Ученика 10 «А» класса

 Средней 323 школы

 Доскач Вячеслава Олеговича

Реферат по физике на тему:

***«Профессии жидких кристаллов».***

Всё чаще мы стали встречаться с термином «жидкие кристаллы». Мы все часто с ними общаемся, и они играют немаловажную роль в нашей жизни. Многие современные приборы и устройства работают на них. К таким относятся часы, термометры, дисплеи, мониторы и прочие устройства. Что же это за вещества с та­ким парадоксальным названием «жидкие кристаллы» и почему к ним проявляется столь значительный интерес? В наше время наука стала производительной силой, и поэтому, как правило, повышенный научный интерес к тому или иному явлению или объекту означает, что это явление или объект представляет интерес для материаль­ного производства. В этом отношении не являются ис­ключением и жидкие кристаллы. Интерес к ним, прежде всего, обусловлен возможностями их эффективного при­менения в ряде отраслей производственной деятельно­сти. Внедрение жидких кристаллов означает экономиче­скую эффективность, простоту, удобство.

***Жидкий кристалл*** – это специфическое агрегатное со­стояние вещества, в котором оно проявляет одновре­менно свойства кристалла и жидкости. Сразу надо огово­риться, что далеко не все вещества могут находиться в жидкокристаллическом состоянии. Большинство веществ может находиться только в трех, всем хорошо известных агрегатных состояниях: твердом или кристаллическом, жидком и газообразном. Оказывается, некоторые органические вещества, обладающие сложными молеку­лами, кроме трех названных состояний, могут образовы­вать четвертое агрегатное состояние — жидкокристалли­ческое. Это состояние осуществляется при плавлении кристаллов некоторых веществ. При их плавлении обра­зуется жидкокристаллическая фаза, отличающаяся от обычных жидкостей. Эта фаза существует в интервале от температуры плавления кристалла до некоторой более высокой температуры, при нагреве до которой жидкий кристалл переходит в обычную жидкость. Чем же жидкий кристалл отличается от жидкости и обычного кристалла и чем похож на них? Подобно обычной жидкости, жидкий кристалл обладает текучестью и принимает форму сосуда, в который он помещен. Этим он отличается от известных всем кристаллов. Однако, несмотря на это свойство, объединяющее его с жид­костью, он обладает свойством, характерным для кри­сталлов. Это — упорядочение в пространстве молекул, образующих кристалл. Правда, это упорядочение не та­кое полное, как в обычных кристаллах, но, тем не менее, оно существенно влияет на свойства жидких кристаллов, чем и отличает их от обычных жидкостей. Неполное про­странственное упорядочение молекул, образующих жид­кий кристалл, проявляется в том, что в жидких кристал­лах нет полного порядка в пространственном располо­жении центров тяжести молекул, хотя частичный порядок может быть. Это означает, что у них нет жесткой кри­сталлической решетки. Поэтому жидкие кристаллы, по­добно обычным жидкостям, обладают свойством текуче­сти.

Обязательным свойством жидких кристаллов, сбли­жающим их с обычными кристаллами, является наличие порядка» пространственной ориентации молекул. Такой порядок в ориентации может проявляться, например, в том, что все длинные оси молекул в жидкокристалличе­ском образце ориентированы одинаково. Эти молекулы должны обладать вытянутой формой. Кроме простейше­го названного упорядочения осей молекул, в жидком кристалле может осуществляться более сложный ориентационный порядок молекул.

В зависимости от вида упорядочения осей молекул жидкие кристаллы разделяются на три разновидности: нематические, смектические и холестерические.

Исследования по физике жидких кристаллов и их при­менениям в настоящее время ведутся широким фрон­том во всех наиболее развитых странах мира. Отечествен­ные исследования сосредоточены как в академических, так и отраслевых научно-исследовательских учреждени­ях и имеют давние традиции. Широкую известность и признание получили выполненные еще в тридцатые годы в Ленинграде работы В. К. Фредерикса к В. Н. Цветкова. В последние годы бурного изучения жидких кристаллов отечественные исследователи также вносят весомый вклад в развитие учения о жидких кристаллах в целом и, в частности, об оптике жидких кристаллов. Так, работы И. Г. Чистякова, А. П. Капустина, С. А. Бразовского, С. А. Пикина, Л. М. Блинова и многих других советских иссле­дователей широко известны научной общественности и служат фундаментом ряда эффективных технических приложений жидких кристаллов.

 Существование жидких кристаллов было установлено очень давно, а именно в 1888 году, то есть почти столетие назад. Хотя учёные и до 1888 года сталкивались с данным состоянием вещества, но официально его открыли позже.

 *Первым, кто обнаружил жидкие кристаллы, был авст­рийский ученый-ботаник* *Рейнитцер. Исследуя новое син­те**зированное им вещество* *холестерилбензоат, он об**на­ружил, что при температуре 145° С кристаллы этого ве­щества плавятся, образуя мутную сильно рассеивающую свет жидкость. При продолжении нагрева по достижении температуры 179°С жидкость просветляется, т.* *е. начина­ет вести себя в оптическом отноше**нии, как обычная жидкость, например вода. Неожиданные свойства холестерилбензоат обнаруживал в мутной фазе Рассматри­вая эту фазу под поляризационным микроскопом, Рей­нитцер обнаружил, что она обладает двупреломлением. Это означает, что показатель преломления света, т. е скорость света е этой фазе, зависит* *от поляризации.*

***Явление двупреломления***—это типично кристалличе­ский эффект, состоящий в том, что скорость света в кри­сталле зависит от ориентации плоскости поляризации света. Существенно, что она достигает экстремального максимального и минимального значений для двух вза­имно ортогональных ориентаций плоскости поляризации. Разумеется, ориентации поляризации, соответствующие экстремальным значениям скорости свете в кристалле, определяются анизотропией свойств кристалла и одно­значно задаются ориентацией кристаллических осей отно­сительно направления распространения света.

