

# Ресурсные испытания суперлюминесцентных диодов

П.А.Лобинцов, Д.С.Мамедов, С.Д.Якубович

*Исследован процесс медленной деградации партии из 48 суперлюминесцентных диодов (СЛД), изготовленных из одной гетероэпитаксиальной пластины, с различными длинами активных каналов  $L_a$  (24 образца с  $L_a = 600$  мкм и 24 образца с  $L_a = 1000$  мкм). Диоды были разбиты на шесть групп по восемь штук в каждой и подвергались испытаниям при стабилизированном токе инжекции  $I = 140$  мА и температурах теплопровода 25, 55 и 70 °С. Медианное время жизни СЛД с  $L_a = 600$  мкм составило 3000, 2450 и 1900 ч при температуре 25, 55 и 70 °С соответственно. Для СЛД с  $L_a = 1000$  мкм расчетное время жизни превышает 100000 ч при 25 °С и составляет 53000 ч при 55 °С и 30500 ч при 70 °С. Полученные результаты подтверждают, что перспективным техническим решением, позволяющим увеличить время жизни мощных СЛД, является конструкция с неинжектируемыми торцевыми участками активного канала, обеспечивающая снижение токовых, а следовательно, и тепловых нагрузок.*

**Ключевые слова:** суперлюминесцентный диод (СЛД), ресурсные испытания, надёжность.

## 1. Введение

Суперлюминесцентные диоды (СЛД) широко используются в качестве источников излучения в оптических датчиках различных типов, в частности в волоконно-оптических гироскопах, важнейшей характеристикой которых является надёжность. От традиционных лазерных диодов (ЛД) с плоским резонатором СЛД отличаются глубоким подавлением положительной оптической обратной связи. По этой причине заданный уровень выходной мощности достигается в СЛД при значительно более высокой плотности тока инжекции, чем в ЛД той же конфигурации и на основе той же полупроводниковой гетероструктуры. Кроме того, в СЛД плотность фотонов и концентрация неравновесных носителей вдоль оси активного канала распределены более неоднородно, чем в ЛД.

Сложной и многообразной проблеме надёжности ЛД посвящено, в отличие от СЛД, большое количество публикаций [1]. Однако в силу указанных выше обстоятельств далеко не все из полученных результатов напрямую применимы к СЛД.

В настоящей работе приведены результаты ресурсных испытаний выборочной партии излучателей типа SLD-38, серийно выпускаемых в течение нескольких лет. Такие испытания проводятся периодически, т. к. даже небольшое изменение технологических режимов на любом из этапов изготовления СЛД может привести к ускорению деградации приборов. Нами рассматривается толь-

ко медленная деградация (старение). Приборы, склонные к быстрой деградации из-за грубого технологического брака («детская смертность») и к катастрофической деградации различной природы, отсеивались в ходе предварительной термоэлектротренировки в течение 100–200 ч.

## 2. Конфигурация и выходные характеристики СЛД

Исследованные образцы на основе (GaAl)As ДГС с раздельным ограничением, излучающей в спектральном диапазоне 820–840 нм, имели традиционную для однопроходных СЛД конфигурацию. Активный канал представлял собой гребневидный волновод шириной 4 мкм, ось которого имела наклон 7° по отношению к нормали к торцевым граням кристалла. Длина активного канала  $L_a$  могла варьироваться в пределах 200–1200 мкм. На торцевые грани наносилось просветляющее покрытие. Кристаллы напаявались на медные теплопроводы  $p$ -стороной вверх. С точки зрения теплоотвода такая конструкция не является оптимальной, однако она сильно упрощает сборку диодов и их стыковку с волоконными световодами при изготовлении СЛД-модулей.

На рис. 1 приведены зависимости выходной оптической мощности СЛД с различными  $L_a$  от плотности тока инжекции  $J$ . Они показывают, что заданный уровень выходной мощности достигается в СЛД большей длины при значительно меньших плотностях тока, чем в коротких СЛД.

