

Д. ф.-м. н. И. М. ВИКУЛИН, к. ф.-м. н. В. И. ИРХА,
к. ф.-м. н. Б. В. КОРОБИЦЫН, к. т. н. В. Э. ГОРБАЧЕВ

Украина, Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова
E-mail: phys@onat.edu.ua

Дата поступления в редакцию
16.12 2003 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ "Ритм", г. Черновцы)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕГРАДАЦИИ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

Предложен метод тестирования фосфид-галлиевых светоизлучающих диодов на величину срока службы, значительно сокращающий время отбраковки ненадежных СИД в производстве.

Оценка надежности полупроводниковых приборов базируется на всестороннем исследовании закономерностей развития и механизмов деградации, приводящих к отказам того или иного типа.

Деградацию полупроводниковых приборов изучают под разными углами зрения. Выяснение причин деградации направлено на последующее влияние на них так, чтобы уменьшить скорость и величину деградации. Выяснение закономерностей деградации направлено на выявление ранних признаков (предвестников) быстрой и сильной деградации в ходе дальнейшей работы прибора. Мы здесь обсудим второй аспект проблемы.

Деградация светоизлучающих диодов (СИД) проявляется чаще всего в уменьшении внешней эффективности излучения света.

В условиях сохранения автоматичности механизмов деградации целесообразно производить испытания при повышенных температурах, т. к. деградация в нормальных условиях происходит слишком медленно. Температурная зависимость скорости деградации описывается определенной энергией активации. Так, в частности, в работе [1] для фосфид-галлиевых светоизлучающих диодов энергия активации определена как 0,5—0,8 эВ.

Скорость деградации увеличивается с увеличением токовой нагрузки. В фосфид-галлиевых СИД влияние увеличения тока от 20 до 50 мА на скорость деградации наблюдалось даже большее, чем влияние увеличения температуры от 25 до 70°С [2].

В работе [3] отмечено, что изменение во времени физического состояния, обусловленное необратимыми физико-химическими процессами, является наиболее общей причиной отказов, и что большинству деградационных процессов присущи предвестники отказов в виде изменений характеристик или появления дефектов структуры изделия.

Следует отметить, что в СИД неизвестны случаи отказа катастрофического типа после длительного периода наработки [4].

В работе [5] подробно обсуждаются форсированные испытания СИД, направленные на оценку их надежности. В качестве показателя надежности выбран так называемый медианный ресурс

— время наработки до наступления отказов 50% изделий, а за критерий отказа принято уменьшение силы света СИД на 50%. Для фосфид-галлиевых СИД было установлено, что при температурах до 200°С выполняется условие автоматичности механизмов отказа, что позволяет производить форсированные испытания до этой температуры. Энергия активации деградационного процесса составила 0,61 эВ. Зависимость медианного ресурса определена выражением

$$t_{50} = A j^{-n} \cdot \exp(E_a / k T_{\text{пер}}), \quad (1)$$

где A — постоянный коэффициент;

j — плотность тока;

n — показатель степени, равный примерно единице;

E_a — энергия активации;

k — постоянная Больцмана;

$T_{\text{пер}}$ — температура p — n -перехода.

Медианный ресурс фосфид-галлиевых СИД при нормальных условиях оказался равным $7 \cdot 10^5$ ч. Были получены также значения медианного ресурса для арсенид-галлиевых, арсенид-фосфид-галлиевых и галлий-алюминий-арсенидных СИД.

Таким образом, форсированные испытания фосфид-галлиевых СИД, проведенные по методике [5], позволили установить статистическую характеристику надежности СИД данного типа. Однако они не позволяют прогнозировать надежность отдельных СИД.

С целью определения надежности отдельных СИД нами были предприняты следующие исследования фосфид-галлиевых СИД типа АЛС321А.

Исследуемая партия содержала 50 СИД. Вначале измерялась начальная яркость всех СИД при номинальном токе 20 мА и комнатной температуре. Затем эти приборы подвергались выдержке в форсированном режиме при токе 40 мА. При этом температура активной области повышалась до 150°С, что значительно ускорило процессы деградации.

Температура активной области измерялась относительно комнатной по сдвигу максимума спектра излучения с учетом температурного коэффициента ширины запрещенной зоны фосфида галлия, равного 0,423 мэВ/К. Выдержка в форсированном режиме сопровождалась периодическими (не реже одного раза в сутки) измерениями яркости при номинальном токе 20 мА — до тех пор, пока яркость СИД не уменьшалась в 3—4 раза.

Затем строились графики зависимости логарифма яркости от времени наработки для всех СИД исследуемой партии. Такие графики для нескольких СИД приведены на рис. 1 (начальные яркости приведены к единице). Графики показали, что после на-

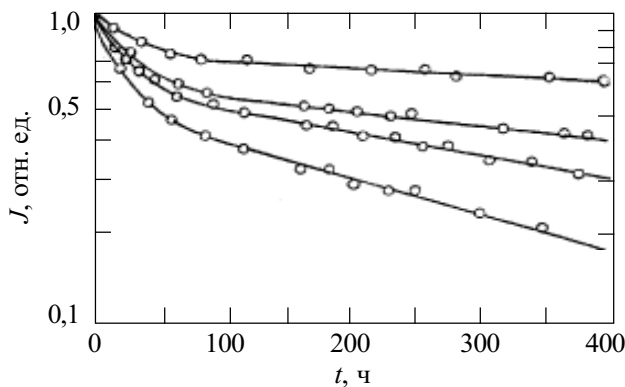


Рис. 1. Зависимость логарифма яркости в номинальном режиме от времени форсированной деградации t для фосфид-галлиевых СИД

начального периода приработки (около 100 ч) зависимость яркости от времени имеет вид

$$J = J_1 \cdot \exp[-(t-t_1)/\tau_\phi], \quad (2)$$

где J_1 — яркость СИД после приработки в течение времени t_1 ; τ_ϕ — постоянная времени форсированной деградации.

