

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ЖИДКИМ КРИСТАЛЛАМ ЭКЗОТИКА И РЕАЛЬНОСТЬ

В. Беляев, д.т.н., профессор vic_belyaev@mail.ru

Жидкие кристаллы загадочны и прекрасны.
И за это я их люблю.

*Пьер Жиль де Жен
Лауреат Нобелевской премии по физике 1991 года*

С 29 июня по 4 июля 2014 года в Тринити колледже (Дублин, Ирландия) – одном из старейших и передовых европейских университетов – состоялась 25-я международная конференция по жидким кристаллам (25th International Liquid Crystal Conference, ILCC), которая проводится каждые два года. Хотя жидкие кристаллы – главный локомотив развития плоскостных дисплеев, на конференции они были представлены не только как электрооптическая и оптическая среда, но и как перспективный материал для устройств органической электроники, микроэлектромеханических систем (МЭМС), фотовольтаических приборов, различных датчиков, в том числе и биологических. В дни форума было услышано и увидено много нового – того, что было фантастично не только вчера, но и сегодня. В статье представлена лишь очень малая часть прозвучавших сообщений, относящаяся в основном к практическому применению жидких кристаллов.

Местом проведения конференции Дублин был выбран не случайно. В Тринити колледже исследованиями жидких кристаллов занимается ряд сильных научных групп, возглавляемых индийским ученым Ягдишем Виджем (председатель конференции), а также российскими специалистами Юрием Панариным и Татьяной Перовой, внесших значительный вклад в теорию и практику сегнетоэлектрических ЖК, фотонно-кристаллических устройств на основе ЖК. Парадоксально, но среди участников конференции не было ни одного ирландца. В связи с этим я вспомнил физтеховскую байку о знаменитых ирландцах, среди которых оказались не только творцы английской литературы, но и ректор МФТИ Билл О’Церковский,

секретарь парткома О’Нуфриев, доцент кафедры истории партии Мак’Аров.

В отличие от многих других международных мероприятий, проводимых за рубежом, на этой конференции были широко представлены ученые из России, Белоруссии и Украины. В работе форума активно участвовали и отечественные специалисты, работающие за рубежом.

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

В последнее время открыто и исследовано много новых ЖК-фаз, которые Ноэль Кларк из Университета штата Колорадо в Боулдере в пленарной лекции назвал экзотическими. Это и спирально-коническая фаза с твист-бенд спиралью (сочетание деформаций продольного изгиба и кручения), и фаза

закрученных границ зерен (доменов), и различные ламеллярные фазы, и чечевицеобразные тактоиды, представляющие собой взвесь нанолитков фосфата циркония, и др. Продемонстрировав многочисленные фотографии, Н.Кларк вновь напомнил о красоте и загадочности жидких кристаллов (название его лекции).

Представитель ведущей немецкой компании в области разработки ЖК-материалов E.Merck на пленарном заседании доложил о поиске нематических жидких кристаллов с отрицательным двулучепреломлением Δn , которые нужны для управления показателями преломления материалов, в частности, оптических компенсаторов, улучшающих углы обзора ЖК-дисплеев и модуляторов. Прежде эту функцию выполняли дискотические ЖК, состоящие из молекул плоской формы. Однако поскольку современные материалы представляют собой смесь различных веществ, отвечающих за разные свойства материала, их чрезвычайно трудно смешивать с обычными, каламитными жидкими кристаллами, молекулы которых имеют палочкообразную форму. В компании с помощью методов квантовой химии рассчитаны и синтезированы производные бициклогексана с фрагментами, имеющими одну или две тройные межуглеродные связи, как в ацетилене, у которых значение $\Delta n < 0$.

