

Предисловие к третьему изданию

В начале XXI века оптика, обогащенная новейшими достижениями электроники, является одним из главных звеньев информатики, определяющей научно-технический прогресс современного человечества. Это связано с рядом уникальных свойств оптического излучения — света (в широком смысле), включающего значительный (до 20 октав) диапазон электромагнитных волн, примыкающих к видимому свету — ультрафиолетовую и инфракрасную области спектра, т. е. диапазон от рентгеновских лучей до миллиметровых радиоволн.

Уникальные свойства оптического излучения связаны, прежде всего, с чрезвычайно малой длиной волны света, для измерения которой была даже введена особая единица — Ангстрем, равная 10^{-4} мкм (0,1 нм). Это определяет высокую точность измерений и технологических процессов, осуществляемых с помощью света. Современная нанотехнология электроники — элементной базы информатики — нуждается в применении оптических систем для формирования микроизображений и их контроля.

Наряду с возможностью обеспечить высокое разрешение, оптическое излучение характеризуется особыми свойствами носителя информации — фотона, который, в отличие от электрона (носителя информации в электрических цепях), является незаряженной частицей. Это позволяет, в частности, использовать новые технологии наноконструирования и нанодиагностики и создавать квантово-размерные структуры для реализации фотон-фотонных сверхбыстро действующих коммутаторов, имеющих фактор качества (отношение скорости переключения к рассеиваемой при этом энергии) в 10 миллионов раз выше, чем у лучших электронных коммутаторов.

Наконец, необходимо отметить, что оптические сигналы могут быть легко реализованы в форме изображений, обладающих рекордными информационными свойствами. В последние годы работы в области науки об изображениях приобрели большие масштабы и оформились в виде научного направления — иконики, составляющего существенный раздел информатики. Письменность, появившаяся после изображений, с помощью которых еще первобытный человек обменивался информацией, имеет свою теоретическую надстройку — лингвистику. Соответствующей надстройкой по отношению к изображениям является иконика. Она зародилась в ходе развития оптики и фотографии и решительно заявила о себе в наше время, когда стал обычным единый подход к различным процессам с выделением в качестве объекта изучения общего для них существенного звена. В кибернетике, например, таким звеном является управление, а в иконике — изображение, понимаемое как форма передачи или хранения содержащейся в нем информации научного, технического и эстетического содержания. Принципиальным является то обстоятельство, что компьютеры открыли новую возможность виртуальной реконструкции

и реставрации изображений окружающего мира, обычно создаваемых реальными оптическими системами. Это направление получило название «компьютерной оптики».

Оптика — одна из древнейших наук — всегда была тесно связана с техникой. С другой стороны, две из наиболее фундаментальных теорий современной физики — квантовая механика и теория относительности — основывались на наблюдениях и анализе оптических явлений.

На протяжении многих лет своего развития оптика понималась как наука о зрительных восприятиях (от греч. ὅπτος — зримый, видимый, ὥπτικη — наука о зрительных восприятиях), поскольку глаз был единственным приемником (обнаружителем) света.

Современная оптика понимается как раздел физики, в котором исследуются процессы излучения света, его распространения в различных средах и взаимодействия света с веществом.

Содержание современной оптики раскрывается шестью взаимосогласованными атрибутами:

- **волновая оптика** — наука, изучающая совокупность явлений, в которых проявляется волновая (электромагнитная) природа света (геометрическая оптика — частный случай при $\lambda \rightarrow 0$);
- **физика фотонов** — наука о корпускулярных (квантовых) свойствах света, его микроструктуре;
- **иконика** — наука об изображениях, их качестве и распознавании с учетом законов зрительного восприятия, методов выделения оптических сигналов на фоне помех, цифровой обработки оптической информации, возможностей компьютерной оптики, а также техники полной записи изображений — голограммии;
- **оптотехника** — наука о приборах, основанных на волновой оптике;
- **фотоника** — наука о приборах, основанных на физике фотонов;
- **optическое материаловедение** — наука о свойствах и технологиях создания оптических сред с заранее заданными свойствами.

Открытие лазеров превратило оптические приборы в средство активного воздействия на окружающий мир и передачи на расстояние значительной энергии.

