

**ТЕМА: Приборостроение. Использование оптических и электрических методов обработки, хранения и передачи информации. Основные приборы оптоэлектронники: свето-, фотодиоды, солнечные элементы, полупроводниковые лазеры, ВОЛС. Физические явления и принципы, лежащие в основе работы приборов оптоэлектронники**

**Цель занятия:** сформировать представление о принципах работы и физике ключевых оптоэлектронных приборов, таких как светодиоды, фотодиоды, солнечные элементы, полупроводниковые лазеры и волоконно-оптические линии связи (ВОЛС), основах приборостроения в области оптоэлектроники.

### Содержание

Оптоэлектроника охватывает два основных независимых направления - оптическое и электронно-оптическое. Оптическое направление базируется на эффектах взаимодействия твердого тела с электромагнитным излучением. Оно опирается на голографию, фотохимию, электрооптику и другие явления.

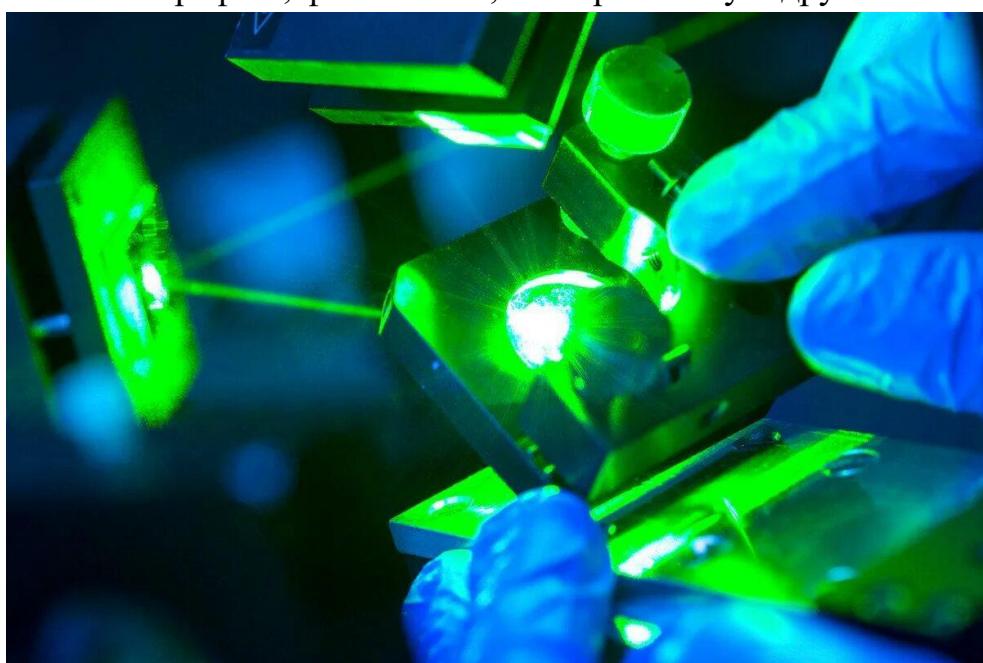


Рисунок 1 – Пример электрооптического устройства

Оптическое направление иногда называют лазерным.

Электронно-оптическое направление использует принцип фотоэлектрического преобразования, реализуемого в твердом теле посредством внутреннего фотоэффекта, с одной стороны, и электролюминесценцией, с другой. В основе этого направления лежит замена

гальванических и магнитных связей в традиционных электронных цепях оптическими. Это позволяет повысить плотность информации в канале связи, его быстродействие, помехозащищенность.

Для микроэлектроники представляет интерес в основном электронно-оптическое направление, которое позволяет решить одну из важных проблем интегральной микроэлектроники - существенное уменьшение паразитных связей между элементами как внутри одной интегральной микросхемы, так и между микросхемами. На оптоэлектронном принципе могут быть созданы без вакуумные аналоги электронных устройств и систем: дискретные и аналоговые преобразователи электрических сигналов (усилители, генераторы, ключевые элементы, элементы памяти, логические схемы, линии задержки и др.); преобразователи оптических сигналов - твердотельные аналоги электронно-оптических преобразователей, видиконов, электронно-лучевых преобразователей (усилители света и изображения, плоские передающие и воспроизводящие экраны); устройства отображения информации (индикаторные экраны, цифровые табло и другие устройства картинной логики). (рис.1)

Разнообразие физических эффектов предопределило большое количество приборов оптоэлектроники. Ниже рассмотрены основные из них.