Перспективное направление создания новых типов ЖК-веществ – синтез полупродуктов из отходов других отраслей промышленности. Так, группа ученых нового Лиссабонского университета и Лиссабонского технического университета (Португалия) предложила синтезировать азопроизводные жидкие кристаллы из ацетоксипропилцеллюлозы (биоматериал). Метод позволяет получать ЖК-пленки с управляемой поверхностной смачиваемостью. Подобный эффект с азосоединениями известен как фотоориентация ЖК. Достоинство целлюлозных ЖК – возможность получения термотропных (образующихся в результате нагрева твердого вещества и существующих в определенном интервале температур и давлений) и лиотропных (двух или более компонентных систем, образующихся в смесях стержневидных молекул вещества и воды) жидких кристаллов, растворимых при комнатной температуре в различных жидкостях и осаждаемых из воды.

Группа исследователей из Белорусского государственного технологического университета под руководством д.т.н. В.Безбородова сообщила о возможности получения материалов из простых полупродуктов, а сотрудники Института химии

новых материалов НАН Беларуси (руководитель А.Муравский) – о получении жидких кристаллов из отходов нефтехимии.

Один из "ирландцев" на конференции, Ацуо Фукуда (факультет электронной и электрической техники университета Дублина), наконец, разобрался со структурой антисегнетоэлектрических ЖК, перспективных для передачи в дисплеях полутоновой шкалы благодаря беспороговой и безгистерезисной вольт-контрастной характеристике, имеющей V-образную форму для напряжения любой полярности.

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ И УСТРОЙСТВА

Одним из самых примечательных докладов по прикладным проблемам стало сообщение Ки-Дон Ли, специалиста лаборатории дисплейных устройств корейского университета Донг-А в Пусане, посвященное ЖК-дисплеям с широким углом обзора. Он буквально по полочкам разобрал проблему, проиллюстрировав добротным математическим аппаратом с использованием сфер Пуанкаре множество конструкций устройств с большим числом оптических элементов и сложной конфигурацией пикселей с разной ориентацией ЖК. Венцом творения, по его мнению, стал четырехдоменный пиксель с вертикальной ориентацией ЖК, обеспечивающий высокий уровень контраста в широком диапазоне углов для всех основных цветов с учетом их полутонов.

Проблемы расширения углов обзора с помощью гибридных ячеек сложной конфигурации описала группа ученых Московского государственного областного университета (МГОУ) – В.Беляев, А.Соломатин и Д.Чаусов. Была рассмотрена задача расчета фазовой задержки необыкновенного и обыкновенного лучей, проходящих через ЖК-ячейку при разных граничных условиях

на обеих подложках, входящих в структуру дисплея, и углах падения света. Похожая структура гибридной ячейки использована в электрооптическом затворе, представленном учеными Санкт-Петербургского университета информационных технологий, механики и оптики Д.Вакулиным, Е.Коншиной и др. С помощью двухчастотного управления получена симметричная зависимость пропускания ячейки от времени при переключении в любую сторону. По сравнению с аналогичным затвором на основе антисегнетоэлектрического ЖК с V-образной характеристикой, это устройство проще и дешевле.

А обзор специалистов Корейского института передовой технологии и науки (KAIST), описавших возможность использования ориентирующего слоя ДНК при создании ЖК-дисплея, так и подмывает перенести из электрооптического в биологический раздел. В ЖК-дисплеях широко используется эффект планарного переключения (in-plane-switching, или IPS). Специалисты KAIST считают, что вместо обычного метода натирания ориентирующего слоя для получения нужной ориентации жидкого кристалла лучше использовать молекулы ДНК. Для этого молекулы ЖК укладывают под определенным углом в бороздки, образуемые спиральной структурой ДНК. Измерения электрооптических характеристик созданных по этой технологии дисплеев показали возможность ее применения в будущем для создания устройств на основе биоматериалов.

ЖК В ФОТОНИКЕ

Если раньше свойства ЖК регулировали с помощью лазерного излучения, то теперь ЖК-ячейки не только управляют параметрами пучка света, но и генерируют его. В Институте жидких кристаллов государственного университета Кента в штате Огайо и Национальном университете Чао Тунга (Тайвань) получены пучки света не только с круглым профилем, обычно формирующимся в гауссовом пучке, но и с квадратным, треугольным, пятиугольным профилями. Это достигнуто в результате течения ЖК-материала, которое возникает при его переориентации и дополнительно управляется градиентом температуры ячейки (так называемый эффект обратного течения). Под действием обоих факторов изменяется ориентация жидкого кристалла и, соответственно, его показатель преломления, благодаря чему формируется нужный профиль пучка.

