

Министерство образования и науки Российской Федерации



УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИШНКБ

\_\_\_\_\_ Баранов П.Ф.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 г.

## **ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы № 10  
по дисциплине “ Физические основы получения информации ”

ТОМСК 2024

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10 "ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ"

### 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Оптические измерительные преобразования основаны на зависимости параметров потока оптического излучения от параметров источника излучения и среды распространения.

Оптическое или световое излучение представляет собой электромагнитные волны, длина которых лежит в диапазоне  $10^{-3} \dots 10^3$  мкм. Диапазон радиоволн частично перекрывает оптический в интервале длин волн  $50 \dots 10^3$  мкм, а диапазон ионизирующих излучений – в интервале длин волн  $10^{-3} \dots 10^{-2}$  мкм.

В оптическом диапазоне различают три поддиапазона: инфракрасная ( $0,78 \dots 10^3$  мкм), видимая ( $0,38 \dots 0,78$  мкм) и ультрафиолетовая ( $10^{-3} \dots 0,38$  мкм) области спектра. Границы областей определяются способностью человеческого глаза воспринимать электромагнитное излучение. Электромагнитные волны только видимой области спектра дают зрительное и цветовое ощущение. Инфракрасное излучение дает тепловое ощущение.

Скорость распространения света в вакууме – фундаментальная физическая константа  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Среда, отличающаяся от вакуума по электромагнитным свойствам, уменьшает скорость распространения световой волны, а отношение скоростей электромагнитной волны в вакууме и в среде  $n = c/v$  называется показателем преломления.

Возникновение оптического излучения связано с движением электрически заряженных частиц (электронов, атомов, ионов, молекул), а также с дискретными переходами носителей зарядов с более высоких на более низкие уровни энергии. Энергетическими источниками оптического излучения являются тепловые, электрические, световые, радиационные и другие воздействия.

Оптическое излучение, имея волновую природу, обладает всеми свойствами ранее рассмотренных волн: поляризации, интерференции, дифракции, отражения, преломления и другими. В то же время ряд оптических явлений невозможно объяснить, не привлекая представления об оптическом излучении как о потоке быстрых частиц – фотонов. Эта двойственность природы оптического излучения сближает его с объектами микромира и находит объяснение в квантовой механике.

Взаимодействие оптического излучения со средой и объектами преобразования наиболее полно описывается энергетической системой величин, характеризующей излучение во всем его спектре, а не только в диапазоне, воспринимаемом таким несовершенным приемником, как человеческий глаз.

Основной величиной энергетической системы световых величин является *поток излучения*  $q$  (Вт) – энергия, электромагнитного излучения оптического диапазона, проходящая через площадь  $S$  в единицу времени.

Характеристиками равномерности распределения потока оптического излучения в пространстве служат величины освещенность  $G$  (Вт/м<sup>2</sup>), светимость  $R$  (Вт/м<sup>2</sup>) и сила света  $I$  (Вт/ср).

*Сила света* – отношение потока излучения, распространяющегося внутри малого телесного угла, который содержит данное направление, к этому телесному углу:  $I = \frac{dq}{d\Omega}$ .

Важной характеристикой источников и приемников оптического излучения является их *диаграмма направленности* – зависимость потока излучаемого либо принимаемого излучения от направления. Для точечных источников и приемников оптического излучения в качестве диаграммы направленности в некоторой плоскости обычно рассматривается зависимость относительного значения силы света  $I^*$  излучаемого либо принимаемого излучения от угла ориентации  $\alpha$  в этой плоскости:  $I^*(\alpha) = \frac{I(\alpha)}{I_0}$ , где  $I_0$  – максимальное значение силы света в рассматриваемой плоскости.

Для характеристики распределения энергии оптического излучения в зависимости от длины волны используется величина спектральная плотность потока оптического излучения  $p$  (Вт/м).

*Спектральная плотность потока оптического излучения* – отношение потока оптического излучения, взятого в малом интервале длин волн, содержащем данную длину волны к ширине этого интервала:  $p = \frac{dq}{d\lambda}$ .

Оптическое излучение складывается из элементарных актов излучения атомами и молекулами при определенных энергетических воздействиях отдельных порций (цугов) электромагнитных волн. Каждый атом или молекула излучают цуг волн в течении промежутка времени порядка  $10^{-8}$  с. Протяженность цуга имеет порядок  $10^7$  длин волн. Спонтанно излучаемые цуги в общем случае могут иметь произвольные начальные фазы колебаний, различные частоты колебаний, различные направления колебаний вектора напряженности электрического поля  $\vec{E}$ . При времени наблюдения значительно превышающем время излучения цуга электромагнитное излучение является суперпозицией волн отдельных цугов. Согласованность колебаний отдельных цугов определяет монохроматичность, когерентность и поляризованность оптического излучения.

