

Оптоэлектроника вчера, сегодня, завтра

Нематжон Рахимович Рахимов, ФГБОУ ВПО СГГА, Новосибирск

Аннотация: Статья предназначена для абитуриентов и студентов, заинтересованных в получении образования в области разработки и применения оптических устройств и систем.

Ключевые слова: оптоэлектроника, оптика, оптические системы.

Современная электронная техника быстро расширяет свой физический плацдарм. Это связано с возможностью кодирования и обработки информации на основе самых различных форм.

В электронике информация переносится импульсами электрического тока, а он, как известно, представляет собой поток электронов в электрическом поле. Соответственно, носителем информации в электронике является электрон.

Если под тем же углом зрения взглянуть на оптику, то аналогом электрического тока предстанет оптическое излучение или световые волны, а попросту – световые лучи, поэтому носителями информации в оптике выступают частицы оптического излучения – фотоны.

Оптика начала свой путь как чисто прикладная наука. Ее целью было расширение и уточнение зрительной информации с помощью различных линз, призм, объектив и зеркал. С первых шагов она устремилась в космос и микромир, и именно в этих сферах оптические устройства наиболее широко обогатили человеческие знания.

Электроника, как известно, формировалась главным образом в виде электровакуумного приборостроения различного назначения. Только созданный в 1948 году транзистор однозначно повернул электронику в сторону твердотельных полупроводниковых приборов, переведя эту отрасль электротехники в качественно новую фазу развития. В начале 60-х годов появились кремниевые интегральные схемы, ознаменовавшие переход электроники к высшей стадии ее современного развития – микроэлектронике. Действительно, в настоящее время интегральная схема, содержащая миллионы транзисторов на одном кристалле и выполняющая функцию целой ЭВМ, сверхдолговечная, технологичная и дешевая, – это ли не идеал?!

Громадные перемены сулит возникающий союз оптики и электроники. С первых шагов электроники на стыке ее с оптикой стали возникать новые задачи, сначала разрозненные, а затем объединяющиеся в крупное направление – ОПТОЭЛЕКТРОНИКУ. В оптоэлектронных устройствах на информатику совместно работают электроны и фотоны, причем действия

фотонов являются определяющими, так как именно ими обеспечивается то качественно новое, что отличает оптоэлектронику от традиционной электроники. Но, подчеркнем еще раз, оптоэлектронная устройства – это не комбинация двух устройств – электронного и оптического, это – его единство, целостность которого зиждется на взаимопревращениях электронов и фотонов. В отличие от электрона фотон – электрически нейтральная частица. Это его уникальное свойство. Высокая скорость передачи световых сигналов, бесконтактность оптических связей, возможность непосредственного визуального контроля информации на любой стадии ее обработки, а также ряд других достоинств способствовали бурному формированию нового направления технической кибернетики на базе систем обработки информации, содержащих, наряду с электронными, также фотонные звенья.

Три причины, как подчеркивал один из создателей этого направления академик Э.И. Адирович, определили жизнеспособность и интенсивное развитие этого процесса. Во-первых, стремление охватить все богатство информации, поступающей по оптическим каналам. Во-вторых, стремление сделать видимой любую информацию, а не только те события, которые сопровождаются испусканием, поглощением или отражением света. И, в-третьих, необходимость обрабатывать большие и все возрастающие массивы информации за короткие и все сокращающиеся промежутки времени.

Основной элемент оптоэлектроники – оптроном или оптопара: полупроводниковые источники и приёмники излучения, связанные либо электрически, либо оптически или тем и другим способом вместе.

Принцип действия оптронов любого вида основан на следующем. В источнике излучения электрический сигнал преобразуется в световой, и, после взаимодействия с объектом исследования, в фотоприемнике световой сигнал вызывает электрический отклик, несущий полезную информацию, пригодную для дальнейшей обработки.

Одним из важных элементов оптрона – приёмник оптического излучения (фотоприемник), обязательный, можно даже сказать – абсолютно необходимый, элемент в большинстве мало-мальски сложных оптоэлектронных систем. В настоящее время серийно выпускаются и вновь разрабатываются различные приемники оптического излучения: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы,

фототиристоры, приборы зарядовой связью, приемники на основе аномально высоких фотонапряжений (АФН-приемники), фотоэлементы.