Открытие фотоэффекта и усовершенствование photoэлектрических приемников излучения привело оптотехнику и фотонику к созданию оптико-электронных приборов, не просто вооружающих глаз человека, а обеспечивающих существенное расширение его возможностей при регистрации слабых и невидимых потоков излучения, при создании автоматических приборов и автоматизации производства.

Наряду с инфракрасной областью спектра, где принципы создания оптико-электронных приборов были положены в основу разработки теплопеленгаторов, головок самонаведения и тепловизоров, оптико-электронные приборы широко используются в видимой и

ультрафиолетовой областях спектра для решения задач астроориентации и астронавигации беспилотных самолетов, ракет и искусственных спутников Земли. Большое распространение оптико-электронные приборы получили при проведении контрольно-измерительных операций и спектральном анализе в промышленности, а также в научных и медико-биологических исследованиях.

Главным элементом оптико-электронного прибора является приемник излучения, преобразующий свет в электрический сигнал.

Приёмник излучения определяет наличие в оптико-электронном приборе двух взаимно дополняющих комплексов: реальной оптической системы (линзы, призмы, зеркала и т. п.), преобразующей яркость объектов и окружающих их фонов (источников оптического излучения) в освещенность первичного изображения, и виртуальной оптической системы («компьютерной оптики»), преобразующей выработанный приемником излучения и усиленный электрический сигнал в сигнал управления или в удобное для восприятия человеком представление информации, например в видимое оптическое изображение, улучшенное по качеству по сравнению с первичным, создаваемым реальной оптической системой, либо содержащее признаки, обеспечивающие высокую вероятность обнаружения или распознавания интересующих наблюдателя объектов на фоне случайных помех.

Главной целью настоящей книги является последовательное изложение теоретических основ пассивных оптико-электронных приборов, воспринимающих либо собственное излучение объектов и фонов, либо отраженное ими излучение естественных источников, например Солнца.

Предполагается, что физические основы оптико-электронных приборов (физическая оптика, источники и приемники излучения, распространение света), а также основы теории оптических систем (геометрическая и волновая оптика, теория изображения) уже известны читателю.

Основными разделами книги являются: сканирование, растровая модуляция излучения, выделение оптического сигнала на фоне помех.

В части VI книги в качестве примеров практического применения оптико-электронных приборов рассмотрены относительно новые направления — **тепловидение и иконика**.

Изложением теории восприятия и анализа изображений дополнены также и разделы книги, существовавшие в первых ее изданиях. В некоторых случаях внесены изменения и дополнения, имеющие методический и редакционный характер.

Со времени первых изданий учебного пособия «Теория оптико-электронных приборов» прошло более 25 лет (первое издание вышло в 1977 г., второе — в 1983 г.). Жизнь подтвердила прогнозы о перспективах широкого использования оптико-электронных приборов в науке, обороне и народном хозяйстве страны. Существенное развитие получили схемы и

конструкции приборов. Особенno это было связано с совершенствованием приемников излучения: в большинстве современных приборов используются фотоприемные устройства (ФПУ) с двумерными фотоматрицами гибридного и монолитного исполнения.

Наличие таких фотоматриц позволяет во многих случаях отказаться от оптико-механического сканирования и растровой модуляции излучения.

Существенно усовершенствованы методы расчета и конструирования систем выделения оптического сигнала на фоне помех, методы анализа и обработки изображений, распознавание образов и т. д.

К сожалению, в нашей стране очень мало издается книг, посвященных оптико-электронному приборостроению, что делает актуальным новое издание учебного пособия «Теория оптико-электронных приборов», позволяющего без каких-либо дополнений и изменений дать возможность не только понять историю создания и принципы работы ранее разработанной аппаратуры и глубже изучить новые разработки, но и применить последовательно излагаемые в настоящей книге теоретические основы оптико-электронных приборов в практике повседневной работы.

В «Списке литературы» под номерами после № 167 приведен «Дополнительный список литературы», содержащий ссылки на статьи и книги, излагающие последние достижения оптико-электронного приборостроения.

Автор выражает глубокую благодарность Издательству «Лань» и кафедре «Оптико-электронных приборов и систем» СПбГУ ИТМО (зав. кафедрой проф. В. В. Коротаев) за инициативу и помошь в подготовке этого издания.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ, ЭЛЕМЕНТЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

§ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Любые окружающие нас тела являются источниками оптического излучения. В оптических сигналах содержится информация о размерах, форме, положении и энергетическом состоянии тел. Эта информация может использоваться различным образом, однако во всех случаях в процессе ее использования происходит преобразование оптического излучения в другие виды энергии.

