

Оценка надежности полупроводникового излучателя ИЛПН-134

© О.В. Журавлева, А.В. Иванов, В.Д. Курносов, К.В. Курносов[†], В.И. Романцевич, Р.В. Чернов

ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха,
117342 Москва, Россия

(Получена 29 апреля 2009 г. Принята к печати 4 мая 2009 г.)

Исследована надежность излучателя ИЛПН-134. Предложена методика, позволяющая оценить, какой вклад в общий процесс деградации излучателя ИЛПН-134 вносят по отдельности процессы старения лазерного диода и оптической системы. Определены значения энергии активации деградационных процессов, стандартные отклонения и скорости отказов лазерного диода и оптической системы.

1. Введение

Исследованию надежностных характеристик лазеров посвящено большое число работ. В работе [1] исследуется надежность полупроводниковых GaAs-лазеров, а в [2] — надежность подводных оптических передающих систем. Влиянию температуры и влажности на время жизни негерметичных лазерных диодов посвящены работы [3,4]. Исследование надежности лазеров с распределенной обратной связью (DFB) представлено в [5], а лазерных передатчиков с распределенным брэгговским отражением (DBR) с широкой полосой перестройки длины волны излучения — в [6].

Ускоренная оценка долговечности инжекционных лазеров и передающих модулей рассмотрена в [7]. Наиболее подробно вопросы надежности неохлаждаемых оптических передатчиков рассмотрены в [8].

Надежности и деградации полупроводниковых лазеров и светодиодов посвящена работа [9], а оптических приборов на основе полупроводников группы III-V — работа [10]. Причины внезапных отказов полупроводниковых лазеров, надежность гетеролазеров и ускоренная оценка долговечности инжекционных лазеров рассмотрены в работах [11–13].

В данной работе проведена оценка надежности излучателя ИЛПН-134.

2. Эксперимент

Излучатель ИЛПН-134 представляет собой полупроводниковый прибор плоской конструкции с одним оптическим и 14 электрическими выводами (корпус DIP-14).

В состав излучателя входят: активный элемент — лазерный диод (ЛД) на основе системы AlGaInAs/InP с длиной волны излучения 1.55 мкм с шириной мезаполоска 2 мкм и длиной резонатора 400 мкм; оптическая система (ОС), представляющая собой узел фиксации припоями металлизированного перетянутого на конус оптического волокна после его юстировки относительно ЛД; оптический кабель, имеющий на конце оптический разъем, на выходе которого измерялась мощность излучения.

В рамках данной работы было изготовлено 15 штук излучателей, из которых были сформированы 3 выборки по 5 штук излучателей в каждой. Ускоренные испытания проводились в трех термокамерах при температуре первой выборки 70, второй — 80, третьей — 90°C в течение 8500 ч при токе накачки, соответствующем мощности излучения 3 мВт при температуре $T = 60^\circ\text{C}$. Через каждые (100 ± 20) ч температура в камерах уменьшалась до $T = (60 \pm 1)^\circ\text{C}$ и записывались значения токов накачки, соответствующие мощности излучения $P_{\text{opt}} = 3$ мВт на выходе оптического кабеля. После этого температура в камерах опять устанавливалась равной соответственно 70, 80 и 90°C и испытания продолжались при этом токе накачки.

На рис. 1 представлены зависимости тока накачки (I) излучателей ИЛПН-134 от времени (t) для $T = 70, 80$ и 90°C .

Обработка результатов, представленных на рис. 1, проводилась с использованием всего массива экспериментальных точек, полученных в течение 8500 ч с помощью функции $I(t) = I(0) + A \exp(t/t_1)$, где $I(0)$ — значение тока накачки излучателя в момент времени $t = 0$; $I(0)$, A , t_1 — постоянные величины, которые выбирались из условия наилучшего совпадения расчетной кривой с экспериментальными данными.

С использованием экспоненциальной зависимости производился расчет времен условных отказов приборов для температур 70, 80 и 90°C. Результаты представлены в таблице. В качестве критерия условного отказа принято превышение на 20% начального тока накачки излучателей ИЛПН-134.

Величины, представленные в таблице, рассчитывались по формуле [9] $F = (k - 0.3)(n + 0.4)^{-1}$, где k — число отказавших приборов, n — число тестируемых приборов.