**Индикаторы** – электрически управляемые приборы для систем визуального отображения информации. Они находят широчайшее применение, начиная от электронных часов и микрокалькуляторов, табло и приборных щитов до дисплеев в системе «человек – ЭВМ» (рис.2)

#### Жидкокристаллические индикаторы



Рисунок 2 – Жидкокристаллические индикаторы

Развитие индикаторной техники подошло к созданию плоских экранов телевизионного типа. Физическую основу приборов индикаторного типа составляют разные виды электролюминесценции (для приборов с активным

светящимся растром) и электрооптические явления (для приборов с пассивным светоотражающим растром). В промышленности наиболее широко представлены жидкокристаллические, полупроводниковые (светодиодные), вакуумные люминесцентные, газоразрядные индикаторы. Эти изделия выполняются в виде цифровых и цифробуквенных индикаторов, многоразрядных монодисплеев, универсальных информационных плоских экранов, отображающих цифры, буквы, символы, графики, а также подвижные двумерные картины.

**Формирователи сигналов изображений (ФСИ) или формирователи видеосигналов (ФВС)** – приборы, предназначенные для преобразования образов (изображений) в адекватную им последовательность электрических сигналов. Основное применение эти приборы находят в телевизионных передатчиках, а также в фототелеграфии, при считывании информации на входе ЭВМ, в приборах контроля технологических процессов и пр. Миниатюрные твердотельные ФСИ совместно с микропроцессорами используются при разработке систем искусственного зрения роботов, а в будущем и человека (рис.3) Работа приборов базируется на физике фотоэлектрических явлений.



Рисунок 3 – Формирователи сигналов изображений (ФСИ)

Типичными представителями являются фоточувствительные приборы с зарядовой связью (ФПЗС) – многоэлементные интегральные фотоприемники со встроенным электронным самосканированием, обеспечивающим последовательное считывание информации со всех фоточувствительных ячеек.

**Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)** – устройства и системы, основу которых составляет гибкий волоконно-оптический световод (в виде кабеля), соединенный с излучателем на одном (передающем) конце и с фотоприемником – на другом (приемном). Они выполняют функции линии связи и передачи данных: это сверхкороткие линии (до 1 м) для обмена информацией в высоковольтной аппаратуре; короткие бортовые и внутриобъектовые ВОЛС (5 – 1000 м); линии средней протяженности (1 – 20 км), составляющие основу межмашинных интегральных сетей передачи данных и разветвленных внутригородских АТС; магистральные ВОЛС длиной в тысячи км, в том числе меж- и трансконтинентальные, а также подводные(рис.4)

