

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.315.592

Ирха В.И.
Irkha V.I.

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУР И ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ
ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

**THE SPECIALS OF STRUCTURES AND THE CHARACTERISTICS OF LIGHT-EMITTING
DIODES FOR FIBE-OPTICAL LINES OF THE COMMUNICATIONS**

Аннотация. Приводится оценка выбора оптимальных значений конструктивных параметров СИД с учетом оптимальных эксплуатационных параметров.

Summary. The estimation of choosing of meanings of constructive parameters of the light-emitting diodes with the consideration of optima expluatation parameters.

Дальнейшее развитие микроэлектроники и оптоэлектроники связано с уменьшением размеров их элементов, а это, в свою очередь, обуславливает увеличение роли оценки выбора оптимальных параметров светоизлучающих диодов с учетом параметров их эксплуатации. Светоизлучающие диоды (СИД), предназначенные для использования в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС), отличаются от индикаторных СИД конструктивно, что обусловлено необходимостью получать малые размеры светящегося пятна и острую диаграмму направленности при высокой требуемой мощности излучения. Поэтому СИД для ВОЛС обычно содержит один либо несколько слоев, неоднородно легированных в плоскости рабочего *p-n*-перехода. Кроме того, указанные СИД работают при более высоких плотностях тока по сравнению с индикаторными СИД [1]. Все эти факторы служат дополнительными источниками деградиционных явлений в СИД для ВОЛС. Кроме сохранения в процессе работы мощности излучения при фиксированном рабочем токе, в СИД для ВОЛС необходимо сохранение ширины интервала линейности зависимости выходной мощности от тока. При невыполнении этого условия уменьшится динамический диапазон ВОЛС. Кроме того, для СИД, работающих в ВОЛС в режиме, близком к оптимальному с точки зрения КПД, необходимо сохранение параметров вольтамперной характеристики в рабочем диапазоне токов, а именно – дифференциального сопротивления и напряжения отсечки. Изменение данных параметров приводят к нестабильности коэффициента передачи ВОЛС [2 ... 4].

Выбор того или иного светодиода как источника света определяется требованиями, предъявляемым к характеристикам системы светодиод – световод – фотоприемник. Основные требования к такой системе таково: необходимо, чтобы коэффициент передачи по току ($I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$) был близок к 1 или больше нее [5]. Граничная частота также является одним из важных параметров СИД. Известны два фактора, влияющие на этот параметр [6]. Во-первых, граничная частота ограничивается постоянной времени, зависящей от разряда емкости *p-n*-перехода через сопротивление контакта. Во-вторых, граничная частота зависит от времени жизни носителей заряда в активном слое светодиода.

В современной литературе недостаточное внимание уделяется исследованию частотных свойств СИД для ВОЛС. Поэтому цель данной работы – привести результаты исследования частотных свойств СИД для ВОЛС и связь параметров СИД с граничной частотой.

Рассмотрим уравнения, описывающие связь параметров СИД (толщину активного слоя и концентрацию основных носителей заряда в этом слое) с граничной частотой. В общем случае скорость рекомбинации в активном слое

$$R = B(N_0 + \Delta n)(P_0 + \Delta n) - BN_0P_0 = B(N_0 + P_0 + \Delta n)\Delta n, \quad (1)$$

где P_0 и N_0 – концентрации дырок и электронов при термическом равновесии; Δn – избыточная концентрация носителей; B – рекомбинационная константа. Учитывая, что в *p*-слое $P_0 > N_0$, тогда N_0 в (1) можно пренебречь и получим

$$R = B(P_0 + \Delta n)\Delta n. \quad (2)$$

В общем виде время жизни равно [1]

$$\tau = \frac{\Delta n}{R} = \frac{1}{B(P_0 + \Delta n)}. \quad (3)$$

Инжектированные носители рекомбинируют в области, прилегающей к активному слою. Плотность инжектированных носителей Δn определяется плотностью тока инжекции j и толщиной активного слоя d

$$\Delta n = \frac{j \cdot \tau}{q \cdot d}, \quad (4)$$

где q – величина заряда. Из (3) и (4) получаем

$$\tau = \frac{-BP_0qd + \sqrt{(BP_0qd)^2 + 4Bjqd}}{2Bj}. \quad (5)$$

Равенство (5) показывает, что излучательное время жизни сильно снижается с уменьшением толщины d и ростом плотности тока j . Когда толщина d больше, чем диффузионная длина носителей заряда, концентрация инжектированных носителей заряда Δn , заключенных в активном слое, много меньше, чем концентрация основных носителей. Тогда из (3) время жизни носителей дается простым соотношением

$$\tau = \frac{1}{BP_0}. \quad (6)$$

При условии малой модуляции сигнала граничная частота СИД

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau}, \quad (7)$$

где значение τ берется из уравнений (5) или (6) в зависимости от условий, реализуемых в эксперименте. На рис. 1 показана зависимость граничной частоты от концентрации дырок в активном слое. Кривые рассчитаны по формулам (5) ... (7) для различных толщин активного слоя светодиодов. Граничная частота возрастает с ростом концентрации P_0 дырок. Теоретические кривые подогнаны под экспериментальные точки подгоночным параметром $B = 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$. Из рис. 1 видно, что граничная частота может принимать большие значения даже в светодиодах с низкой дырочной концентрацией за счет уменьшения толщины активного слоя. Зависимость граничной частоты от плотности тока через СИД показана на рис. 2. Как видно из рисунка, на граничную частоту оказывает сильное влияние концентрация дырок P_0 . При малой концентрации $P_0 = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (рис. 2, а)