 Поэтому сказанное поясняет, что существование дву­преломления в жидкости, которая должна быть изотроп­ной, т. е. что ее свойства должны быть независящими от направления, представлялось парадоксальным. Наиболее правдоподобным в то время могло казаться наличие в мутной фазе нерасплавившихся малых частичек кристалла, кристаллитов, которые и являлись источником двупреломления. Однако более детальные исследования, к которым Рейнитцер привлек известного немецкого фи­зика Леймана, показали, что мутная фаза не является двух­фазной системой, т. е. не содержит в обычной жидкости кристаллических включений, а является новым фазовым состоянием вещества. Этому фазовому состоянию Лейман дал название «жидкий кристалл» в связи с одновре­менно проявляемыми им свойствами жидкости и кристал­ла. Употребляется также и другой термин для названия жидких кристаллов. Это — «мезофаза», что буквально означает «промежуточная фаза».

 В то время существование жидких кристаллов пред­ставлялось каким-то курьезом, и никто не мог предполо­жить, что их ожидает почти через сто лет большое буду­щее в технических приложениях. Поэтому после некото­рого интереса к жидким кристаллам сразу после их от­крытия о них через некоторое время практически за­были.

Тем не менее, уже в первые годы были выяснены мно­гие другие удивительные свойства жидких кристаллов. Так, некоторые виды жидких кристаллов обладали не­обычно высокой оптической активностью.

 Оптической активностью называют способность неко­торых веществ вращать плоскость поляризации проходя­щего через них света. Это означает, что линейно поля­ризованный свет, распространяясь в таких средах, изме­няет ориентацию плоскости поляризации. Причем угол поворота плоскости поляризации прямо пропорционален пути, пройденному светом

Так, в твердых телах, как, впрочем, и в обычных жид­костях, удельная вращательная способность Ра имеет вполне определенный, независящий от длины волны све­та знак. Это означает, что вращение плоскости поляри­зации света в них происходит в определенном направле­нии. Против часовой стрелки при положительном фа и по часовой стрелке при отрицательном Ра. При этом подра­зумевается, что наблюдение за вращением плоскости по­ляризации осуществляется вдоль направления распрост­ранения света. Поэтому все оптически активные веще­ства подразделяются на правовращающие(если враще­ние происходит по часовой стрелке) и левовращающие(если вращение происходит против часовой стрелки).

В случае оптически активных жидких кристаллов та­кая классификация сталкивалась с трудностями. Дело в том, что направление (знак) вращения в жидких кристал­лах зависело от длины волн света. Для коротких длин волн величина Ра, например, могла быть положи­тельной, а для более длинноволнового света—отрица­тельной. А могло быть и наоборот. Однако характерным для всех случаев было изменение знака вращения плос­кости поляризации в зависимости от длины волны света, или, как говорят, инверсия знака оптической активности. Такое поведение вращения плоскости поляризации со­вершенно не укладывалось в рамки существовавших представлений об оптической активности.

Удивительными были также и другие свойства, такие, как сильная температурная зависимость названных ха­рактеристик, их очень высокая чувствительность к внеш­ним магнитным и электрическим полям и так далее. Но прежде чем пытаться объяснить перечисленные свойства, необ­ходимо понять, как устроены жидкие кристаллы, и, в частности, ознакомиться с их структурными свойствами, ибо в конечном итоге для объяснения описанных свойств наиболее существенными оказываются именно структур­ные характеристики жидких кристаллов.

Здесь следует сказать, что в конце девятнадцатого — начале двадцатого века многие очень авторитетные учёные весьма скептически относились к открытию Рейнит-цера и Лемана. (Имя Лемана также можно по праву свя­зывать с открытием жидких кристаллов, поскольку он очень активно участвовал в первых исследованиях жидких кристаллов, и даже самим термином «жидкие кри­сталлы» мы обязаны именно ему.) Дело в том, что не только описанные противоречивые свойства жидких кри­сталлов представлялись многим авторитетам весьма со­мнительными, но и в том, что свойства различных жидко­кристаллических веществ (соединений, обладавших жид­кокристаллической фазой) оказывались существенно раз­личными. Так, одни жидкие кристаллы обладали очень большой вязкостью, у других вязкость была невелика. Одни жидкие кристаллы проявляли с изменением тем­пературы резкое изменение окраски, так что их цвет пробегал все тона радуги, другие жидкие кристаллы та­кого резкого изменения окраски не проявляли. Наконец, внешний вид образцов, или, как принято говорить, тек­стура, различных жидких кристаллов при рассматрива­нии их под микроскопом оказывался совсем различным. В одном случае в поле поляризационного микроскопа могли быть видны образования, похожие на нити, в дру­гом — наблюдались изображения, похожие на горный рельеф, а в третьем — картина напоминала отпечатки пальцев. Стоял также вопрос, почему жидкокристаллическая фаза наблюдается при плавлении только некоторых веществ?

