

АНИЗОТРОПНЫЕ МАТЕРИАЛЫ: СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

Безбородов В.С.¹, Михалёнок С.Г.¹,
Кузьменок Н.М.¹, Тальрозе Р.В.², Лапаник В.И.³

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск

²Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, Москва

³НИИ прикладных физических проблем БГУ, Минск

Обсуждена и рассмотрена перспектива применения жидкокристаллических и анизотропных материалов в микро- и наноэлектронике. Показано, что анизотропные, жидкокристаллические соединения и материалы на их основе могут быть получены из различных полифункциональных органических соединений, биополимеров. Показано, что разработка, исследования анизотропных материалов, изучение процессов их самоорганизации, создание разнообразных устройств на их основе, включая электрооптические устройства отображения, сенсоры, датчики, являются одним из перспективных направлений развития современного материаловедения и приборостроения.

Методология создания новых материалов включает два подхода, основанных на варьировании составов систем, используемых в качестве прекурсоров (исходного сырья) или варьировании процессов, включая синтез и условия последующей обработки полученных продуктов.

Очевидным подходом к контролю структуры систем является управление градиентными полями (1), определяющими силы притяжения и отталкивания ее элементов, а также, по нашему мнению, использование анизотропных материалов (2), которые будут способствовать созданию наведенной анизотропии, самоорганизации и упорядочиванию системы (рис. 1).

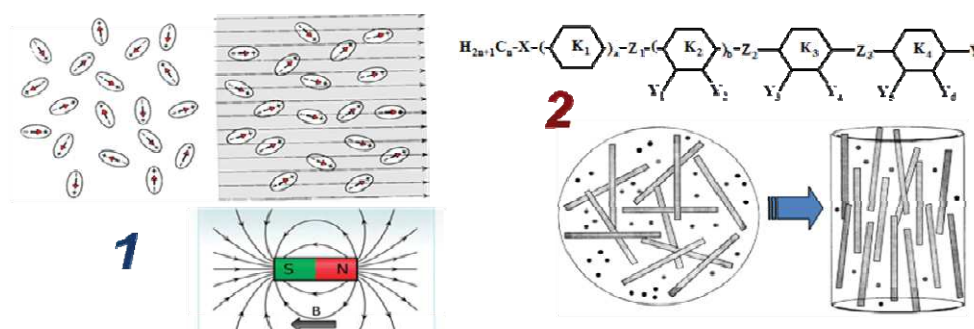


Рис. 1. Организация и упорядочение систем

Учитывая, что большинство природных соединений и биополимеров – полисахариды, липиды и мембраны клеток, гликопротеины и полипептиды, РНК и ДНК характеризуются анизотропными свойствами; что возникновение жизни на Земле может являться результатом химической эволюции (теории В.И. Вернадского, А.И. Опарина, Дж. Холдейна); что само-

организация динамических структур (диссипативных), химических систем и органических молекул (теории И.Р. Пригожина [1], П.Ж. де Жена, ячейки К.А. Бенара) также является одним из возможных путей эволюции, мы предлагаем при разработке новых материалов и структур одновременно с условиями их получения рассматривать и учитывать **фактор (роль) анизотропии** – анизотропную форму молекул и анизотропию их свойств; самоорганизацию химических систем и органических молекул, обуславливающих региоселективность протекания реакций и образования комплементарных структур (супрамолекулярная химия). Несомненно, что фундаментальный фактор анизотропии является определяющим в развитии современного материаловедения, в создании новых поколений материалов с заданными физико-химическими свойствами, устройств и приборов на их основе.

Предлагаемые подходы получения новых материалов и анизотропных веществ, моделирования различных процессов базируются на закономерностях эволюционного развития природных органических соединений; многочисленных данных, полученных в последние десятилетия при изучении жидких кристаллов и упорядоченных сред [2]; на использовании анизотропии молекул полифункциональных соединений для дизайна новых молекулярных структур (инженерия молекул), пленок, жидких кристаллов, мембран, мицелл и т. д.; для создания анизотропных ансамблей молекул и биологических систем (таблица).