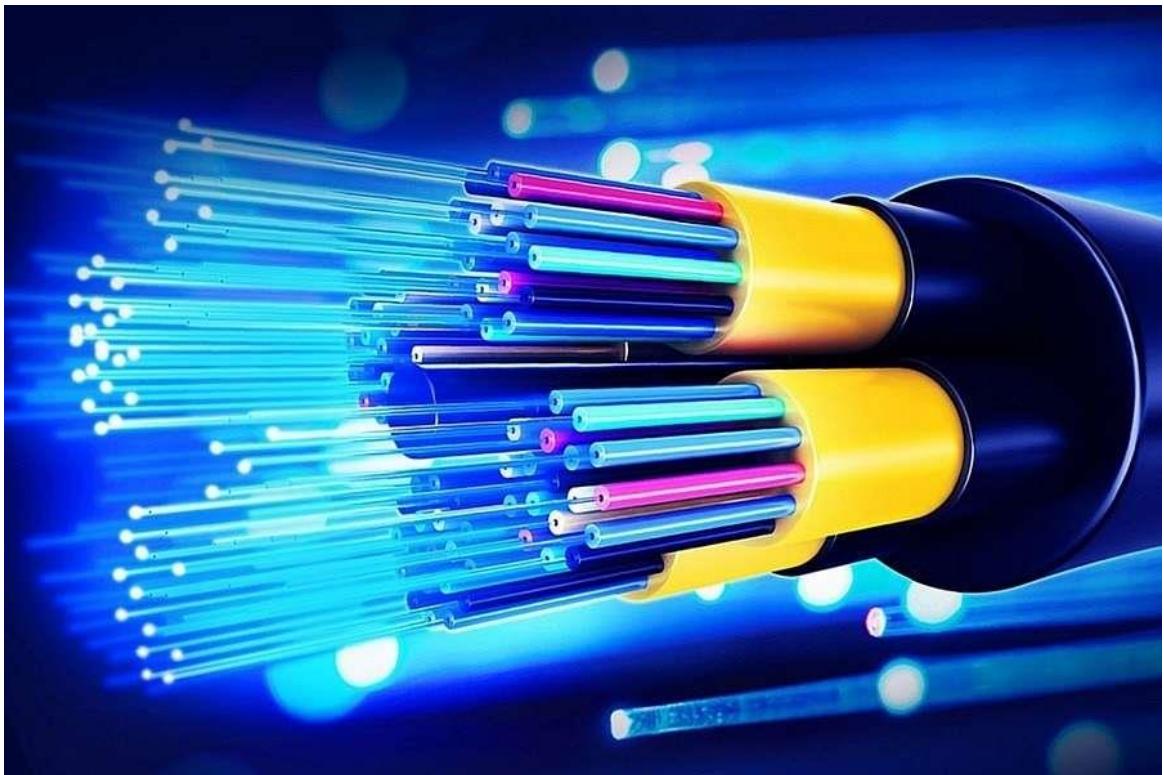


Рисунок 4 – Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС)

Физическую основу ВОЛС составляют процессы распространения оптических сигналов по волоконному световоду, а также светогенерационные и фотоэлектрические явления в излучателе и приемнике. Для технической реализации используются главным образом сверхчистые кварцевые световоды, полупроводниковые гетеролазеры и светодиоды на соединениях, фотодиоды (лавинные и с р-і-п-структурой) на основе кремния и соединений.

Оптопары или элементы электрической развязки, представляющие собой приборы, в которых светодиодный излучатель (входная цепь) связан с фотоприемником (выходная цепь) оптически и развязан электрически. Оптопары широко используются в микроэлектронной и электротехнической аппаратуре для обеспечения электрической развязки при передаче

информационных сигналов, бесконтактной коммутации сильноточных и высоковольтных цепей и создания перестраиваемых фотоприемников, в устройствах контроля и регулирования. В физике оптопар наиболее выпукло проявляются особенности преобразователей и их элементную базу составляют преимущественно светодиоды на соединениях и кремниевые фотодиоды, фоторезисторы, фототранзисторы, фототиристоры.

**Солнечные преобразователи** – полупроводниковые фотодиоды, оптимизированные для прямого преобразования солнечного излучения в световую энергию (рис.5)

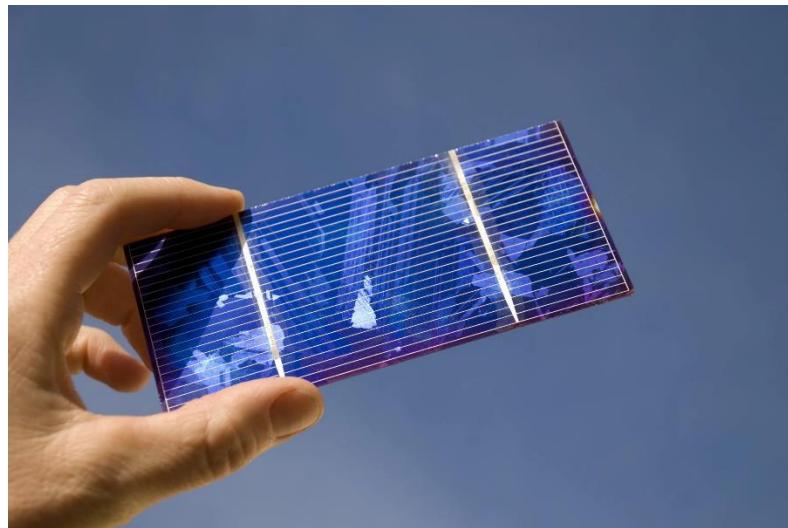


Рисунок 5 – Солнечные преобразователи

Строго говоря, их функциональное назначение не соответствует данному выше в определении оптоэлектроники, тем не менее исторически сложилось так, что стало общепринятым относить солнечные батареи к оптоэлектронным приборам. Эти приборы основаны на фотовольтаическом эффекте в полупроводниках. Определяющая направленность их конструктивно-технологической реализации – создание большой фоточувствительной площади, достижения высокого КПД и низкой стоимости. Основной материал фотодиодов для преобразования солнечной энергии - кремний, иногда арсенид галлия. Использование тонкопленочной технологии на основе кремния (в поликристаллической или аморфной форме) или соединений стимулируется низкой стоимостью.