*Монохроматичным* называется излучение, для которого вектор  $\vec{E}$  колеблется с одной и той же частотой  $f_0$ . Степень монохроматичности характеризуется шириной оптической спектральной линии  $\Delta f$ , определяемой с использованием графика распределения спектральной плотности потока по

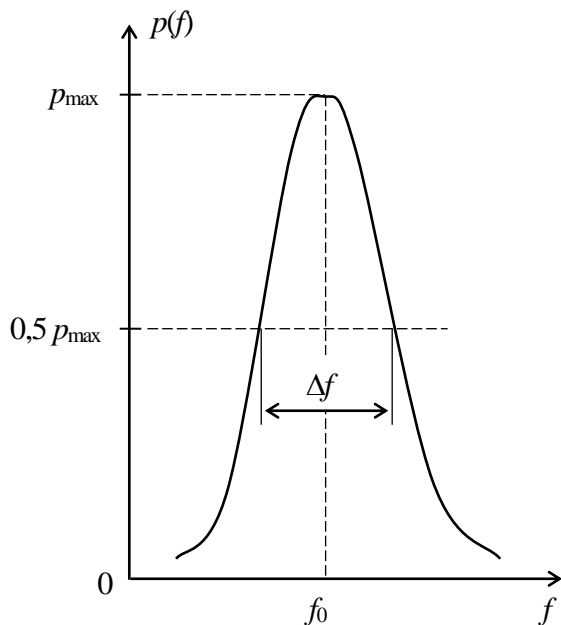


Рис. 1. Определение ширины оптической спектральной линии по графику распределения спектральной плотности потока излучения.

спектру  $p(f)$  по уровню 0,5 от максимального значения функции распределения  $f_{\max}$  (рис. 1). Наиболее близко к монохроматичному излучению лазера.

*Когерентными* называются колебания, разность фаз между которыми постоянна. Такими колебаниями являются, в частности, колебания, полученные разделением пучка света от монохроматического источника на два пучка в случае неизменной разности длины путей разделенных пучков до точки наблюдения.

*Поляризованность* света определяется ориентацией вектора  $\vec{E}$  в пространстве по мере распространения волны. По аналогии с радиоволнами световые волны различаются на неполяризованные (естественные), линейно поляризованные, эллиптически поляризованные и с круговой (циркулярной) поляризацией. Свет большинства источников является естественным или частично поляризованным. Изменение поляризации света происходит при его прохождении через оптически анизотропные среды, а также при отражении и преломлении на границе сред с различными оптическими свойствами.

Эффекты взаимодействия света с изотропной средой могут быть описаны физическими параметрами: показателем преломления  $n$ , характеризующим уменьшение скорости света в среде, и коэффициентом поглощения  $\chi$ , характеризующим уменьшение амплитуды колебаний. Закон распространения монохроматической световой волны в среде описывается выражением:

$$E(t) = E_{m0} \exp\left(-\frac{\omega \chi}{c} z\right) \sin\left(\omega t - \frac{n}{c} z\right),$$

где  $E(t)$  – мгновенное значение напряженности электрического поля в точке пространства, отстоящей от начала координат в направлении распространения волны на расстоянии  $z$ ;  $E_{m0}$  – амплитуда напряженности электрического поля в начале координат;  $\omega$  – круговая частота электромагнитного поля.

В зависимости от значения коэффициента поглощения  $\chi$  материалы подразделяются на сильнопоглощающие ( $\chi > 10$ ), слабопоглощающие ( $\chi < 0.01$ ) и занимающие по этому параметру промежуточное положение.

На границе раздела сред с различными оптическими свойствами имеют место такие явления, как отражение и преломление света.

Отражение света – явление, заключающееся в том, что при падении оптического излучения из первой среды на границу раздела со второй средой взаимодействие света с веществом приводит к появлению световой волны, распространяющейся от границы раздела обратно в первую среду. При этом, по крайней мере первая среда должна быть прозрачна для падающего и отражаемого излучения. Несамосветящиеся тела становятся благодаря отражению видимыми.

**Источники оптического излучения.** По физической природе источники оптического излучения подразделяются на тепловые, люминесцентные и лазерные.

Оптическое излучение тепловых источников обусловлено колебаниями электрических зарядов вещества при возрастании температуры и связано с переходом атомов и молекул из возбужденного состояния в устойчивое. Эти источники имеют сплошной спектр излучения, положение максимума которого зависит от температуры тела. С ростом температуры максимум спектральной плотности потока излучения согласно законам Планка и Вина смещается в коротковолновую область.

Принцип действия люминесцентных источников основан на свечении атомов, молекул, ионов и их комплексов, возникающем в результате перехода этих частиц из электронного возбужденного состояния в основное невозбужденное. Предварительный переход частиц в возбужденное состояние может осуществляться за счет нагрева до очень высокой температуры (термолюминесценция), а также воздействием оптического излучения (фотолюминесценция), ионизирующего излучения (рентгенлюминесценция), электрического поля (электрлюминесценция), при протекании химических реакций (хемиллюминесценция).