Исследователи киевского института физики НАН Украины показали, что коллоиды поглощающих

фотостабильных наночастиц в изотропной фазе (жидкого кристалла или органического растворителя типа додекана) проявляют гигантскую оптическую нелинейность. Это явление – следствие светоиндуцированного эффекта Соре с разделением частиц из-за термодиффузии в пространственно неоднородном световом поле.

Совместными усилиями специалистов Института динамики и самоорганизации общества Макса Планка (Германия) и словенской школы физики жидких кристаллов (Института Й. Стефана и Люблянского университета) создан необычный лазер, выполненный на основе, по меньшей мере, жидкокристаллических фаз двух видов. Сначала формируют раствор амфифильных соединений, молекулы которых самоорганизуются в мицеллы, при этом головки молекул направлены внутрь мицелл, а хвосты – вне их. Сердечник мицеллы представляет собой топологический дефект цилиндрической формы, заполненный смектическим А ЖК с растворенным в нем флуоресцентным красителем, например красным нильским. К основанию мицеллы подводится лазерный пучок, который распространяется в этом своеобразном световоде. При интенсивности пучка около 75 мкДж/м^2 в ЖК с красителем генерируется лазерное излучение с другой длиной волны. Такое гибкое ЖК-оптоволокно можно использовать для создания мягких фотонных цепей.

Интерес участников конференции вызвал управляемый оптический фильтр на основе частично полимеризованного холестерического ЖК со сдвигом фотонной запрещенной зоны на 141 нм (очень большим) за 20–50 мкс (очень малое время), о котором сообщил представитель Гентского университета (Бельгия).

На рынке дисплеев жидким кристаллам противопоставляют органические светодиоды на основе самосветящихся материалов с ламбертовским излучением света и сверхбыстрым переключением, то есть материалов, лишенных недостатков жидких кристаллов (большие потери света в поляризаторах и оптических компенсаторах, сравнительно медленное переключение). Ранее пытались синтезировать жидкие кристаллы, излучающие свет под действием электрического поля. В Дублине сотрудники университета Ренна, компаний NSA Rennes и Télécom Bretagne (все Франция) рассказали об альтернативе органическим светодиодам – так называемых гибридных ЖК или кластомезогенах, образуемых в результате самоорганизации неорганических фотолюминесцентных красителей в ЖК. Излучение таких жидких кристаллов,

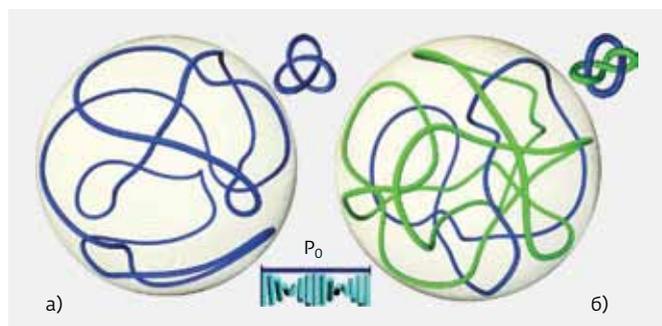


Рис.1. Свободно подвешенные узлы в каплях холестерических ЖК с гомеотропными граничными условиями и с силой дисклинации $-\frac{1}{2}$: трилистник (а) и белая голова (б). В качестве масштаба дан шаг холестерической спирали, P_0 – расстояние, на котором повторяется направление ориентации ЖК

как и обычных ЖК-ячеек, можно модулировать по интенсивности, но без дополнительных оптических элементов. Напряжение модуляции столь же низкое, как и у обычных ЖК.