В первом приближении, без учёта насыщения оптического усиления  $g(\lambda)$  и остаточных отражений на торцах активного канала, спектральная плотность выходной мощности СЛД описывается известным соотношением

$$P(\lambda) \sim S(\lambda) \frac{\exp\{[g(\lambda) - \alpha]L_a\} - 1}{g(\lambda) - \alpha}, \quad (1)$$

П.А.Лобинцов, Д.С.Мамедов. ООО «Суперлюминесцентные диоды», Россия, 117454 Москва, п/я 70;

e-mail: yakubovich@superlumdiodes.com

С.Д.Якубович. Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), Россия, 117454 Москва, просп. Вернадского, 78;

e-mail: yakubovich@superlumdiodes.com

Поступила в редакцию 19 октября 2005 г.

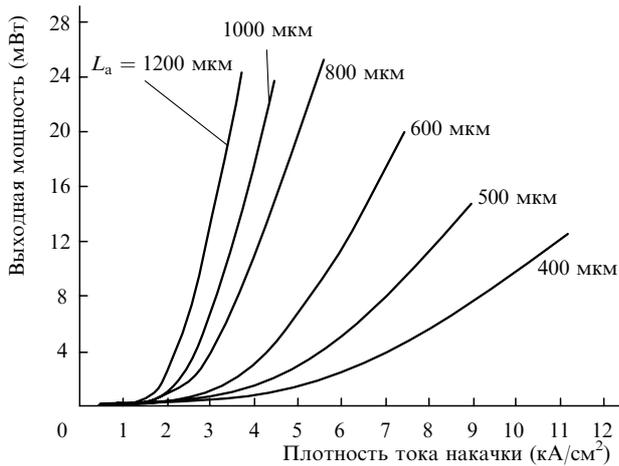


Рис.1. Ватт-амперные характеристики СЛД с различными длинами активных каналов  $L_a$ .

где  $\lambda$  – длина волны излучения;  $S(\lambda)$  – вклад спонтанного излучения в волноводную моду;  $\alpha$  – коэффициент диссипативных потерь.

В предположении линейной связи максимумов  $S(\lambda)$  и  $g(\lambda)$  с величиной  $J$  это соотношение хорошо описывает приведённые ватт-амперные характеристики. Из (1) следует, что независимо от формы спектрального контура  $g(\lambda)$  спектральная полоса выходного излучения  $\Delta\lambda$  при увеличении  $L_a$  сжимается. Это хорошо подтверждают экспериментальные зависимости  $\Delta\lambda(L_a)$ , полученные при постоянной выходной мощности (рис.2).

Величина  $\Delta\lambda$  является важнейшей характеристикой СЛД, определяющей длину временной когерентности его излучения. Из приведённых кривых видно, что при выборе длины активного канала  $L_a$  следует исходить из компромисса между более высокой эффективностью длинных СЛД и более широким спектром (низкой когерентностью) коротких. Существенную роль играет и экономический фактор, определяемый количеством СЛД, изготавливаемых из одной гетероэпитаксиальной пластины.

В СЛД, в силу указанных выше причин, максимальную токовую и лучевую нагрузку испытывают участки активного канала, прилегающие к торцевым граням кристалла. Большинство факторов, приводящих к старению

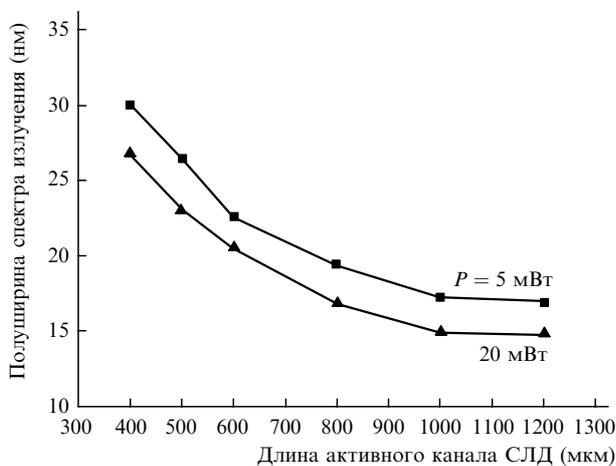


Рис.2. Зависимости ширины спектральной полосы СЛД  $\Delta\lambda$  от длины активного канала  $L_a$ , измеренные при различных выходных мощностях.