*Лазер* (оптический квантовый генератор) – устройство, генерирующее когерентные электромагнитные волны за счет вынужденного испускания или вынужденного рассеяния света активной средой, находящейся в оптическом резонаторе. Слово "лазер" – аббревиатура слов английского выражения "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" – усиление света вынужденным излучением. Основные характеристики излучения лазера – когерентность и направленность. Действие лазеров основано на вынужденном испускании фотонов под действием внешнего электромагнитного излучения.

Для решения большого круга практических задач измерений и контроля в качестве источника оптического излучения используются рассматриваемые в данной работе люминесцентные источники. Поэтому остановимся на их принципе действия более подробно.

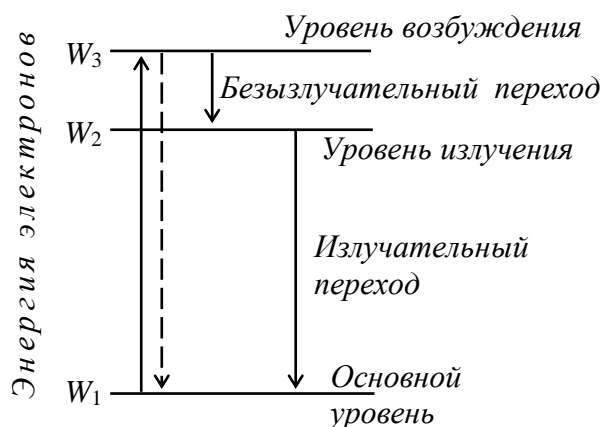


Рис. 2. Схема квантовых переходов при элементарном процессе излучения

На рис. 2 показана схема квантовых переходов при люминесценции. Элементарный акт люминесценции начинается с поглощения энергии атомом, сопровождающимся переходом электрона с одного из верхних *основных* энергетических уровней электронной оболочки на более высокий *возбужденный* энергетический уровень. Далее в общем случае имеет место *безызлучательный* переход электрона с возбужденного энергетического уровня на уровень *излучения*. Энергетический уровень излучения является неустойчивым, поэтому далее происходит переход электрона с уровня излучения на исходный устойчивый уровень. В некоторых средах возвращение электрона с уровня возбуждения на устойчивый уровень происходит непосредственно, без промежуточного перехода на уровень излучения (*резонансная люминесценция*).

Разница энергий уровня излучения  $W_2$  и устойчивого уровня  $W_1$  определяет энергию  $W_k$  и частоту  $f$  кванта оптического излучения:

$$W_2 - W_1 = W_k = hf, \quad (9.22)$$

где  $h$  – постоянная Планка.

Энергия атома, освобождаемая при безызлучательном переходе, равна разности  $W_3 - W_2$ . Эта энергия недостаточна для излучения кванта оптического излучения и переходит в энергию тепловых колебаний атомов.

При переходе электрона с уровня возбуждения непосредственно на устойчивый уровень тепловая энергия не выделяется, а энергия излучаемого кванта равна разности  $W_3 - W_1$ .

Отличительной особенностью люминесцентного излучения является то, что испускание кванта оптического излучения происходит с некоторой задержкой относительно момента возбуждения электронной оболочки атома.

Среди люминесцентных источников оптического излучения наибольшее практическое использование имеют газоразрядные лампы и полупроводниковые светоизлучающие диоды.

*Газоразрядной лампой* называют электрооптический преобразователь, в котором оптическое излучение возникает в результате электрического разряда в газах, парах или их смесях.

Газоразрядные лампы имеют высокую световую отдачу, а также могут обеспечивать различный спектральный состав излучения. Требуемые параметры оптического излучения по спектральному составу и силе света достигаются подбором состава газовой смеси, давления, расположения и формы электродов, выбором пространственного и временного распределения напряженности электрического поля и силы электрического тока. Благодаря этому можно получать спектры излучения, состоящие из одиночных линий, многополосные, непрерывные. Малая инерционность газоразрядных ламп обеспечивает возможность модуляции оптического излучения (стробоскопия, фотографирование и исследование быстропротекающих процессов).

При необходимости коррекции спектрального состава оптического излучения газоразрядной лампы и смещения спектра в длинноволновую область используется покрытие стенки стеклянной колбы люминофором, свечение которого происходит за счет фотолюминесценции под действием оптического излучения газового разряда.

*Светоизлучающий диод* – полупроводниковый прибор, преобразующий электрическую энергию в энергию оптического излучения на основе инжекционной люминесценции, происходящей в полупроводниковом кристалле с электронно-дырочным переходом.