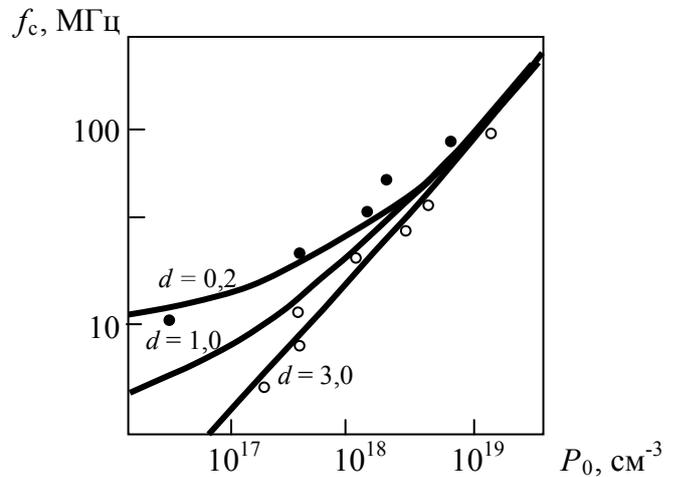


Рисунок 1 – Зависимость граничной частоты f_c от концентрации дырок P_0 в активном слое СИД (о – $d > 1 \text{ мкм}$; • – $d < 1 \text{ мкм}$; — – теоретическая)

экспериментальные точки неплохо согласуются с теоретическими кривыми. При больших концентрациях ($P_0 = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) f_c резко возрастает, но уже нет такого совпадения экспериментальных и теоретических точек (рис. 2, б). Это можно объяснить влиянием емкости объемного заряда активного слоя на граничную частоту f_c (пунктирная кривая на рис. 2, б).

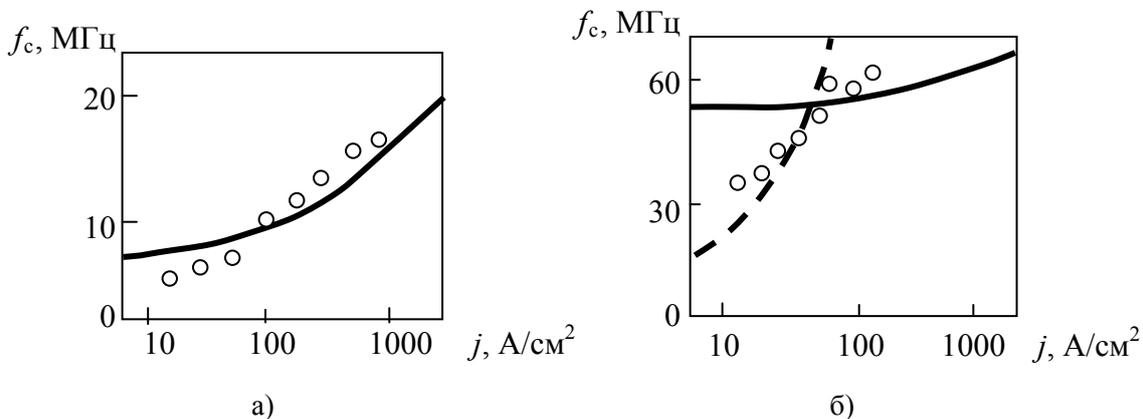


Рисунок 2 – Зависимость граничной частоты f_c от плотности тока j при $P_0 = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (а) и при $P_0 = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ (б), когда $d = 1,0 \text{ мкм}$, $B = 1,1 \cdot 10^{-10} \text{ см}^3/\text{с}$

В заключении отметим, что, используя уравнения (5), (6) и (7) можно выбирать оптимальные значения конструктивных параметров СИД, таких, как P_0 и d , подгоняя их под оптимальные эксплуатационные параметры, такие, как j и f_c .

Литература

1. Берг А., Дин П. Светодиоды. – М.: Мир, 1979. – 687 с.
2. Ирха В.И. Особенности подхода к оптическим спектрам, обусловленных деградацией в полупроводниках группы АЗВ5 // Праці УНДІРТ. – 2003. – № 2(34) – 3(35). – С. 75-76.
3. Об особенностях р-п-структур для оптоэлектроники / Б.В. Коробицын, И.М. Викулин, В.И. Ирха, В.Э. Горбачев // Труды VII Международной научно-практической конференции «ССПОИ». – 2-7 сентября 2003, Одесса, Украина. – С. 154.
4. Птащенко О.О., Артеменко О.С., Птащенко Ф.О. Влияние газового окружения на поверхностный ток в р-п гетероструктурах на основе GaAs-AlGaAs // Фізика і хімія твердого тіла. – 2001. – Т.2, № 3. – С. 481-485.
5. Нейгауз Л.М., Бер А.Г., Новоселова И.А. и др. Излучатели для оптронов и других оптронных интегральных схем. – Электронная техника, сер. 2. Полупроводниковые приборы. – В. 4, 1976 (106). – С. 15-20.
6. Kendji Ikeda, Shigeki Horiuchi, Toshio Tonaha. Design Parameters of Frequency Response of GaAs – (GaAs)As double heterostructure LED's for Optical Communications. – IEEE Trans. Electron Devices, 1977, ED-24. – № 7. – P. 1001 – 1005.