В таблице для приборов 060502 и 060504 времена отказа не приводятся. Это объясняется тем, что ток накачки для этих приборов не увеличивается, а, напротив, уменьшается в диапазоне времени от 0 до 8500 ч. Поэтому эти приборы были исключены из рассмотрения. В действительности ток накачки этих приборов также будет увеличиваться, однако для наблюдения увеличения необходимы более длительные испытания. Уменьшение тока накачки для приборов 060502 и 060504 можно

[†] E-mail: webeks@mail.ru

Значения времен отказов приборов и накопленный процент отказов

№ прибора	Накопленный процент отказов	Время отказа при $T = 90^\circ\text{C}$	№ прибора	Накопленный процент отказов	Время отказа при $T = 80^\circ\text{C}$	№ прибора	Накопленный процент отказов	Время отказа при $T = 70^\circ\text{C}$
060512	13	6180	060509	13	7160	060501	20.6	12100
060511	31.5	6500	060507	31.5	11120	060502	—	—
060513	50.0	7270	060510	50.0	12600	060503	50.0	35400
060515	68.5	7660	060508	68.5	24150	060504	—	—
060514	87	9720	060506	87	253235	060505	79.4	244570

Примечание. Времена отказа приведены в часах.

объяснить тем, что приборы были отъюстированы не на максимум выходной оптической мощности излучения.

Результаты таблицы представлены для логарифмически нормального закона распределения отказов на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что наклоны прямых для $T = 70, 80$ и 90°C отличаются друг от друга. Если бы был один

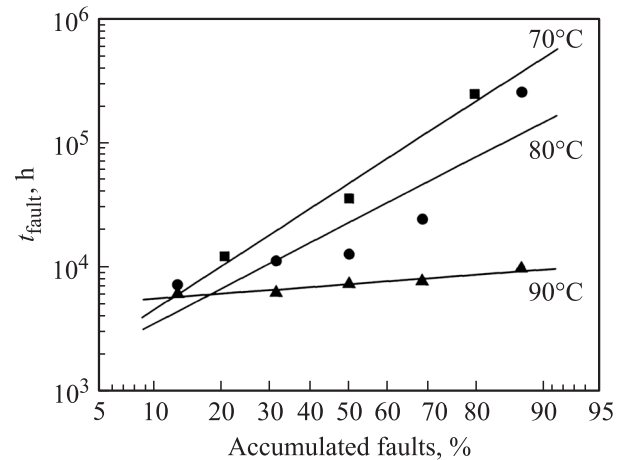


Рис. 2. Зависимости времени наработки приборов t_{fault} от величины накопленных отказов для температур $70, 80$ и 90°C .

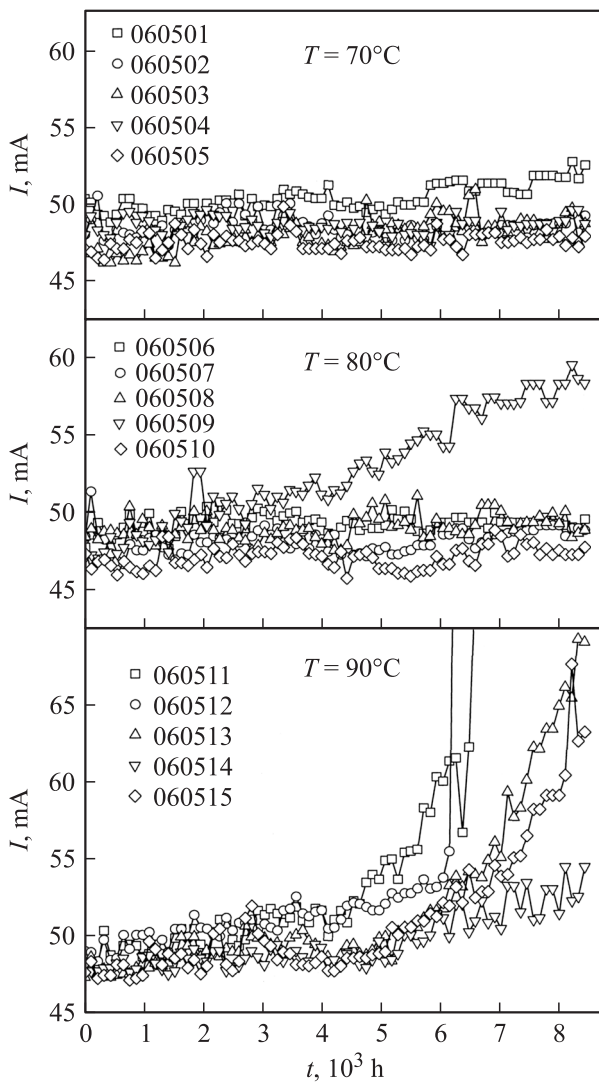


Рис. 1. Экспериментальные зависимости тока накачки I излучателей, соответствующего мощности оптического излучения $P_{\text{opt}} = 3 \text{ мВт}$ при температуре 60°C , от времени t для температур испытаний $T = 70, 80$ и 90°C .

