

**Волоконно-оптичні системи**

УДК 621.382

Викулин И.М., Никифоров С.Н., Панфилов И.П.  
Vikulin I.M., Nikiforov S.N., Panfilov I.P.**Действие радиации на характеристики элементов волоконно-оптических линий связи****Influence of Radiation upon the Characteristics of the Elements of Fiber-Optic Communication Lines**

**Аннотация** Рассмотрено влияние радиации на характеристики основных элементов волоконно-оптических линий связи: светодиодов, световодов и фотодиодов. В статье приведены граничные дозы радиации, при которых они сохраняют свою работоспособность.

**Abstract** Influence of radiation on characteristics of basic elements of optical fiber communication lines is considered: light-emitting diodes, optical fibre and photodiodes. Boundary doses of radiation at which they keep the working capacity are provided in the article.

**Основная часть**

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) с каждым годом все шире внедряются в технику связи. Основными компонентами ВОЛС являются источники света, световоды и фотоприемники. Рассмотрим конкретный пример ВОЛС, состоящей из полупроводникового светодиода, на основе трой-

ного соединения GaAlAs, кварцевого световода с окном прозрачности  $\lambda = 0,88$  мкм и кремниевого фотодиода [1]. Основой светодиода и фотодиода является р-п переход – контакт полупроводников р- и п-типа (рис. 1).



Рисунок 1 – Протекание тока в р-п переходе при прямом (а) и обратном (б) напряжении

действия радиации (поток нейтронов, электронов, гамма-излучение) на вольтамперную характеристику (ВАХ) любого р-п перехода заключается в уменьшении прямого тока и росте обратного тока [2].

**Светодиод** включается в обратном направлении относительно его р-п перехода (рис. 1,а) в качестве которого используется гетеропереход, в котором ширина запрещенной зоны п-полупроводника больше, чем р-полупроводника. При этом происходит односторонняя инжекция электронов из п-области в р-полупроводник, где они рекомбинируют с дырками с излучением кванта света  $\varepsilon = h\nu$ . Приложенное к светодиоду напряжение

$$U = U_{pn} + U_{\bar{a}} \quad (1)$$

распределяется между падением напряжения на области объемного заряда (ООЗ) р-п перехода –  $U_{pn}$ , и на базовых р и п-областях –  $U_{\bar{a}}$ .

Под действием частиц с высокой энергией в полупроводнике образуются дефекты типа вакансий и междоузельных атомов, остающихся и после

действия радиации. Дефекты в ООЗ создают шунтирующие р-п переход каналы (заштрихованы на рис. 1), что приводит к падению  $U_{pn}$  и уменьшению коэффициента инжекции электронов, а значит и уменьшению интенсивности излучаемого света. В базовых областях дефекты, как правило, компенсируют основную легирующую примесь и уменьшают концентрацию основных носителей, что увеличивает удельное сопротивление полупроводника, сопротивление базы  $r_b$  и  $U_{\bar{a}} = Ir_b$ .

Рекомбинация инжектированных, носителей на дефектах базы является в большинстве случаев безизлучательной, что уменьшает внутренний квантовый выход, а также и интенсивность выходящего света.

Наиболее разрушающее действие оказывают потоки быстрых нейтронов [2]. На рис. 2 показаны ВАХ светодиода (из указанного выше материала) до облучения потоком нейтронов (кривая 0) и после облучения быстрыми нейтронами с энергией 2 МэВ потоком  $\Phi = 5 \cdot 10^{12}$  н/см<sup>2</sup> (кривая Р).

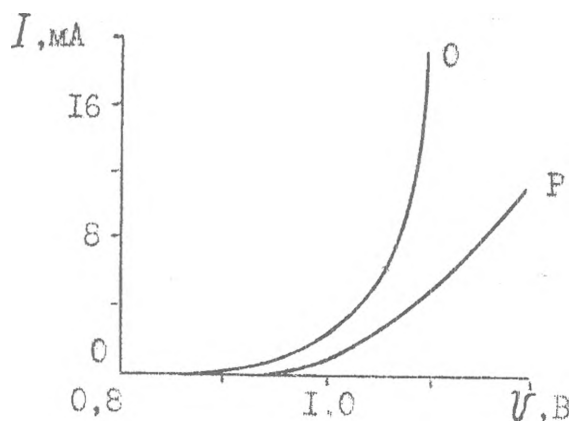


Рисунок 2 – Действие радиации на ВАХ светодиода

Совместное действие отмеченных выше двух причин (уменьшение  $U_{pn}$  и рост  $U_0$ ) приводит к уменьшению тока через светодиод и уменьшению интенсивности излучаемого света более, чем на порядок. При больших дозах радиации р-п переход может полностью разрушиться и светодиод превратится в полупроводниковый резистор с полным прекращением излучения света.

**Фотодиод** включается в обратном направлении относительно р-п перехода (рис. 1, б) и в отсутствие освещения через него протекает малый обратный темновой ток  $I_m$  обусловленный переносом неосновных носителей электронов из р-области и дырок из п-области. В отличие от прямого тока, обратный ток р-п перехода под действием радиации увеличивается по двум причинам. Во-первых, шунтирования р-п перехода образованными дефектами каналами. Во-вторых, дефекты в области р-п перехода являются центрами генерации неосновных носителей заряда, которые также увеличивают его обратный ток  $I_m$ .

На рис. 3 показана обратная ВАХ кремниевого фотодиода до (кривая 0) и после (кривая P) облучения его гамма-квантами дозой  $5 \cdot 10^7$  рентген, вследствие чего обратный ток возрастает более чем в 2 раза.

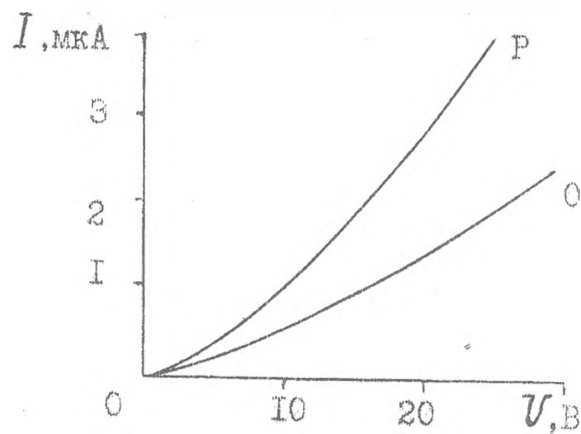


Рисунок 3 – Влияние радиации на обратный ток фотодиода

При освещении фотодиода его ток увеличивается

$$I = I_m + I_{\phi} \quad (2)$$

на величину фототока, образованными генерированными квантами света носителями заряда. Величина  $I_{\phi}$  пропорциональна времени жизни этих носителей, которое уменьшается при радиации за счет рекомбинации носителей на дефектах. Соответственно, фоточувствительность, определяемая как отношение изменения тока фотодиода к изменению потока квантов света, с ростом радиации уменьшается. В работе [3] показано, что эффективность воздействия гамма-излучения дозой  $10^8$  рентген эквивалентна воздействию электронов с энергией 2 МэВ потоком  $10^{13}$  н/см<sup>2</sup>.

**Световод** в ВОЛС представляет собой кварцевую нить состава SiO<sub>2</sub>, сердцевина которой слабо легирована двуокисью германия [4]. При радиационном облучении любых прозрачных стекол происходит их потемнение, возникающее в следствии образования нейтральных атомов легирующих веществ. Уменьшение прозрачности приводит к увеличению затухания оптического сигнала при прохождении его по световоду. Однако эти изменения происходят при уровнях радиации больших, чем уровни, при которых существенно меняются параметры полупроводниковых элементов.

Таким образом, влияние радиации на элементы ВОЛС проявляется в основном в уменьшении интенсивности света, излучаемого светодиодом, и в уменьшении чувствительности фотодиода, принимающего световой сигнал. При потоках быстрых нейтронов до  $10^{12}$  н/см<sup>2</sup> полупроводниковые элементы сохраняют свою работоспособность, а при потоках  $5 \cdot 10^{14}$  н/см<sup>2</sup> они полностью выходят из строя.

#### Литература

1. Корнейчук В.И., Макаров Т.В., Панфилов И.П. Оптические системы передачи. – Киев: Техника, 1994. – 388 с.
2. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. – М Радио и связь, 1990. – 270 с.
3. Залюбовский И.И., Гнал А.К. Влияние рентгеновского, гамма и нейтронного облучения на фоточувствительные характеристики электронно-дырочных структур. – Нові технології, 2003. – № 1. – С. 16 – 20.
4. Каток В.В. Волоконно-оптичні системи зв'язку. – Київ, 1999. – 480 с.