Оптико-электронными называют приборы, с помощью которых сведения о размерах, форме, положении и энергетическом состоянии тела, содержащиеся в потоке излучения, извлекаются путем его специальной обработки и преобразования в электрический сигнал, который также обрабатывается с целью выделения из шумов и последующей регистрации.

Информация об излучающем теле после преобразования содержится в параметрах электрического сигнала: амплитуде, частоте, фазе, длительности импульса и др., которые и регистрируются в приборе.

В зависимости от решаемой задачи некоторые тела являются *объектами наблюдения (целями)*, а некоторые — *фонами*, причем одно и то же тело может быть иногда объектом, а иногда — фоном. Так, звезды являются объектами наблюдения при астроориентации и элементами фона при наблюдении за искусственными спутниками Земли. Своебразным фоном являются организованные помехи.

Объект наблюдения и окружающий его фон образуют *поле излучения*, характеристики которого изменяются в пространстве и во времени. Наличие изменяющегося фона является первой причиной, препятствующей наблюдению. Вторая причина состоит в том, что, несмотря на принципиальную возможность усиления сколь угодно малых электрических сигналов, практически все же оказывается невозможным различить сравнительно слабые сигналы из-за хаотических флуктуаций или шумов.

Оптико-электронные приборы могут классифицироваться по следующим признакам: области спектра, способу использования информации, решаемой задаче, типу источника облучения, ширине полосы длин волн, в которой прибор обладает заданной чувствительностью, и т. д.

В зависимости от используемой области спектра оптико-электронные приборы подразделяются на приборы, работающие в *ультрафиолетовой* (1—380 нм), *видимой* (380—780 нм) и *инфракрасной* областях спектра (780 нм — 1 мм).

Способ использования информации определяет, является ли оптико-электронный прибор автоматическим (работающим по программе и самонастраивающимся), т. е. принимающим решение без участия человека, или индикационным, обеспечивающим выдачу информации в виде, пригодном для принятия решения человеком.

Исходя из решаемой задачи, оптико-электронные приборы делятся на пеленгационные, определяющие положение цели (в том числе и автоматические пеленгаторы — головки самонаведения), дальномерные, определяющие дальность до цели (в том числе и неконтактные оптические взрыватели), и телевизионные, определяющие форму

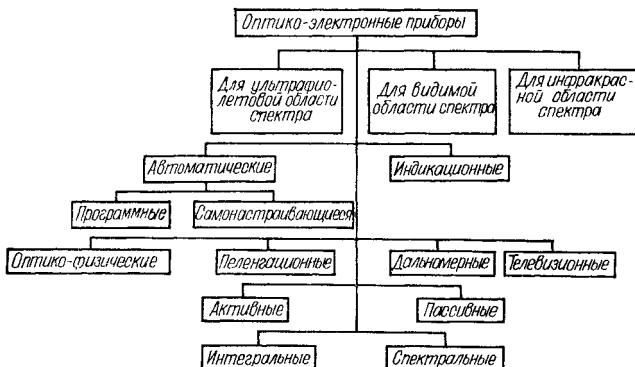


Рис. 1. Классификация оптико-электронных приборов

предмета (в том числе и тепловизионные, работающие в инфракрасной области спектра). Кроме того, большой класс приборов, предназначенных для определения фотометрических характеристик излучения, оптических свойств тел и сред, поляризации излучения и т. д., можно назвать оптико-физическими.

Используемый источник облучения цели определяет, к какому из двух больших классов относится оптико-электронный прибор: пассивным, воспринимающим либо собственное излучение объектов и фонов, либо отраженное ими излучение естественных источников, например Солнца, или активным, в которых для облучения цели используется искусственный источник, часть излучения которого отражается целью обратно по направлению к прибору и воспринимается им.

Ширина полосы длин волн, где прибор обладает заданной чувствительностью, позволяет подразделить оптико-электронные приборы на спектральные (спектрометры) и интегральные (радиометры).

Классификация оптико-электронных приборов по различным признакам приведена на рис. 1.