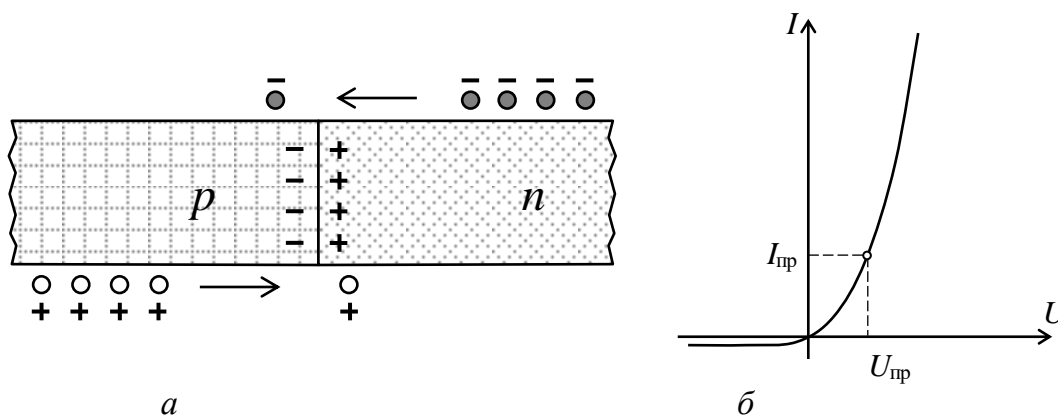


Рис. 3. Схема  $p-n$  перехода (а) и его вольтамперная характеристика (б):

● – электрон; ○ – дырка

Электронно-дырочный переход ( $p-n$  переход) – область полупроводника, в которой имеет место пространственное изменение типа проводимости от электронной  $n$  к дырочной  $p$ . В результате диффузии носителей заряда из одной области в другую возникает контактное электрическое поле (контактная разность потенциалов), противодействующее дальнейшей диффузии электронов и дырок. Если приложить к  $p-n$  переходу внешнее электрическое поле, направление которого противоположно контактному (прямое смещение, положительный потенциал приложен к  $p$ -области), то через переход потечет электрический ток (рис. 3). При этом в область полупроводника, прилегающую к переходу, инжектируются избыточные носители тока – электроны и дырки.

Их рекомбинация приводит к понижению энергетического уровня участвующих в этом процессе электронов оболочек атомов, что сопровождается оптическим излучением. Светодиоды испускают некогерентное излучение с узким спектральным составом. Длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности потока излучения, определяется полупроводниковым материалом и его легированием.

**Приемники оптического излучения** подразделяются на тепловые и фотоэлектрические.

Принцип действия *тепловых приемников* основан на промежуточном преобразовании энергии излучения в тепловую и последующем ее преобразовании в электрический сигнал.

В наиболее общем случае тепловой фотоприемник представляет собой тонкий металлический диск с зачерненной поверхностью с прикрепленным к нему преобразователем температуры в электрический сигнал. Другим примером теплового оптического преобразователя является преобразователь на основе пирозлектрического эффекта. В этом случае преобразование энергии оптического излучения в тепловую происходит непосредственно в пирозлектрическом материале.

Принцип действия *фотоэлектрических приемников* оптического излучения основан на использовании явлений внешнего и внутреннего фотоэффектов.

*Внешний фотоэффект (фотоэлектронная эмиссия)* – испускание электронов твердыми телами и жидкостями под действием электромагнитного излучения в вакуум или другую среду.

Для решения большого круга практических задач измерений и контроля в качестве приемников оптического излучения используются рассматриваемые в данной работе фотоприемники на основе использования внутреннего фотоэффекта. Поэтому остановимся на их принципе действия более подробно.

*Внутренний фотоэффект* – передача энергии квантов излучения электронам вещества с изменением их энергетического состояния. Наибольшее использование для измерительных преобразований имеет внутренний фотоэффект в полупроводниках. Воздействие на полупроводник высокочастотного электромагнитного излучения вызывает возрастание числа носителей электрических зарядов – электронов и дырок. Это приводит к изменению электрического сопротивления полупроводника (*фоторезистивный эффект*), изменению электрического тока через *p-n* переход (*фотодиодный эффект*), появлению эдс на *p-n* переходе (*фотогальванический эффект*).

Фоторезистивный эффект объясняется увеличением в полупроводнике за счет энергии излучения числа свободных электронов (а соответственно и вакансий – дырок) вследствие преодоления ими энергетического барьера, отделяющего энергетические зоны валентных и свободных электронов.