В докладе представителя словенской школы физики жидких кристаллов теоретически и экспериментально показано, как в пассивных и активных нематических ЖК можно регулировать градиент температуры и дефекты структуры, действующие как направленные насосы. Управление микроскопическими потоками позволяет манипулировать коллоидными частицами в таких средах. В качестве примера наночастицы, сформированной и управляемой микропотоками, был показан узел, представляющий собой линию, накрученную на тор. Его вид сверху напоминает эмблему Всемирного фестиваля молодежи и студентов (кто-то помнит эти фестивали в Москве в 1957 и 1985 годы) с пятью лепестками. Все это предлагается использовать в новых оптических и фотонных структурах.

Представитель той же школы продемонстрировал свободно подвешенные узлы в каплях холестерических ЖК. В зависимости от структуры и условий получения они назывались трилистник (символ Ирландии), кольцо Соломона, белая голова и т.п. (рис.1).

НЕДИСПЛЕЙНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Органическая электроника

Одно из самых перспективных направлений недисплейного применения жидких кристаллов – органическая электроника. В этом случае жидкие кристаллы используются как органические

полупроводники для управления током тонкопленочных транзисторов или генерации тока в фотовольтаических элементах. Основное преимущество органических материалов по сравнению с материалами обычной электроники – возможность нанесения из раствора пленок с той же или более высокой подвижностью носителей заряда, что и у осажденных полупроводниковых пленок. Благодаря этому упрощается и удешевляется производство приборов, а также появляется возможность существенного уменьшения размеров элементов транзистора. Молекулы жидких кристаллов для такого применения часто имеют дискообразную форму. В результате эффектов самоорганизации молекулы упорядочиваются в колонки и слои, электрофизические свойства которых в разных направлениях различаются. В Дублине был представлен ряд докладов, посвященных таким свойствам.

Клаудио Заннони (президент международного жидкокристаллического общества и профессор Болонского университета Италия), особое внимание уделил использованию методов молекулярной динамики для теоретического описания и предсказания свойств жидких кристаллов. В своей лекции он обратился не только к традиционным темам (таким как фазовые переходы ЖК, физические характеристики веществ, широко используемых в дисплеях), но и описал свойства материалов для недисплейного применения. Использованное им и коллегами математическое моделирование позволяет рационализировать и оптимизировать молекулярную структуру веществ для этих приложений, а также предсказывать многие другие свойства ЖК – температуру фазовых переходов, упорядоченность, спектроскопические свойства. Важный вывод, сделанный учеными, – возможность предсказания поверхностной ориентации ЖК, которая раньше описывалась только эмпирическим путем.

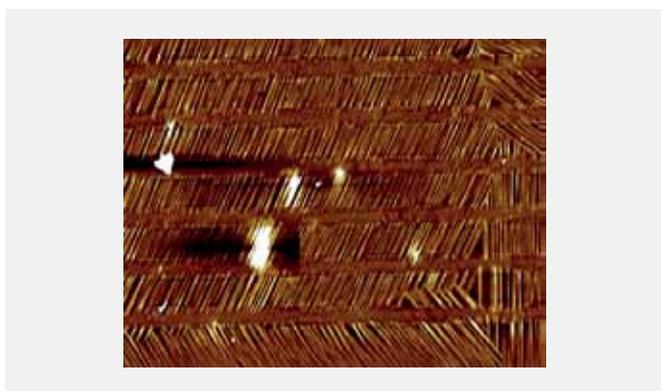


Рис.2. Самоорганизованные проволоки гексапентилоксифенилена (HAT5), осажденные из раствора в толуоле на кремниевую подложку с электродами для формирования поля в плоскости

Группа исследователей института промышленной химии Болонского университета, университета Бордо и лаборатории химии новых материалов университета Монс (Бельгия) сообщила о разработке рациональной стратегии молекулярного конструирования для повышения эффективности ЖК солнечных батарей.

В совместной работе специалистов трех японских научных заведений – университета Кагава, Национального института передовой промышленной науки и технологии Такамацу, Токийского института технологии, – а также Института исследования полимеров имени Макса Планка (Германия) исследовались процессы самоорганизации ЖК в вертикальные колонки и их влияние на подвижность носителей заряда.

С использованием бездефектной монокристаллической пленки ЖК, в которой молекулы упорядочены в ряд колонок, в Кентском институте жидких кристаллов в ходе изучения недисплейных приложений ЖК получены элементы, преобразующие свет в напряжение. А для решения задач динамической фотоники с помощью двух пучков света разных длин волн (видимого и УФ-спектра) создана структура с изменяемым шагом спирали.

В результате совместной работы специалистов Сеульского национального университета и Пизанского университета (Италия) из молекул дискотических ЖК сформированы молекулярные проволоки длиной до нескольких сотен микрометров, позволяющие переносить заряд по п-п связям молекулярных сердечников (рис.2).

Группа специалистов из Магдебургского университета им. Отто фон Герике (вспомните картинку из школьного учебника физики об атмосферном

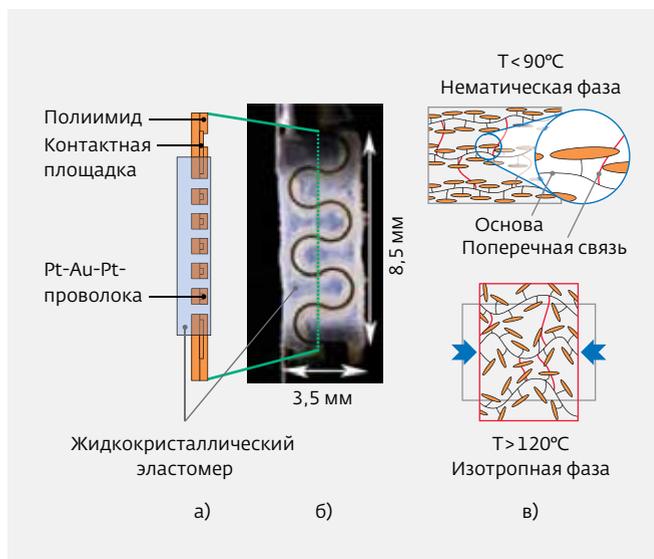


Рис.3. Применение пленки эластомера со встроенным проволочным термосопротивлением (а) в МЭМС-термоактуаторе (б) для перевода жидкого кристалла из нематической фазы в изотропную (в)

давлением) и Кентского института жидких кристаллов изучила формирование и свойства квазиодномерных образований – нитей (филаментов) с отношением длины к диаметру 100–7000. Они образуются под действием растягивающих и сжимающих напряжений в поляризованно модулированной колонкообразной (columnar) ЖК-фазе В7. В отличие от других одномерных жидких объектов, легко распадающихся на отдельные капли, эти нити стабильны.

Применение в МЭМС-датчиках

Как известно, жидкокристаллическая фаза существует в ограниченном температурном диапазоне. При нагреве выше температуры просветления ЖК переходит в изотропную фазу, в которой, как следует из ее названия, анизотропия свойств, в том числе показателей преломления, отсутствует. Но в лаборатории Леона Бриллюэна (Франция) именно в изотропной фазе обнаружен новый анизотропный эффект: под действием механического осциллирующего сдвигового напряжения появляется значительный обратимый и синфазный оптический отклик, связанный с двулучепреломлением. Это позволит создать новые механо-оптические датчики и затворы, работающие и при комнатной температуре. Авторы настаивают на том, что в связи с этим эффектом жидкость уже нельзя рассматривать как упругий материал. Нужно формулировать ее новую теорию.

Примером успешного сочетания возможностей химии и электроники стал термомикроактюатор на основе жидкокристаллического эластомера, разработанный в двух немецких высших учебных заведениях – Институте органической химии при Майнцком университете им. Иоганна Гутенберга и Институте микросистемной техники университета Фрайбурга. В пленку эластомера, представляющего собой разновидность полимерного ЖК, встроена проволока с высоким сопротивлением (рис.3). При прохождении тока она разогревается и нагревает жидкий кристалл, который переходит из нематической фазы в изотропную и сжимается в направлении, параллельном преимущественному направлению ориентации ЖК в нематической фазе. Пленка с размерами, приведенными на рисунке, может передвигать нагрузку массой 2 г на расстояние больше миллиметра, что для МЭМС-актюатора неплохой показатель.

Специалисты Каталонского института микроэлектроники и автономного Барселонского университета в сотрудничестве с коллегами из отдела науки и технологии здравоохранения компании ETH Zurich (Швейцария) на основе эффекта расширения ЖК-эластомера при нагреве создали актюатор, состоящий из отдельных колонок (рис.4), которые могут быть разной длины, что позволяет использовать актюатор для захвата мелких предметов.

Еще дальше продвинулись специалисты исследовательской лаборатории ВВС США и корпорации Azimuth (США), создавшие двумерный эластомер, фрагменты которого синтезированы с помощью реакций разного типа. Разработку назвали "ЖК-эластомерный актюатор, вдохновленный оригами*".

Датчики на основе ЖК

Интерес вызвало сообщение специалистов кафедры электрооптической техники Национального объединенного университета Тайваня о создании волоконно-оптического ЖК-датчика, реагирующего на различные физические и механические воздействия: температуру, давление, механическое напряжение, смещение, показатель преломления и т.п. На стыке двух одномодовых волокон размещена ЖК-ячейка, играющая роль интерферометра Маха-Цендера и препятствующая расхождению пучка света, выходящего из сердечника волокна (рис.5). Такие датчики отличаются

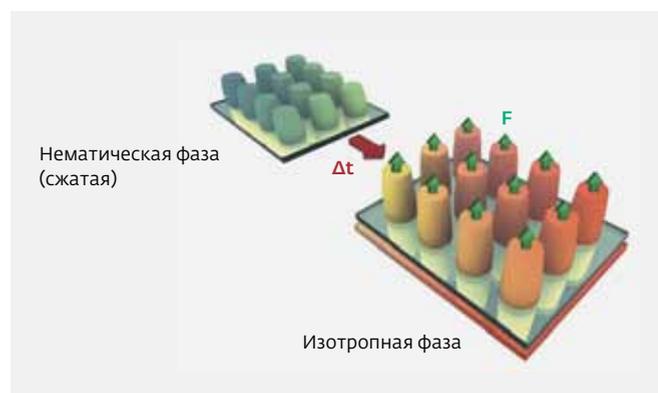


Рис.4. Принцип работы актюатора, состоящего из отдельных колонок, с использованием эффекта расширения ЖК-эластомера при нагреве

высокой чувствительностью (например, изменение температуры на один градус приводит к изменению оптической разности хода на 1,5 нм, что легко зарегистрировать). На них не оказывают влияния электромагнитные поля.

В совместной разработке Дублинского технологического института и колледжа Лондонского университета в качестве сверхчувствительных датчиков для мониторинга окружающей среды, управления промышленными процессами, медицинской диагностики использованы микроструктурированные волокна с ЖК-оболочкой. Такие компактные переключаемые фотонно-кристаллические устройства можно применять и в системах оптической связи.

В Фордхемском университете (США) при участии П. Шибаяева работают над созданием датчиков состояния окружающей среды на основе полимерных ЖК с боковыми группами ОН и СООН. В частности, планируется обнаружение с его помощью биологических объектов. Увеличение концентрации

* Оригами – вид декоративно-прикладного искусства; древнее искусство складывания фигурок из бумаги.