§ 2. ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА

На рис. 2 приведена обобщенная схема оптико-электронного прибора. Схема содержит лишь основные элементы, оказывающие существенное влияние на работу прибора.

Оптическое излучение объекта наблюдения (цели) и фона, в том числе и организованной помехи, проходит через промежуточную среду (атмосфера или другая среда, ослабляющая излучение) и улавливается оптической системой прибора, направляющей его на приемник излучения. Последний вырабатывает электрический сигнал, который усиливается и преобразуется желаемым образом в зависимости от назначения прибора.

Одной из главных задач, решаемых в тракте любого оптико-электронного прибора, является *выделение сигнала из шума*. Причем, если источником сигнала является только излучение объекта наблюдения (цели), то источниками шума могут быть излучение фона,

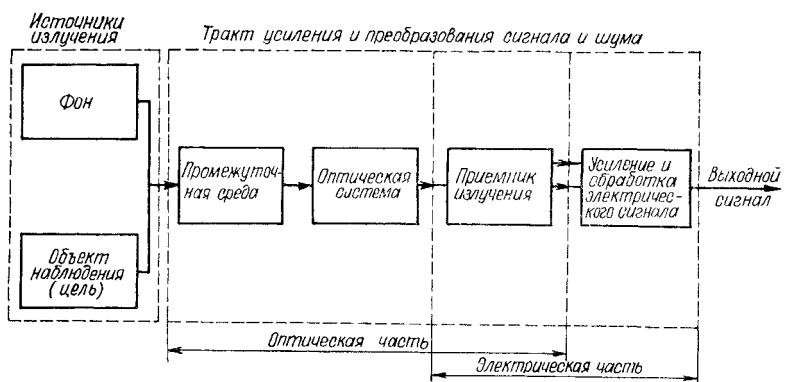


Рис. 2. Обобщенная схема работы оптико-электронного прибора

собственное излучение промежуточной среды и оптической системы, шумы приемника излучения и усилителя, а также случайные флуктуации параметров всех элементов схемы.

В зависимости от назначения схема каждого реального прибора в большей или меньшей степени соответствует приведенной обобщенной схеме. Кроме того, функции отдельных элементов могут совпадать, например усиление и обработка сигнала для выделения его из шума осуществляется не только в электрической схеме оптико-электронного прибора, но и в его оптической системе. В оптико-электронных приборах, предназначенных для регистрации, обработки и воспроизведения изображения, выходной сигнал поступает в видеоконтрольное устройство (ВКУ), осуществляющее преобразование его в пространственное распределение яркости на экране электронно-лучевой трубы (ЭЛТ) или другой системы отображения.

Путь прохождения сигнала и шума от источника излучения до выходного устройства называют *трактом усиления и преобразования сигнала и шума*. Он имеет оптическую и электрическую части, которые объединяются основным элементом оптико-электронного прибора — приемником излучения.

§ 3. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕМЕНТАХ ОБОБЩЕННОЙ СХЕМЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА

Источники излучения и промежуточная среда

В зависимости от задач, решаемых конкретной оптико-электронной системой, источник излучения может являться *объектом наблюдения (целью)* или *фоном*.

Если иметь в виду физическую природу излучения источника, то следует прежде всего различать *собственное* и *отраженное* излучение.

Однако наиболее часто классифицируют источники излучения по таким признакам, которые позволяют отнести их к одной из двух

больших групп — *естественным* и *искусственным* источникам излучения. Классификация источников излучения по этим признакам приведена на рис. 3.

К *искусственным* источникам излучения, используемым в активных системах (источники подсветки), относятся лампы накаливания, газоразряд-

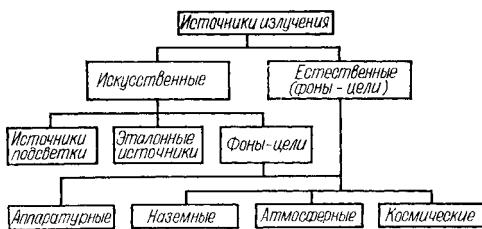


Рис. 3. Классификация источников излучения

ные и дуговые лампы, пиротехнические источники излучения и оптические квантовые генераторы (лазеры).

Эталонными источниками излучения наиболее часто являются модели абсолютно черного тела, в качестве которых могут использоваться либо специально обработанные поверхности и покрытия, либо полые излучатели. Функции эталонных источников выполняют также различные лампы и оптические квантовые генераторы, применяемые при калибровке приборов и имитации излучения фонов и целей.