механизм отказа приборов, то мы имели бы три параллельные прямые. Исследование приборов показало, что основной причиной отказа приборов при $T = 90^\circ\text{C}$ является разъюстировка волокна относительно излучающей области лазера. Несмотря на то что оптическое волокно было многомодовым, было металлизировано и припаяно на узел фиксации волокна припоем с температурой плавления, более чем в 2 раза превышающей температуру испытаний, наблюдается разъюстировка приборов. Анализ отказавших приборов показал, что волокно имеет осевое смещение, а для прибора 060512 волокно имело такое смещение, что разрушило активную область лазера. Причиной сдвига волокна являются напряжения, которые появляются за счет предварительного специального изгиба волокна, необходимого для компенсации температурных изменений геометрических размеров составных частей излучателя при изменении рабочей температуры окружающей среды от -60 до $+60^\circ\text{C}$.

Таким образом, мы имеем два механизма уменьшения оптической мощности, т.е. деградации излучателя ИЛПН-134: один связан со старением ЛД, другой — со старением (разъюстировкой) ОС.

Для того чтобы оценить, какой вклад в общий процесс деградации излучателя ИЛПН-134 вносят по отдельности процессы старения ЛД и ОС, необходимо выбрать модель для описания этих процессов.

3. Модель

Для описания надежности излучателя ИЛПН-134 рассмотрим следующую математическую модель.

1) Вероятность безотказной работы излучателя, $R(t)$, определяется произведением безотказной работы ОС, $R_{OS}(t)$, и ЛД, $R_{LD}(t)$ [8]:

$$R(t) = R_{OS}(t)R_{LD}(t). \quad (1)$$

Учитывая, что $R(t) = 1 - F(t)$ [9], имеем

$$F(t) = F_{OS}(t) + F_{LD}(t) - F_{OS}(t)F_{LD}(t), \quad (2)$$

где $F(t)$, $F_{OS}(t)$, $F_{LD}(t)$ — функции распределения отказов для излучателя ИЛПН-134 и входящих в его состав ОС и ЛД соответственно.

Уравнение (2) для температур испытания приборов $T = 70, 80, 90^\circ\text{C}$ записывается в следующем виде:

$$\int_0^t f_i(t)dt = \int_0^t f_{iOS}(t)dt + \int_0^t f_{iLD}(t)dt - \int_0^t f_{iOS}(t)dt \int_0^t f_{iLD}(t)dt, \quad (3)$$

где $f_i(t)$, $f_{iOS}(t)$, $f_{iLD}(t)$ — плотности вероятности отказов для излучателя ИЛПН-134, ОС и ЛД, $i = 70, 80, 90$.

2) Для плотности вероятности имеем следующее соотношение:

$$f_i(t) = f_{iOS}(t) + f_{iLD}(t) - f_{iOS}(t)F_{iLD}(t) - f_{iLD}(t)F_{iOS}(t). \quad (4)$$

В уравнении (4) учли, что по определению [9] $f(t) = dF(t)/dt$.

В настоящее время принято считать, что отказы излучателей подчиняются логарифмически нормальному закону [9]. Для логарифмически нормального распределения функции плотности вероятности отказа имеем

$$f_i(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i t} \exp\left\{-\frac{[\ln(t/t_{mi})]^2}{2\sigma_i^2}\right\},$$

$$f_{iOS}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{OS} t} \exp\left\{-\frac{[\ln(t/t_{mOSi})]^2}{2\sigma_{OS}^2}\right\},$$

$$f_{iLD}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{LD} t} \exp\left\{-\frac{[\ln(t/t_{mLDi})]^2}{2\sigma_{LD}^2}\right\}, \quad (5)$$

где t_{mi} , t_{mOSi} , t_{mLDi} — медианные времена для излучателя ИЛПН-134, ОС, ЛД, $i = 70, 80$ и 90 ; σ_i , σ_{OS} , σ_{LD} — стандартные отклонения.

Стандартные отклонения для излучателя ИЛПН-134 определяются следующим образом [9]:

$$\sigma_i = \ln \frac{t_{mi}}{t_{1i}}, \quad (6)$$

где t_{1i} соответствует временам, когда число накопленных отказов $F(t_{1i}) = 15.9\%$ для температур $T = 70, 80$ и 90°C .