 Время шло, факты о жидких кристаллах постепенно накапливались, но не было общего принципа, который позволил бы установить какую-то систему в представле­ниях о жидких кристаллах. Как говорят, настало время для классификации предмета исследований. Заслуга в создании основ современной классификации жидких кри­сталлов принадлежит французскому ученому Ж. Фриделю. В двадцатые годы Фридель предложил разделить все жидкие кристаллы на две большие группы. Одну группу жидких кристаллов Фридель назвал нематическими, дру­гую смектическими. (Почему такие на первый взгляд не­понятные названия дал Фридель разновидностям жидких кристаллов, будет понятно несколько ниже.) Он же пред­ложил общий термин для жидких кристаллов — «мезо морфная фаза». Этот термин происходит от греческого слова «мезос» (промежуточный), а вводя его, Фридель хотел подчеркнуть, что жидкие кристаллы занимают про­межуточное положение между истинными кристаллами и жидкостями как по температуре, так и по своим физи­ческим свойствам. Нематические жидкие кристаллы в классификации Фриделя включали уже упоминавшиеся выше холестерические жидкие кристаллы как подкласс. Когда классификация жидких кристаллов была созда­на, более остро встал вопрос: почему в природе реализу­ется жидкокристаллическое состояние? Полным ответом на подобный вопрос принято считать создание микроско­пической теории. Но в то время на такую теорию не при­ходилось и надеяться (кстати, последовательной микро­скопической теории ЖК не существует и по сей день), поэтому большим шагом вперед было создание чешским ученым X. Цохером и голландцем С. Озерном феноме­нологической теории жидких кристаллов, или, как ее при­нято называть, теории упругости ЖК. В 30-х годах в СССР В. К. Фредерике и В. Н. Цветков первыми изучили не­обычные электрические свойства жидких кристаллов. Можно условно считать, что рассказанное выше отно­силось к предыстории жидких кристаллов, ко времени, когда исследования ЖК велись малочисленными коллек­тивами. Современный этап изучения жидких кристаллов, который начался в 60-е годы и придал науке о ЖК сегод­няшние формы, методы исследований, широкий размах работ сформировался под непосредственным влиянием успехов в технических приложениях жидких кристаллов, особенно в системах отображения информации. В это время было понято и практически доказано, что в наш век микроэлектроники, характеризующийся внедрением микроминиатюрных электронных устройств, потребляю­щих ничтожные мощности энергии для устройств инди­кации информации, т. е. связи прибора с человеком, наи­более подходящими оказываются индикаторы на ЖК. Дело в том, что такие устройства отображения инфор­мации на ЖК естественным образом вписываются в энер­гетику и габариты микроэлектронных схем. Они потреб­ляют ничтожные мощности и могут быть выполнены в виде миниатюрных индикаторов или плоских экранов. Все это предопределяет массовое внедрение жидкокристал­лических индикаторов в системы отображения информа­ции, свидетелями которого мы являемся » настоящее время. Чтобы осознать этот процесс, достаточно вспом­нить о часах или микрокалькуляторах с жидкокристалли­ческими индикаторами. Но это только начало. На смену традиционным и привычным устройствам идут жидко­кристаллические системы отображения информации.jkbk часто бывает, технические потребности не только стимулируют разработку проблем, связанных с практи­ческими приложениями, но и часто заставляют переос­мыслить общее отношение к соответствующему разделу науки. Так произошло и с жидкими кристаллами. Сейчас понятно, что это важнейший раздел физики конденсиро­ванного состояния.

Другим важным обстоятельством является то, что проводимость в жидких кристаллах носит ионный харак­тер. Это означает, что ответственными за перенос элек­трического тока в ЖК являются не электроны, как в ме­таллах, а гораздо более массивные частицы. Это поло­жительно и отрицательно заряженные фрагменты моле­кул (или сами молекулы), отдавшие или захватившие из­быточный электрон. По этой причине электропроводность жидких кристаллов сильно зависит от количества и хими­ческой природы содержащихся в них примесей. В част­ности, электропроводность нематика можно целена­правленно изменять, добавляя в него контролируемо» количество ионных добавок, в качестве которых могут выступать некоторые соли.

Из сказанного понятно, что ток в жидком кристалле представляет собой направленное движение ионов в системе ориентированных палочек-молекул. Если ионы представить себе в виде шариков, то свойство нематика обладать проводимостью вдоль директора в р. больше, чему, представляется совершенно естественным и по­нятным. Действительно, при движении шариков вдоль директора они испытывают меньше помех от молекул-палочек, чем при движении поперек молекул-палочек. В результате чего и следует ожидать, что продольная проводимость о II будет превосходить поперечную про­водимость.

Более того, обсуждаемая модель шариков-ионов в системе ориентированных палочек-молекул с необходи­мостью приводит к следующему важному заключению. Двигаясь под действием электрического тока поперек направления директора (мы считаем, что поле приложе­но поперек директора), ионы, сталкиваясь с молекула­ми-палочками, будут стремиться развернуть их вдоль направления движения ионов, т. е. вдоль направления электрического тока. Мы приходим к заключению, что электрический ток в жидком кристалле должен приво­дить к переориентации директора.

Эксперимент подтверждает выводы рассмотренной выше простой механической модели прохождения тока в жидком кристалле. Однако во многих случаях ситуа­ция оказывается не такой простой, как может показать­ся на первый взгляд.

Часто постоянное напряжение, приложенное к слою нематика, вызывает в результате возникшего тока не однородное изменение ориентации молекул, а периоди­ческое в пространстве возмущение ориентации директо­ра. Дело здесь в том, что, говоря об ориентирующем молекулы нематика воздействии ионов носителей тока, мы пока что пренебрегали тем, что ионы будут вовле­кать в свое движение также и молекулы нематика. В ре­зультате такого вовлечения прохождение тока в жид­ком кристалле может сопровождаться гидродинамичес­кими потоками, вследствие чего может установиться пе­риодическое в пространстве распределение скоростей течения жидкого кристалла. Вследствие обсуждав­шейся в предыдущем разделе связи потоков жидкого кристалла с ориентацией директора в слое нематика воз­никнет периодическое возмущение распределения директора. Подробней на этом интересном и важном в при­ложении жидких кристаллов явлении мы остановимся ниже, рассказывая об электрооптике нематиков.

**Флексоэлектрический эффект.** Говоря о форме мо­лекул жидкого кристалла, мы пока аппроксимировали ее жесткой палочкой. А всегда ли такая аппроксимация хороша? Рассматривая модели структур молекул, можно прийти к заключению, что не для всех соединений приб­лижение молекула-палочка наиболее адекватно их фор­ме. Далее мы увидим, что с формой молекул связан ряд интересных, наблюдаемых на опыте, свойств жид­ких кристаллов. Сейчас мы остановимся на одном из таких свойств жидких кристаллов, связанном с отклоне­нием ее формы от простейшей молекулы-палочки, про­являющемся в существовании флексоэлектрического эффекта.

