

07

## Структурирование жидкокристаллической мезофазы, вызванное введением эритроцитов

© А.А. Каманин, Н.В. Каманина

Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова  
E-mail: AlexKamanin@yandex.ru  
ФГУП „Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова“, С.-Петербург  
Государственный электротехнический университет („ЛЭТИ“), С.-Петербург  
Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики  
E-mails: nvkamanina@hotmail.com  
kamanin@ffm.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 21 декабря 2005 г.  
В окончательной редакции 13 февраля 2006 г.

На примере влияния зарядовых структур — эритроцитов крови человека впервые показано структурирование нематической жидкокристаллической мезофазы при введении биологических компонентов, не являющихся электронейтральными. Дискутируется, что эффект вполне закономерен и не противоречит ранее полученным результатам по структурированию нематиков при введении фуллеренсодержащих комплексов с переносом заряда.

PACS: 61.25.-f, 87.14.-g

**Введение.** В настоящее время в связи с широким развитием органической микро- и наноэлектроники, имеющей ряд преимуществ перед неорганическими твердотельными композициями, получили распространение новые среды, активированные введением наноструктур, например фуллеренов или нанотрубок [1–3]. Эти среды и устройства на их основе обладают достаточной величиной оптической нелинейности, эффективно проявляют свои уникальные свойства при слабых внешних воздействиях, технологичны в исполнении и дизайне, имеют высокую однородность, проявляют устойчивость к внешним воздействиям, имеют

долгий срок службы, хорошие пороговые характеристики и относительно низкую стоимость.

Среди указанных выше сред нематические жидкокристаллические структуры занимают особое место, поскольку функционируют при малых значениях напряжения питания, обладают хорошим контрастом, достаточным быстродействием, а также допускают изменение своих свойств не при смене различных видов сенсibilизаторов, а путем варьирования концентрации одного из них — фуллеренов и фуллеренсодержащих комплексов с переносом заряда, а также нанотрубок.

Физический механизм действия фуллеренов на изменение оптических свойств органических нанокомпозитов, в том числе нематических жидких кристаллов, основан на изменении поляризуемости среды при введении фуллеренов [4,5], что предполагает ускорение процессов переориентации анизотропных молекул в поле мощной поляризованной световой волны; с химической точки зрения результат взаимодействия основан на обратимой модификации молекул фуллеренов при световом воздействии, связанный с переходом от нейтральной молекулы  $C_{60}$  или  $C_{70}$  в их ион-радикал  $C_{60}^-$ ,  $C_{70}^-$  [6]. Со стороны изменения структуры нематической жидкокристаллической мезофазы происходит переход нематика в квазисмектик, температура фазового перехода смещается с 61 до 48 градусов, регистрируется появление двуосности системы, существенное изменение в укладке молекул жидкого кристалла по двумерным областям, проявляется изменение параметра порядка нематического жидкого кристалла, показанное, например, в [7]. Как результат, изменяются параметры по фоторефрактивному и быстродействию новых жидкокристаллических материалов; эти параметры существенно превосходят таковые для матричных компонентов и ставят композиции с введенными микро- и нанообъектами в ряд структур наряду с кремниевыми, широко используемыми как в нелинейной оптике, так и в солнечной энергетике, абсорбционной спектроскопии, фотонике, медицине.

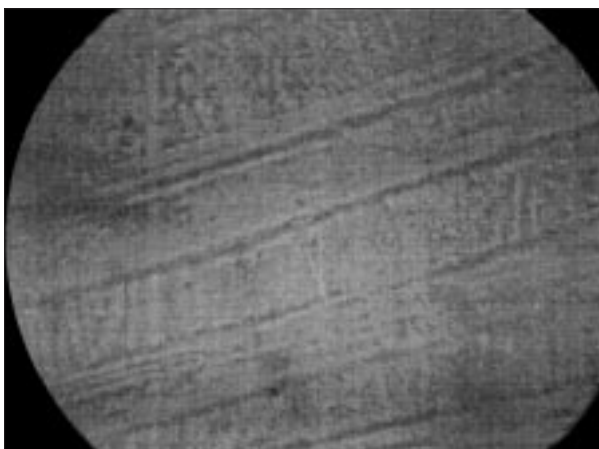
**Постановка задачи.** Дальнейшее исследование электрооптических сред, позволяющих, с одной стороны, обнаружить и изучить процессы структурирования жидкокристаллической мезофазы, индуцированные введением новых зарядовых систем — неэлектронейтральных биообъектов, например, эритроцитов крови человека, а с другой стороны, исследовать возможность определения конфигурации эритроцитов путем визуализации их формы и дальнейшего ориентирования в жидкокристаллической матрице.