3) Считаем, что при температурах $70, 80$ и 90°C медианные времена для ОС и ЛД связаны следующими соотношениями:

$$t_{mOS80} = t_{mOS90} \exp(bE_{OS}), \quad t_{mOS70} = t_{mOS90} \exp(cE_{OS}), \quad (7)$$

$$t_{mLD80} = t_{mLD90} \exp(bE_{LD}), \quad t_{mLD70} = t_{mLD90} \exp(cE_{LD}), \quad (8)$$

где E_{LD} — энергия активации процесса старения (деградации) ЛД, E_{OS} — энергия активации процесса старения (разъюстировки) ОС; $b = (T_{80}^{-1} - T_{90}^{-1})/k$, $c = (T_{70}^{-1} - T_{90}^{-1})/k$, k — постоянная Больцмана, $T_{70} = 273 + 70$, $T_{80} = 273 + 80$, $T_{90} = 273 + 90$. Уравнения (7), (8) могут быть записаны и через t_{mOS80} : например, $t_{mOS70} = t_{mOS80} \exp(aE_{OS})$, где $a = (T_{70}^{-1} - T_{80}^{-1})/k$.

4. Расчет

Из рис. 2 для излучателя ИЛПН-134 имеем для температур $70, 80$ и 90°C медианные времена $t_{m70} = 47150$ ч, $t_{m80} = 22779$ ч, $t_{m90} = 7277$ ч и соответственно отклонения $\sigma_{70} = 1.83$, $\sigma_{80} = 1.46$, $\sigma_{90} = 0.2142$.

Учитывая, что для $t = t_{mi}$ левая часть уравнений (3) с учетом (5) есть $\int_0^{t_{mi}} f_i(t)dt = 1/2$, получаем три уравнения

$$\frac{1}{2} = \int_0^{t_{mi}} f_{iOS}(t)dt + \int_0^{t_{mi}} f_{iLD}(t)dt - \int_0^{t_{mi}} f_{iOS}(t)dt \int_0^{t_{mi}} f_{iLD}(t)dt, \quad (9)$$

где $f_{iOS}(t)$ и $f_{iLD}(t)$ ($i = 70, 80, 90$) определяются (5).

Для $t = t_{mi}$ ($i = 70, 80, 90$) уравнения (4) могут быть записаны в виде

$$\frac{1}{\sigma_i} = \frac{\exp(-z_{iOS}^2)}{\sigma_{OS}} \left(1 - \int_0^{t_{mi}} f_{iLD}(t)dt\right) + \frac{\exp(-z_{iLD}^2)}{\sigma_{LD}} \left(1 - \int_0^{t_{mi}} f_{iOS}(t)dt\right), \quad (10)$$

где

$$z_{iOS} = \frac{\ln(t_{mi}/t_{mOSi})}{\sqrt{2}\sigma_{OS}}, \quad z_{iLD} = \frac{\ln(t_{mi}/t_{mLDi})}{\sqrt{2}\sigma_{LD}}. \quad (11)$$

Решение системы из шести уравнений (9), (10) дает следующие результаты: $\sigma_{OS} = 0.0895$, $\sigma_{LD} = 1.829$, $E_{OS} = 1.4349$ эВ, $E_{LD} = 0.7518$ эВ.

Систему уравнений (9), (10) можно упростить, и для σ_{OS} , σ_{LD} , E_{OS} и E_{LD} можно получить аналитические зависимости, если интегралы в (9), (10) заменить на приближенные выражения. Для ОС имеем

$$F_{iOS}(t) = \int_0^t f_{iOS}(t) dt \approx \frac{1}{1 + \exp[-dz_{iOS}(t)]}, \quad (12)$$

$$f_{iOS}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{OS}t} \exp\left\{-\frac{[\ln(t/t_{mOSi})]^2}{2\sigma_{OS}^2}\right\} \approx \frac{d \exp[-dz_{iOS}(t)]}{\sqrt{2}\sigma_{OS}t \{1 + \exp[-dz_{iOS}(t)]\}^2}, \quad (13)$$

где $z_{iOS}(t) = \ln(t/t_{mOSi})/\sqrt{2}\sigma_{OS}$, $d = 2.4$.

Аналогичные выражения могут быть получены и для ЛД (заменой индексов OS на LD в (12), (13)).

Рабочая температура излучателя ИЛПН-134 равна 60°C , поэтому нас будет интересовать вероятность отказов $F_{60OS}(t)$, $F_{60LD}(t)$ и плотность вероятности $f_{60OS}(t)$, $f_{60LD}(t)$ для ОС и ЛД при этой температуре ($i = 60$).