Оптическая память основана на ЗУ (запоминающее устройство), в которых на носитель записывается информация, представленная в оптической форме. Высокая плотность записи обуславливает перспективность этих устройств в архивных ЗУ ЭВМ и информационно-поисковых систем, к которым многократно обращается большое число пользователей. Дополнительные достоинства оптической памяти – это большой срок

хранения информации, повышенная скорость информационного обмена, возможность записи аналоговой информации и двумерных образов. Физической основой оптической памяти является тепловое воздействие на вещество лазерного луча, иногда голограммические эффекты. Проводятся исследования ЗУ с параллельной записью массивов информации на фотопластинках в виде голограмм. Начато промышленное производство оптических дисковых накопителей с последовательной (побитовой) записью информации на поверхность вращающегося диска острофокусированным лучом лазера.

Оптическая вычислительная техника – комплекс оптоэлектронных аппаратных средств, позволяющих эффективно осуществлять математические и логические действия с информацией, представленной в оптической форме. Алгоритмическая основа этого направления связана со способностью линейных оптических систем осуществлять некоторые аналоговые математические преобразования (в частности, двумерное интегрирование преобразование Фурье и операцию свертки), а также параллельную обработку больших массивов цифровой информации.

Классификация оптоэлектронных приборов по выполняемым функциям приведена в табл. 1.

Таблица 1

|                      |  |
|----------------------|--|
| Излучатели света     | Светодиод<br>Полупроводниковый лазер<br>Газовый лазер<br>Твердотельный лазер<br>Лазер на красителе                   |
| Фотоприемники        | Фоторезистор<br>Фотодиод (солнечная батарея)<br>Фототранзистор<br>Лавинный фотодиод<br>Фотоэлемент<br>Фотоумножитель |
| Оптические волноводы | Волоконно-оптический<br>Пленочный<br>Волноводная линза   |
| Оптическая память    | Устройства на основе:<br>фотопленки<br>Фотохромных материалов<br>Термопластиков<br>Аморфных полупроводников          |

|  |  |
|--|--|
| Функциональные приборы                 | Преобразователь некогерентного излучения в когерентное<br>оптический бистабильный элемент<br>оптический вентиль<br>Оптрон                                    |
| Интегральные схемы                     | Оптические ИС<br>Оптоэлектронные ИС  |
| Модуляторы света и отклоняющие системы | Система зеркал<br>Электрооптические модуляторы<br>магнитооптические модуляторы<br>акустооптические модуляторы<br>Волоконно-оптические разветвители и фильтры |
| Дисплеи                                | Светодиодный<br>Электролюминесцентный<br>Фосфорисцентный<br>Жидкокристаллический<br>Плазменный   |

Использование оптических и электрических методов обработки, хранения и передачи информации

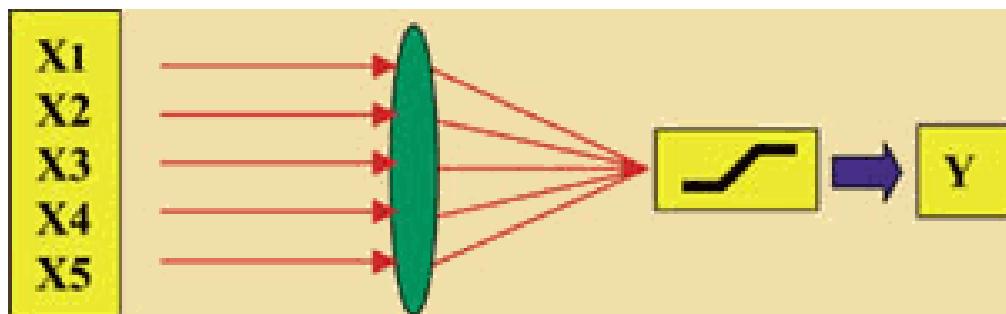


Рисунок 6 – Схема обработки оптической информации

Еще в шестидесятые годы была начата разработка основных принципов построения оптических и оптико-электронных компьютеров.