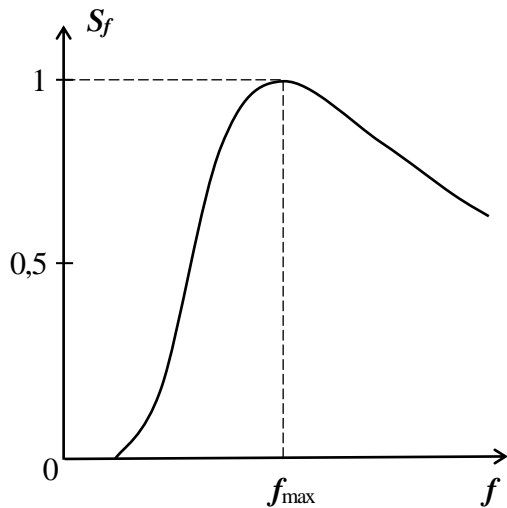


Рис. 4. Относительная спектральная чувствительность полупроводникового фоторезистора

Изменение электрического сопротивления полупроводника связано с интенсивность светового потока линейной зависимостью. Однако следует учитывать, что и само сопротивление полупроводника и его изменение под действием излучения в сильной мере зависят от температуры. Кроме того внутренний фотоэффект имеет селективный по длине волны и частоте излучения характер. На рис. 4 приведена типичная зависимость относительной спектральной чувствительности полупроводникового фоторезистора  $S_f = \Delta R / \Delta R_{\max}$  от частоты излучения  $f$ . Здесь  $\Delta R$  – изменение электрического сопротивления под действием излучения частоты  $f$ ;  $\Delta R_{\max}$  – изменение электрического сопротивления под действием излучения частоты  $f_{\max}$ , при

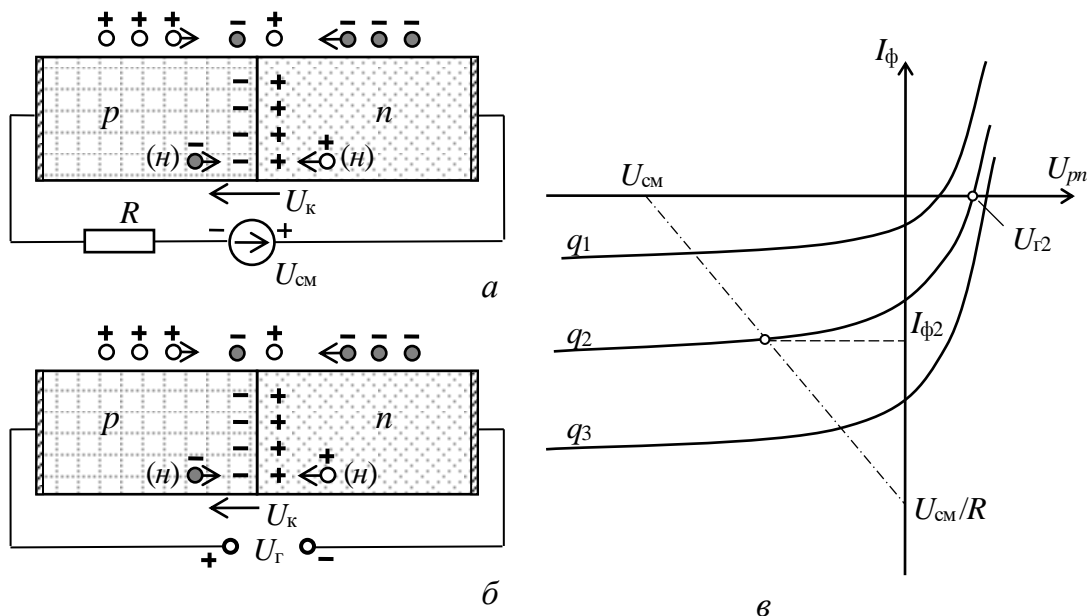


Рис. 5. Фотодиодный (а) и фотогальванический (б) режимы полупроводника с  $p-n$  переходом и его вольтамперные характеристики при различных значениях потока оптического излучения (в):

● – электрон; ○ – дырка; (н) – неосновной носитель

которой это изменение максимально. Анализ зависимости показывает, что в интервале частот меньших  $f_{\max}$  при уменьшении частоты наблюдается снижение чувствительности полупроводникового фоторезистора до нуля, что обусловлено пропорциональным снижением с уменьшением частоты энергии световых квантов. Плавное снижение чувствительности полупроводникового фоторезистора с ростом частоты в интервале частот больших  $f_{\max}$  обусловлено уменьшением проникающей способности высокочастотного излучения через поверхностный слой полупроводника.

Фотодиодный и фотогальванический эффекты наблюдаются при наличии в полупроводнике  $p$ - $n$  перехода. Объясняются возрастанием в нем при воздействии излучения числа неосновных носителей (электронов в  $p$  – области и дырок в  $n$  – области).

Благодаря диффузии электронов из  $n$  – области полупроводника в  $p$  – область, а дырок – из  $p$  – области в  $n$  – область, на  $p$ - $n$  переходе возникает контактная разность потенциалов  $U_k$  (рис. 5а,б). Наличие этого потенциального барьера ограничивает до минимума протекание через переход электрического тока основных носителей, определяющих проводимость соответствующей области полупроводника (дырок в  $p$  – области и электронов в  $n$  – области).