Интересно, что открытие флексоэлектрического эф­фекта, как иногда говорят о теоретических предсказа­ниях, было сделано на кончике пера американским физи­ком Р. Мейером в 1969 году.

Рассматривая модели жидких кристаллов, образо­ванных не молекулами-палочками, а молекулами более сложной формы, он задал себе вопрос: «Как форма молекулы может обнаружить себя в макроскопических свойствах?» Для конкретности Р. Мейер предположил, что молекулы имеют грушеобразную или банановидную форму. Далее он предположил, что отклонение формы молекулы от простейшей, рассматривавшейся ранее, сопровождается возникновением у нее электрического дипольного момента.

Возникновение дипольного момента у молекулы не­симметричной формы — типичное явление и связано оно с тем, что расположение «центра тяжести» отрица­тельного электрического заряда электронов в молекуле может быть несколько смещено относительно «центра тяжести» положительных зарядов атомных ядер моле­кулы. Это относительное смещение отрицательных и по­ложительных зарядов относительно друг друга и приво­дит к возникновению электрического дипольного момен­та молекулы. При этом в целом молекула остается нейт­ральной, так как величина отрицательного заряда элек­тронов в точности равна положительному заряду ядер. Величина дипольного момента равна произведению за­ряда одного из знаков на величину их относительного смещения. Направлен дипольный момент вдоль направ­ления смещения от отрицательного заряда к положи­тельному. Для грушеобразной молекулы направление ди­польного момента по симметричным соображениям должно совпадать с осью вращения, для банановидной молекулы — направлено поперек длинной оси.

Рассматривая жидкий кристалл таких молекул, легко понять, что без влияния на него внешних воздействий дипольный момент макроскопически малого, но, разуме­ется, содержащего большое число молекул объема жид­кого кристалла, равен нулю. Это связано с тем, что нап­равление директора в жидком кристалле задается ориен­тацией длинных осей молекул, количество же молекул, дипольный момент которых направлен по директору в ту и другую сторону — для грушеобразных молекул, или для банановидных молекул — поперек направления ди­ректора в ту и другую сторону, одинаково. В ре­зультате дипольный момент любого макроскопиче­ского объема жидкого кристалла равен нулю, так как он равен сумме дипольных моментов отдельных молекул.

Так, однако, дело обстоит лишь в неискаженном об­разце. Стоит путем внешнего воздействия, например ме­ханического, исказить, скажем, изогнуть его, как моле­кулы начнут выстраиваться, и распределение направле­ний дипольных моментов отдельных молекул вдоль ди­ректора для грушеподобных молекул и поперек директо­ра для банановидных будет неравновероятным. Это означает, что возникает преимущественное направление ориентации дипольных моментов отдельных молекул и, как следствие, появляется макроскопический дипольный момент в объеме жидкого кристалла. Причиной такого выстраивания являются сферические факторы, т. е. фак­торы, обеспечивающие плотнейшую упаковку молекул. Плотнейшей упаковке молекул именно и соответствует такое выстраивание молекул, при котором их дипольные моменты «смотрят» преимущественно в одну сто­рону.

С макроскопической точки зрения рассмотренный эффект проявляется в возникновении в слое жидкого кристалла электрического поля при деформации. Как видно из рисунка, это связано с тем, что при выстраива­нии диполей на одной поверхности деформированного кристалла оказывается избыток зарядов одного, а на противоположной поверхности — другого знака. Таким обрезом, наличие или отсутствие флексоэлектрического эффекта несет информацию о форме молекул и ее дипольном моменте. Для молекул-палочек такой эффект отсутствует. Для только что рассмотренных форм моле­кул эффект есть. Однако, как уже, наверное, заметили наиболее внимательные читатели, для грушеподобных и банановидных молекул для наблюдения возникновения электрического поля в слое надо вызвать в нем разли­чные деформации. Грушеподобных молекулы дают эф­фект при поперечном изгибе, а банановидные — при продольном изгибе жидкого кристалла

Предсказанный теоретически флексоэлектрический эффект вскоре был обнаружен экспериментально. При­чем на эксперименте можно было пользоваться как пря­мым, так и обратным эффектом. Это означает, что можно не только путем деформации ЖК индуцировать в нем электрическое поле и макроскопический диполь­ный момент (прямой эффект), но и, прикладывая к об­разцу внешнее электрическое поле, вызывать дефор­мацию ориентации директора в жидком кристалле.

Мы поняли что такое жидкие кристаллы, ну а для чего же они нужны?

**Электронная игра, электронный словарь и телевизор на жк»**

Известно, какой популярностью пользовались различные электронные игры, обычно устанавлива­емые в специальной комнате аттракционов в местах об­щественного отдыха или фойе кинотеатров. Успехи в разработке матричных жидкокристаллических дисплеев сделали возможным создание и массовое производство подобных игр в миниатюрном, так сказать, карманном ис­полнении. Игра «Ну, погоди!», ос­воена отечественной промышленностью. Габариты этой игры, как у записной книжки, а основным ее эле­ментом является жидкокристаллический матричный дис­плей, на котором высвечиваются изображения волка, зай­ца, кур и катящихся по желобам яичек. Задача играюще­го, нажимая кнопки управления, заставить волка, пере­мещаясь от желоба к желобу, ловить скатывающиеся с желобов яички в корзину, чтобы не дать им упасть на землю и разбиться. Здесь же отметим, что, помимо раз­влекательного назначения, эта игрушка выполняет роль часов и будильника, т. е. в другом режиме работы на дисплее «высвечивается» время и может подаваться зву­ковой сигнал в требуемый момент времени.