**Экспериментальные условия и основные результаты.** Для исследований были приготовлены стеклянные ячейки, собранные в *S*-конфигурации, толщина зазора составляла  $10\ \mu\text{m}$ . В качестве иммерсионной жидкокристаллической мезофазы были использованы нематические жидкие кристаллы из класса цианобифенилов. После забора крови у больного из периферической вены в вакутейнер, пробирка с кровью помещалась в центрифугу. Центрифугирование проходило в течение 3 минут на скорости 1500 оборотов в минуту. После снятия крышки с вакутейнера, шприцем с иглой из пробирки забиралась сыворотка крови. Другим одноразовым шприцем с иглой забиралось  $0.1\ \text{ml}$  жидких кристаллов, после чего в тот же шприц вводилось  $0.01\ \text{ml}$  с поверхности кровяного остатка, содержащего преимущественно эритроциты. Шприц медленно переворачивался в горизонтальной оси для смешивания составляющих компонентов. Тонкий слой смеси вводился в стеклянную ячейку за счет капиллярных сил до полного заполнения жидкокристаллической ячейки.

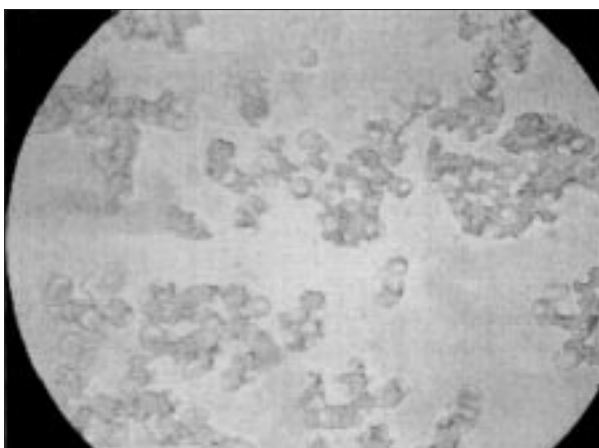
Для изучения процессов структурирования использовался микроскоп ПОЛАМ Р-312 разработки ЛОМО, исследования выполнены в поляризованном свете, увеличение составляло около 400 крат.

Основные результаты настоящих экспериментов представлены на рис. 1–5. На рис. 1 представлена фотография, иллюстрирующая общий вид чистого нематического жидкого кристалла. Видна одноосность системы, показано, что жидкокристаллические диполи уложены вдоль бороздок, созданных при натирании ориентирующих поверхностей на обеих сторонах стеклянных подложек, используемых для склеивания экспериментальных ячеек. На рис. 2 показана укладка клеток крови — эритроцитов — в неориентированной жидкокристаллической среде. Рис. 3 показывает начальный этап структурирования нематического жидкого кристалла при введении клеток крови — эритроцитов. На фотографии (рис. 4) показано, то эритроциты ориентируются в жидкокристаллической среде, повторяя выстраивание жидкокристаллических диполей; снимок сделан при частичной недофокусировке, чтобы установить расположение клеток крови в создаваемых при структурировании доменах. Картина конечного структурирования жидкокристаллической мезофазы, стимулированная введением зарядовых биообъектов — эритроцитов показана на рис. 5. Последний снимок сделан через 30 дней после установившегося термодинамического равновесия в системе.