К наземным естественным и искусственным источникам излучения можно отнести деревья, кусты, камни, землю, воду, песок, здания, транспортные средства, людей, животных и т. д. В атмосфере Земли существуют такие источники излучения, как атмосферные газы, пары воды, облака, пыль, полярные сияния, двигатели и обшивка самолетов, ракеты и др. Космическими источниками излучения являются Солнце, Луна, планеты, звезды, туманности, искусственные спутники Земли (ИСЗ), ракеты, космическая пыль и пр.

Отдельные детали и узлы аппаратуры могут излучать значительное количество энергии, воспринимаемой приемником. К ним относятся элементы объектива — линзы и зеркала, а также защитные окна и обтекатели. Эти источники излучения называются *аппаратурными*.

Между источниками излучения и прибором всегда существует некоторая среда, в которой происходит ослабление энергии за счет поглощения и рассеяния. Большей частью поглощающей и рассеиваю-

щей средой является земная атмосфера, в которой происходит поглощение излучения молекулами воды, углекислого газа и озона, а рассеяние связано с наличием скопления молекул атмосферных газов, частиц пыли и капелек воды.

Оптическая система

Поток излучения от его источников (цели и фона) после прохождения через ослабляющую среду воспринимается *оптической системой* оптико-электронного прибора, которая состоит из различного рода комбинаций защитных стекол, линз, зеркал, призм, диафрагм, щелей, фильтров, решеток и выполняет две главные функции.

Первая функция состоит в том, чтобы собрать возможно больший поток приходящего излучения и с минимальными потерями направить его на приемник.

Вторая функция оптической системы заключается в оптической фильтрации приходящего сигнала с целью увеличения отношения величины сигнала к шуму фона. Различают два вида оптической фильтрации — спектральную и пространственную. *Спектральная фильтрация* осуществляется с помощью оптических фильтров (абсорбционных, дисперсионных, отражающих и интерференционных, т. е. оптических материалов — стекол и кристаллов, а также диэлектрических и металлических покрытий, нанесенных на оптические материалы) и имеет целью ограничить излучение, падающее на приемник, определенным интервалом длин волн. Фильтры могут ограничивать спектральный диапазон пропускания с одной стороны, «отрезая» коротковолновое или длинноволновое излучение, или с двух сторон, выделяя определенную полосу. *Пространственная фильтрация* осуществляется пространственными фильтрами — диафрагмами, щелями, растром и служит для выделения излучения цели из излучения фона за счет отличия геометрических размеров и формы соответствующих целей от элементов фона.

Дополнительными функциями оптической системы в различных оптико-электронных приборах являются обеспечение необходимого поля обзора при заданном поле зрения, обеспечение процесса слежения за целью или получения информации о ее координатах, модуляция постоянной составляющей излучения, падающего на чувствительную площадку приемника, защита внутренней полости прибора от пыли, влаги и других вредных воздействий окружающей среды.

В процессе концентрации потока излучения на чувствительной площадке приемника неизбежно происходят его потери в обтекателе, линзах, зеркалах, элементах, осуществляющих пространственную фильтрацию, и на поверхности приемника. Эти потери связаны с поглощением энергии в оптических материалах, неполным отражением зеркал, виньетированием и другими причинами. Тем не менее в результате применения оптической системы поток излучения, падающий на приемник, в той или иной мере усиливается. Наибольшее усиление достигается для случая наблюдения удаленных малоразмерных (точечных) объектов, когда изображение объекта наблюдения полностью вписывается в размеры чувствительной площадки

приемника излучения. При этом усиление равно отношению площади входного зрачка объектива к площади чувствительной площадки приемника с учетом всех потерь в оптической системе. Общий коэффициент пропускания оптической системы редко превышает 20 %, особенно если учесть, что более 50 % излучения теряется за счет модуляции. Дополнительные потери происходят на поверхности чувствительной площадки и в объеме приемника излучения. Например, от поверхности сернистосинцового фоторезистора отражается и, следовательно, теряется около 35 % падающего излучения, если применяется неиммерсионная оптическая система.