Еще один впечатляющий пример эффективности со­юза матричных дисплеев на жидких кристаллах и микро­электронной техники дают современные электронные словари, которые начали выпускать в Японии. Они пред­ставляют собой миниатюрные вычислительные машинки размером с обычный карманный микрокалькулятор, в память которых введены слова на двух (или больше) языках и которые снабжены матричным дисплеем и кла­виатурой с алфавитом. Набирая на клавиатуре слово на одном языке, вы моментально получаете на дисплее его перевод на другой язык. Представьте себе, как улучшит­ся и облегчится процесс обучения иностранным язы­кам в школе и в вузе, если каждый учащийся будет снаб­жен подобным словарем) А наблюдая, как быстро изде­лия микроэлектроники внедряются в нашу жизнь, можно с уверенностью сказать, что такое время не за горами) Легко представить и пути дальнейшего совершенствова­ния таких словарей-переводчиков: переводится не одно слово, а целое предложение. Кроме того, перевод мо­жет быть и озвучен. Словом, внедрение таких словарей-переводчиков сулит революцию в изучении языков и технике перевода.

Требования к матричному дисплею, используемому в качестве экрана телевизора, оказываются значительно выше как по быстродействию, так и по числу элементов, чем в описанных выше электронной игрушке и словаре-переводчике. Это станет понятным, если вспомнить, что в соответствии с телевизионным стандартом изображе­ние на экране формируется из 625 строк (и приблизи­тельно из такого же числа элементов состоит каждая строка), а время записи одного кадра 40 мс. Поэтому практическая реализация телевизора с жидкокристалли­ческим экраном оказывается более трудной задачей. Тем не менее, налицо первые успехи в техническом решении и этой задачи. Так, японская фирма «Сони» наладила про­изводство миниатюрного, умещающегося практически на ладони телевизора с черно-белым изображением и размером экрана 3,6 см. Несомненно, в будущем удаст­ся создать телевизоры на ЖК как с более крупными эк­ранами, так и с цветным изображением.

Союз микроэлектроники и жидких кристаллов оказы­вается чрезвычайно эффективным не только в готовом изделии, но и на стадии изготовления интегральных схем. Как известно, одним из этапов производства микросхем является фотолитография, которая состоит в нанесении на поверхность полупроводникового материала специ­альных масок, а затем в вытравливании с помощью фотографической техники так называемых литографических окон. Эти окна в результате дальнейшего процесса про­изводства преобразуются в элементы и соединения ми­кроэлектронной схемы. От того, насколько малы разме­ры соответствующих окон, зависит число элементов схемы, которые могут быть размещены на единице площади полупроводника, а от точности и качества вытравливания окон зависит качество микросхемы. Выше уже говорилось о контроле качества готовых микросхем с помощью холестерических жидких кристаллов, которые визуализируют поле температур на работающей схеме и позволяют выделить участки схемы с аномальным тепловыделением. Не менее полезным оказалось применение жидких кристаллов (теперь уж нематических) на стадии контроля качества литографических работ. Для этого на полупроводниковую пластину с протравленными литогра­фическими окнами наносится ориентированный слой нематика, а затем к ней прикладывается электрическое напряжение. В результате в поляризованном свете картина " вытравленных окон отчетливо визуализируется. Более того, этот метод позволяет выявить очень малые по размерам неточности и дефекты литографических работ, 1 протяженность которых всего 0,01 мкм.

*Некоторое время тому назад необыч­ной популярностью в США пользовалась новинка юве­лирного производства, получившая название «перстень настроения». За год было продано* *50 миллионов таких перстней, т.* *е. практически каждая взрослая женщина имела это ювелирное изделие. Что же привлекло внима­ние любител**и бижутерии к этому перстню? Оказывается, он обладал совершенно мистическим свойством реагиро­**вать на настроение его владельца. Реакция состояла в том, что цвет камешка перстня следовал за настроением вла­дельца, пробегая все цвета радуги от красного до фио­летового. Вот это сочетание таинственного свойства уга­дывать настроение, декоративность перстня, обеспечи­ваемая яркой и меняющейся окраской камешка, плюс низкая цена и обеспечили успех перстню настроения.*

*Пожалуй, именно тогда впервые широкие массы стол­кнулись с загадочным термином «жидкие кристаллы». Дело в том, что каждому владельцу перстня хотелось знать его секрет слежения за настроением. Однако ни­чего толком не было известно, говорилось, только, что камешек перстня сделан на жидком кристалле. Для чита­теля, который знаком с жидкими кристаллами, нужно сде­лать уточнение — на* *холестерическом жидком кристалле, а секрет перстня настроения связан с его удивительными оптическими свойствами. Тем, который только слышал о жидких кристаллах, а может быть, и не слышал о них вообще, чтобы раскрыть секрет перстня настрое­ния, необходимо сначала познакомиться с тем, что такое жидкие кристаллы, и тогда он узнает не только о том, как жидкие кристаллы позволяют следить за настроени­ем человека, но и о многих других удивительных их свойствах и практических применениях.*

 **О БУДУЩИХ ПРИМЕНЕНИЯХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ**

**Жидкие кристаллы сегодня и завтра.** Многие оптиче­ские эффекты в жидких кристаллах, о которых рассказы­валось выше, уже освоены техникой и используются в изделиях массового производства. Например, всем из­вестны часы с индикатором на жидких кристаллах, но не все еще знают, что те же жидкие кристаллы использу­ются для производства наручных часов, в которые встро­ен калькулятор. Тут уже даже трудно сказать, как на­звать такое устройство, то ли часы, то ли компьютер. Но это уже освоенные промышленностью изделия, хотя всего десятилетия назад подобное казалось нереальным. Перспективы же будущих массовых и эффективных при­менений жидких кристаллов еще более удивительны. По­этому стоит рассказать о нескольких технических идеях применения жидких кристаллов, которые пока что не реализованы, но, возможно, в ближайшие несколько лет послужат основой создания устройств, которые станут для нас такими же привычными, какими, скажем, сейчас являются транзисторные приемники.