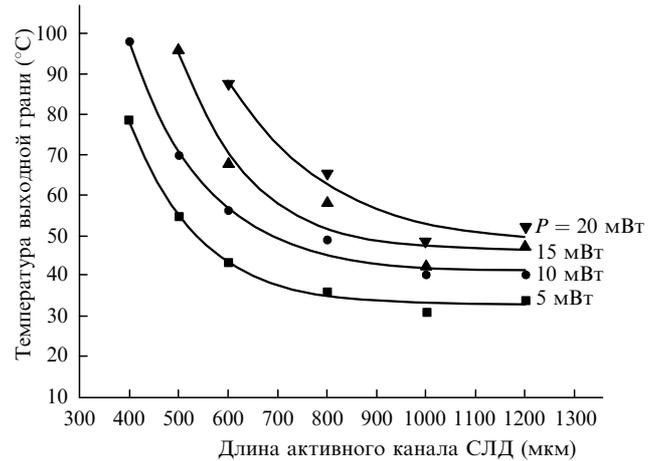


Рис.3. Зависимости температуры излучающей грани СЛД от длины активного канала, измеренные при различных выходных мощностях.

СЛД, носят активационный характер [1]. Поэтому температура указанных участков в рабочем режиме СЛД является важным параметром, определяющим скорость медленной деградации. В работе [2] описана методика измерения усреднённой температуры торцевых участков ЛД на основе анализа коротковолнового крыла спектра спонтанного излучения. Результаты аналогичных измерений для исследуемых СЛД при температуре теплопровода  $+25^\circ\text{C}$  приведены на рис.3.

Как и следовало ожидать, при одной и той же выходной мощности торцевые участки у коротких СЛД перегреты сильнее, чем у длинных, и, следовательно, их старение предположительно пойдёт быстрее.

### 3. Ресурсные испытания

Процесс медленной деградации исследовался в 48 СЛД, изготовленных из одной гетероэпитаксиальной пластины. Половина СДЛ (24 штуки) имела  $L_a = 600$  мкм, другая половина – 1200 мкм. Эти образцы были разбиты на шесть групп по восемь СЛД, каждая из которых подвергалась испытаниям при стабилизированном токе инжекции  $I = 140$  мА и температурах теплопровода 25, 55 и  $70^\circ\text{C}$ .

При  $25^\circ\text{C}$  выходная мощность составляла около 10 мВт у СЛД с  $L_a = 600$  мкм и 20 мВт у СЛД с  $L_a = 1000$  мкм. Результаты испытаний представлены на рис.4. Исходя из распространённого критерия отказа как спада выходной мощности на 50% при  $I = \text{const}$ , для СЛД с  $L_a = 600$  мкм медианное время жизни составило 3000, 2450 и 1900 ч при температуре 25, 55 и  $70^\circ\text{C}$  соответственно. Из этого следует, что эксплуатация таких СЛД в указанном рабочем режиме нецелесообразна, за исключением отдельных технических применений, где такой скромный срок службы приемлем. Для СЛД с  $L_a = 1000$  мкм медианное время жизни составило 53000 ч при  $55^\circ\text{C}$  и 30500 ч при  $70^\circ\text{C}$ . Что касается срока службы СЛД при  $25^\circ\text{C}$ , а именно при этой температуре эксплуатируется большинство модулей, то на настоящий момент у нас нет достаточных данных для его определения (ресурсные испытания продолжаются). Можно, однако, утверждать, что он превышает 100000 ч.

Приведённые результаты подтверждают, что для мощных СЛД конструкция с неинжектируемыми торцевыми участками активного канала [3], обеспечивающая сниже-