На рис. 3, *a* представлены плотности вероятности отказов f_{60OS} для $\sigma_{OS} = 0.0895$ и f_{60LD} для $\sigma_{LD} = 1.829$ для точного и приближенного равенств, определяемых (13). Видно, что кривые существенно отличаются друг от друга, что связано с различием величин σ_{OS} и σ_{LD} .

На рис. 3, *b* представлены зависимости распределения отказов F_{60OS} для ОС и F_{60LD} для ЛД для температуры 60°C при тех же значениях σ_{OS} и σ_{LD} для точного и приближенного равенств, определяемых (12).

Из рис. 3, *a, b* видно, что приближенные выражения хорошо аппроксимируют $f(t)$ и $F(t)$. Расчет показал, что хорошая аппроксимация сохраняется и для температур $70, 80$ и 90°C .

Выражение (10) с учетом аппроксимации (12), (13) позволяет получить следующие зависимости:

$$\frac{1 + \exp(dz_{iLD})}{\sigma_i} = \frac{1 - \exp(2dz_{iLD})}{\sigma_{OS}} + \frac{2 \exp(dz_{iLD})}{\sigma_{LD}}, \quad (14)$$

где σ_{OS} и σ_{LD} с учетом выражений (7), (8), (11) могут быть записаны в виде

$$\sigma_{OS} = \frac{A}{\sqrt{2}} \frac{1}{cz_{.80OS} - az_{.90OS} - bz_{.70OS}}, \quad (15)$$

$$\sigma_{LD} = \frac{A}{\sqrt{2}} \frac{1}{cz_{.80LD} - az_{.90LD} - bz_{.70LD}}, \quad (16)$$

где $A = a \ln(t_{m70}/t_{m90}) - c \ln(t_{m70}/t_{m80})$.

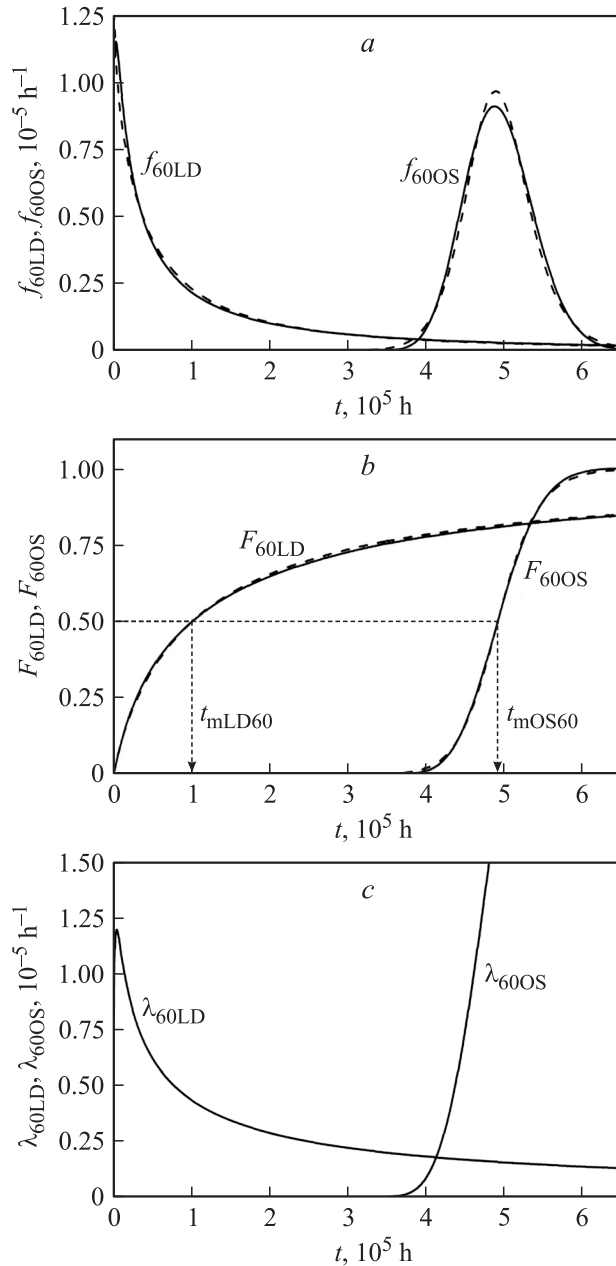


Рис. 3. Функции плотности логарифмически нормального распределения отказов (*a*), вероятности отказов (*b*) и скорости отказов (*c*) для ОС и ЛД для температуры 60°C . *a, b*: штриховые кривые — аппроксимация согласно (13), (12).

