

ФТТ-2016

***АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА***



**СБОРНИК ДОКЛАДОВ
Международной научной конференции**

22-25 ноября 2016 г., Минск

Том 3

УДК 539.21(082)
ББК 22.37я43
А43

Редакционная коллегия:
Акад. *Н.М. Олехнович*(пред.);
д-р. физ.-мат. наук *В.Ф. Гременок*; д-р. физ.-мат. наук *С.Е. Демьянов*;
канд. физ.-мат. наук *О.В. Игнатенко*; чл.-корр. *Ф.П. Кориунов*;
д-р. физ.-мат. наук *Г.И. Маковецкий*; канд. физ.-мат. наук *А.В. Мудрый*;
д-р. физ.-мат. наук *А.П. Сайко*; член-корр., д-р. физ.-мат. наук *И.О. Троянчук*;
член-корр., д-р. физ.-мат. наук *В.М. Федосюк*; д-р. физ.-мат. наук *А.У. Шелег*;

А 43 **Актуальные проблемы физики твердого тела:** сб. докл. Междунар. науч. конф., (Минск, 22-25 нояб. 2016). В 3 т. Т. 3. / ГНПО «ГНПЦ НАН Беларуси по материаловедению»; ред. колл.: Н.М. Олехнович (пред.) [и др.]. – Минск : Ковчег, 2016. – 274 с.

ISBN 978-985-7162-48-2.

В сборнике опубликованы доклады, представленные на Международной научной конференции по актуальным проблемам физики твердого тела. В нем изложены результаты новейших исследований по проблемам физики магнетизма, полупроводников, диэлектриков и сегнетоэлектричества. Значительное число докладов посвящено вопросам практического применения разработанных материалов, технологий и устройств.

Материалы докладов одобрены и рекомендованы к опубликованию организационным комитетом конференции и печатаются в виде, представленном авторами, без дополнительного редактирования.

УДК 539.21(082)
ББК 22.37я43

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ
Международной научной конференции
22 – 25 ноября 2016 г., Минск**

В трех томах
Том 3

Ответственные за выпуск *А.В. Мудрый, А.М. Живулько., Н.В. Шакина, Е.Л. Труханова*
Компьютерная верстка *А.М. Живулько, О.Ф. Демиденко, В.Д. Живулько*

Подписано в печать 01.11.16. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 31,8. Уч.-изд. л. 27. Тираж 30 экз. тв. копий + 220 экз. на элект. нос. Зак. 199.

Выпущено по заказу ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению».
Издатель и полиграфическое оформление ООО «Ковчег». ГРИИРПИ № 1/381 от 01.07.2014.

ISBN 978-985-7162-51-2 (Т.3)
ISBN 978-985-7162-48-2

©ГНПО «ГНПЦ НАН Беларуси по
материаловедению», 2016
©Оформление. ООО «Ковчег», 2016

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ В КАПЛЯХ ХИРАЛЬНОГО НЕМАТИКА С ГОМЕОТРОПНЫМ СЦЕПЛЕНИЕМ

^{1,2}Краханев М.Н., ²Гардымова А.П., ³Лойко В.А., ¹Зырянов В.Я.

¹ФГБУН Институт физики им. Л.В. Киренского, Красноярский научный центр, Сибирское отделение Российской академии наук, 660036 Россия, г. Красноярск, Академгородок, 50, e-mail: kmn@iph.krasn.ru

²Сибирский федеральный университет, 660041 Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

³Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, 220072 Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 68, e-mail: loiko@dragon.bas-net.by