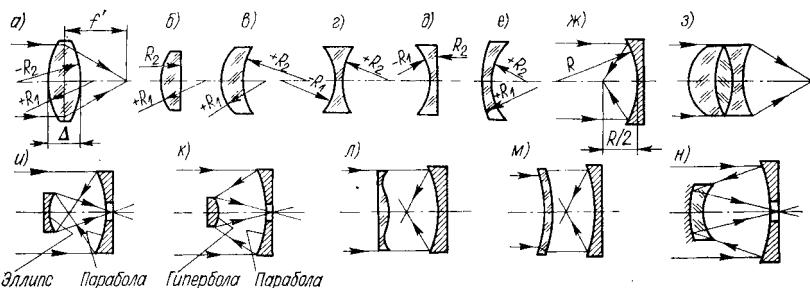


Рис. 4. Объективы: а) двояковыпуклая линза; б) плосковыпуклая линза; в) положительный мениск; г) двояковогнутая линза; д) плосковогнутая линза; е) отрицательный мениск; ж) сферическое зеркало; з) трехлинзовый суперапохромат; и) телескоп Кассегрена; к) телескоп Грегори; л) система Шмидта; м) система Максутова; н) система с зеркалом Манжена

Важнейшей частью оптической системы любого оптико-электронного прибора является *объектив* (рис. 4), который служит в первую очередь для сбора (фокусирования) энергии и образования изображения наблюдаемого объекта и всего поля излучения. Требования к качеству этого изображения определяются задачами, стоящими перед всем прибором, условиями его работы и конструктивными особенностями. При выборе конструкции объектива всегда приходится искать компромиссное решение с точки зрения улучшения пропускания, т. е. уменьшения потерь излучения, и обеспечения заданного качества изображения.

Простейшим объективом является одна линза со сферическими поверхностями. Линза характеризуется четырьмя параметрами: радиусами кривизны R_1 и R_2 , показателем преломления n и толщиной Δ . Параллельный пучок лучей, падающих на линзу от бесконечно удаленного точечного источника, фокусируется за линзой на расстоянии f' от нее. Отрезок f' , называемый задним фокусным расстоянием линзы, определяется выражением $f' = R_1 R_2 / (n - 1) (R_2 - R_1)$.

В первом приближении можно считать, что линза со сферическими поверхностями преобразует падающую на нее плоскую волну в сферическую. Однако практически даже при идеально сферических поверхностях линзы фронт волны на выходе будет иметь отклонения от

идеальной сферы, называемые аберрациями. Для улучшения сферичности волнового фронта, т. е. уменьшения аберраций, поверхностям линз придается несферическая или асферическая форма. Но и при полном уничтожении аберраций изображение точечного источника излучения, создаваемое оптической системой, представляет собой не точку, а пятно конечных размеров в связи с ограниченными размерами отверстия объектива, приводящими к дифракции падающей световой волны. Качество изображения менее совершенных систем определяется расфокусировкой, сферической аберрацией, комой, астигматизмом и т. д.

Однолинзовый объектив имеет практически все виды аберраций, из которых особенно велики хроматизм и сферическая аберрация, поэтому основным его недостатком является плохое качество изображения. Гораздо лучшего качества можно добиться, используя простые двухлинзовые объективы. Их относительное отверстие (отношение диаметра к фокусному расстоянию) обычно не превышает 1 : 3 при угле поля зрения до 10° и диаметре входного зрачка не более 100—150 мм. Для достижения хорошего качества изображения при больших углах поля зрения применяют более сложные системы — триплеты и многолинзовые объективы, которые, однако, обладают относительно худшим пропусканием.

В качестве материала для изготовления линз и окон в тепловидении обычно используются различные оптические среды: полупроводниковые материалы кремний и германий в виде моно- и поликристаллов; поликристаллические соединения, полученные горячим прессованием, — оптическая керамика («Иртран» в США); селенид цинка ($ZnSe$) и сульфид цинка (ZnS), полученные путем химического осаждения из газовой фазы; а также халькогенидные стекла типа ИКС (T11173 фирмы «Тексас инструментс» в США). Особенно широко используются кремний и германий, благодаря высоким показателям преломления (4,0 для германия и 3,4 для кремния) и механической прочности.

