

НЕКОТОРЫЕ ПРИЧИНЫ НЕСТАБИЛЬНОСТИ СВЕЧЕНИЯ $GaP:N$ СВЕТОДИОДОВ

Т.В. Торчинская, А.Г. Карабаев,
Ж.С. Абдуллаев, А.А. Шматов,
М.К. Шейнкман

Под нестабильностью свечения зеленых $GaP:N$ светодио-
дов (СД) понимают значительное возрастание мощности излучения P
в первые 2–5 минут после подачи на диод прямого смещения.
Нестабильность свечения чаще всего связывают с преобразованием
глубоких центров в активной области приборов [1]. Подобные про-
цессы были изучены ранее в материалах A_2B_6 [2] и фотоэлектри-
ческих приборах на их основе [3, 4], а также обнаружены в полу-
проводниках A_3B_5 [5] и кремнии [6]. В настоящей работе делается
попытка выяснить причины нестабильности свечения зеленых
 $GaP:N$ СД и определить параметры дефектов, ее обуславливающих.

В работе исследовались промышленные p^+-p-p^+ типа $GaP:N$
СД, полученные, как описано в [7]. Измерялись спектры электро-
люминесценции (ЭЛ) в диапазоне длин волн 0.5–2.0 мкм и темпе-
ратур 77–300 К, температурное гашение различных полос ЭЛ, ватт-
вольт-амперные характеристики, кинетика возрастания мощности из-
лучения при различных температурах, а также периметры глубоких
центров в области пространственного заряда (ОПЗ) $p-p$ -перехода.
Последние оценивались методом РСГУ ($DLTS$) на установке, опи-
санной в [8].

Возрастание мощности излучения (P) $GaP:N$ СД при приложении
прямого смещения и протекании тока 10 мА ($4A/cm^2$, 300 К) де-
монстрирует рис. 1,а. Кинетика изменения величины P со временем
может быть представлена следующей зависимостью:

$$P(t) = P_{\infty} - (P_{\infty} - P_0) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right),$$

где P_0 , P_{∞} – мощность излучения в моменты времени $t = 0$ и
 $t \rightarrow \infty$, а τ – постоянная времени изменения величины P . По-
следняя зависит от температуры (рис. 1,б) как

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{E_a}{kT},$$

где E_a – энергия активации процесса, равная 0.10 ± 0.03 эВ. При
температуре ниже 120–150 К возрастание интенсивности свече-
ния практически не происходит. После отключения прямого смеще-
ния при 300 К и повторного его приложения возрастание P также
не наблюдается, и величина P соответствует области насыщения.
Состояние с высокой мощностью излучения сохраняется после отклю-