Ориентационная структура в каплях хиральных жидких кристаллов (ХЖК) зависит от преимущественной ориентации директора на межфазной границе, силы сцепления, соотношения шага спирали ХЖК p и диаметра капли d [1]. На сегодняшний день экспериментально и теоретически хорошо изучены капли ХЖК для различных соотношений d/p при условиях сильного тангенциального и слабого сцеплений [2-4]. Капли ХЖК с сильным гомеотропным сцеплением менее изучены. Так, в работах [1, 5] были исследованы капли с соотношением $d/p \gg 1$, для которых наблюдалась структура с биполярным распределением оси ХЖК. При этом в теоретической работе [5] отмечается, что капли ХЖК с гомеотропными граничными условиями могут содержать топологические линейные дефекты, соответствующие ориентационному упорядочению директора и оси ХЖК. Так, например, для случая $d/p \gg 1$ при биполярном распределении оси ХЖК вблизи поверхности капли формируется линейный дефект силой $-1/2$, имеющий вид двойной спирали. В работе [7] предсказано также, что в случае $d/p \sim 1$ в каплях могут реализовываться различные метастабильные топологические состояния, зависящие от значения соотношения d/p и характеризующиеся количеством и формой топологических дефектов. Недавно были представлены экспериментальные исследования капель ХЖК с гомеотропными граничными условиями [6, 7]. В работе [6] было показано, что топология капель существенно зависит от соотношения d/p , однако детального анализа наблюдаемых ориентационных структур и описания топологических дефектов проведено не было. В работе [7] методом люминесцентной конфокальной микроскопии было показано, что в каплях ХЖК с соотношением $d/p \sim 1$ формируется линейный дефект силы $+1$. В данной работе проведены экспериментальные исследования ориентационных структур капель капсулированного полимером ХЖК (КПХЖК), имеющего гомеотропное сцепление с полимерной матрицей.

Исследовались КПХЖК пленки на основе полиизобутилметакрилат (PiBMA) и нематика E7, допированного холестерилацетатом (ХЗ). Весовое соотношение компонент ХЖК E7 : ХЗ = 97 : 3, равновесный шаг спирали ХЖК, измеренный по капельному методу [8], $p_0 = 5.5$ мкм. Образцы изготавливались по технологии SIPS [1], для этого ХЖК добавлялся к 4 %-раствору полимера в толуоле в весовом соотношении ХЖК : PiBMA = 60 : 40. Полученный раствор выливался на стеклянную подложку и высушивался. КПХЖК пленки имели среднюю толщину 35 мкм и монослойно расположенные капли ХЖК с размером в плоскости пленки от 5 до 40 мкм. Исследования оптических текстур и ориентационных структур капель ХЖК проводились методами поляризационной микроскопии.

Различные размеры капель, получающиеся в исследуемых КПХЖК пленках, позволяют одновременно наблюдать капли ХЖК с варьируемым соотношением $d/p > 1$. В образце наблюдается многообразие оптических текстур, как в каплях различного размера, так и для

капель одного размера. При этом наблюдаются капли с известной конфигурацией, имеющей биполярное распределение оси ХЖК [2]. Оптическая текстура такой капли (рис. 1 (верхний ряд)) характеризуется наличием линий, разделенных половиной шага спирали, перпендикулярных границе капли (слои ХЖК). В [5] отмечается, что такая структура должна содержать линейный дефект вблизи границы капли. Изменяя фокусное расстояние, для данной структуры, можно действительно видеть линейный дефект, обвивающий каплю в соответствии со слоями ХЖК (рис. 1 (нижний ряд)). На рис. 1*i* схематически представлен дефект на поверхности сферы, обвивающий ее и делающий $N = 2d/p = 5.5\pi$ оборота на диаметр.