Постоянная времени является фундаментальной характеристикой деградационного процесса данного СИД. Ее определяли для всех СИД партии по линейному участку графика:

$$\tau_\phi = (t_2 - t_1) / \ln(J_1/J_2), \quad (3)$$

где J_1 — яркость в момент времени t_1 ; J_2 — яркость в момент времени t_2 .

Для номинального режима постоянная времени получается умножением постоянной времени форсированной деградации на коэффициент ускорения K_y :

$$\tau = \tau_\phi K_y. \quad (4)$$

Коэффициент ускорения при известной энергии активации E_a рассчитывают по формуле

$$K_y = \exp(E_a/kT_n) / \exp(E_a/kT_\phi), \quad (5)$$

где T_n и T_ϕ — температура при нормальном и форсированном режимах, соответственно.

Учитывая формулу (1), полученный по (5) коэффициент ускорения следует умножить на кратность увеличения номинального тока (в нашем случае он равен двум). Коэффициент ускорения в нашем опыте равен 3400, а средний срок службы практически равен медианному ресурсу фосфид-галлиевых СИД, полученному в [5].

При неизвестной энергии активации ее можно определить путем независимых измерений $\tau_{\phi 1}$ и $\tau_{\phi 2}$ при повышенных температурах T_1 и T_2 по формуле

$$E_a = k \cdot \ln K_y / (1/T_1 - 1/T_2), \quad (6)$$

где K_y — коэффициент ускорения в интервале $T_1 - T_2$.

В качестве показателя надежности нами был выбран срок службы — время, за которое яркость СИД на экспоненциальном участке уменьшается в два раза. Срок службы СИД в номинальном режиме определяется по формуле

$$t_0 = \tau \cdot \ln 2 = 0,69\tau. \quad (7)$$

Затем определяется коэффициент начальной деградации по формуле

$$K_d = J_0/J_1, \quad (8)$$

где J_0 — начальная яркость СИД;

J_1 — яркость после наработки 100 ч (приработки).

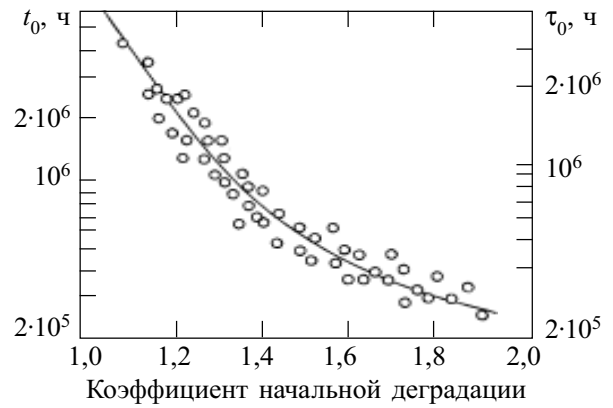


Рис. 2. Зависимость постоянной времени деградации и срока службы СИД от коэффициента начальной деградации

Точки с координатами K_d и τ для всех СИД испытываемой партии были нанесены на график в полулогарифмическом масштабе. Полученная таким образом зависимость приведена на рис. 2, где на правой вертикальной шкале отложена постоянная времени деградации τ , а на левой — срок службы t_0 .

Расположение точек на рис. 2 указывает на наличие корреляции между величинами K_d и τ . Усредненная зависимость показана на графике сплошной линией. По полученному таким образом эталонному графику можно, зная коэффициент начальной деградации K_d , найти срок службы СИД t_0 .

При наличии эталонного графика время отбраковки ненадежных СИД в производстве минимально. Для СИД, срок службы которых требуется определить, проводят измерения начальной яркости при номинальном токе. Затем СИД выдерживают в форсированном режиме приработки в течение 100 ч при увеличенном токе, обеспечивающем заданный режим. Затем вторично измеряют яркость при номинальном токе, вычисляют коэффициент начальной деградации K_d и по эталонному графику находят срок службы для данного СИД. Зная сроки службы измеренных СИД, можно отобрать из них приборы со сроком службы не менее заданного.

Описанный метод отбраковки фосфид-галлиевых СИД предполагает по результатам испытаний относительно небольшого количества изделий построить эталонный график, с помощью которого по двум измеренным значениям яркости (исходной и после форсированной наработки) определить индивидуальный срок службы каждого СИД из данной партии.

Учитывая результаты работы [5], можно рекомендовать описанный нами метод определения индивидуального срока службы СИД, изготовленных также из арсенида галлия, арсенида-фосфида галлия и арсенида галлия-алюминия.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Berg A. A. Bulk degradation of GaP red LEDs // IEEE Trans. Electron Devices.— 1971.— Vol. ED18.— P. 166—170.
2. Коган Л. М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды.— М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Дубицкий Л. Г. Предвестники отказов в изделиях электронной техники.— М.: Радио и связь, 1989.
4. Гейг С., Эванс Д., Ходапп М., Соренсен Х. Применение оптоэлектронных приборов.— М.: Радио и связь, 1981.
5. Егоров Л. П., Никофоров С. С., Воротинский В. А. Форсированные испытания для оценки надежности светоизлучающих приборов // Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы.— 1989.— № 7.— С. 113—116.