

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа
«Исследование характеристик фотодиодов»

Утверждено на заседании каф. 405 31.08.06 (Протокол №1) как
учебно-методическое руководство

Москва, 2006 г.

Краткие теоретические сведения

Фотодиод. Принцип действия фотодиода основан на фотогальваническом эффекте, который возникает в полупроводниках при воздействии на него внешнего излучения. Например, при освещении *p-n* перехода монохроматическим светом с энергией фотонов $E_{\phi} > \Delta E_z$, имеет место собственное поглощение квантов света и генерируются неравновесные фотоэлектроны и фотодырки. Под действием электрического поля перехода эти фотоносители перемещаются: электроны - в *n*-область, а дырки - в *p*-область, т.е. через переход течет дрейфовый ток неравновесных носителей. Если цепь разомкнута концентрация электронов в *n*-области и дырок в *p*-области увеличивается, поле объемного заряда атомов примеси в переходе частично компенсируется и потенциальный барьер снижается. Это снижение происходит на величину фотоЭДС, называемую напряжением холостого хода фотодиода U_{XX} . Значение U_{XX} не может превышать контактную разность потенциалов перехода, поскольку при этом полностью компенсируется электрическое поле и разделение фотоносителей в переходе прекращается. Если *p*- и *n*-области соединить внешним проводником, то $U_{XX} = 0$ и в проводнике потечет ток короткого замыкания $I_{KЗ}$, образованный неравновесными фотоносителями. Если к *p*- и *n*- областям освещенного перехода подключить сопротивление нагрузки $R_H \neq 0$, по нему потечет ток нагрузки $I_H < I_{KЗ}$ и падение напряжения на нем будет $U_H < U_{XX}$. В нагрузке будет выделяться электрическая мощность $P_H = I_H \cdot U_H$. Такой режим работы называется фотогальваническим и используется в элементах солнечных батарей. Если в цепь фотодиода и R_H последовательно включен источник питания, обеспечивающий обратное смещение *p-n* перехода, то такой режим работы фотодиода называют фотодиодным.

Семейство вольтамперных характеристик фотодиода $I = f(\Phi)$ при $\Phi = const$ показано на рисунке 1.

Световыми характеристиками диода в фотогальваническом режиме являются зависимости тока короткого замыкания от светового потока $I_{КЗ} = f(\Phi)$ и напряжения холостого хода от светового потока $U_{ХХ} = f(\Phi)$, показанные на рисунке 2. Нелинейность $I_{КЗ} = f(\Phi)$ при увеличении Φ объясняется ростом падения напряжения на объемном сопротивлении базы фотодиода, а нелинейность $U_{ХХ} = f(\Phi)$ - уменьшением потенциального барьера при росте Φ . Точка пересечения ВАХ фотодиода и нагрузочного резистора определяет электрическую мощность $P_H = I_H \cdot U_H$, выделяемую в нагрузку.

Параметром семейства ВАХ является световой поток Φ . При $\Phi_0 = 0$ ВАХ фотодиода не отличается от ВАХ обычного полупроводникового диода. При $\Phi > 0$ на ВАХ фотодиода можно выделить две области, соответствующие разным режимам работы фотодиода:

III квадрант - фотодиодный режим;

IV квадрант - фотогальванический режим.