Таблица. Использование анизотропных материалов и самоорганизующихся систем

Самоорганизующиеся системы	Применение
Атомные, ионные и молекулярные кристаллы	Материалы для оптоэлектроники
Упорядоченные монослои	Сенсоры, материалы для наноэлектроники
Липидные слои и пленки	Биомембраны, липосомы, анизотропные композиции для транспортировки лекарств
Упорядоченные ионные слои и полимеры	Наноструктурированные маски, трафареты
Жидкие кристаллы	Дисплеи, мониторы, экраны

Мы полагаем, что для синтеза как известных, так и новых анизотропных карбоциклических и гетероциклических соединений, имеющих выраженную стержнеобразную форму молекул и характеризующихся их ориентационной упорядоченностью, целесообразно использовать полифункциональные анизотропные соединения [3]. Доступность и многообразие ис-

ходных реагентов, высокие выходы продуктов реакций, возможность модификации функциональных групп и фрагментов различными реагентами позволяют целенаправленно проводить синтез соединений с желаемой комбинацией алкильных, циклических, мостиковых фрагментов; необходимым количеством и положением атомов галогенов, гидроксигрупп, других функциональных или полярных групп в центральной и терминальных частях молекул.

Особый интерес и место в современном материаловедении занимают также природные вещества и анизотропные биополимеры. Комплекс свойств, характерный для них, позволяет создавать модифицированные материалы с уникальными параметрами и широким спектром практического использования [4]. Наиболее распространенными анизотропными биополимерами на планете являются структурные аналоги – целлюлоза и хитин. Высокая их механическая прочность обусловлена образованием супрамолекулярных структур из полидисперсных линейных полимерных цепей, закрепленных сильными межмолекулярными водородными связями, которые позволяют создавать уникальные легкие и сверхпрочные материалы, сравнимые по свойствам с металлами.

Элементами надмолекулярной структуры целлюлозы являются длинные наноразмерные нити – фибриллы, сформированные чередующимися кристаллическими и аморфными фрагментами, доля и размеры которых зависят от происхождения целлюлозы. Обработка целлюлозы кислотой (серной, соляной, фосфорной и др.) приводит к селективному гидролизу аморфных фрагментов и образованию индивидуальных нанокристаллических стержнеобразных частиц – нанокристаллической целлюлозы (НКЦ) [4]. Частицы НКЦ характеризуются анизотропной формой, размеры которых в зависимости от происхождения целлюлозы, условий гидролиза и последующей обработки варьируются от 10 до 1000 нм в длину.

Анизотропные свойства и хорошее упорядочение молекул целлюлозы дают возможность получать оригинальные высокоупорядоченные композиты с широким спектром практического использования путем включения биополимера в различные матрицы. Использование углеводных строительных блоков НКЦ в структуре матрицы позволяет не только улучшать мезоморфное поведение и свойства, но и контролировать упорядоченность структуры, биологическую функциональность.

Микро- и нанокристаллическая целлюлоза была успешно использована для замены различных элементов конструкций, связующих и активных материалов (электролитов) источников тока, устройств накопления и сохранения энергии: конденсаторов, литий-ионных батарей, солнечных панелей и т. д. Ожидается, что использование нанокристаллической целлюлозы в качестве функциональных составляющих и компонентов современных энергетических устройств и систем, дисплеев и устройств отображения информации приведет к новой парадигме развития инновационных материалов с

широким спектром практического использования. Данное предположение и перспектива более широкого использования целлюлозных наноматериалов в различных областях науки и техники основаны на новых подходах к их функционализации, модификации, упорядочению и самоорганизации.

Многие из (био)датчиков скоро будут созданы на основе природных анизотропных наноматериалов и это поколение (био) сенсорных платформ может революционизировать обычные технологии зондирования. Более широкое использование других анизотропных веществ в разработке и создании новых поколений материалов и устройств приведет к появлению эффективных и универсальных технологий создания батарей, суперконденсаторов, топливных элементов, других простых, экономичных оптических/электрических аналитических устройств (датчиков) с широким спектром практического использования (рис. 2).



Рис. 2. Применение функциональных анизотропных материалов

Следует добавить, что в настоящее время интенсивно развиваются исследования анизотропных нанокompозитов, предназначенных для создания новых поколений материалов и перспективных для использования в микро- и наноэлектронике (рис. 3).

В качестве вариантов формирования структурированных материалов на поверхностях несомненный интерес представляет способ создания ориентации молекул на упорядоченных наносетчатых пленках алюминия, оксидов In_2O_3 и SnO_2 (ITO), сформированных методом электрохимического анодирования, поры которых могут иметь различные диаметр, глубину и поверхностный рельеф.