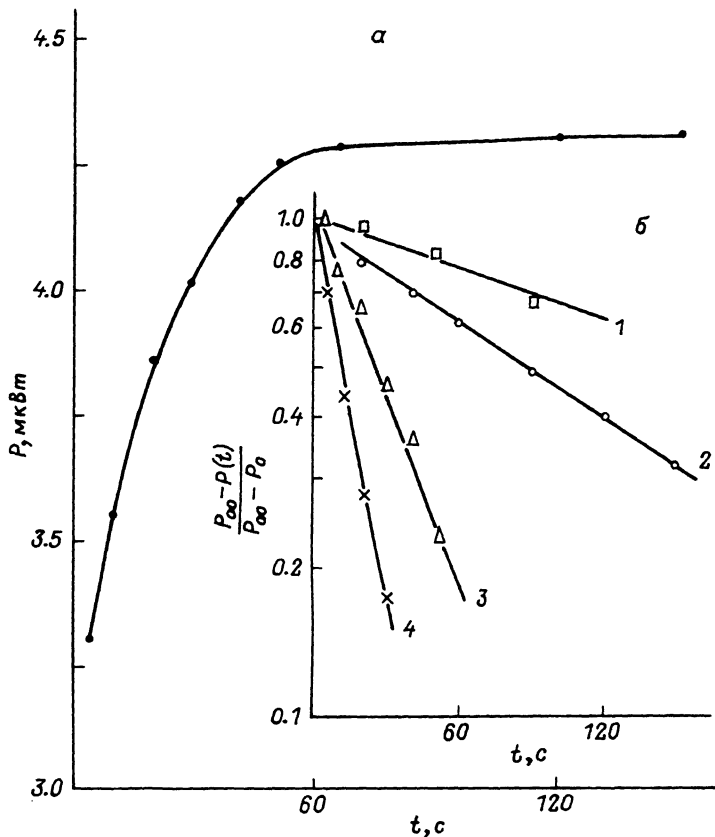


Рис. 1. а) Кинетика изменения мощности излучения $GaP:N$ СД при приложении прямого смещения и протекании тока $I = 10$ мА. б) Кинетика изменения мощности излучения $GaP:N$ СД при прямом смещении и температурах 170 (1), 190 (2), 230 (3) и 280 (4) К.

чения прямого смещения при 300 К в течение нескольких суток. Исходное состояние СД с низкой силой света может быть получено после кратковременного (30 мин) термоотжига диодов при 375–400 К.

Таким образом, при температуре 77 К оказалось возможным сравнить характеристики диодов в двух состояниях: 1) исходном (с низкой мощностью излучения) – после прогрева СД до 400 К и охлаждения до 77 К без приложения прямого смещения; 2) в состоянии с повышенной мощностью свечения – после охлаждения от 400 К до 77 К при прямом смещении. Последнее состояние может

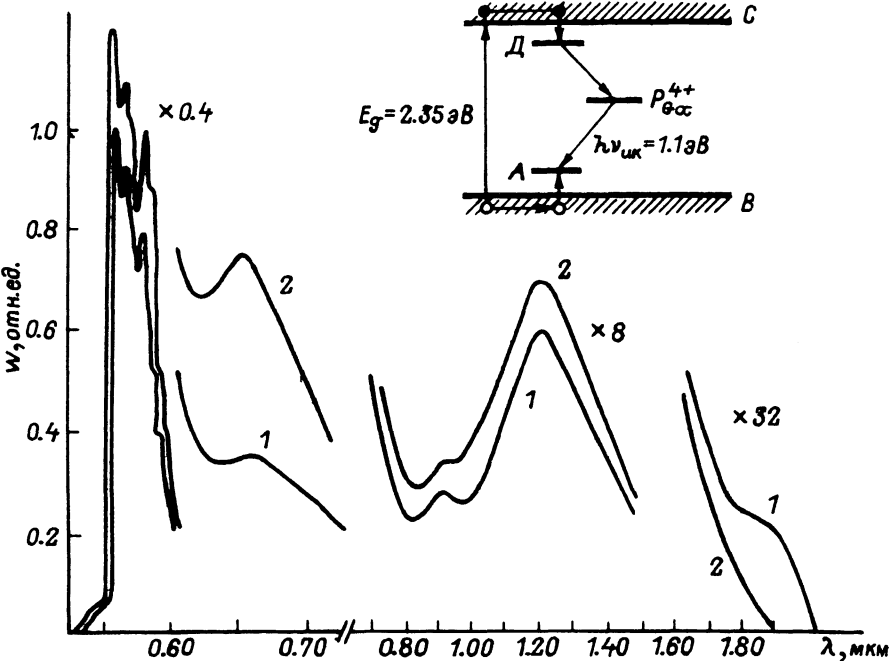


Рис. 2. Спектры ЭЛ GaP:N СД при 77 К в двух состояниях: исходном (1) и после подачи при 300 К смещения и охлаждения до 77 К (2).

быть получено также при освещении СД при 300 К когерентным излучением лазера с длиной волны $\lambda_m = 0.537 \text{ мкм}$, соответствующим области зонно-зонного поглощения света в кристаллах GaP при 300 К. Этот факт свидетельствует о том, что возрастание мощности свечения GaP:N СД обусловлено не процессами на контактах при протекании прямого тока (например, перераспределением напряжения между контактом и ОПЗ р-п перехода), а связано с активной областью диодов.