Многие недостатки линзовых оптических систем отсутствуют у зеркальных объективов. В качестве простейшего объектива в этом случае часто используется одиночное (сферическое) зеркало. Для сферического зеркала с радиусом кривизны поверхности, равным R , приближенное значение фокусного расстояния равно $R/2$. Если вместо зеркала со сферической поверхностью применить асферическое зеркало (параболическое, гиперболическое и т. д.), можно устранить сферическую аберрацию и улучшить качество изображения. Довольно широко используются и более сложные зеркальные объективы, например двухзеркальные, включающие в себя кроме основного вогнутого зеркала с отверстием в центральной зоне контрефлектор, который может быть плоским, вогнутым или выпуклым, в том числе и по асферической поверхности. Зеркальные объективы не обеспечивают хорошего качества изображения в широком поле зрения. Наличие контрефлектора приводит к экранированию части приемной поверхности зеркального объектива. Многие достоинства линзовых и зеркальных систем объединены в зеркально-линзовых оптических

системах, в которых, наряду с достаточно хорошим пропусканием, можно достичь больших относительных отверстий и значительных углов поля зрения. К зеркально-линзовым системам относятся системы Шмидта, Максутова и другие. Применение в зеркально-линзовых системах зеркал Манжена (с внутренним отражением) позволяет значительно уменьшить сферическую аберрацию.

В оптико-электронном приборе фокусирующая оптическая система представляет собой один из элементов тракта передачи и преобразования сигнала (и элементов фона). Именно это ее свойство, влияющее на процесс обработки информации, подлежит изучению (гл. 14).

Внутренняя структура и аберрационные свойства фокусирующих оптических систем составляют предмет геометрической оптики.

Приемники излучения (определение и классификация)

Приемник излучения является основным элементом оптико-электронного прибора. По существу, само название приборов — оптико-электронные — обязано свойству приемника преобразовывать поток излучения в электрический сигнал.

Существуют различные определения приемника излучения, однако все они отражают главное свойство приемника — способность обнаруживать наличие излучения путем преобразования его в энергию других видов для последующей регистрации. В иностранной технической литературе это свойство приемника излучения находит выражение в названии — *детектор*, т. е. обнаружитель.

Таким образом, *приемник излучения* представляет собой устройство, служащее для восприятия энергии излучения и преобразования ее в энергию других видов с целью последующей регистрации результата этого преобразования, приводящей к обнаружению.

Процесс обнаружения излучения состоит из двух основных этапов: преобразования энергии оптического излучения в другой вид энергии и регистрации преобразованной энергии. Например, в термоэлементе поток излучения вызывает появление электродвижущей силы, которая регистрируется обычным образом (гальванометром); в эвапорографе энергия излучения поглощается и вызывает нагрев и испарение масляной пленки, изменение толщины которой регистрируется интерференционными методами и т. д.

Приемники излучения могут классифицироваться по следующим признакам: виду энергии, в которую преобразуется излучение; характеру изменения чувствительности приемника при изменении длины волны падающего излучения; области спектра, где они наиболее чувствительны и находят наибольшее применение; рабочей температуре чувствительного слоя.

По виду энергии, в которую преобразуется излучение, приемники излучения делятся на тепловые, фотоэлектрические или фотонные, люминесцентные, фотохимические.

В *тепловых приемниках* энергия излучения преобразуется в теплоту, а регистрация преобразования сводится к измерению приращения температуры приемной площадки, нагретой вследствие облуче-

ния. Способ регистрации изменения температуры определяет конкретный тип теплового приемника излучения.

В *термоэлементе* изменение температуры приемной площадки вызывает появление электродвижущей силы в контуре, образованном двумя спаянными или сваренными проводниками из различных металлов.

В *бромометре* изменение температуры вызывает изменение электрического сопротивления проводника или полупроводника.

В *оптико-акустическом* приемнике изменение температуры приемной поверхности, образующей одну из стенок газовой камеры, вызывает изменение температуры и объема газа и прогиб мембранны — второй стенки газовой камеры.

В *евапорографе* изменение температуры вызывает изменение толщины масляной пленки.

В *диэлектрическом приемнике* изменение температуры вызывает изменение диэлектрической проницаемости диэлектрика конденсатора, имеющей сильную температурную зависимость, и соответствующее изменение емкости конденсатора регистрируется. Разновидностью диэлектрического приемника является *пироэлектрический приемник* излучения, в котором диэлектриком конденсатора служит сегнетоэлектрик, т. е. вещество, на поверхности которого появляется электрический заряд при механических деформациях.