В фотодиодном режиме полупроводника с  $p$ - $n$  переходом (фотодиода) к нему прикладывается внешнее напряжение  $U_{\text{см}}$  (обратное смещение диода), совпадающее по направлению с контактной разностью потенциалов  $U_k$  (рис. 5а). В этом случае ток основных носителей полностью прекратится, и ток через переход будет определяться обратным током неосновных носителей, возникающих под действием внешних воздействий (теплового, оптического, ионизирующего) в непосредственно прилегающих к  $p$ - $n$  переходу обедненных носителями областях полупроводника (электронов в  $p$  – области и дырок  $n$  – области). Фотодиодному режиму соответствует область отрицательных значений напряжения вольтамперных характеристик фотодиода рис. 5в. Здесь  $U_{pn}$  – приложенное к полупроводниковому элементу напряжение,  $I_{\phi}$  – фототок через элемент.

Анализ зависимостей  $I_{\phi}(U_{pn})$  для разных интенсивностей оптического излучения (потока оптического излучения  $q$ ) показывает, что при обратном смещении фотодиода ( $U_{pn} < 0$ ) значение фототока мало зависит от приложенного напряжения и определяется интенсивностью оптического излучения. Сила тока в этом случае прямопропорциональна потоку оптического излучения  $q$ . Рабочая точка характеристики фотодиода определяется также напряжением смещения  $U_{\text{см}}$  и сопротивлением нагрузки  $R$  и находится в точке пересечения соответствующей конкретному значению потока  $q$  вольтамперной характеристики фотодиода (в качестве примера выбрано значение потока  $q_2$ ) и нагрузочной прямой (показана на рис. 5в штрихпунктирной линией).

В фотогальваническом режиме фотодиод не имеет какого-либо внешнего источника напряжения и работает как генератор. Появление разности потенциалов  $U_{\Gamma}$  на его электродах (рис. 5б) обусловлено, также как и в предыдущем случае, возрастанием под действием излучения числа неосновных носителей и переносом их через переход, сопровождаемым понижением

потенциального барьера (контактной разности потенциалов  $U_k$ ). В режиме холостого хода (при отсутствии нагрузки) возникающая эдс фотогальванического элемента  $U_g$  прямопропорциональна потоку оптического излучения  $q$ .

Фотогальваническому режиму соответствует область положительных значений напряжения  $U_{pn}$  вольтамперных характеристик рис. 5в. Рабочая точка характеристики фотогальванического элемента в режиме холостого хода находится в точке пересечения соответствующей конкретному значению потока  $q$  вольтамперной характеристики фотоэлемента (в качестве примера выбрано значение потока  $q_2$ ) и горизонтальной координатной оси (оси напряжений).

Кроме использования для измерительных преобразований фотогальванический режим широко применяется в работе солнечных источников энергии (солнечных батарей).

Фотодиодный и фотогальванический эффекты характеризуются высоким быстродействием и спектральной селективностью функции преобразования, что обусловлено теми же факторами, что и в случае рассмотренного ранее фоторезистивного эффекта.

**Основные области применения измерительных преобразований в полях оптических излучений:** измерение и контроль геометрических размеров и формы объектов из прозрачных и непрозрачных материалов, измерение расстояний, измерение качества поверхности, структуроскопия, определение химического состава и измерение концентрации различных веществ, определение степени запыленности и задымленности воздушной среды, измерение механических напряжений и деформаций, определение колориметрических характеристик различных объектов.

На рис. 6 иллюстрируется использование оптического излучения для измерения поперечного размера цилиндрической детали. Принцип измерения заключается в преобразовании с помощью линзы светового потока точечного источника в однородный световой поток с плоским фронтом и определения размера создаваемой деталью тени с помощью расположенного за деталью многоэлементного фотоприемника. Очевидно, что если принять меры по уменьшению влияния дифракционных явлений, то для светового потока с плоским фронтом размер тени совпадает с поперечным размером детали.

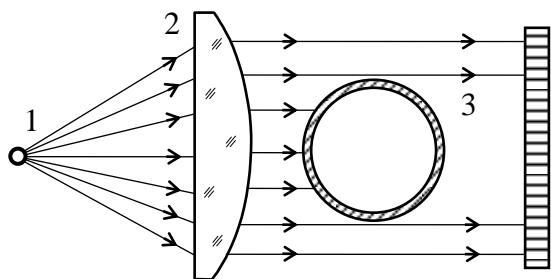


Рис. 6. Измерение поперечного размера детали: 1 – источник света; 2 – линза; 3 – деталь; 4 – фотоприемник

Огромный скачок в расширении сферы использования оптического излучения для измерительных преобразований произошел с появлением

лазеров, создание которых шло одновременно с развитием различных направлений их применения. Лазеры большой мощности позволяют изучать разнообразные явления при взаимодействии света большой интенсивности со средой, ранее совершенно недоступные для эксперимента. Возможность формировать сверхкороткие импульсы света ( $10^{-11} \div 10^{-12}$ ) секунд имеет также важное значение для скоростной фотографии и ряда других методов исследования быстропротекающих процессов.

