

# Статистические особенности деградации гетеролазеров при старении и облучении

А.А.Кочетков

*Исследованы особенности деградации GaAlAs- и InGaAsP-гетеролазеров при старении ( $T = 60^\circ\text{C}$ ) и в процессе облучения. Определены аналитические выражения, характеризующие увеличение дисперсии распределения порогового тока в зависимости от времени ресурсных испытаний и от дозы облучения потоками быстрых частиц.*

**Ключевые слова:** статистика деградации гетеролазеров, дисперсия порогового тока.

Статистический анализ деградации гетеролазеров при различных температурных режимах накачки и потоках быстрых частиц позволил получить достаточно удобную модель надежности, учитывающую режимы испытаний, начальные условия и критерии отказа. Эта модель была получена в предположении, что приращение параметров обусловлено действием превалирующего механизма кинетики данных процессов [1–3]. При таком условии, часто наблюдаемом на практике, дисперсия  $\sigma^2$  распределения порогового тока реально не зависит от времени ресурсных испытаний или от дозы облучения:

$$\bar{I}_t = \bar{I}_0 + c_0(\ln t - \ln \tau), \quad c_0 = \frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \text{const}, \quad (1)$$

$$\bar{I}'_t = \bar{I}'_0 + c'_0(\ln y - \ln y_0), \quad c'_0 = \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} = \text{const}, \quad (2)$$

где  $\tau$  – время ресурсных испытаний, соответствующее началу старения;  $\sigma_1^2$  – дисперсия распределения порогового тока в начальный момент;  $\sigma_0^2$  – дисперсия распределения отказов;  $t$  – время испытаний;  $y_0$  – доза облучения, при которой наблюдается деградация;  $y$  – доза радиационного облучения;  $\bar{I}_0$  – средний пороговый ток в начальный момент.

Тем не менее в случае недостаточной предварительной отбраковки гетеролазеров (большая дисперсия распределения по параметру годности), а также при увеличенных продолжительности испытаний на долговечность и дозе облучения не исключена возможность существования нескольких равнозначных по действию механизмов деградации или переходов от одного основного механизма кинетики этого процесса к другому. В этом случае условие постоянства дисперсии не соблюдается, дисперсия будет возрастать, что в свою очередь должно естественным образом повлиять на вид выражений для расчета изменения порогового тока в процессе деградации при старении и облучении потоками быстрых частиц.

В случае старения эти выражения имеют вид

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2(t), \quad \sigma_1 = \text{const},$$

$$I_t(z) = I_{t0} + c_z(\ln t - \ln a),$$

$$\bar{I}_t = \bar{I}_{t0} + c_x(\ln t - \ln a), \quad c_x = \sigma/\sigma_0, \quad (3)$$

$$c_z = \begin{cases} c_0, & \tau \leq t \leq t_0, \quad a = \tau, \\ c_1, & t_0 < t, \quad a = t_0, \end{cases}$$

$$c_x = \begin{cases} c_0, & \tau \leq t \leq t_0, \quad a = \tau, \\ c_2, & t_0 < t, \quad a = t_0, \end{cases}$$

где  $I_t(z)$  – распределение порогового тока для совокупности гетеролазеров в процессе деградации;  $z = [I_t(z) - \bar{I}_t]/\sigma = [I_{t0}(z) - \bar{I}_{t0}]/\sigma_1$  – аргумент нормальной функции распределения  $\Phi^*(z)$ ;  $t_0$  – время ресурсных испытаний, при котором наблюдается увеличение дисперсии. Увеличение дисперсии при облучении гетеролазеров потоками быстрых частиц описывается формулами, аналогичными выражениям (3).

Из выражений (3) следует, что  $I_t(z) - \bar{I}_t = I_{t0}(z) - \bar{I}_{t0} + (c_z - c_x)(\ln t - \ln a)$ . Нормируя это соотношение на  $z$ , получаем

$$\sigma = \sigma_1 + (c_z - c_x)z^{-1}(\ln t - \ln a). \quad (4)$$

Аналогичное выражение получается в случае облучения потоками быстрых частиц:  $\sigma' = \sigma'_1 + (c'_z - c'_x)z^{-1}(\ln y - \ln a)$ . Поскольку величины  $\sigma$  и  $\sigma'$  не зависят от  $z$ , введем обозначения  $(c_z - c_x)z^{-1} = B$ ,  $(c'_z - c'_x)z^{-1} = B'$ ; тогда для этих величин будут определены искомые выражения:

$$\sigma = \sigma_1 + B(\ln t - \ln a), \quad (5)$$

$$\sigma' = \sigma'_1 + B'(\ln y - \ln a). \quad (6)$$

Для случаев  $\sigma = \sigma_1$ ,  $\sigma' = \sigma'_1$  имеем  $B = B' = 0$ . Величины  $B$  и  $B'$  в общем виде могут зависеть от времени испытаний и условий облучения: режимы ресурсных испытаний или воздействия потоков быстрых частиц близки к условиям начала катастрофической деградации; в процессе деградации сформировалась достаточно неод-