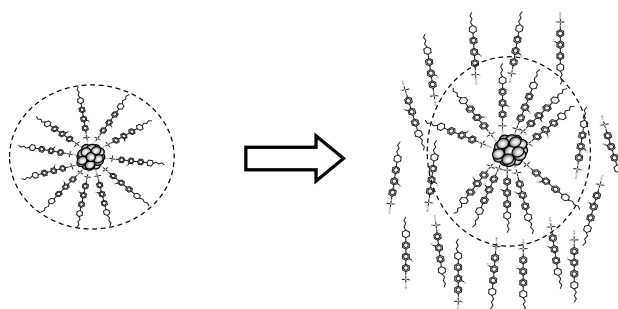


Рис. 3. Анизотропные нанокомпозиты

Было установлено, что модификация поверхностей, создание и формирование структурированных пленок с диаметром пор 50–200 нм позволяет получать однородную ориентацию молекул анизотропных материалов и жидких кристаллов (ЖК). Используя данные плёнки в качестве ориентирующих поверхностей, можно достичь улучшения качества ориентации молекул ЖК, временных и электрооптических параметров жидкокристаллических устройств отображения информации.

При этом по сравнению с традиционными методами создания ориентирующих покрытий, электрохимическое анодирование, позволяющее получать различные плёнки с регулярной рельефной поверхностью, является более простым и экономичным методом.

Комбинация анизотропных материалов, плёнок и поверхностей, характеризующихся упорядоченной рельефной структурой, открывает новый подход к разработке и созданию различных высококачественных устройств отображения с улучшенными параметрами.

Таким образом, анизотропные свойства и хорошее упорядочение молекул анизотропных веществ и материалов дают возможность получать оригинальные высокоупорядоченные композиты, которые могут быть использованы в микро- и наноэлектронике для создания разнообразных устройств на их основе, включая электрооптические устройства отображения, сенсоры, датчики.

Анализ литературных данных и проведенные исследования показали, что среди потенциальных материалов и устройств, которые могут быть получены с использованием свойств анизотропных материалов, структурированных и упорядоченных поверхностей, следует отметить:

- легкие и прочные композитные материалы (нити, пленки и т. д.);
- структурированные пленки и поверхности;
- гибкие экраны;
- датчики и сенсоры.
- электрооптические устройства отображения информации.

Очевидно, что изучение анизотропных соединений, природных материалов, процессов самоорганизации в физико-химических системах, использование моделей биоэволюции являются основой развития современного материаловедения и приборостроения. В этой связи возникает необходимость перейти от химии индивидуальных молекул к супрамолекуляр-

ной химии анизотропных соединений, а именно, новому направлению исследований – **анизотропному материаловедению** и детальному изучению **процессов самоорганизации**, лежащих в основе создания природных материалов и жизни на Земле.

Предлагаемая методология является креативной, имеет целый ряд отличительных достоинств, в сравнении с традиционными методами получения аналогичных структур и их практического использования. Можно констатировать, что анизотропные материалы и системы стали находить применение во всех сферах жизнедеятельности человека: медицине, электронике. В наших силах можно лишь предугадывать научную и практическую значимость, потенциал анизотропных материалов и упорядоченных систем, поскольку именно эта область будет ограничиваться природой мышления человека и его фантазиями. Очевидно, что анизотропные природные материалы, способность их к самоорганизации выполняют огромную роль с момента мироздания всего живого на планете, а может и за её пределами.

Литература

- [1] Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979. 512 с.
- [2] Безбородов В.С. Химия жидкокристаллических материалов / В.С. Безбородов. – Мн.: БГТУ, 2017.– 277 с.
- [3] Bezborodov V.S., Mikhalyonok S.G., Kuz'menok N.M., Lapanik V.I., Sasnouski G.M. Liquid Crystals. v. 42, p.1124-1138, 2015.
- [4] Peng B.L., Dhar N., Liu H.L., Tam K.C., Can. J. Chem. Eng. v. 99 (5), p. 1191–1206. 2011.

ANISOTROPIC MATERIALS: PROPERTIES, APPLICATION IN MICRO- AND NANOELECTRONICS

Bezborodov V.S., Mikhalevich S.G., Kuzmenok N.M., Talroze R.V., Lapanik V.I.

Belarusian State Technological University, Minsk
A.V.Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, RAS, Moscow
Institute of Applied Physical Problems of BSU, Minsk

The prospects for the use of liquid crystalline and anisotropic materials in micro- and nanoelectronics are discussed and considered. It has been shown that anisotropic liquid crystalline compounds and materials based on them can be obtained from various polyfunctional organic compounds and biopolymers. It is shown that the development and research of anisotropic materials, the study of their self-organization processes, the creation of various devices based on them, including electro-optical display devices, sensors, sensors, are one of the promising areas for the development of modern materials science and instrument engineering.