В двух состояниях были измерены спектры ЭЛ при 77 К (рис. 2,а). Последние в исходном состоянии содержали четыре полосы свечения: основную в зеленой области, представляющую совокупность тонких линий, возникающих при рекомбинации экситонов, связанных на дефектах NN_i (2.18 эВ), и их фоновых повторений NN_i -ТА (2.17 эВ) и NN_i -ЛО (2.13 эВ). На коротковолновом крае зеленой полосы наблюдались также линии А (2.31 эВ) и А-ЛО (2.26 эВ), обусловленные рекомбинацией экситонов на изолированных атомах N [9].

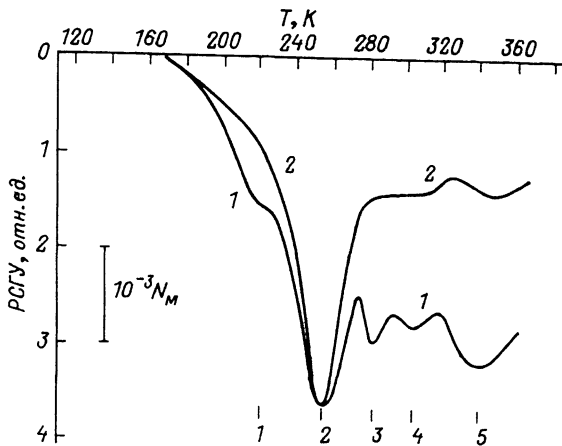


Рис. 3. Спектры РСГУ сигнала GaP:N СД, измеренные в режиме без инъекции в двух состояниях: исходном (1) и после (2) приложения при 300 К прямого смещения и охлаждения до 77 К, $\tau = 233$ мкс.

В длинноволновой части спектра СД присутствовала красная полоса с $h\nu_m = 1.88$ эВ, обусловленная, по-видимому, излучательной рекомбинацией электронов, локализованных на $\text{Zn} - \text{O}$ комплексах, с дырками, связанными на акцепторе Ga_As [10], и две инфракрасные полосы с $h\nu_m = 1.05 - 1.00$ эВ и $0.69 - 0.65$ эВ. Как следует из [11], полоса с $h\nu_m = 1.05$ эВ сложная и представляет собой суперпозицию двух полос 1.10 и 0.97 эВ, обусловленных излучательными переходами с участием $\text{P}_{\text{Ga}}^{4+}$ дефекта (рис. 2, б). Природа полосы с $h\nu_m = 0.69 - 0.65$ эВ не ясна.

В состоянии с повышенной мощностью излучения спектр ЭЛ при 77 К содержал три полосы свечения: зеленую и красную, описанные выше, а также ИК полосы с $h\nu_m = 1.03 - 1.00$ эВ. Интенсивность всех трех полос в этом состоянии была выше, чем в исходном (рис. 2, кривая 2). ИК-полоса с $h\nu_m = 0.69 - 0.65$ эВ в состоянии с высокой силой света либо вообще не присутствовала, либо была намного меньше по интенсивности, чем в исходном.

Спектры РСГУ сигнала в двух состояниях представлены на рис. 3. Зависимость логарифма постоянной времени перезарядки глубоких центров от обратной температуры демонстрирует рис. 4. Параметры обнаруженных центров приведены в таблице. Как видно из рис. 3, в исходном состоянии в спектре РСГУ сигнала имеется пять пиков, соответствующих ловушкам для основных носителей-электронов, поскольку в GaP:N СД ОПЗ сосредоточена в p -слое. При переходе в состояние с высокой силой света величина пика, обусловленного ловушкой $E_c - 0.42$ эВ, изменяется, а интенсивность всех остальных пиков существенно уменьшается (рис. 3, кривая 2).