Выражение (9) с учетом аппроксимации (12), (13) позволяет выразить z_{iOS} через z_{iLD} ($i = 70, 80, 90$) в виде

$$z_{iOS} = \frac{1}{d} \ln \frac{1 - \exp(dz_{iLD})}{1 + \exp(dz_{iLD})}. \quad (17)$$

Таким образом, уравнения (14) с учетом зависимостей (15)–(17) представляют собой три уравнения с тремя неизвестными z_{iLD} ($i = 70, 80, 90$).

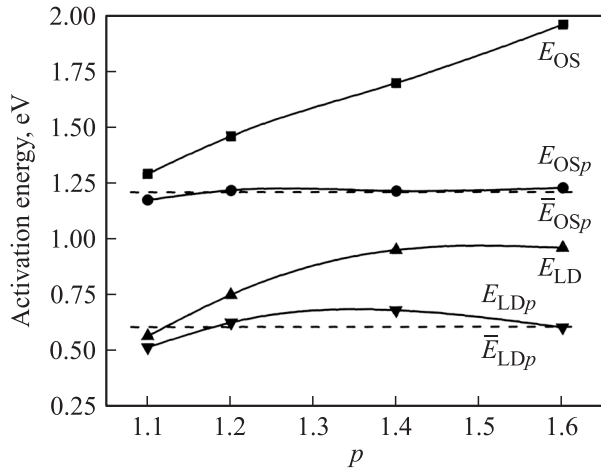


Рис. 4. Зависимости E_{OS} , E_{OSp} , E_{LD} , E_{LDp} от величины критерия отказа p . Штриховые кривые — усредненные величины \bar{E}_{OSp} , \bar{E}_{LDp} .

После определения величин z_{iLD} по формулам (17) рассчитываются величины z_{iOS} , которые позволяют определить σ_{OS} (15) и σ_{LD} (16).

Величины энергии активации деградационных процессов для ОС и ЛД рассчитываются по формулам

$$E_{OS} = \frac{1}{a} \left[\sqrt{2}\sigma_{OS}(z_{80OS} - z_{70OS}) + \ln\left(\frac{t_{m70}}{t_{m80}}\right) \right], \quad (18)$$

$$E_{LD} = \frac{1}{a} \left[\sqrt{2}\sigma_{LD}(z_{80LD} - z_{70LD}) + \ln\left(\frac{t_{m70}}{t_{m80}}\right) \right]. \quad (19)$$

Медианные времена для температуры 90°C рассчитываются для ОС и ЛД по формулам

$$t_{mOS90} = t_{m90} \exp[-\sqrt{2}\sigma_{OS}z_{90OS}], \quad (20)$$

$$t_{mLD90} = t_{m90} \exp[-\sqrt{2}\sigma_{LD}z_{90LD}]. \quad (21)$$

Медианные времена для температур 80 и 70°C рассчитываются для ОС и ЛД соответственно по формулам (7) и (8).

Решение системы (14) значительно проще, чем системы (9), (10). При этом результаты, полученные при решении системы (9), (10), не сильно отличаются от результатов решения системы (14). Действительно, для системы (14) имеем следующий результат: $\sigma_{OS} = 0.085$, $\sigma_{LD} = 1.829$, $E_{OS} = 1.459$ эВ, $E_{LD} = 0.746$ эВ.

На рис. 4 представлены величины E_{OS} , E_{LD} , рассчитанные по (14)–(19), в зависимости от критерия отказа $p = I_{\text{fault}}/I(0)$, где I_{fault} — ток излучателя, при котором фиксируется его условный отказ. Из рис. 4 видим, что величины E_{OS} , E_{LD} увеличиваются при увеличении величины p . Аналогично ведут себя и величины σ_{OS} и σ_{LD} .

Однако величины σ_{OS} , σ_{LD} , E_{OS} и E_{LD} не должны зависеть от выбора критерия отказа. Поэтому рассмотренную модель необходимо дополнить следующим

условием: величины σ_{OS} , σ_{LD} , E_{OS} и E_{LD} не зависят от выбора критерия отказа.