Оптический компьютер – это устройство обработки информации с использованием света (рис.6). Обсуждая отличительные особенности света как электромагнитной волны, нужно отметить, что частота световой волны на несколько порядков выше частоты электрических сигналов и волн, используемых в современной компьютерной технике. Так, если электрическая волна, используемая, например, в радиотехнике, совершает приблизительно 100 тыс. колебаний в секунду, то световая волна имеет частоту, которая в 10-100 миллионов раз превосходит это значение. Потому с ее помощью в фиксированый интервал времени можно передавать большее число сигналов, а значит и информации. Кроме того, поскольку длина световой волны

ничтожно мала, то имеется возможность обработки информации с необычайно высокой скоростью.

В последнее время наблюдается большой ажиотаж вокруг оптических компьютеров: считают, что оптические компьютеры сейчас находятся на одном уровне развития с нейрокомпьютерами и квантовыми компьютерами (рис.7)

Однако в кругах специалистов существует мнение, что оптический компьютер в "чистом" виде еще не разработан. На данный момент существует лишь электронно-оптический компьютер. Действительно, в компьютерах фон Неймановской архитектуры широко используются оптические явления.



Рисунок 7 – Схема оптического компьютера

В блоке ввода информации используются оптические датчики. Это устройства, в которых с помощью света определяются количественные характеристики информации, например наличие/отсутствие предмета, особенности его формы, скорость, температура и т. д.

Построение оптических процессоров на основе традиционных принципов вычисления встретило большие трудности (Рис.8).

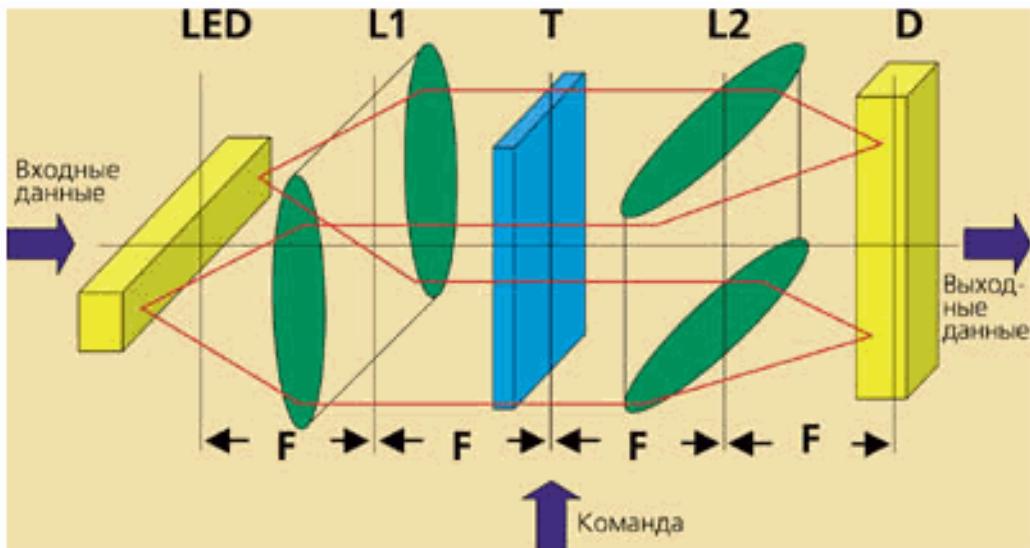


Рисунок 8 – Оптическая система - процессор на жидкких кристаллах

Не слишком быстрое продвижение в построении оптических процессоров заставило разработчиков искать другие архитектуры. Разумеется - параллельные. Если уж электронные системы с массовым параллелизмом потеснили суперкомпьютеры со сверхмощным, но одним центральным процессором, то что говорить об оптических компьютерах, где распараллеливание можно осуществлять эффективно и разнообразными способами. Возникло убеждение, что не стоит заставлять оптические системы делать то, что они делают с таким трудом - то есть обрабатывать сложные алгоритмы. У оптики вообще плохо с логикой, ей лучше даются плохоформализуемые, "интуитивные" операции. Оптическая элементная база прекрасно сочетается с архитектурами искусственных нейронных сетей, которые, способны к обучению и самообучению.

<https://youtu.be/9MOlyK3d70s>