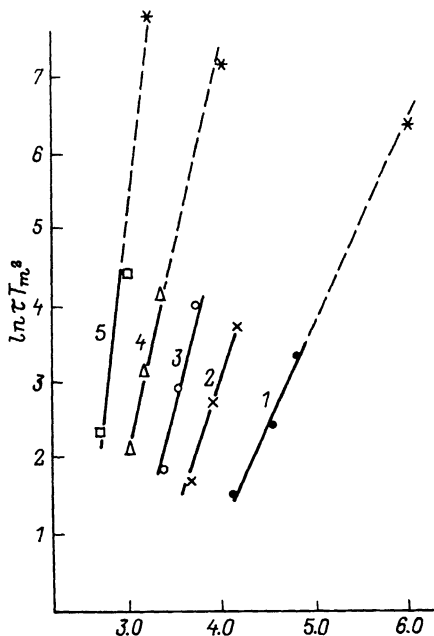


Рис. 4. Температурная зависимость постоянной термоэмиссии различных пиков в спектре РСГУ. Номера кривых соответствуют номерам пиков рис. 3. Звездочками показаны параметры ловушек E_3 , E_4 и E_5 из работы [14].

Ток на прямой и обратной ветвях ВАХ исследованных СД при 77 К в обоих состояниях был одинаковым (с точностью до 0.5). Это свидетельствует о том, что преобразование дефектов происходит не в ОПЗ р-п-перехода ($W \sim 0.2$ мкм), а преимущественно в активной области диодов, определяемой диффузионной длиной инжектированных неосновных носителей ($L_e \sim L_p \sim 1-2$ мкм). Возможно также, что реком-

бинационный ток р-п-перехода связан с другими дефектами, концентрация которых в ОПЗ СД значительно выше, чем концентрация преобразующихся центров.

Из приведенных результатов видно, что при приложении прямого смещения в п-слое СД происходит инжекционно-стимулированный отжиг глубоких центров. Из обнаруженных нами центров только концентрация ловушек $E_C - 0.42$ эВ не изменялась при приложении прямого смещения. Ловушка донорного типа с такой энергией активации была обнаружена ранее в р-типа эпитаксиальных пленках GaP, легированных азотом при концентрации азота выше $2 \cdot 10^{16}$ см⁻³, и связывалась с комплексами, включающими азот [8, 12, 13].

Ловушки для электронов $E_C - 0.29$, 0.52 и 0.65 эВ, обнаруженные в настоящей работе и претерпевающие инжекционно-стимулированный отжиг, близки по параметрам к ловушкам для электронов $E_C - 0.32$ (E_3), 0.48 (E_4) и 0.62 (E_5) эВ (рис. 4), возникающим в п-GaP, облученном потоком электронов с энергией 1 МэВ, которые также отжигались в условиях инжекции [5, 14]. Авторы [14] обнаружили, что ловушки E_3 , E_5 и E_4 термически отжигаются при $T = 140$ и 230 °С соответственно, что характерно для двух основных стадий отжига в GaP радиационных дефектов, связанных с атомами углерода (130-160 °С) и с примесями азот, бор или междоузельными дефектами P_i (260-290 °С).

В условиях инжекции в GaP:N СД уменьшается также интенсивность полосы свечения $h\nu_m = 0.65-0.69$ эВ. Исследование тем-

Концентрация мелких ионизированных доноров в ОПЗ,
 $N_m = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$

№ пика	Тип ловушки	τ , см ²	$E_c - E_t$, эВ
1	E ₃	10 ⁻¹⁵	0.29 \pm 0.03
2		10 ⁻¹⁴	0.42 \pm 0.01
3		10 ⁻¹³	0.48 \pm 0.03
4	E ₄	10 ⁻¹⁴	0.52 \pm 0.03
5	E ₅	10 ⁻¹⁵	0.65 \pm 0.03

пературного гашения этой полосы показало, что снижение ее интенсивности с ростом температуры происходит с энергией активации 0.05 эВ. Если предположить, что эта полоса обусловлена излучательной рекомбинацией электронов, локализованных на донорах E_c - 0.05 эВ, с дырками, локализованными на неких глубоких центрах, то энергетическое положение последних близко к глубине ловушек E_c - 0.72 эВ (E₆), также обнаруженных в работе [14] и преобладающих рекомбинационно-ускоренный отжиг. Широкий максимум (пик 5, рис. 3) в спектрах РСГУ настоящей работы в области температур, характерной для ловушек E₅, E₆, позволяет считать, что он представляет собой суперпозицию двух пиков (по аналогии с результатами работы [14]).