**Управляемые оптические транспаранты.** Рассмотрим пример достижения научных исследований в процессе создания жидкокристаллических экранов, отображения информации, в частности жидкокристаллических экранов телевизоров. Известно, что массовое создание больших плоских экранов на жидких кристаллах сталкивается с трудностями не принципиального, а чисто технологиче­ского характера. Хотя принципиально возможность со­здания таких экранов продемонстрирована, однако а связи со сложностью их производства при современной технологии их стоимость оказывается очень высокой. По­этому возникла идея создания проекционных устройств на жидких кристаллах, в которых изображение, получен­ное на жидкокристаллическом экране малого размера могло бы быть спроектировано в увеличенном виде на обычный экран, подобно тому, как это происходит в кинотеатре с кадрами кинопленки. Оказалось, что такие устройства могут быть реализованы на жидких кристал­лах, если использовать сэндвичевые структуры, в кото­рые наряду со слоем жидкого кристалла входит слой фотополупроводника. Причем запись изображения в жидком кристалле, осуществляемая с помощью фотопо­лупроводника, производится лучом света. О подобном проекторе уже рассказывалось в главе VII. Теперь же познакомимся с физическими явлениями, положенными в основу его работы.

Принцип записи изображения очень прост. В отсутст­вие подсветки фотополупроводника его проводимость очень мала, поэтому практически вся разность потенциа­лов, поданная на электроды оптической ячейки, в кото­рую еще дополнительно введен слой фотополупровод­ника, падает на этом слое фотополупроводника. При этом состояние жидкокристаллического слоя соответствует отсутствию напряжения на нем. При подсветке фотопо­лупроводника его проводимость резко возрастает, так как свет создает в нем дополнительные носители тока (свободные электроны и дырки). В результате происхо­дит перераспределение электрических напряжений в ячейке — теперь практически все напряжение падает на жидкокристаллическом слое, и состояние слоя, в частно­сти, его оптические характеристики, изменяются соответ­ственно величине поданного напряжения. Таким образом, изменяются оптические характеристики жидкокристал­лического слоя в результате действия света. Ясно, что при этом в принципе может быть использован любой электрооптический эффект из описанных выше. Практи­чески, конечно, выбор электрооптического эффекта в та­ком сэндвичевом устройстве, называемом электрооптическим транспарантом, определяется наряду с требуемыми оптическими характеристиками и чисто технологическими причинами.

Важно, что в описываемом транспаранте изменение оптических характеристик жидкокристаллического слоя происходит локально — в точке засветки фотополупро­водника. Поэтому такие транспаранты обладают очень вы­сокой разрешающей способностью. Так, объем информа­ции, содержащейся на телевизионном экране, может быть записан на транспаранте размерами менее 1х1 см2.

Описанный способ записи изображения, помимо все­го прочего, обладает большими достоинствами, так как он делает ненужной сложную систему коммутации, т. е. систему подвода электрических сигналов, которая применяется в матричных экранах на жидких кри­сталлах.

**Пространственно-временные модуляторы света.** Уп­равляемые оптические транспаранты могут быть исполь­зованы не только как элементы проекционного устрой­ства, но и выполнять значительное число функций, свя­занных с преобразованием, хранением и обработкой оп­тических сигналов. В связи с тенденциями развития ме­тодов передачи и обработки информации с использова­нием оптических каналов связи, позволяющих увеличить быстродействие устройств и объем передаваемой инфор­мации, управляемые оптические транспаранты на жид­ких кристаллах представляют значительный интерес и с этой точки зрения. В этом случае их еще принято назы­вать пространственно-временными модуляторами света (ПВМС), или световыми клапанами. Перспективы и мас­штабы применения ПВМС в устройствах обработки опти­ческой информации определяются тем, насколько се­годняшние характеристики оптических транспарантов мо­гут быть улучшены в сторону достижения максимальной чувствительности к управляющему излучению, повыше­ния быстродействия и пространственного разрешения световых сигналов, а также диапазона длин волн излуче­ния, в котором надежно работают эти устройства. Как уже отмечалось, одна из основных проблем — это проб­лема быстродействия жидкокристаллических элементов, однако уже достигнутые характеристики модуляторов света позволяют совершенно определенно утверждать, что они займут значительное место в системах обработ­ки оптической информации. Ниже рассказывается о ря­де возможных применений модуляторов света.

Прежде всего, отметим высокую чувствительность модуляторов света к управляющему световому потоку, которая характеризуется интенсивностью светового по­тока. Кроме того, достигнуто высокое пространственное разрешение сигнала — около 300 линий на 1 мм. Спектральный диапазон работы мо­дуляторов, выполненных на различных полупроводнико­вых материалах, перекрывает длины волн от ультрафио­летового до ближнего инфракрасного излучения. Очень важно, что в связи с применением в модуляторах фото­полупроводников удается улучшить временные характе­ристики устройств по сравнению с быстродействием соб­ственно жидких кристаллов. Так, модуляторы света за счет свойств фотополупроводника могут зарегистриро­вать оптический сигнал продолжительностью всего меньше 1 с. Разумеется, изменение оптических характеристик жидкого кристалла в точке регистрации сигнала проис­ходит с запаздыванием, т. е. более медленно, в соответ­ствии с временем изменения оптических характеристик жидкого кристалла при наложении на него (или снятии) электрического поля.

Какие же, кроме уже обсуждавшихся функций, могут выполнять модуляторы света? При соответствующем под­боре режима работы модулятора они могут выделять контур проектируемого на него изображения. Если кон­тур перемещается, то можно визуализировать его дви­жение. При этом существенно, что длина волны записы­вающего изображения излучения и считывающего излу­чения могут отличаться. Поэтому модуляторы света по­зволяют, например, визуализировать инфракрасное из­лучение, или с помощью видимого света модулировать пучки инфракрасного излучения, или создавать изобра­жения в инфракрасном диапазоне длин волн.

