

О ПРИЧИНАХ ДЕГРАДАЦИИ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРАСНЫХ AlGaAs—GaAs ГЕТЕРОСТРУКТУР

Т. В. Торчинская, Ж. С. Абдуллаев

Многочисленные исследования [1, 2] процесса деградации инжекционной электролюминесценции (ЭЛ) в AlGaAs—GaAs гетероструктурах и приборах показали, что основной причиной ее снижения является увеличение концентрации центров безызлучательной рекомбинации (ЦБР) в активной области. Для объяснения этого явления предлагались различные гипотезы, а именно: рекомбинационно-стимулированная генерация дефектов с последующим

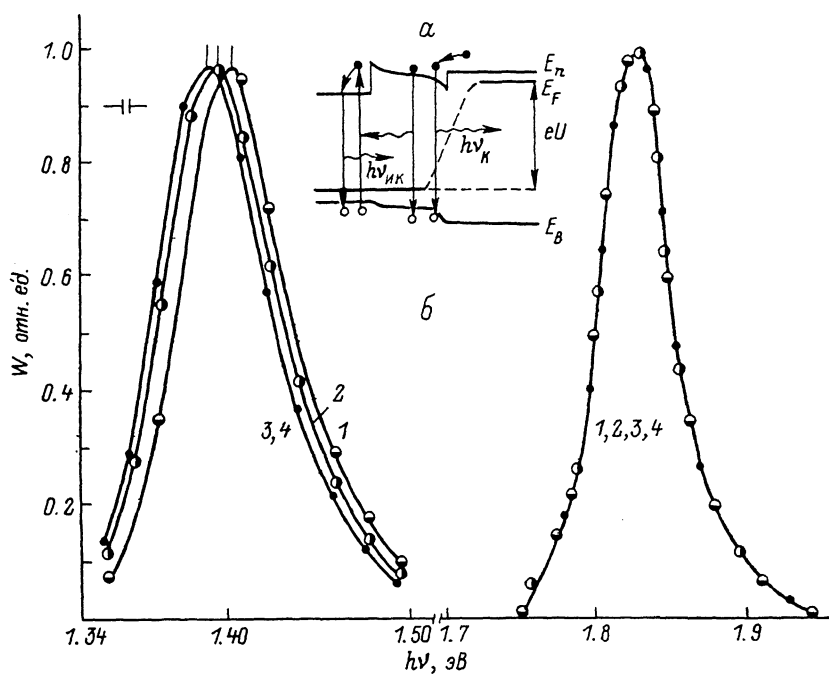


Рис. 1. Энергетическая диаграмма исследованных AlGaAs СД (а) и спектры ЭЛ красных СД в моменты времени наработки (б).

1 — 0, 2 — 100, 3 — 500, 4 — 6000 ч.

объединением их в ЦБР [3, 4], диффузионно-дрейфовое перераспределение примесных атомов и собственных дефектов в поле $p-n$ -перехода [1, 5], рекомбинационно-стимулированная релаксация упругих напряжений в гетеросистеме с образованием дислокаций — дефектов темных линий (ДТЛ) и дислокационных петель [6, 7]. Образование ДТЛ, обуславливающих быструю деградацию приборов, удалось исключить путем снижения величины напряжения в системах. В то же время причины появления точечных дефектов — ЦБР, с которыми связана долговременная деградация приборов, остаются пока невыясненными. Цель настоящей работы состояла в анализе причин, обуславливающих долговременную деградацию красных AlGaAs светодиодов (СД).

Изучалась деградация ЭЛ промышленных красных $n-p-p^+$ -типа светодиодов на основе $Ad_xGa_{1-x}As : Te$ ($x > 0.34$)— $Al_{0.34}Ga_{0.66}As : Zn$ —GaAs: Zn гетероструктур, полученных жидкофазной эпитаксией [8]. Спектр ЭЛ исследованных СД содержал две полосы свечения: красную (К) $h\nu_m=1.82$ эВ и инфракрасную (ИК) $h\nu_m=1.40-1.39$ эВ, обусловленные рекомбинацией электронов и дырок в активном $p-Al_{0.34}Ga_{0.66}As$ слое и в GaAs подложке вследствие поглощения в последней основной К полосы свечения (рис. 1) [8, 9]. При этом полоса $h\nu_m=1.39$ эВ соответствует излучению в высоколегированной дефектной GaAs подложке, в то время как полоса $h\nu_m=1.40$ эВ связана с более совершенным переходным GaAs слоем у AlGaAs—GaAs гетерограницы, образующимся, очевидно, вследствие частичного расплавления подложки в процессе жидкофазной эпитаксии и последующей ее рекристаллизации