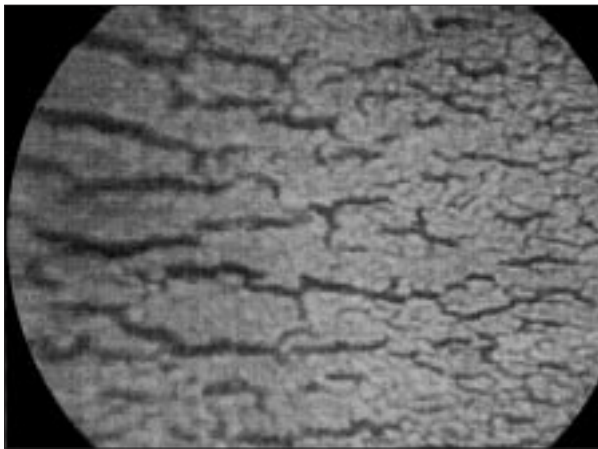
Анализируя данные, представленные на рис. 1–5, можно сказать следующее. Появление двусности системы, разбиение на отдельные до-



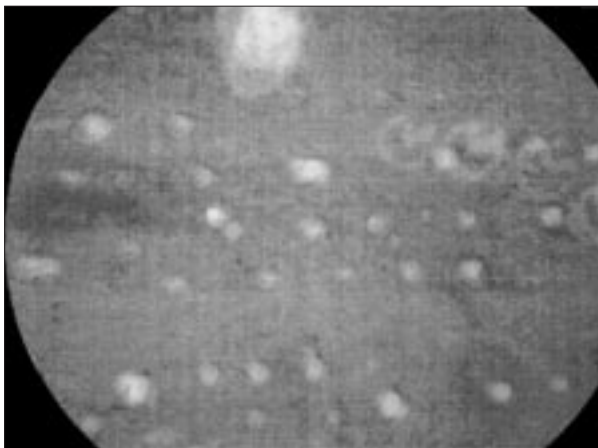
**Рис. 1.** Укладка молекул нематического жидкого кристалла вдоль геометрического рельефа, созданного натиранием.



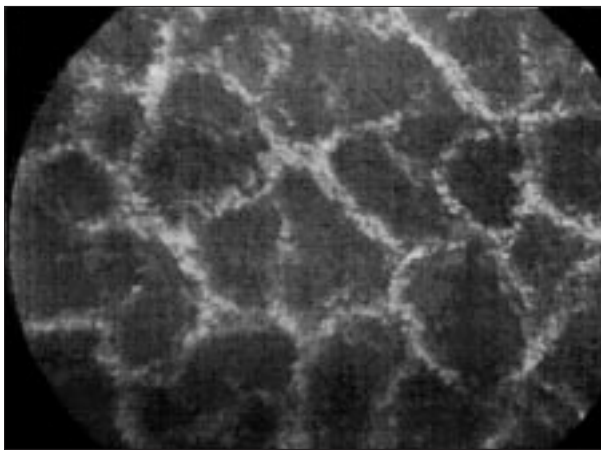
**Рис. 2.** Распределение эритроцитов в неориентированной жидкокристаллической среде.



**Рис. 3.** Начальный этап структурирования нематического жидкого кристалла при введении эритроцитов.



**Рис. 4.** Выстраивание эритроцитов по направлению ориентирования директора жидкого кристалла (вытягивание вдоль горизонтального направления) — снимок получен при частичной недофокусировке.



**Рис. 5.** Конечный этап структурирования нематического жидкого кристалла при введении эритроцитов (через 30 дней наблюдения за процессом структурирования).

мены определенно связано со взаимодействием двух зарядовых систем: жидкокристаллических диполей и клеток крови. Действительно, нарушение электронейтральности жидкого кристалла происходит за счет влияния поляризационного рельефа поверхности, а влияние зарядовой оболочки клетки крови определяется изменением протеинов внутри клетки. По-видимому, дипольный момент валентного колебания связи  $C \equiv N$ , ориентированной вдоль длинной оси жесткого ядра молекулы жидкого кристалла, оказывается нескомпенсированным, вызывая притяжение клеток крови, которые ориентируются вдоль границ неоднородности жидкокристаллической мезофазы, с одной стороны, повторяя распределение жидкокристаллических молекул, с другой стороны, вызывая более сложные процессы, связанные с изменением параметра порядка нового жидкокристаллического композита.