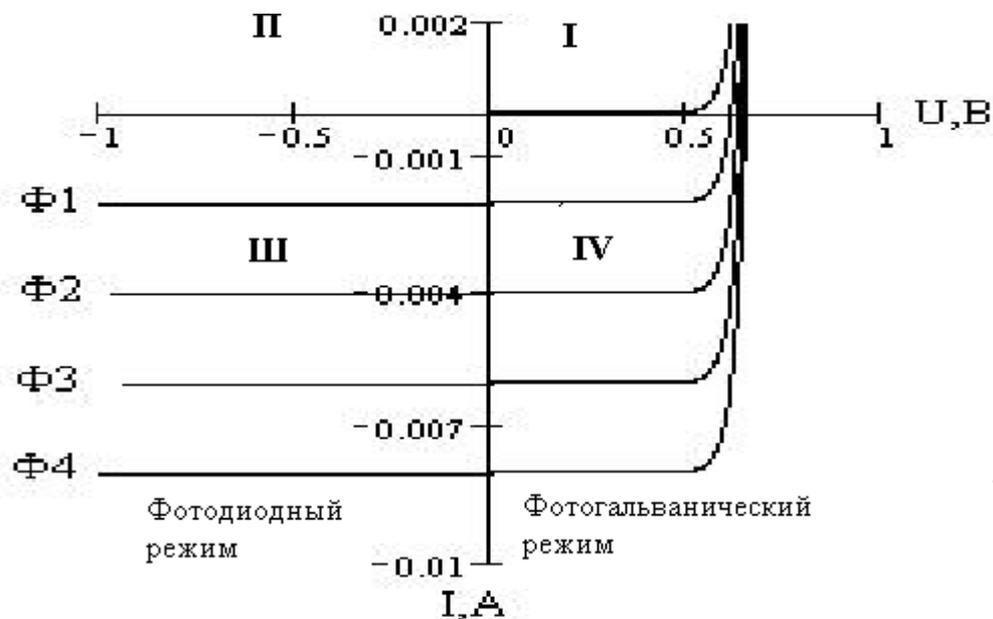


Рисунок 1. Семейство вольтамперных характеристик освещенного фотодиода.

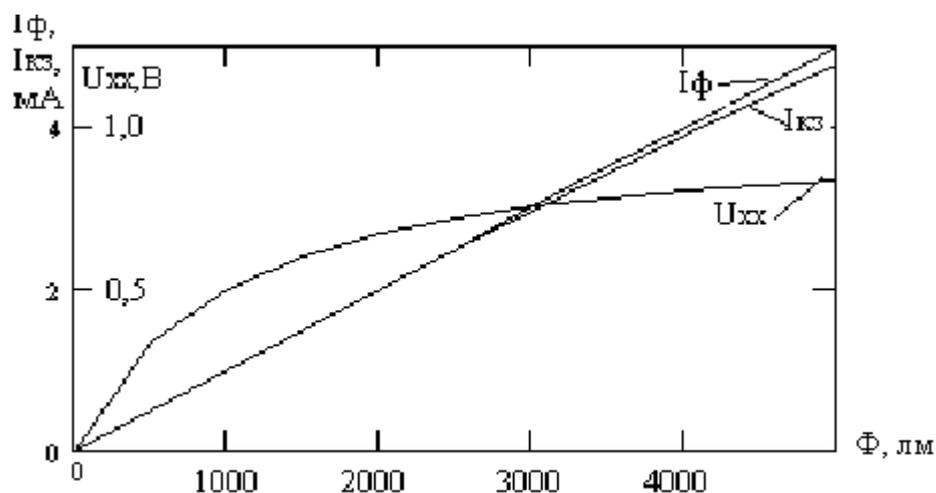


Рисунок 2. Зависимости тока короткого замыкания I_{kz} , напряжения холостого хода U_{xx} и фототока I_{ϕ} от мощности светового потока Φ .

В фотодиодном режиме фототок прямо пропорционален падающему световому потоку, и световая (энергетическая) характеристика $I_{\phi} = f(\Phi)$ практически линейна (рисунок 2). Инерционность фотодиода определяется, прежде всего, скоростью процесса разделения носителей в $p-n$ -переходе и скоростью перезаряда барьерной емкости. Наименее инерционны фотодиоды с точечным переходом или с барьером Шотки.

Описание лабораторной установки

Основой лабораторной установки является серийный прибор *CHARACTERISCOPE-Z* (тип TP-4805), позволяющий снимать семейство вольтамперных характеристик (ВАХ) при различных величинах светового потока.

На основе этих характеристик можно определить следующие параметры фотодиода:

- световую (энергетическую) характеристику в фотодиодном режиме;
- токовую чувствительность в фотодиодном режиме; зависимость тока короткого замыкания от светового потока в фотогальваническом

режиме; зависимость напряжения холостого хода от светового потока в фотогальваническом режиме; оптимальное сопротивление нагрузки в фотогальваническом режиме; максимальную мощность, отдаваемую в нагрузку в фотогальваническом режиме.

Конструктивно фотодиод выполнен вместе со светоизлучателем в одном непрозрачном корпусе. В качестве светоизлучателя используется светодиод. К внешним электрическим цепям фотодиод и светоизлучатель подключаются тремя проводниками (один является выводом светодиода, второй – фотодиода, третий - общий).

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Для исследования фотодиода необходимо собрать электрическую схему, показанную на рисунке 3.