Таким образом, в настоящей работе в GaP:N СД была обнаружена серия глубоких центров, локализованных в p-области p-p-перехода, концентрация которых уменьшалась в процессе инжекции в p-слой неравновесных дырок. Параметры указанных ловушек оказались близки параметрам дефектов, возникающих в GaP при электронном облучении и проявляющих рекомбинационно-ускоренный отжиг. Можно думать, что и в исследованных СД рекомбинация инжектированных в p-слой дырок через электронные ловушки, сопровождающаяся выделением значительной энергии, приводит к их отжигу, обуславливая нестабильность сведения СД. Поскольку исследованные СД не подвергались облучению, то обнаруженные ловушки возникают, очевидно, в каких-то технологических процессах при создании диодов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Горчинская Т.В., Шейнкман М.К. - ЖПС, 1983, т. 38, № 3, с. 371-382.
- [2] Sheinkman M.K., Korsunskaja N.E., Markevich I.V., Torchinskaja T.V. - J. Phys. Chem. Solids., 1982, v. 43, N 5, p. 475-479.
- [3] Горчинская Т.В., Байдоха Л.Н., Рахлин М.Я. ЖПС, 1984, т. 32, № 3, с. 271-276.

- [4] Горчинская Т.В., Мирзажанов М.А., Марченко А.И. и др. - ЖПС, 1984, т. 41, № 4, с. 630-635.
- [5] Ланг Д. В кн.: Точечные дефекты в твердых телах, М.: Мир, 1979. 379 с.
- [6] Troxeff J.R., Chatterjee A.B., Watkins G.D. et al. Phys. Rev., 1973, v. B8, p. 2906.
- [7] Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. М.: Энергоиздат, 1983. 208 с.
- [8] Горчинская Т.В., Шматов А.А., Строчков В.И., Шейнкман М.К. - ФТП, 1986, т. 20, № 4, с. 701-707.
- [9] Юнович А.Э. В кн.: Излучательная рекомбинация в полупроводниках. / Под. ред. Покровского Я.Е., М.: Наука, 1972, с. 224-304.
- [10] Попов А.С. - ФТП, 1977, т. 11, № 6, с. 1702-1076.
- [11] Killorant N., Cavenett B.C., Godlewski et al. - J. Phys. C, Sol. Stat. Phys., 1982, v. 15, N 22, p. 723-728.
- [12] Smith B.L., Hayes T.J., Peaker A.R., Wight D.R. - Appl. Phys. Lett., 1975, v. 26, N 3, p. 122-126.
- [13] Longini R.L. - Sol. St. Electr., 1962, N 2, p. 123-130.
- [14] Lang D.V., Kimerling L.C., - Appl. Phys. Lett., 1976, v. 28, N 2, p. 248-256.

Поступило в Редакцию
8 июня 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 18 26 сентября 1988 г.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫЕ
ПОЛЯРИТОНЫ В ИОННОМ КРИСТАЛЛЕ
С ДВУМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ СЛОЕМ

Х.К. Гранада, Ю.А. Косевич,
А.М. Косевич

Рассматривается ионный кристалл, на поверхности которого расположен двумерный ($2D$) электронный слой, помещенный во внешнее магнитное поле H , перпендикулярное плоскости слоя. В работе [1] в пренебрежении запаздыванием электромагнитных волн исследованы особенности связанных фонон-магнитоплазменных поверхностных колебаний в такой системе и обращено внимание на возможность существования поверхностных волн с отрицательной групповой