Чтобы удовлетворить этому условию, будем считать, что истинные значения величин есть σ_{OSp} , σ_{LDp} , E_{OSp} , E_{LDp} , определяемые как

$$\begin{aligned} \sigma_{OSp} &= \frac{\sigma_{OS}}{p}, & \sigma_{LDp} &= \frac{\sigma_{LD}}{p}, \\ E_{OSp} &= \frac{E_{OS}}{p}, & E_{LDp} &= \frac{E_{LD}}{p}. \end{aligned} \quad (22)$$

Результаты расчета системы уравнений с учетом (22) приведены на рис. 4. Видно, что величины σ_{OSp} , σ_{LDp} , E_{OSp} , E_{LDp} слабее зависят от выбора критерия отказа. Штриховыми линиями на рис. 4 даны средние значения величин. Из рис. 4 определяем, что средние значения энергий активации равны $\bar{E}_{OSp} = 1.21$ эВ, $\bar{E}_{LDp} = 0.6$ эВ. Аналогично определяем средние значения стандартных отклонений $\bar{\sigma}_{OSp} = 0.076$, $\bar{\sigma}_{LDp} = 1.45$.

Медианное время для ОС и ЛД при температуре, равной 60°C, рассчитываем по формулам

$$t_{mOS60} = t_{mOS70} \exp\left[\frac{p\bar{E}_{OSp}}{k} \left(\frac{1}{T_{60}} - \frac{1}{T_{70}}\right)\right], \quad (23)$$

$$t_{mLD60} = t_{mLD70} \exp\left[\frac{p\bar{E}_{LDp}}{k} \left(\frac{1}{T_{60}} - \frac{1}{T_{70}}\right)\right], \quad (24)$$

где $T_{60} = 273 + 60$.

Величины t_{mOS60} и t_{mLD60} для $p = 1.2$ представлены на рис. 3, *b*.

В заключение проведем оценку скорости (интенсивности) отказов. Скорость отказов выражается в виде [9]

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{f(t)}{R(t)} \\ &= \sqrt{2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_m}\right)\right]^2\right\} / \sqrt{\pi\sigma} \operatorname{erfc}\left[\frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \ln\left(\frac{t}{t_m}\right)\right], \end{aligned} \quad (25)$$

где $\operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-\chi^2) d\chi$.

Нас интересует скорость отказов при рабочей температуре, равной 60°C, для ОС и ЛД отдельно и для излучателя ИЛПН-134, для которого скорость отказов будет равна сумме скоростей отказов для ОС и ЛД.

На рис. 3, *c* представлены результаты расчета скорости отказов при температуре 60°C ОС, λ_{60OS} , и ЛД, λ_{60LD} .

5. Обсуждение полученных результатов

— Для излучателя ИЛПН-134 имеем два механизма старения: один связан со старением ЛД, другой — со старением ОС.

— Предложенная модель расчета энергии активации и скорости отказов излучателей позволяет оценить, какой вклад в общий процесс деградации излучателя

ИЛПН-134 вносят процессы старения ЛД и ОС в отдельности.

— Получены аппроксимирующие выражения для функции плотности вероятности $f(t)$ и функции распределения отказов $F(t)$, которые позволили свести систему шести уравнений (9), (10) к решению системы из трех уравнений (14).

— Для выбранной величины отказа p значения энергии активации и стандартного отклонения, полученные в результате расчета, необходимо разделить на p и усреднить по нескольким величинам p . Получены следующие средние значения стандартного отклонения и энергии активации деградационных процессов для ОС и ЛД: $\bar{\sigma}_{OSp} = 0.076$, $\bar{\sigma}_{LDp} = 1.48$, $\bar{E}_{OSp} = 1.21$ эВ, $\bar{E}_{LDp} = 0.6$ эВ. По поводу величины \bar{E}_{OSp} оптической системы мы не располагаем литературными данными, величина $\bar{E}_{LDp} = 0.6$ эВ коррелирует с полученными в настоящий момент литературными данными. Для расчета надежности оптических передатчиков в [8] используется величина энергии активации деградации $E_a = 0.45$ эВ. В работе [3] используется значение $E_a = 0.5$ эВ, а в [4] $E_a = 0.52$ эВ для нелегированных неохлаждаемых ЛД на основе InP, в [6] получена величина $E_a = 0.55$ эВ. Оценка энергии активации многосекционных перестраиваемых лазеров для WDM-применений дала величину $E_a = 0.68$ эВ [14].

— Медианное время наработки ЛД при температуре 60°C составляет $t_{mLD60} = 9.8 \cdot 10^4$ ч, а для ОС эта величина равна $t_{mOS60} = 4.9 \cdot 10^5$ ч (рис. 3, б).