Неравномерный нагрев конденсатора приводит к деформациям, и на обкладках конденсатора возникают заряды, которые регистрируются.

В *термиконе* изменение температуры вызывает изменение величины фотоэмиссии и т. д.

В *фотоэлектрических* (фотонных) приемниках энергия излучения преобразуется в механическую энергию электронов, испускаемых облучаемым веществом. Если электроны, освобожденные квантами излучения, покидают вещество, из атомов которого они вырваны, то явление носит название *внешнего фотоэффекта*, если же электроны остаются в веществе, то явление называется *внутренним фотоэффектом*. Влияние внутреннего фотоэффекта на характеристики вещества может быть различным в зависимости от условий, которые созданы для освобожденных электронов. Если они могут перемещаться внутри вещества в любом направлении, то вещество остается нейтральным и лишь электропроводность его изменяется. Если же в веществе создаются условия односторонней проводимости и электроны могут перемещаться лишь в одном направлении, то в веществе возникает разность потенциалов, создающая ток во внешней цепи.

Фотоэлектрические приемники излучения, в которых используется явление внешнего фотоэффекта, называются *фотоэмиссионными приемниками*. К ним относятся вакуумные и газонаполненные фотоэлементы, фотоумножители, электронно-оптические преобразователи (ЭОПы) и некоторые телевизионные передающие трубы (диссектор, иконоскоп, супериконоскоп, ортикон, суперортикон и др.).

Приемники с внутренним фотоэффектом, в которых используется явление изменения электропроводности вещества, называются *фоторезисторами* или *фотосопротивлениями*.

Приемники, в которых используется явление возникновения э. д. с., называются *фотогальваническими, вентильными фотоэлементами или фотоэлементами с запорным слоем*.

Если в качестве контактирующих веществ в вентильном фотоэлементе применяются полупроводники с различным типом проводимости, то наряду с возникновением разности потенциалов между слоями с *p*- и *n*-проводимостью при неравномерном освещении чувствительного слоя образуется разность потенциалов вдоль *p*—*n*-перехода. Этую фото-э. д. с. называют продольной или боковой, а соответствующие приемники — *фотоэлементами с продольным или боковым эффектом*.

Если к чувствительному элементу приемника излучения с запорным слоем приложить напряжение так, что оно препятствует возникновению тока во внешней цепи приемника при освещении, то изменение величины потенциального барьера под действием излучения приводит к изменению сопротивления и падению напряжения на приемнике. Этот режим работы называют *фотодиодным*. Изменение тока, проходящего через фотодиод при освещении, может усиливаться, как в обычном полупроводниковом триоде, тем же полупроводником, в котором создан запорный слой. В этом случае соответствующий комбинированный приемник излучения называется *фототриодом*. Условия односторонней проводимости и, следовательно, появления э. д. с. при освещении, можно создать в полупроводнике, помещая его в магнитное поле, ориентированное по нормали к падающему излучению. В этом случае носители тока (электроны и дырки) отклоняются магнитным полем в противоположные стороны, что приводит к возникновению в образце разности потенциалов. Описанное явление носит название *фотомагнитного эффекта*.

В люминесцентных приемниках излучения происходит преобразование излучения одного спектрального состава в излучение другого спектрального состава. Типичным представителем этого типа приемников является *метаскоп* — светосостав, высвечивающийся под действием ИК-излучения за счет накопленной им световой энергии при предварительном облучении ультрафиолетом, синим излучением неба или радиоактивным веществом.

В фотохимических приемниках энергия излучения вызывает всевозможные химические превращения. В *фотопластинке*, например, происходит фотохимическая реакция разложения галоидных солей серебра, причем металлическое серебро выделяется, образуя скрытое изображение источника излучения. В глазу человека под действием света в светочувствительных элементах сетчатки происходит фотохимический процесс, при котором продукты разложения вызывают раздражение зрительного нерва и световое ощущение.

В зависимости от характера изменения чувствительности приемника при изменении длины волны падающего излучения приемники излучения можно разделить на две большие группы: *неселективные*, чувствительность которых остается постоянной в определенном достаточно широком участке спектра; *селективные*, чувствительность которых зависит от длины волны падающего излучения.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru