

ФАМ ТЭ ТХЭ

ШУМЫ ГЕРМАНИЕВЫХ ФОТОДИОДОВ

Сообщение посвящено исследованию электрических флуктуаций фотодиодов в вентильном режиме, который используется для регистрации малых световых сигналов, модулированных низкой частотой. Применение фотодиодного режима в этих случаях невозможно, так как уровень собственных шумов фотодиода сравним с сигналом и возникающий фототок соизмерим с темновым током.

В настоящей работе приведены экспериментальные зависимости напряжения шума германиевых фотодиодов, как функции освещенности светочувствительной поверхности фотодиода.

Шумовое напряжение на зажимах фотодиода, вызванное освещением, подается на вход низкочастотного предусилителя с низким шумовым сопротивлением. Усиленное напряжение шума далее поступает на вход анализатора спектра. Освещенность фотодиода изменялась варьированием расстояния между ним и источником монохроматического света.

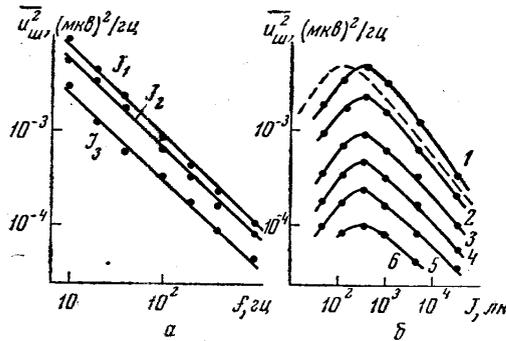


Рис. 1. *a* — спектральная плотность шума: $J_1=330$, $J_2=120$, $J_3=450$ лк, *б* — зависимость шумового напряжения фотодиода от освещенности: 1 — 20, 2 — 40, 3 — 100, 4 — 200, 5 — 400 гц, 6 — 1 кгц

Согласно экспериментальным данным, приведенным на рис. 1, спектральная плотность имеет вид $1/f$ (рис. 1, *a*), а шумовое напряжение фотодиодов, которое является функцией освещенности и частоты наблюдения, обладает максимумом в области 300 лк, соответствующим величине фото ЭДС в 0,04 в (рис. 1, *б*).

Для объяснения полученных результатов воспользуемся эквивалентной схемой фотодиода на низких частотах, изображенной на рис. 2. Фотодиод представлен идеальным генератором тока включенным параллельно диодному элементу. В этой схеме измерения фототок I_f , пропорциональный освещенности J , равен контактному току I , а V равняется фото ЭДС V_f в режиме холостого хода. При прохождении через

контакт фототока возникает шумовой ток, средний квадрат которого имеет вид

$$\overline{i_{\text{ш}}^2} = SI_j \Delta f, \quad (1)$$

где S — размерный коэффициент, зависящий от частоты наблюдения, и появляется напряжение шума, равное

$$u_{\text{ш}}^2 = \overline{i_{\text{ш}}^2} \left(\frac{\partial V_j}{\partial I_j} \right)^2, \quad (2)$$

где $\partial V_j / \partial I_j = Z_j$ — дифференциальное сопротивление p — n -перехода.

Наличие максимума у характеристики «шум—освещенность» можно объяснить, исходя из выражения (2), так как с ростом освещенности $\overline{i_{\text{ш}}^2}$ увеличивается, а Z_j уменьшается. Воспользовавшись известным уравнением фотодиода для разомкнутой внешней цепи [1]

$$I_j = A \left[\exp \left(\frac{qV_j}{kT} \right) - 1 \right]$$

и учтя, что фототок I_j пропорционален освещенности $I_j = \alpha J$, получим

$$J = \frac{A}{\alpha} \left[\exp \left(\frac{qV_j}{kT} \right) - 1 \right] \quad (3)$$

и найдем

$$\overline{u_{\text{ш}}^2} = \frac{s \Delta f}{\alpha} \left(\frac{kT}{q} \right)^2 \frac{J}{\left(J + \frac{A}{\alpha} \right)}. \quad (4)$$

Взяв экспериментальное значение A/α из графика (рис. 3), можно построить расчетную зависимость $\overline{u_{\text{ш}}^2}$ от J по найденной формуле (4) (пунктирная кривая на рис. 1, б). Эта кривая имеет максимум при $J = A/\alpha$ [лк] и ее крутизна принимает значения ± 1 , соответствующие

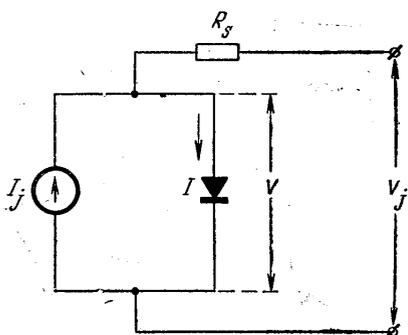


Рис. 2. Эквивалентная схема фотодиода на низких частотах

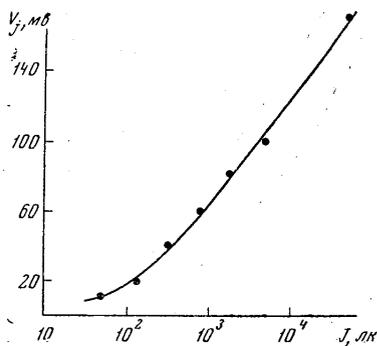


Рис. 3. Зависимость между фото ЭДС и освещенностью

слабой и сильной освещенности. Максимальная крутизна хорошо согласуется для экспериментальных и теоретических кривых (рис. 1, б). Однако при этом положения максимумов теоретической и экспериментальных кривых не совпадают. Расчетный максимум сдвинут влево в сторону меньшей освещенности. Это несовпадение максимумов, очевидно, может быть объяснено отсутствием учета корреляции между пото-

ками основных и неосновных носителей движущихся навстречу друг другу через $p-n$ -переход [1].

Следовательно: 1) шум фотодиодов в вентильном режиме подчиняется закону $1/f$ и 2) согласно теории Фонгера [2] и Ван дер Зила [3], квадратичный ток фликкер-шума пропорционален току через $p-n$ -переход.

В заключение выражаю благодарность В. В. Потемкину и А. О. Вальцеву за помощь, оказанную в процессе работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рывкин С. М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М., Физматгиз, 1963.
2. Fonger W. H. in «Noise in Electron Devices». New York, John Wiley, 1959.
3. Ван дер Зил А. Флуктуационные явления в полупроводниках. М., ИЛ, 1961.

Поступила в редакцию
20.1 1969 г.

Кафедра
физики колебаний