Деградация СД происходила при пропускании в прямом направлении тока 50 мА плотностью 20 А/см² при 20 °С в течение 6000 ч. Относительное изменение интенсивности К и ИК полос свечения при деградации показано на рис. 2. Если в СД ИК полоса свечения имела максимум $h\nu_m = 1.39$ эВ, то при деградации спектральное положение обеих полос не изменялось, а относительные изменения интенсивностей совпадали (рис. 2, кривые 1, 2), как это имело место и в работе [9]. Если же максимум ИК полосы соответствовал 1.40 эВ (кривые 3, 4), то в процессе деградации наряду с уменьшением величины обеих полос наблюдалось смещение ИК полосы свечения в длинноволновую сторону (рис. 1, кривые 2, 3, 4). При этом

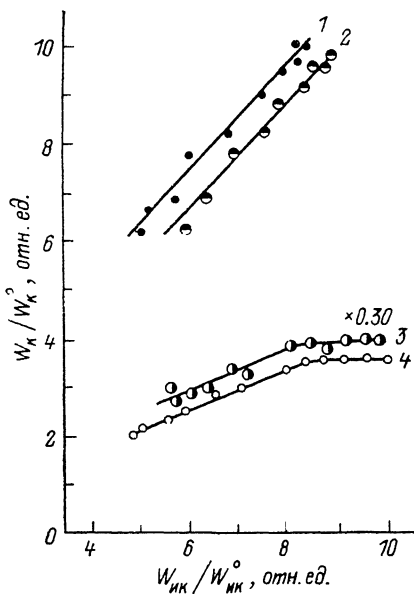
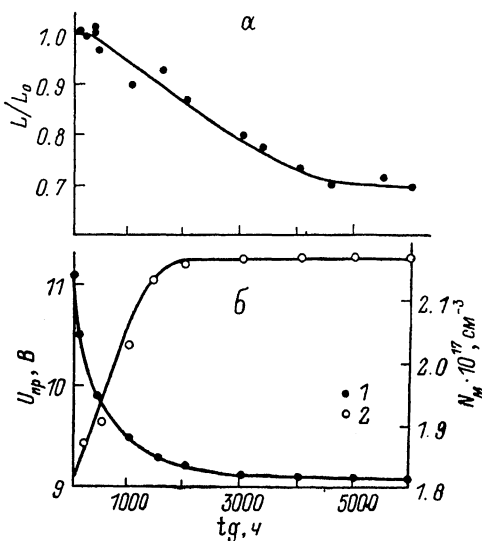


Рис. 2. Относительные значения интенсивности красной и инфракрасной полос свечения в различные моменты времени деградации для светодиодов с ИК полосой.

Рис. 3. Относительное изменение при наработке интенсивности основной К полосы свечения СД (а) и изменение в процессе деградации величины $U_{пр}$ (1) и концентрации акцепторов N_M (2), рассчитанной из $U_{пр}$ (6). Режим деградации при $T=300$ К, $I=20$ А/см².



относительное изменение К полосы было слабее, чем относительное изменение ИК полосы (рис. 2, кривые 3, 4). Интенсивности обеих полос свечения связаны соотношениями

$$W_K = \eta_K \eta_I I_n \gamma_0^K,$$

$$W_{ИК} = \eta_{ИК} \eta_K \eta_I I_n \gamma_0^{ИК},$$

где η_I — коэффициент инжекции электронов в активный p -слой, I_n — полный ток через диод, η_K и $\eta_{ИК}$ — внутренний квантовый выход излучательной рекомбинации К и ИК полос свечения, γ_0^K и $\gamma_0^{ИК}$ — коэффициенты вывода излучения из структуры.

Очевидно, что большее относительное изменение ИК полосы свечения по сравнению с изменением К полосы свидетельствует об уменьшении при деградации величины $\eta_{ИК}$. Существенно, что величина $W_{ИК}$ уменьшается и происходит смещение ИК полосы даже тогда, когда величина W_K в начальный период (0–300 ч) наработки еще практически не изменяется (рис. 2, кривые 3, 4, рис. 3, а). Последний факт свидетельствует о том, что процесс деградации красных AlGaAs СД начинается у гетерограницы GaAs—AlGaAs.