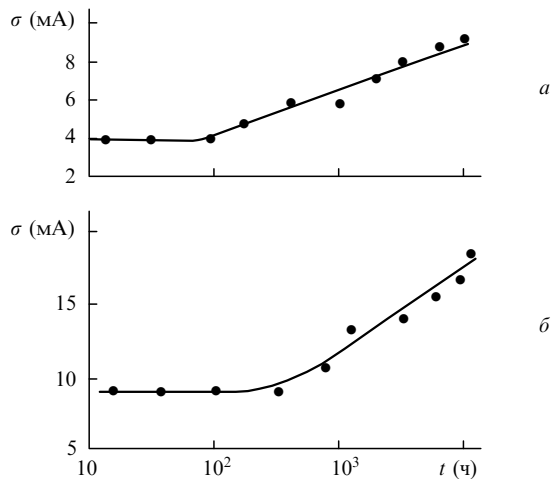


Рис.1. Увеличение  $\sigma$  в зависимости от времени ресурсных испытаний GaAlAs- (а) и InGaAsP-гетеролазеров (б) при  $T = 60^\circ\text{C}$ .

народная совокупность гетеролазеров (большие  $\sigma$ ,  $\sigma'$ ); время ресурсных испытаний  $t \gg t_0$  или  $y \gg y_1$  ( $y_1$  – доза облучения, при которой дисперсия увеличивается).

Проведенные ресурсные исследования GaAlAs- и InGaAsP-гетеролазеров при  $T = 60^\circ\text{C}$  показали, что в течение достаточно длительного времени испытаний величина  $B$  остается практически постоянной (рис.1). Экспериментальные наблюдения деградации гетеролазеров данных типов при воздействии потоков нейтронов, протонов, гамма-квантов и электронов позволили сделать аналогичный вывод о том, что  $B'$  остается постоянной величиной при значительных  $y$ .

На рис.2 приведены типичные зависимости от  $y$  дисперсии порогового тока GaAlAs- и InGaAsP-гетеролазеров при облучении потоком нейтронов. Опытные данные были получены по результатам исследований 10 образцов гетеролазеров для каждого вида испытаний. При этом средний пороговый ток до начала испытаний был равен  $\sim 25$  мА для GaAlAs-гетеролазеров и  $\sim 50$  мА для InGaAsP-гетеролазеров. В связи с этим расчеты изменения порогового тока гетеролазеров в процессе деградации должны учитывать вклад от увеличения  $\sigma(t)$  или  $\sigma'(y)$ , т.к. влияние увеличения дисперсии на приращение  $\bar{I}_t$  может быть значительным при определенных условиях:

$$\Delta \bar{I}_t = B(\ln t - \ln a)^2 / \sigma_0, \quad \Delta \bar{I}'_t = B'(\ln y - \ln a)^2 / \sigma'_0.$$

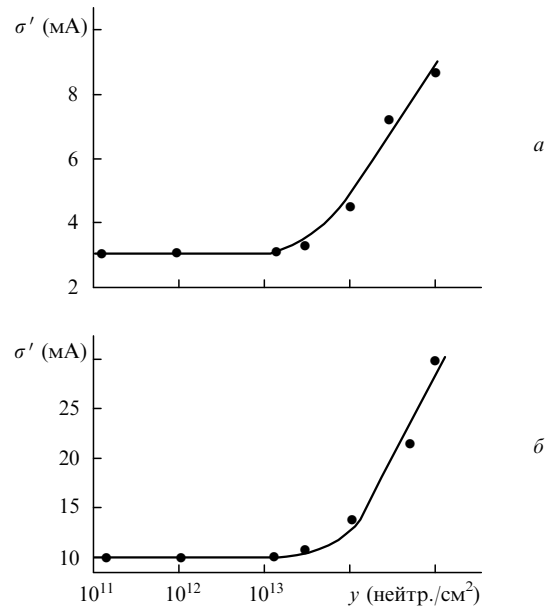


Рис.2. Увеличение  $\sigma'$  в зависимости от потока нейтронов для GaAlAs- (а) и InGaAsP-гетеролазеров (б).

Полученные результаты исследований свидетельствуют о практической целесообразности использования в реальных расчетах надежности гетеролазеров особенности изменения параметров при деградации дисперсии распределения порогового тока. При этом с помощью статистического анализа кинетики деградации гетеролазеров в процессе старения и облучения потоками быстрых частиц оказалось возможным аналитически рассчитать изменения дисперсии в зависимости от времени ресурсных испытаний и дозы облучения.

1. Елисеев П.Г., Кочетков А.А. *Квантовая электроника*, **10**, 2118 (1983).
2. Кочетков А.А. *Квантовая электроника*, **16**, 1595 (1989).
3. Кочетков А.А. *Квантовая электроника*, **21**, 422 (1994).

**А.А.Кочетков. Statistical features of degradation of heterojunction lasers upon aging and irradiation.**

Specific features of degradation of the GaAlAs and InGaAsP heterojunction lasers are studied during aging at  $60^\circ\text{C}$  and upon irradiation by fast particles. Analytic expressions are obtained that describe an increase in the dispersion of the threshold current distribution with the time of the operating-life test and the dose of irradiation by fast particles.