Интенсивно развиваются методы лазерной локации и связи. Разрабатываются лазерные методы геодезических измерений и регистрации сейсмических явлений. Созданы и используются лазерные гироскопы, нивелиры, теодолиты и дальномеры.

С помощью лазерной техники интенсивно разрабатываются оптические методы обработки передачи и хранения информации, методы голографической записи информации, цветное проекционное телевидение.

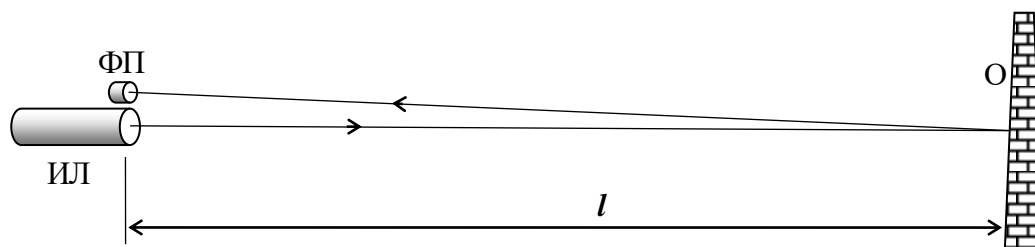


Рис. 7. Измерение расстояния до объекта с помощью импульсного лазера: ИЛ – импульсный лазер; ФП – фотоприемник; О – объект

На рис. 7 иллюстрируется применение лазера для измерения расстояния до объекта. В этом случае импульсным лазером формируется короткий импульс оптического излучения и измеряется время его прохождения до объекта и обратно после отражения от объекта. Отраженный оптический импульс фиксируется быстродействующим фотоэлектрическим преобразователем.

## 2. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 2.1. Какова природа оптического излучения? Основные характеристики оптического излучения.
- 2.2. Что понимается под монохроматичностью, когерентностью, поляризованностью оптического излучения?
- 2.3. Какие факторы влияют на поглощение и рассеивание света средой? Закон затухания световой волны.
- 2.4. Какие физические эффекты лежат в основе тепловых источников оптических излучений?
- 2.5. Какие физические эффекты лежат в основе люминесцентных источников оптических излучений?
- 2.6. Какие физические эффекты лежат в основе лазерных источников оптических излучений?
- 2.7. Какие физические эффекты лежат в основе тепловых приемников оптических излучений?

2.8. Какие физические эффекты лежат в основе фотоэлектрических приемников оптических излучений?

2.9. Для решения каких измерительных задач может быть использовано измерительное преобразование в полях оптических излучений?

### 3. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с физическими основами оптического измерительного преобразования, источников и приемников оптического излучения. Экспериментальное исследование оптического преобразователя на основе светодиода и фотодиода.

### 4. ПРОГРАММА РАБОТЫ.

4.1. Экспериментальное определение диаграммы направленности источника оптического излучения на основе светодиода.

4.2. Экспериментальное определение диаграммы направленности приемника оптического излучения на основе фотодиода.

4.3. Экспериментальное определение зависимости выходного сигнала оптического преобразователя на основе светодиода и фотодиода от диаметра круглого цилиндрического объекта.

### 5. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ.

Объектом исследований является оптический измерительный преобразователь, в котором в качестве источника оптического излучения используется светодиод ARPL-1W-EPS33 DAY WHITE и в качестве приемника

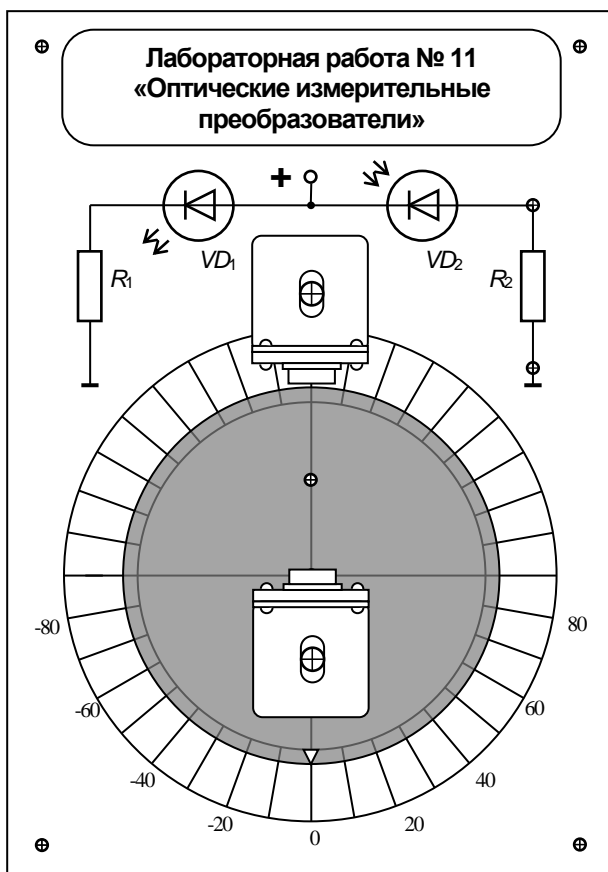


Рис. 8. Панель оптического измерительного преобразователя

фотодиод ФД 263-01 с областью спектральной чувствительности (0,4...1,1) мкм.