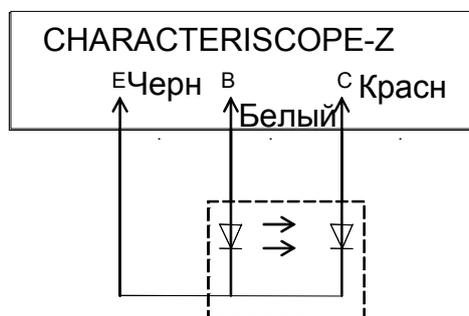


Рисунок 3. Схема подключения фотодиода и светодиода к характеристоскопу.

1. На приборе *CHARACTERISCOPE* установите ручки управления в следующие положения:

- тумблер "**OFF**" в нейтральное положение;
- переключатель "**HOR.VOLTS**" в положение 0,1 В;

- переключатель "**VERT. CURRENT**" в положение (50 –100) мкА;
- - переключатель "**BASE STEPS**" в положение "6";
- тумблер "**STEP POL**" в положение "+";
- кнопка "**ONE CURVE**" отжата;
- переключатель "**STEP AMPLITUDE**" в положение (5-10) мА.

2. Включите питание прибора ручкой "**SCALE ILLUM**" и установите удобный уровень освещенности шкалы. Время прогрева прибора не менее 5 минут.

3. После прогрева прибора (появление луча на экране) ручками "**VERT.POS**" и "**HOR.POS**" установите удобное положение начала координат ВАХ на экране прибора.

4. Тумблером "**OFF**" подключите фотодиод и светоизлучатель к прибору.

5. Переключателями "**VERT. CURRENT**" и "**STEP AMPLITUDE**" установите удобный масштаб ВАХ по вертикали, соответствующий максимальному использованию экрана характерокопа. Ручкой "**OFFSET**" отрегулируйте положение начала координат для кривой семейства, соответствующей нулевому световому потоку $\Phi = 0$ (до момента остановки).

6. Для регистрации прямых ветвей семейства ВАХ фотодиода переключатель "**COLLECTOR SUPPLY**" установите в положение "**-AC**", для регистрации обратных ветвей семейства - в положение "**+AC**".

Значения тока через светоизлучатель I_0 будут задаваться с шагом, соответствующим положению переключателя "**STEP AMPLITUDE**".

Световой поток светоизлучателя определяется по формуле:

$$\Phi = \kappa I_0,$$

где $\kappa = 100 \text{ лм/мА}$; I_0 – ток через светоизлучатель (светодиод).

7. Снимите семейство ВАХ фотодиода при $\Phi = \text{const}$, сопрягая прямые и обратные ветви семейства, соответствующие одинаковым значениям светового потока Φ (см. рисунок 1.).

На семействе ВАХ фотодиодному режиму работы фотодиода соответствует область "обратное напряжение - обратный ток" (III квадрант).

8. Для фотодиодного режима выберите значения напряжения U_{OBR1} и графически постройте световую характеристику фотодиода $I_{\phi} = f(\Phi)$ при $U_{OBR} = U_{OBR1}$ (см. рисунок 2), где I_{ϕ} - фототок через фотодиод, совпадающий по направлению с I_{OBR} (см. рисунок 1).

9. Для выбранной рабочей точки на световой характеристике рассчитайте токовую чувствительность фотодиода $S = \Delta I_{\phi} / \Delta \Phi$, (мкА/лм).

На семействе ВАХ фотогальваническому режиму работы фотодиода соответствует область "прямое напряжение - обратный ток" (IV квадрант).

10. Для фотогальванического режима по ВАХ графически измерьте значения тока короткого замыкания в напряжения холостого хода фотодиода для различных значений светового потока и постройте графики $I_{K3} = f(\Phi)$ и $U_{XX} = f(\Phi)$ (см. рисунок 2).

11. Для кривой семейства ВАХ, соответствующей максимальному световому потоку, рассчитайте положение оптимальной рабочей точки фотодиода. Критерием оптимальности является максимальная мощность, отдаваемая фотодиодом в нагрузку в фотогальваническом режиме. Для этого, перемещая положение точки A по ВАХ, соответствующей максимальной освещенности фотодиода (на рисунке 1 это соответствует $\Phi = \Phi_4$) и рассчитывая в каждой точке значения мощности $P = U_{OBR} * I_{OBR}$, найдите максимальную мощность P_{max} , отдаваемую фотодиодом в нагрузку.

12. Для оптимальной рабочей точки рассчитайте оптимальное сопротивление нагрузки R_{HOPT} . Рассчитайте по ВАХ сопротивление

$$R = U_{XX} / I_{K3} \text{ и сравните его с } R_{HOPT}.$$