В другом режиме работы модуляторы света могут выделять области, подвергнутые нестационарному осве­щению. В этом режиме работы из всего изображения выделяются, например, только перемещающиеся по изо­бражению световые точки, или мерцающие его участки. Модуляторы света могут использоваться как усилители яркости света (в 10^—10° раз и более) В связи же с их высокой пространственной разрешающей способностью их использование оказывается эквивалентным усилителю с очень большим (10"—10^) числом каналов. Перечисленные функциональные возможности оптических модуляторов дают Основание использовать их 6 многочисленных задачах обработки оптической инфор­мации, таких как распознавание образов, подавление по­мех, спектральный и корреляционный анализ, интерфе­рометрия, в том числе запись голограмм в реальном мас­штабе времени, и т. д. Насколько широко перечислен­ные возможности жидкокристаллических оптических мо­дуляторов реализуются в надежные технические устрой­ства, покажет ближайшее будущее.

**Оптический микрофон.** Только что было рассказано об управлении световыми потоками с помощью света. Однако в системах оптической обработки информации и связи возникает необходимость преобразовывать не только световые сигналы в световые, но и другие самые разнообразные воздействия в световые сигналы. Такими воздействиями могут быть давление, звук, температура, деформация и т. д. И вот для преобразования этих воз­действий в оптический сигнал жидкокристаллические ус­тройства оказываются опять-таки очень удобными и пер­спективными элементами оптических систем.

Конечно, существует масса методов преобразовывать перечисленные воздействия в оптические сигналы, одна­ко подавляющее большинство этих методов связано сна­чала с преобразованием воздействия в электрический сигнал, с помощью которого затем можно управлять световым потоком. Таким образом, методы эти двусту­пенчатые и, следовательно, не такие уж простые и эко­номичные в реализации. Преимущество применения в этих целях жидких кристаллов состоит в том, что с их помощью самые разнообразные воздействия можно не­посредственно переводить в оптический сигнал, что уст­раняет промежуточное звено в цепи воздействие—све­товой сигнал, а значит, вносит принципиальное упроще­ние в управление световым потоком. Другое достоинст­во ЖК-элементов в том, что они легко совместимы с уз­лами волоконно-оптических устройств.

Чтобы проиллюстрировать возможности с помощью ЖК управлять световыми сигналами, расскажем о прин­ципе работы «оптического микрофона» на ЖК—устрой­ства, предложенного для непосредственного перевода акустического сигнала в оптический.

Принципиальная схема устройства оптического мик­рофона очень проста. Его активный элемент представляет собой ориентированный слой нематика. Звуковые колебания создают периодические во времени деформации слоя, вызывающие также переориентации молекул и модуляцию поляризации (интенсивности) проходящего поляризованного светового потока.

Исследования характеристик оптического микрофона на ЖК, выполненные в Акустическом институте АН СССР, показали, что по своим параметрам он не уступает су­ществующим образцам и может быть использован в оп­тических линиях связи, позволяя осуществлять непосред­ственное преобразование звуковых сигналов в оптиче­ские. Оказалось также, что почти во всем температурном интервале существования нематической фазы его акустооптические характеристики практически не изменяются

[9]-Прежде чем перейти к другому примеру возможного

применения ЖК в оптических линиях связи, напомним, что оптическое волокно представляет собой оптический волновод. Свет из этого волновода не выходит наружу по той причине, что снаружи на волокно нанесено покры­тие, диэлектрическая проницаемость которого больше, чем во внутренней части волокна, в результате чего про­исходит полное внутреннее отражение света на границе внутренней части и внешнего покрытия. Волноводный ре­жим распространения света в волокне. может быть, также достигнут не только за счет резкой диэлектрической границы, но и при плавном изменении показателя прелом­ления (диэлектрической проницаемости) от середины к поверхности волновода.

По аналогии с оптическими волокнами в тонком слое жидкого кристалла также может быть реализован волно­водный режим распространения света вдоль слоя, если обеспечить соответствующее изменение диэлектриче­ской проницаемости в пределах толщины слоя. А как мы знаем, изменения диэлектрических характеристик в ЖК можно добиться изменением ориентации директора (длинных осей молекул). Оказывается, в слое нематика или холестерина можно, например, путем приложения электрического поля обеспечить такой характер измене­ния ориентации директора по толщине, что для опреде­ленной поляризации света такой слой оказывается опти­ческим волноводом.

Каждый увидит здесь очевидную аналогию между оп­тическим волокном-волноводом и жидкокристалличе­ским волноводом. Но имеется здесь и очень существен­ная разница. Эта разница состоит в том, что если диэлек­трические характеристики оптического волокна, а следо­вательно, и его волноводные свойства, неизменны и фор­мируются при его изготовлении, то диэлектрические, а следовательно, и волноводные свойства ЖК-волновода легко изменять путем внешних воздействий.

Это значит, например, что если жидкокристалличе­ский волновод включен в канал волоконной связи, то световой поток, идущий по этому каналу, можно моду­лировать, меняя характеристики ЖК-элемента. В про­стейшем случае это может быть просто прерывание све­тового потока, которое может происходить в ЖК-элементе при таком переключении электрического сигнала на нем, которое приводит к исчезновению его волноводных свойств. Кстати сказать, этот же ЖК-элемент может выполнять и функции оптического микрофона, если он устроен так, что акустический сигнал вызывает в нем воз­мущение ориентации директора.

**Как сделать стереотелевизор.** В качестве еще одного заманчивого, неожиданного и касающегося практически всех применений жидких кристаллов стоит назвать идею создания системы стереотелевидения с применением жидких кристаллов. Причем, что представляется особен­но заманчивым, такая система «стереотелевидения на жидких кристаллах» может быть реализована ценой очень простой модификации передающей телекамеры и до­полнением обычных телевизионных приемников специ­альными очками, стекла которых снабжены жидкокристаллическими фильтрами.