Изменение величины $W_{ИК}$ и смещение ИК полосы в длинноволновую сторону происходит одновременно с ростом избыточного термотуннельного тока на обратной ветви ВАХ (рис. 4). Рост избыточного тока при наработке характеризует увеличение концентрации дефектов в области пространственного заряда p – n -перехода (ОПЗ), в то же время изменение интенсивности $W_{ИК}$ свидетельствует об увеличении концентрации дефектов в гетерогранице GaAs—AlGaAs. Эти области пространственно удалены друг от друга (рис. 1, а), поэтому связанные с ними процессы могли бы происходить независимо. Чем значительно увеличивался избыточный ток, тем сильнее снижается и интенсивность $W_{ИК}$, что позволяет считать

ти процессы связанными. Можно думать, что они обусловлены одной причиной, а именно релаксацией напряжений в гетеросистеме, сопровождающейся введением структурных дефектов в границах раздела GaAs—Al_{0.34}Ga_{0.66}As и Al_{0.34}Ga_{0.66}As—Al_xGa_{1-x}As ($x > 0.34$), поскольку известно, что увеличение в $p-n$ -переходе плотности структурных дефектов приводит к росту избыточных токов на обратной ветви ВАХ [10].

Дальнейшая наработка ($t > 100$ ч) вызывает также уменьшение напряжения пробоя диодов (рис. 3, б и 4). Температурный коэффициент напряжения пробоя при этом не изменялся, до и после деградации был положительным, одинаковым и равным $5 \cdot 10^{-3}$ В/град, что свидетельствует о лавинном механизме пробоя. Тогда уменьшение $U_{пр}$, очевидно, обуслов-

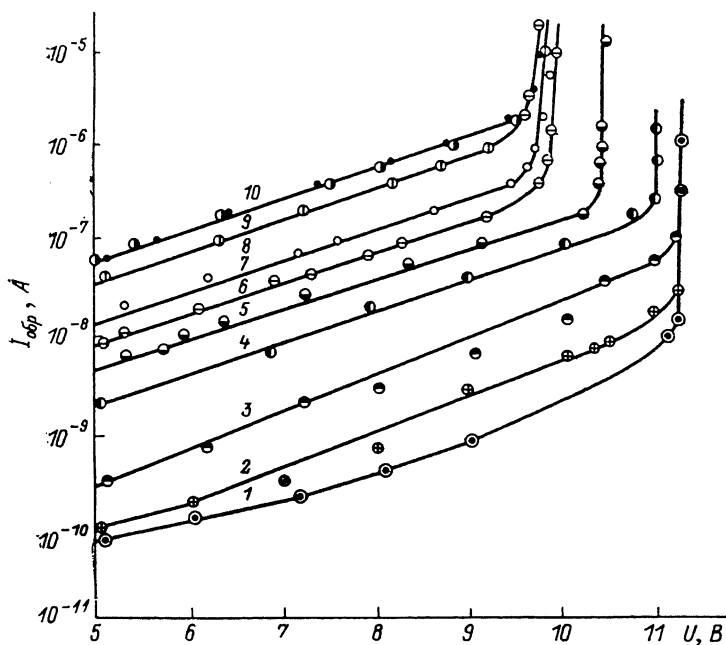


Рис. 4. Обратная ветвь ВАХ СД в различные моменты времени деградации.

1 — 0, 2 — 10, 3 — 50, 4 — 100, 5 — 350, 6 — 1500, 7 — 2000, 8 — 4000, 9 — 6000, 10 — 7000 ч.

лено возрастанием при наработке в активном p -слое концентрации легирующей примеси Zn (рис. 3, б, кривая 2). Последний вывод в ряде случаев подтверждался увеличением емкости диодов. Постоянство емкости отдельных диодов при уменьшении $U_{пр}$ указывают на то, что рост концентрации цинка происходит неоднородно по площади $p-n$ -перехода, преимущественно в некоторых локальных участках. Поскольку концентрация Zn возрастает значительно (рис. 3, б), а концентрация глубоких центров в этих СД, оцененная методом РСГУ, была $\leq 10^{15}$ см⁻³, то следует думать, что увеличение концентрации Zn обусловлено не распадом каких-то комплексов в $p-n$ -переходе, а диффузией Zn из высоколегированной GaAs подложки, возможно, вдоль линий дислокаций.

Наконец, уменьшение интенсивности основной К полосы свечения СД (рис. 3, а) при неизменных η_I , I_H и η_K^0 обусловлено снижением в процессе долговременной деградации объемной квантовой эффективности свечения η_K активного слоя. Можно думать, что диффундирующие из подложки при наработке атомы Zn образуют в активном Al_{0.34}Ga_{0.66}As p -слое комплексы — центры безызлучательной рекомбинации.