Свет всегда играл важнейшую роль в жизни человека, являясь источником существования, средой обитания и средством познания окружающего мира. С незапамятных времен безотказно работает на человека свет Солнца и звезд, к ним сам человек добавил костры, свечи, керосиновые лампы, газовые рожки и электрические лампы. Но, разумеется, ни управление солнечными зайчиками, ни включение-выключение осветительных ламп, пусть даже самыми совершенными интегральными схемами, не имеет никакого отношения к оптоэлектронике. Здесь, как и повсюду в информатике, нужны миниатюрность, экономичность, быстрдействие, направленность воздействия, надежность. Лишь с появлением светоизлучающих диодов (светодиодов) и лазеров идеи оптоэлектроники обрели, наконец-то реальную основу для своего воплощения.

Огромный интерес, проявляемый к светоизлучающим и лазерным диодам специалистами в области оптоэлектроники, обусловлен их замечательными характеристиками: высокой эффективностью преобразования электрической энергии в световую, высоким быстродействием, малым потреблением энергии, надежностью, большим сроком службы, высокой устойчивостью к механическим, климатическим и электромагнитным воздействиям. Из всего многообразия лазеров наибольший интерес для оптоэлектроники представляют полупроводниковые инжекционные и миниатюрные газовые лазеры.

В тех случаях, когда требование когерентности и острой направленности излучения не выдвигается, используют светодиоды – излучатели, основанные на инжекционной спонтанной электролюминесценции полупроводниковых диодов.

Это многообразие связей источников и приёмников открывает большие функциональные возможности. Замена электронных связей фотонами способствует микроминиатюризации электронной аппаратуры различного назначения, созданию систем мониторинга, способных экстренно переработать огромное количество информации.

В настоящее время термин «оптоэлектроника» понимается шире – как общий синтез электроники и оптики. А совокупность принципов и разработок информационных устройств, содержащих электронные и фотонные звенья, правильнее всего называть ОПТРОНИКОЙ.

Удалось преодолеть большие, а порой и считался невозможным, технические трудности, обусловленные прямолинейностью

распространения света. Световой сигнал теперь можно передать по любому криволинейному пути. В 60-х годах прошлого столетия появилась новая отрасль оптики – ВОЛОКОННАЯ. Очень гибкие и тонкие стеклянные или кварцевые нити, выполняющие роль проводников света подобно тому, как металлические провода передают электрический ток, получили распространение в оптоэлектронной приборостроении для контроля труднодоступных мест, для ряда других применений. Их стали широко использовать в медицине в качестве эндоскопов, вводимых внутрь человеческого организма, их возможности всегда вызвали удивление и восхищение научной общественности и широкой публики.

В настоящее время в России, Узбекистане и за рубежом начались интенсивные разработки в области создания оптоэлектронных систем управления и контроля состояния и параметров конструкции, систем и агрегатов летательных аппаратов.

При этом, с позиций требований помехозащищенности, надежности, быстродействия, энергопотребления, миниатюризации размеров и минимизации веса очень важна замена электрических сигналов на оптические как в линиях связи на борту самолета, так и в бортовых и наземных устройствах преобразования информации. Причем в зарубежных оптоэлектронных системах уже используются оптические волокна с диаметром сердцевины от 30 до 600 мкм для измерения и контроля широкого спектра физических величин: давления, температуры, линейных и угловых ускорений, усилий и перемещений, напряженно-деформированного состояния элементов машиностроительных конструкций, строительных сооружений, механических систем и т.д.

В течение последних двадцати лет бурно развивались волоконно-оптические датчики различного назначения, быстрыми темпами разрабатывались оптоэлектронные системы на их основе, но освоение их потребителями было медленным. Однако, в последние годы в поисках путей расширения рынка сбыта и сфер применения своей продукции различные фирмы мира убедились в выгоде использования систем на основе волоконно-оптических датчиков.

Так, если в 1994 г. по оценкам японской Ассоциации развития оптоэлектронной промышленности и технологии общая сумма продаж волоконно-оптических датчиков составила 920 млн. долларов, то к 2010 году, по оценке специалистов Мэрленского университета (США), объемы продаж возрастут до 5 млрд. долларов.

Отличительной чертой оптоэлектроники как научно-технического направления является разнообразие используемых материалов для

элементов оптоэлектроники, причем в ближайшей перспективе сохранится тенденция дальнейшего расширения гаммы применяемых полупроводниковых структур.

Сегодня технология новых типов оптоэлектронных материалов еще не достигла уровня, требуемого для обеспечения высокоэффективного производства приборов с высокой степенью интеграции. Это же относится и к разработке специального технологического, испытательного и измерительного оборудования.