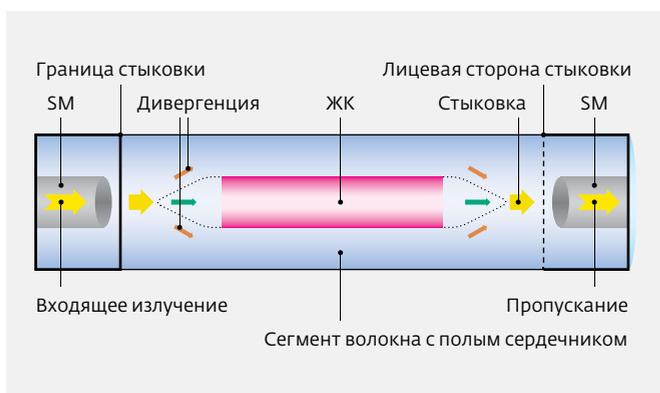


Рис.5. Устройство датчика на основе интерферометра Маха-Цендера с ЖК-ячейкой

полимерного ЖК в воде повышает чувствительность датчика по многим оптическим параметрам.

Наши коллеги с физического факультета Национального университета им. Тараса Шевченко (Киев) И.Пинкевич, В.Решетняк и В.Задорожный предложили ЖК-датчик поверхностного плазмонного резонанса, возникающего на границе раздела металл-диэлектрик при облучении светом. Если под пленкой металла поместить слой ориентированных наностержней (рис.6), чувствительность датчика значительно повышается. Его можно использовать для анализа химических и биологических структур. Работа выполнена совместно с сотрудниками исследовательской лаборатории ВВС США, находящейся на базе ВВС Райт-Паттерсон в штате Огайо.

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

Известный среди специалистов по жидким кристаллам профессор Йоркского университета (Великобритания), лауреат медалей Дж.Грея и В.К.Фредерикса Джон Гудби представил обзор, посвященный биомедицинским и биологическим приложениям ЖК. Среди актуальных современных направлений развития этой области он выделил фармацевтику, получение изображений клетки, биологические системы в материалах (например, биосовместимые полимеры) и процесс их биодеградации. По мнению ученого, особое внимание следует обратить на использование биосовместимых полимеров.

На нескольких факультетах Кентского университета, а также на химическом, фармакологическом и терапевтическом факультетах университета Манитобы (Канада) изучают новые композитные материалы, пригодные для замены человеческих

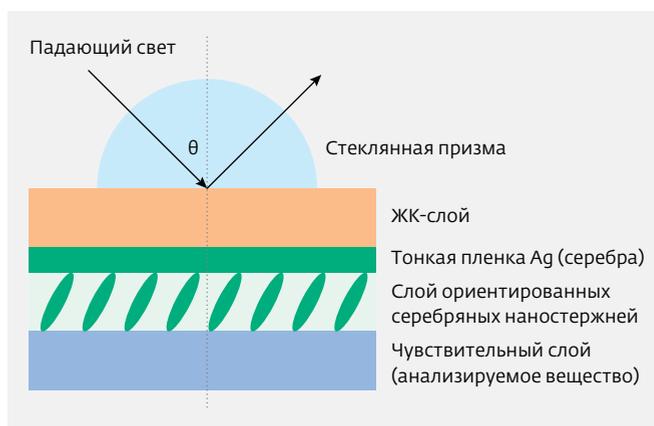


Рис.6. Схематическое устройство пятислойного датчика поверхностного плазмонного резонанса

тканей (костей, суставов, связок) и обеспечивающие функционирование и рост клеток при определенных физиологических условиях. В частности, синтезирован биосовместимый и биодеградируемый эластомер на основе смектического А ЖК с биомеханическими функциями. Эластомер испытан в качестве средства восстановления (регенерации) тканей, с помощью которого можно прикреплять, различать и воспроизводить клетки.

В Институте технологии в Фукуока (Япония) используют ДНК для формирования из минерала флуорогекторита двумерных наночастиц (нанолистков), образующих ЖК-фазу. Группа ученых из Колорадского университета в Боулдере и Миланского университета получила из наноолигомеров ДНК с четырьмя парами оснований ряд хиральных фаз, в том числе и синюю. А теорию самоорганизации таких коротких дуплексов развили в университетах Милана и Рима.