Литература

- [1] Птащенко А. А. // ЖПС. 1980. Т. 33. № 5. С. 781—803.
- [2] Горчинская Т. В., Шейнман М. К. // ЖПС. 1983. Т. 38. № 3. С. 371—382.
- [3] Gold R. D., Weisberg L. R. // Sol. St. Electron. 1964. Vol. 7. N 4. P. 811—821.
- [4] Сушков В. П., Шенетилова Л. А. // Электротехника. 1971. Сер. 2. № 5. С. 3—7.
- [5] Longini R. L. // Sol. St. Electron. 1961. Vol. 5. N 2. P. 123—130.
- [6] Ueda O., Imai H., Fujiwara T. et al. // J. Appl. Phys. 1980. Vol. 51. N 10. P. 5316—5325.
- [7] Hayashi I. // J. Phys. Soc. Jap. A. 1980. Vol. 49. N 1. P. 57—60.

- [8] Коган Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. М.: Энергоиздат, 1983. 208 с.
 [9] Птащенко А. А., Сушков В. П., Ирма В. П. и др. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. Вып. 10. С. 624—627.
 [10] Торчинская Т. В., Брайловский Е. Ю., Семенова Г. Н. и др. // ФТП. 1984. Т. 18. Вып. 8. С. 1397—1402.

Институт полупроводников
 АН УССР
 Киев

Поступило в Редакцию
 5 апреля 1988 г.

06; 05; 09

Журнал технической физики, т. 59, в. 7, 1989

ВЛИЯНИЕ ПОЛЕЙ РАЗМАГНИЧИВАНИЯ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР НА ПРОЦЕСС НЕОДНОРОДНОГО ВРАЩЕНИЯ МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ ВБЛИЗИ ДВИЖУЩИХСЯ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ

А. С. Логгинов, Г. А. Непокойчицкий, Н. И. Никитин,
 Т. Б. Розанова, В. А. Трофимов

В ряде работ [1-4] было показано, что при движении доменных границ (ДГ) возможна генерация опережающих их магнитных возмущений (МВ), представляющих собой нескованные магнитные образования, возникающие вблизи ДГ за счет неоднородного вращения векторов намагниченности. Данная работа посвящена изучению природы таких образований.

Образцами служили Bi-содержащие пленки феррит-гранатов, выращенные на подложках ориентации (111). Исследования проводились методом электронно-оптической высокоскоростной фотографии, подробно описанным ранее [3]. Ниже приведены результаты для пленок со следующими параметрами (см. таблицу).

№ пленки	Состав	Толщина h , мкм	Поле кол-лапса ЦМД H_0 , Э	Намагниченность насыщения $4\pi M_S$, Гс	Поле одноосной анизотропии H_a , Э	Фактор качества Q
1	$(\text{BiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$	7.5	126	173	600	3.5
2	$(\text{BiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$	10	101	137	950	6.9
3	$(\text{YBiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$	5	99	218	3070	14.1
4	$(\text{BiTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$	7.3	17.8	70	4950	70.6

Обнаружено, что параметры образца существенно влияют на особенности генерации МВ движущимися доменными границами. Так, в пленках 1, 2 с ростом импульсного поля $H_{\text{вмп}}$ процесс неоднородного вращения вблизи ДГ усиливался [3], в образце 3 генерация изолированных МВ происходила лишь в относительно узком диапазоне полей $H_{\text{вмп}}$, соизмеримых с H_a , а в пленке 4 во всем диапазоне полей $H_{\text{вмп}}$ от 0 до H_a генерация МВ не наблюдалась. Таким образом, показано, что в однородных внешних полях, ориентированных по нормали к плоскости образцов, процесс неоднородного вращения вблизи движущихся ДГ проявляется тем ярче, чем меньше фактор качества $Q = H_a/4\pi M_S$. Исследования особенностей генерации МВ доменными стенками полосовых доменов и цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), находящимися одновременно в однородном поле смещения $H_{\text{см}}$, показали, что этот процесс у границ полосовых доменов может начинаться существенно раньше, чем у ЦМД. На рис. 1 представлены зависимости минимального времени τ^* от момента приложения $H_{\text{вмп}}$ до начала неоднородного вращения у ЦМД $\tau_{\text{ЦМД}}^*$ и полосовых доменов $\tau_{\text{ПД}}^*$ (образец 2). Отметим, что для образцов с другим набором параметров (1,3) такого явного различия во временах $\tau_{\text{ЦМД}}^*$ и $\tau_{\text{ПД}}^*$ не обнаружено. На рис. 2, а схематически показана типичная картина, наблюдаемая при полностью скрещенных полях в момент времени τ ($\tau_{\text{ПД}}^* < \tau < \tau_{\text{ЦМД}}^*$), а на рис. 2, б — при $\tau > \tau_{\text{ПД}}^*$, $\tau_{\text{ЦМД}}^*$.