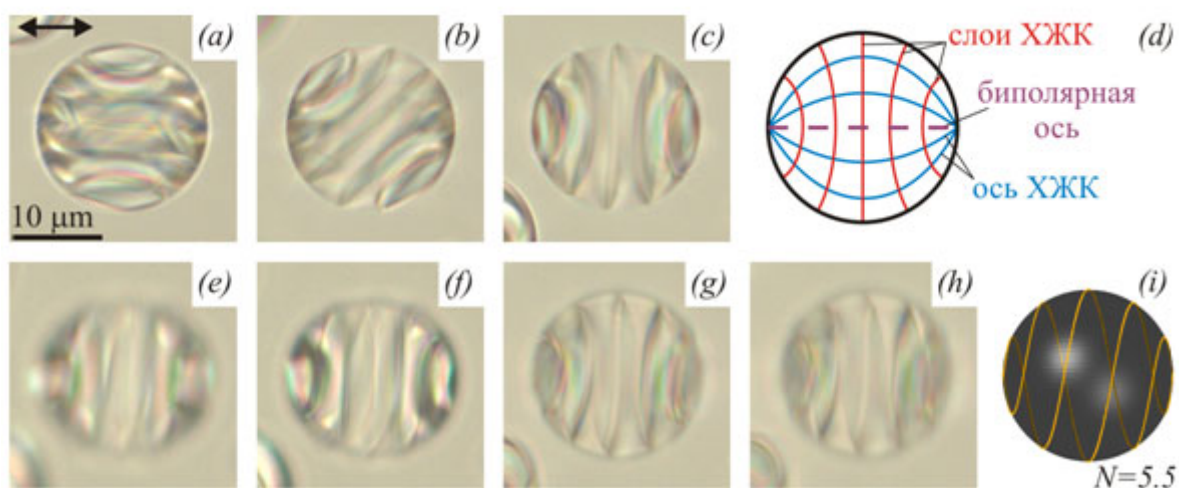


Рисунок 1 – Микрофотографии капли ХЖК, сделанные в поляризованном свете. Объектив сфокусирован примерно на середине ($3/6$ поперечного размера) капли; биполярная ось капли ориентирована под углом 90° (a), 45° (b) и 0° (c) по отношению к направлению поляризатора (обозначено двойными стрелками). Соответствующее расположение слоев (красная линия) и оси (синяя линия) ХЖК (d) показано для капли в позиции (c). Объектив сфокусирован примерно на $1/6$ (e), $2/6$ (f), $4/6$, $5/6$ (g), $5/6$ (h) капли, начиная от верхней, относительно подложки, границы. Схематическое представление линейного дефекта ХЖК вблизи границы капли для $N = 5.5$ (i).

Следует отметить, что аналогичная ситуация наблюдается в каплях меньшего размера, отличающаяся от вышеприведенного случая меньшим числом укладывающихся слоев ХЖК. Более того, можно видеть, что большинство капель примерно равного размера имеют аналогичные линейные дефекты, ориентация которых по отношению к направлению наблюдения различна. Данная ситуация представлена на рис. 2 для трех различных капель. В верхнем ряду показана капля и линейный дефект для случая $N \cong 2$, когда биполярная ось капли (см. рис. 1d) лежит в плоскости пленки, а характерная линия, аналогичная линиям, показанным на рис. 1, проходит через центр капли. Линейный дефект при этом проявляется как две пары линий (выше и ниже центра капли), расположенные вблизи видимой границы капли (рис. 2f (верхний ряд)). Если такую структуру повернуть на 90° вокруг биполярной оси, то линейный дефект будет выглядеть, как показано на рис. 2f (средний ряд). Одновременно с этим наблюдаются две характерные линии, расположенные симметрично относительно центра капли (рис. 2 (средний ряд)). Если структуру повернуть биполярной осью перпендикулярно плоскости пленки, то характерные линии наблюдаться не будут, при этом линейный дефект будет иметь вид двойной спирали (рис. 2 (нижний ряд)).