— Максимальная скорость отказов ЛД при температуре 60°C равна $1.2 \cdot 10^{-5}$ ч $^{-1}$ (рис. 3, в), для медианного времени t_{mLD60} $\lambda_{60LD}(t_{mLD60}) = 4.4 \cdot 10^{-6}$ ч $^{-1}$, а скоростью отказов ОС можно пренебречь, $\lambda_{60OS}(t_{mLD60}) = 0$. Однако для медианного времени t_{mOS60} имеем скорость отказа ОС $\lambda_{60OS}(t_{mOS60}) = 1.8 \cdot 10^{-5}$ ч $^{-1}$, что на порядок превышает скорость отказов ЛД $\lambda_{60LD}(t_{mOS60}) = 1.6 \cdot 10^{-6}$ ч $^{-1}$ (рис. 3, в). В этом случае скорость отказа излучателя может быть оценена как $2 \cdot 10^{-5}$ ч $^{-1}$.

6. Заключение

Предложенная модель позволяет оценить, какой вклад в скорость отказов излучателя ИЛПН-134 вносят по отдельности скорости отказов ЛД и ОС (скорость отказов излучателя ИЛПН-134 равна сумме скоростей отказов ЛД и ОС).

Полученные результаты относятся к конкретному типу излучателя, с ЛД и ОС. Однако данная модель позволяет получить результаты и для других типов излучателей с другими способами фиксации оптического волокна относительно активной области ЛД (например, с помощью лазерной сварки [15]) и с другими типами ЛД.

Список литературы

- [1] S.L. Yellen, A.H. Shepard, R.J. Dalby, et. al. IEEE J. Quant. Electron., **29**, 2058 (1993).
- [2] O. Fujita, Y. Nakano, G. Iwane. IEEE J. Lightwave Technol., **3**, 1211 (1985).
- [3] N. Chand, J.W. Osenbach, T.L. Evansky, R.B. Comizzoli, W.T. Tsnag. IEEE. J. Quant. Electron., **32**, 1606 (1996).
- [4] J.W. Osenbach, T.L. Evansky, N. Chand, R.B. Comizzoli, H.W. Krautter. IEEE J. Lightwave Technol., **15**, 861 (1997).
- [5] H.-P. Shiao, C.-Y. Wang, T.-T. Shih, Y.-K. Tu. IEEE Phot. Technol. Lett., **10**, 1238 (1998).
- [6] Y.A. Akulova, G.A. Fish, P.-C. Koh, C.L. Schow, P. Kozodoy, A. Dahl, S. Nakagawa, M. Larson, M. Mack, T. Strand, C. Coldren, E. Hegblom, S. Penniman, T. Wipiejewski, L.A. Coldren. IEEE J. Select. Topics Quant. Electron., **8**, 1349 (2002).
- [7] П.Г. Елисеев, А.А. Кочетков. Квант. электрон., **10**, 2118 (1983).
- [8] H.-J. Yoon, N.-J. Chung, M.-H. Choi, In-S. Park, J. Jeong. IEEE J. Lightwave Technol., **17**, 1067 (1999).
- [9] M. Fukuda. *Reliability and Degradation of Semiconductor Lasers and LEDs* (Artech House Boston, London, 1991).
- [10] O. Ueda. *Reliability and Degradation of III-V Optical Devices* (Artech House Boston, London, 1996).
- [11] П.Г. Елисеев. Итоги науки и техники. Сер. Электроника, **23**, 3 (1989).
- [12] П.Г. Елисеев, А.А. Кочетков. Итоги науки и техники. Сер. Электроника, **23**, 53 (1989).
- [13] П.Г. Елисеев, А.А. Кочетков. Итоги науки и техники. Сер. Электроника, **23**, 95 (1989).
- [14] O.A. Lavrova, D.J. Blumanthal. IEEE J. Lightwave Technol., **18**, 2196 (2000).
- [15] W.H. Cheng, M.T. Sheen, G.L. Wang, et. al. IEEE J. Lightwave Technol., **19**, 1177 (2001).

Редактор Л.В. Шаронова

Reliability estimation for semiconductor laser module ILPN-134

O.V. Zhuravleva, A.V. Ivanov, V.D. Kurnosov,
K.V. Kurnosov, V.I. Romantsevich, R.V. Chernov

M.F. Stel'makh „Polyus“ Research
and Development Institute,
117342 Moscow, Russia

Abstract The reliability of semiconductor laser module ILPN-134 is explored. The technique is offered, which allow to estimate what contribution to degradation process of the laser module ILPN-134 import separately processes of of the laser diode and optical system ageing. The activation energies of degradation processes, standard deviations and failure rates of the laser diode and optical system are defined.