Стоит сказать, что клетки крови реагируют на различные процессы, происходящие в организме человека под воздействием внешних и внутренних факторов. Происходит изменение числа и активности циркулирующих в крови клеток, состояния жидкой фазы, реактивности этих составных частей. При этом наряду с количественным содержанием гемоглобина и цветным показателем крови (т.е. среднее

содержание гемоглобина в одном эритроците) важным параметром состояния организма человека является конфигурация красных кровяных телец — эритроцитов. Определение конфигурации эритроцитов путем их визуализации простым способом и подбор иммерсионной среды — может стать одним из возможных практических применений данного исследования для медицинских целей. Заметим, что здоровая клетка красной крови человека имеет дискоидную форму. Трансформация эритроцитов может быть вызвана энергетическим и иммунологическим дисбалансом. Увеличение числа трансформированных клеток определяет негативную динамику и ведет к ряду патологических процессов в организме человека. С одной стороны, удачный выбор среды, в которую помещены эритроциты, может способствовать достаточно простому определению как числа клеток, так и их формы. Последнее утверждение имеет достаточно веское обоснование, поскольку заметим, что совокупность таких факторов, как наличие слабых дисперсионных сил между молекулами жидких кристаллов, а также высокая ориентирующая способность, позволили нам ранее предложить нелинейную жидкокристаллическую среду для визуализации, фиксирования и ориентирования клеток крови человека [8]. С другой стороны, эритроциты представляют собой сложный объект, в котором изменение протеинов внутри клетки способствует изменению зарядового рельефа на ее оболочке, поэтому введение незэлектронейтрального объекта в электрооптическую среду на основе жидкого кристалла должно вызывать изменение в укладке молекул жидкого кристалла, вызывая как его новое структурирование, так и, возможно, изменение параметра порядка. Со стороны исследования клеток крови также может быть получена полезная информация, связанная с тестированием зарядового рельефа на поверхности клетки, а также идентифицирующая изменение конфигурации клетки при различного рода нарушениях в организме человека при условии воздействия внешней среды.

**Заключение.** Таким образом, данным циклом исследований установлено, что на процессы структурирования нематической жидкокристаллической мезофазы может оказывать влияние не только введение красителей, фуллеренсодержащих комплексов с переносом заряда, но и биологических незэлектронейтральных объектов, например эритроцитов крови человека. Представляется перспективным проведение дальнейших исследований в указанном направлении с привлечением методов динамической голографии для изучения процессов дифракции на созданной упорядоченной двуслойной структуре, а также изучение изменения

параметра порядка нематического жидкого кристалла с эритроцитами методом ядерного магнитного резонанса. Проводимое исследование может быть полезно непосредственно для медицинских целей для визуализации изменения формы клеток крови человека как при использовании чистой нематической жидкокристаллической мезофазы, так и при использовании фуллеренсодержащих жидких кристаллов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 04-03-32249, ФЦП НТБ программы, проект „Лимитер“, ведомственной программы „Развитие научного потенциала высшей школы“ на 2005 г., проект № 75112.

Авторы благодарят Ю.А. Зубцову за помощь в сборке жидкокристаллических ячеек.

## Список литературы

- [1] *Wang P., Ming H., Xie J., Zhang W., Gao X., Xu Zh., Wei X.* // Optics Communications. 2001. V. 192. Iss. 3–6. P. 387–391.
- [2] *Valentini L., Kenny J.M.* // Polymer. 2005. V. 46. Iss. 17. P. 6715–6718.
- [3] *Chan Ch., Crawford G., Gao Y., Hurt R., Jian K., Li H., Sheldon B., Sousa M., Yang N.* // Journal: Carbon. 2005. V. 43. Iss. 12. P. 2431–2440.
- [4] *Каманина Н.В.* // Успехи физических наук. 2005. Т. 175. № 4. С. 445–454.
- [5] *Kamanina N.V., Zubtsova Yu.A., Shulev V.A., Mikhailova M.M., Denisyuk A.I., Butyanov S.V., Murashov S.V., Sapurina I.Yu.* // Solid State Phenomena. 2005. V. 106. P. 145–148.
- [6] *Каманина Н.В., Шека Е.Ф.* // Оптика и спектроскопия. 2004. Т. 96. № 4. С. 659–673.
- [7] *Каманина Н.В., Комолкин А.В., Евлампиева Н.П.* // Письма в ЖТФ. 2005. Т. 31. В. 11. С. 65–70.
- [8] *Каманина Н.В., Кидалов В.Н.* Патент России № 2112264 (RU 2112264 C1), приоритет от 01.07.96.