В тоже время на пути развития оптроники стоит много барьеров, так как на данный момент еще не представляется возможным столь же эффективно управлять фотонами, как электронами.

Но и это не все. Микроэлектроника готова перескочить через самое себя.

В недрах ее зародилось принципиально новое направление – нанотехнология. Швейцарские ученые, нобелевские лауреаты 1986 года Г.Рорер и Г.Биннинг создали сканирующий туннельный микроскоп, позволяющий изучать и модифицировать поверхность вещества на атомном уровне. Появилась удивительная возможность – вместо транзисторов создавать новые элементы, состоящие всего лишь из несколько атомов! Все революционные последствия развития нанотехнологии пока еще даже не осмысленны, но уже сообщается о практических результатах, буквально вызывающих шок. Так, например, с помощью сканирующего туннельного микроскопа внутри одного углубления современного оптического компакт-диска удалось разместить 10 000 углублений диаметром 10 нм и глубиной 0,5 нм.

К таким качественно новым оптоэлектронным изделиям можно отнести оптоэлектронные компьютеры с архитектурой, подобной человеческому мозгу, а также стереоскопические системы, имитирующие возможности и характеристики человеческого зрения с автоматическим распознаванием движущих объектов.

Ориентированность оптроники XXI века на системы получения, обработки, передачи, хранения, отображения и интерпретации больших массивов информации позволяет сделать вывод о том, что магистральный путь ее развития лежит в русле интегральной оптоэлектроники, частный случай которой отражает концепция фотонно-ориентированной микроэлектроники.

Принципиальные достоинства оптоэлектронных устройств и систем определяется следующими основными особенностями.

1. Частота электромагнитных колебаний в оптическом диапазоне (от 1 нм по 1 мм) много больше, чем в радиодиапазоне, а именно 10¹³-10¹⁵ Гц, что обуславливает высокую скорость

передачи информации и высокую информационную емкость оптического канала связи. Для передачи обычного телевизионного сигнала требуется полоса частот $\Delta\nu \geq 8$ МГц. В метровом диапазоне при значении несущей частоты $\nu_0 \leq 300$ МГц, можно передать около десятка ТВ программ. В оптическом диапазоне, притом же соотношении $\Delta\nu/\nu_0$ их число возрастает в миллион раз.

2. Оптическое излучение имеет компактный спектр в определенных длинах волн. Следствием этого является: высокая плотность записи информации в оптических ПЗУ (~108 бит/см²); высокая концентрация оптического излучения в пространстве, так как минимальный объем, в котором может быть сфокусировано электромагнитного излучение составляет $\sim \lambda^3$. По этой причине световоды могут быть на несколько порядков меньше волноводов СВЧ. Угловая расходимость луча $\square \lambda$, для оптического диапазона нетрудно сформировать узкую диаграмму направленности с угловым расхождением $< 1'$. И если в СВЧ ($\lambda = 1$ м) для этого необходима антенна диаметром – 100 м, то в оптическом – сферическое зеркало или линза меньших размеров.

3. Возможность двойной – временной и пространственной модуляции светового луча, что позволяет проводить параллельную обработку информации и получать объемное голографическое изображение.

4. Передача информации осуществляется фотонами – электрически нейтральными частицами, вследствие чего реализуется: а) Идеальная гальваническая развязка входа и выхода; б) Однонаправленность потока информации и отсутствие обратной связи; в) Невосприимчивость оптических каналов к воздействию электромагнитных полей, т.е. помехозащищенность, исключение наводок и паразитных связей; г) Многоканальность связи; д) Малое затухание сигналов.

5. Возможность непосредственного оперирования со зрительно воспринимаемыми образами, восприятия на входе и визуализации на выходе.



Приемник оптического излучения



Светодиоды

Логика развития и взаимного обогащения оптики и электроники приводит нас к мысли, что синтез этих наук – оптоэлектроника – станет базой и генеральным направлением информационной техники будущего.

Причина этого очевидна: оптоэлектроника

оперирует светом, это и «обрабатываемый материал», и «средство обработки», и ее конечный итог одновременно. А где свет – там тепло, счастье, любовь, жизнь... Светом пронизаны стихи Гомера и Навои, Пушкина и Шиллера, музыка Моцарта и Баха, Чайковского и Шостаковича, картины Рериха и Шишкина, Пикассо и Дали.

Да будет свет!



Нематжон Рахимович Рахимов - Доктор технических наук, профессор СГГА. Область научных интересов: оптические приборы, оптоэлектроника, электроника, оптические датчики и приборы.