- [5] Ермаков О. Н. // ЖПС. 1983. Т. 34. В. 2. С. 231—237.
- [6] Sonomura H., Nanmori T., Miguchi T. // Appl. Phys. Lett. 1974. V. 24. N 2. P. 77—78.
- [7] Craford M. G., Groves W. O., Herzog A. H., Hill D. E. // J. Appl. Phys. 1971. V. 42. N 7. P. 2751—2757.

Получена 11.04.1989
Принята к печати 11.08.1989