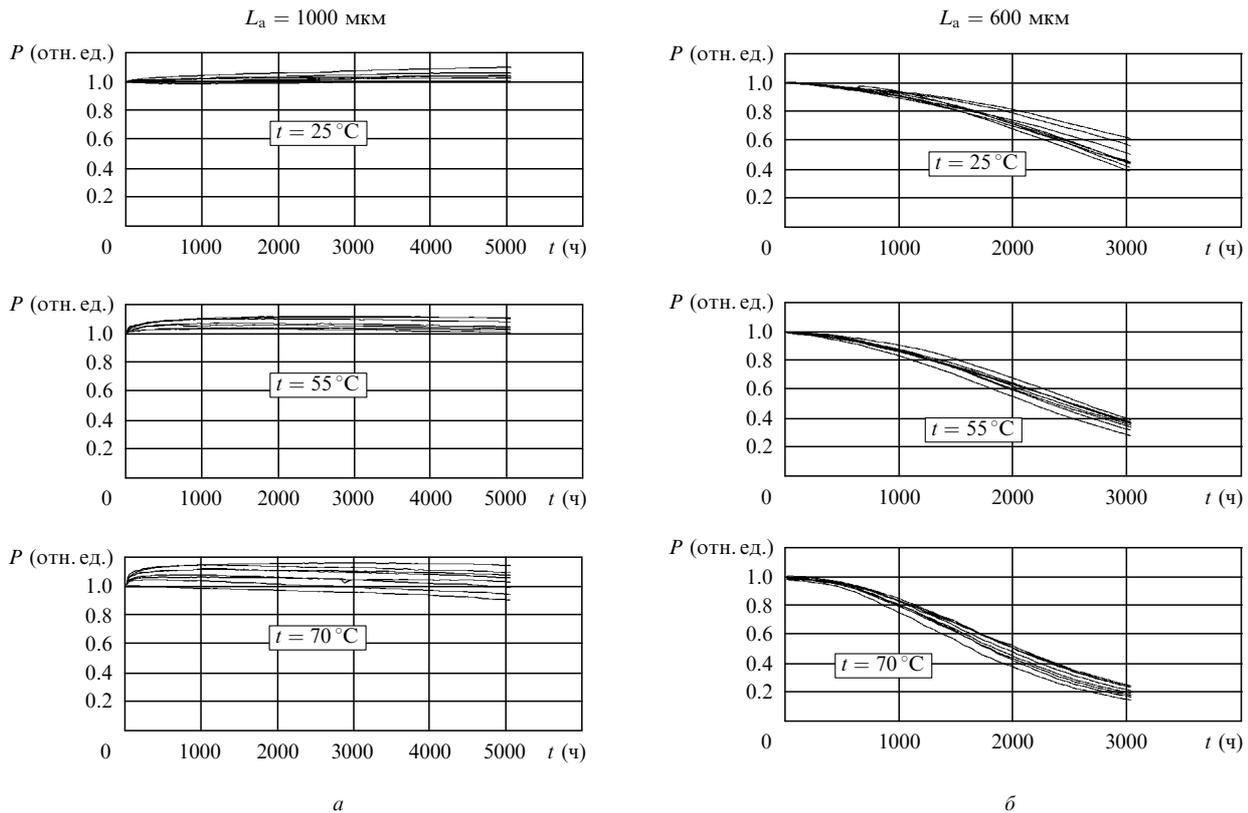


Рис.4. Зависимости выходной мощности от времени наработки для СЛД с длиной активного канала 1000 (а) и 600 мкм (б) при токе инжекции 140 мА и термостабилизации при температурах 25, 55 и 70 °С.

ние токовых, а следовательно, тепловых нагрузок, является перспективным техническим решением.

Принимая во внимание результаты проведенных исследований, при разработке СЛД-модулей повышенной мощности рассматриваемого спектрального диапазона были использованы СЛД с длиной активного канала  $L_a = 1000$  и  $1200$  мкм. Эти модули, собранные в стандартном корпусе Butterfly, обладают мощностью на выходе одномодового волоконного световода более 30 мВт. Результаты ресурсных испытаний показывают, что прогнозируемый срок службы данных модулей составляет не менее 30000 ч.

Новые СЛД-модули типа SLD-381-HP3 обладают следующими основными характеристиками:

Выходная оптическая мощность через ОВС (мВт) ... не менее 30  
 Рабочий ток (мА) ..... не более 350  
 Рабочее напряжение (В) ..... не более 2.8  
 Диапазон изменения центральной длины волны (нм) .. 820–850  
 Полуширина спектра излучения (нм) ..... не менее 10  
 Остаточная спектральная модуляция (%) ..... не более 5

Авторы выражают признательность А.Т.Семёнову за внимание к работе. Работа частично поддержана грантом МНТЦ № 2651р.

1. Jimenes J. *C.R. Physique*, **4**, 663 (2003).
2. Sweeney S.J., Lyons L.J., Adams A.R., Lock D.A. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, **9** (5), 1325 (2003).
3. Лобинцов П.А., Мамедов Д.С., Прохоров В.В., Семёнов А.Т., Якубович С.Д. *Квантовая электроника*, **34** (3), 209 (2004).