Идея этой системы стереотелевидения чрезвычайно проста. Если учесть, что кадр изображения на телеэкра­не формируется построчно, причем так, что сначала вы­свечиваются нечетные строчки, а потом четные, то с по­мощью очков с жидкокристаллическими фильтрами лег­ко сделать так, чтобы правый глаз, например, видел толь­ко четные строчки, а левый — нечетные. Для этого доста­точно синхронизировать включение и выключение жидко­кристаллических фильтров, т. е. возможность восприни­мать изображение на экране попеременно то одним, то другим глазом, делая попеременно прозрачным то одно, то другое стекло очков с высвечиванием четных и нечет­ных строк.

Теперь совершенно ясно, какое усложнение передаю­щей телекамеры даст стереоэффект телезрителю. На­до, чтобы передающая телекамера была стерео, т. е. чтобы она обладала двумя объективами, соответствую­щими восприятию объекта левым и правым глазом чело­века, четные строчки на экране формировались с по­мощью правого, а нечетные—с помощью левого объ­ектива передающей камеры.

Система очков с жидкокристаллическими фильтра­ми—затворами, синхронизированными с работой телеви­зора, может оказаться непрактичной для массового при­менения. Возможно, что более конкурентоспособной ока­жется стереосистема, в которой стекла очков снабжены обычными поляроидами. При этом каждое из стекол оч­ков пропускает линейно-поляризованный свет, плоскость поляризации которого перпендикулярна плоскости поля­ризации света, пропускаемого вторым стеклом. Стерео же эффект в этом случае достигается с помощью жидко­кристаллической пленки, нанесенной на экран телевизо­ра и пропускающей от четных строк свет одной линей­ной поляризации, а от нечетных—другой линейной по­ляризации, перпендикулярной первой.

Какая из описанных систем стереотелевидения будет реализована или выживет совсем другая система, покажет будущее.

**Очки для космонавтов.** Знакомясь ранее с маской для электросварщика, а теперь с очками для стереотелевидения, бы заметили, что в этих устройствах управляемый жидкокристаллический фильтр перекрывает сразу все поле зрения одного или обоих глаз. Между тем сущест­вуют ситуации, когда нельзя перекрывать все поле зрения человека и в то же время необходимо перекрыть от­дельные участки поля зрения.

Например, такая необходимость может возникнуть у космонавтов в условиях их работы в космосе при чрез­вычайно ярком солнечном освещении, не ослабленном ни атмосферой, ни облачностью. Эту задачу как в случае маски для электросварщика или очков для стереотеле­видения позволяют решить управляемые жидкокристаллические фильтры.

Усложнение очков в этом случае состоит в том, что поле зрения каждого глаза теперь должен перекрывать не один фильтр, а несколько независимо управляемых фильтров. Например, фильтры могут быть выполнены в виде концентрических колец с центром в центре стекол очков или в виде полосок на стекле очков, каждая из которых при включении перекрывает только часть поля зрения глаза.

Такие очки могут быть полезны не только космонав­там, но и людям других профессий, работа которых мо­жет быть связана не только с ярким нерассеянным осве­щением, но и с необходимостью воспринимать большой объем зрительной информации.

Например, в кабине пилота современного самолета огромное количество панелей приборов. Однако не все из них нужны пилоту одновременно. Поэтому использо­вание пилотом очков, ограничивающих поле зрения, мо­жет быть полезным и облегчающим его работу, так как помогает сосредоточивать его внимание только на части нужных в данный момент приборов и устраняет отвлека­ющее влияние не нужной в этот момент информации. Конечно, в случае пилота можно пойти и по-другому пу­ти поставить ЖК-фильтры на индикаторы приборов, чтобы иметь возможность экранировать их показания.

Подобные очки будут очень полезны также в биоме­дицинских исследованиях работы оператора, связанной с восприятием большого количества зрительной инфор­мации. В результате таких исследований можно выявить скорость реакции оператора на зрительные сигналы, оп­ределить наиболее трудные и утомительные этапы в его работе и в конечном итоге найти способ оптимальной организации его работы. Последнее значит определить на­илучший способ расположения панелей приборов, тип индикаторов приборов, цвет и характер сигналов различ­ной степени важности и т. д.

Фильтры подобного типа и индикаторы на жидких кристаллах, несомненно, найдут (и уже находят) широкое применение в кино-, фотоаппаратуре. В этих целях они привлекательны тем, что для управления ими требуется ничтожное количество энергии, а в ряде случаев позво­ляют исключить из аппаратуры детали, совершающие механические движения. А как известно, механические системы часто оказываются наиболее громоздкими и не­надежными.

Какие механические детали кино-, фотоаппаратуры имеются в виду? Это прежде всего диафрагмы, фильт­ры — ослабители светового потока, наконец, прерывате­ли светового потока в киносъемочной камере, синхрони­зованные с перемещением фотопленки и обеспечиваю­щие покадровое ее экспонирование.

Принципы устройства таких ЖК-элементов ясны из предыдущего. В качестве прерывателей и фильтров-ос­лабителей естественно использовать ЖК-ячейки, в кото­рых под действием электрического сигнала изменяется пропускание света по всей их площади. Для диафрагм без механических частей системы ячеек в виде кон­центрических колец, которых могут под действием элек­трического сигнала изменять площадь пропускающего свет прозрачного окна. Следует также отметить, что сло­истые структуры, содержащие жидкий кристалл и фото­полупроводник, т. е. элементы типа управляемых оп­тических транспарантов, могут быть использованы не только в качестве индикаторов, например, экспозиции, но и для автоматической установки диафрагмы в кино-, фотоаппаратуре.

При всей принципиальной простоте обсуждаемых устройств их широкое внедрение в массовую продукцию зависит от ряда технологических вопросов, связанных с обеспечением длительного срока работы ЖК-элементов, их работы в широком температурном интервале, на­конец, конкуренции с традиционными и устоявшимися техническими решениями и т. д. Однако решение всех этих проблем — это только вопрос времени, и скоро, на­верное, трудно будет себе представить совершенный фо­тоаппарат, не содержащий ЖК-устройства.