Специалисты Люблянского университета, Института исследования полимеров имени Макса Планка и университета Байройта (оба Германия), разработали новую модель нематико-изотропного перехода, в которой предпочтительное направление ориентации (директор) является не статической, а динамической характеристикой, то есть некоторая область жидкого кристалла имеет коллективную скорость и взаимодействует с другими областями. Эту модель можно приложить к другим системам, которые спонтанно переключаются с индивидуального (неупорядоченного) поведения на коллективное (упорядоченное). Примеры таких систем – стаи птиц или косяки рыб. Сформулирована теория связи ориентационного упорядочения и переноса. Понятие динамического предпочтительного направления ориентации

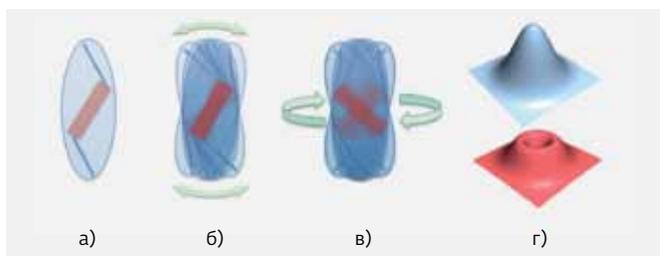


Рис.7. Иллюстрация углового вида распределения осей молекул смектиков де Фриза и их жестких сердечников: а – значительный наклон ароматического сердечника молекулы по отношению к ее оси; б – флуктуации наклона или в – вращения, приводящие к распределению ориентации осей жестких сердечников молекул вида "сахарная голова" или "вулкан" (г)

оказывается полезным и для описания коллективного упорядочения в системах, в которых в статическом состоянии отсутствует направление преимущественной ориентации, например, управляемого движения статических объектов. Авторы развили эту модель для описания роста ряда активных бактерий.

ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ЖК В КОСМОСЕ

30 июня состоялось совещание участников конференции с представителями космического агентства США (НАСА), на котором рассматривались вопросы изучения поведения жидких кристаллов в космических условиях, прежде всего в условиях невесомости. Реализуется программа обеспечения лучшего понимания поведения ЖК в условиях пониженной гравитации и поиска новых ЖК-систем с улучшенными свойствами. Предусмотрено участие в программе специалистов из разных стран. Планируется изучить статические и динамические характеристики различных самоорганизующихся одно-, двух- и трехмерных структур – капель, пузырьков, свободно подвешенных пленок, наночастиц. Объекты будут управляться различными способами – электрическим полем, оптическим пинцетом, струйками воздуха.

* * *

В кратком обзоре невозможно отразить все интересные доклады. Поэтому еще раз отметим активность участников из России: Т.Шабатиной – хиральные метало-мезогены; А.Воробьева – использование электронно-парамагнитного резонанса для изучения тончайших деталей упорядоченности ЖК; С.Торговой – устойчивая к механическим воздействиям ориентация сегнетоэлектрических

ЖК и др., а также российских ученых, работающих за рубежом. Так, профессор В.Чигринов (Университет науки и технологий Гонконга) рассказал о работах в области фотоанизотропных материалов, выполненных на чрезвычайно высоком уровне (одного из его учеников, участвовавшего в этих работах, наградили премией для молодых ученых). Профессор из университета Стречклайд (Глазго) М.Осипов выполнил с учеными из европейских стран ряд работ, отличающихся как высоким научным содержанием, так и доступностью. В названии одной из дублинских публикаций для иллюстрации углового вида распределения осей молекул смектиков де Фриза (de Vries) и их жестких сердечников соответственно значатся и сахарная голова, и вулкан (рис.7).

Таких примеров в Дублине было множество, и теперь важно поддержать достигнутый уровень на следующей 26-й международной конференции по жидким кристаллам, которая состоится в 2016 году в Институте жидких кристаллов (США).

Участие автора в конференции 2014 года обеспечено из средств, предоставленных по гранту РФФИ № 13-07-00574-а.