Исследуемый оптический измерительный преобразователь размещается на специальной панели (рис. 8). Схемы включения светодиода и фотодиода показаны на панели. Питание обеих схем осуществляется постоянным напряжением +5 В с коммутационной панели (разъем “Внешнее устройство”).

Выходным сигналом оптического измерительного преобразователя является напряжение  $U_2$  на включенном последовательно с фотодиодом резисторе  $R_2 = 24$  кОм, пропорциональное току фотодиода. Измерение выходного напряжения осуществляется с помощью мультиметра МУ-65.

Изменение пространственной ориентации приемника либо источника оптического излучения в плоскости панели осуществляется с помощью поворотного круга, на котором крепится исследуемый оптический преобразователь. При этом, если на поворотном круге закреплен источник оптического излучения, то приемник оптического излучения крепится на неподвижной платформе панели и наоборот. Значение угла ориентации  $\alpha$  отсчитывается по шкале панели.

В качестве круглых цилиндрических объектов используются отрезки электрических проводов различного диаметра.

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

6.1. Для определения диаграммы направленности источника оптического излучения исследуемый светодиод крепится на поворотном круге, а фотодиод – на неподвижной платформе панели. Светоизлучающий элемент светодиода должен располагаться в центре круга. При проведении эксперимента осуществляется изменение угла  $\alpha$  ориентации светодиода в диапазоне  $(-90...90)^\circ$  с шагом  $10^\circ$ .

С учетом относительно большого расстояния между источником и приемником излучения и соответственно малого пространственного угла, в пределах которого распространяется поток излучения источника, воспринимаемый приемником можно в первом приближении принять поток излучения в пределах этого малого угла однородным. Учитывая, что выходной сигнал оптического преобразователя  $U_2$  пропорционален силе света источника, падающего на чувствительный элемент фотоприемника, а также то, что максимальная сила света излучается вдоль продольной оси светодиода ( $\alpha = 0$ ), можно считать, что

$$I^*(\alpha) = \frac{I(\alpha)}{I_0} \approx \frac{U_2(\alpha)}{U_2(0)}.$$

Зависимость  $I^*(\alpha)$  строится в декартовой и полярной системах координат.

6.2. Для определения диаграммы направленности приемника оптического излучения на основе фотодиода исследуемый фотодиод крепится на поворотном круге, а светодиод – на неподвижной платформе панели. чувствительный элемент фотодиода должен располагаться в центре круга. При

проведении эксперимента осуществляется изменение угла  $\alpha$  ориентации фотодиода в диапазоне  $(-90...90)^\circ$  с шагом  $10^\circ$ .

Руководствуясь теми же соображениями, что и в предыдущем случае можно по аналогии принять

$$I^*(\alpha) \approx \frac{U_2(\alpha)}{U_2(0)}.$$

6.3. Для определения зависимости выходного сигнала оптического преобразователя на основе светодиода и фотодиода от диаметра круглого цилиндрического объекта (отрезка провода) светодиод крепится в центре поворотного круга, а фотодиод – на неподвижной платформе панели. Отрезки провода различного диаметра устанавливаются вертикально таким образом, чтобы нижний конец образца был совмещен с центром отверстия на поворотном круге. Наличие провода приводит к уменьшению потока оптического излучения светодиода, попадающего на чувствительный элемент фотодиода. Измеряются значения выходного напряжения оптического преобразователя  $U_2$  при разных значениях диаметра провода  $d$ . По результатам эксперимента строится зависимость относительного изменения выходного напряжения  $U_2$  в зависимости от диаметра провода  $d$ :

$$\Delta U_2^*(d) = \frac{U_2(0) - U_2(d)}{U_2(0)},$$

где  $U_2(0)$  - выходное напряжение при отсутствии провода.

## 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 7.1. Название работы.
- 7.2. Цель работы.
- 7.3. Программа работы.
- 7.4. Схемы экспериментальных установок.
- 7.5. Основные соотношения, примеры расчетов.
- 7.6. Результаты экспериментов и расчетов, оформленные в виде таблиц.
- 7.7. Графики зависимостей.
- 7.8. Выводы.

## 8. ЛИТЕРАТУРА

- 8.1. Гольдштейн А.Е. Физические основы получения информации: учебник Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 292 с.
- 8.2. Гольдштейн А.Е. Физические основы измерительных преобразований: учебн. пособие Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 253 с.

Составитель: профессор, д.т.н. А.Е. Гольдштейн.