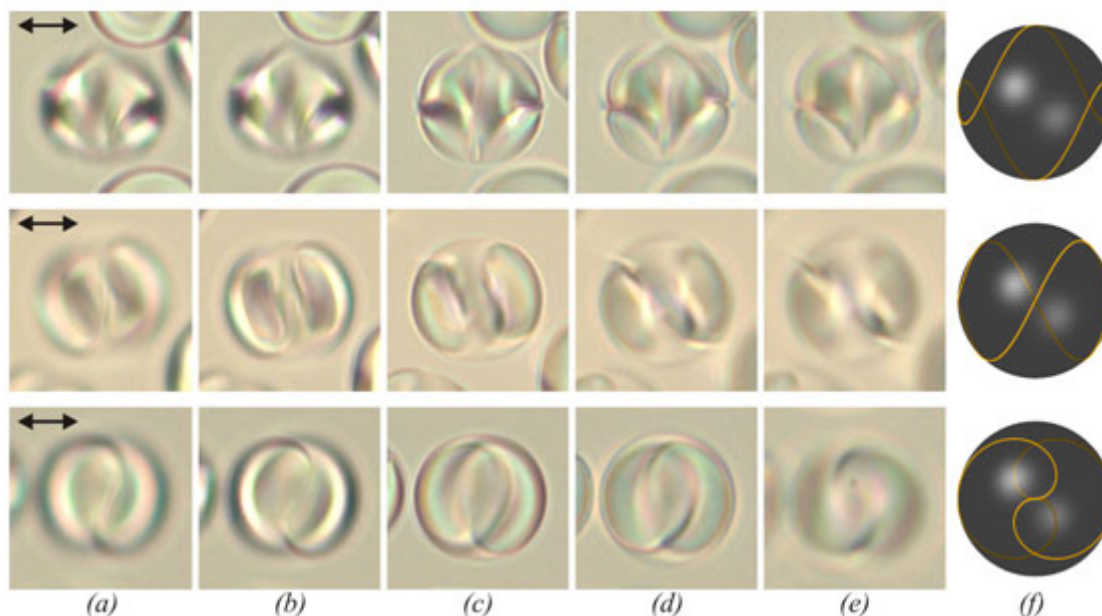


Рисунок 2 – Микрофотографии капель ХЖК, сделанные в поляризованном свете при различных положениях фокуса объектива. Объектив сфокусирован примерно на $1/6$ (a), $2/6$ (b), $3/6$ (c), $4/6$ (d), $5/6$ (e) поперечного размера капли, начиная от верхней, относительно подложки, границы. Схематическое представление линейного дефекта ХЖК вблизи границы капли для $N = 2$ (f). Биполярная ось капли лежит в плоскости пленки, характерная линия проходит через центр капли (верхний ряд); структура повернута на 90° (средний ряд); биполярная ось перпендикулярна пленке (нижний ряд). Диаметр капель 14 мкм.

Аналогичным образом в исследуемых образцах можно объяснить большую часть наблюдаемых оптических текстур капель ХЖК. Следует отметить необычную зависимость числа π оборотов директора ХЖК на диаметр капли N , возрастающего с диаметром капли нелинейно. Данный факт говорит о том, что минимальный шаг ХЖК p_{\min} в капле существенно отличается от равновесного шага p_0 и зависит от размера капли. Так, в каплях с $d = 14$ мкм $N = 2$ и $p_{\min} = 14$ мкм, а в каплях с $d = 20$ мкм $N = 5$ и $p_{\min} = 8$ мкм.

Таким образом, нами экспериментально показано, что в каплях ХЖК с гомеотропным сцеплением и соотношением $d/p > 1$ формируется линейный приповерхностный дефект, имеющий вид двойной спирали. При этом, капли разного размера имеют преимущественно конфигурацию с биполярным распределением холестерической оси.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проект № Ф15СО-039), РФФИ (проект № 15-02-06924, № 16-53-00073) и комплексной программы СО РАН № П.2П (проект № 0358-2015-0010).

- [1] P.S. Drzaic. Liquid Crystal Dispersion. World Scientific, Singapore (1995). 429 p.
- [2] Y. Bouligand, F. Livolant. J. Physique **45**, 1899 (1984).
- [3] F. Xu, P.P. Crooker. Phys. Rev. E **56**, 6853 (1997).
- [4] D. Sec, T. Porenta, M. Ravnik, S. Žumer. Soft Matter **8**, 119827 (2012).
- [5] D. Sec, S. Copar, S. Žumer. Nat. Commun. **5**, 3057 (2014).
- [6] T. Orlova, S.J. Aβhoff, T. Yamaguchi, N. Katsonis, E. Brasselet. Nat. Commun. **6**, 7603 (2015).
- [7] J.-K. Guo, J.-K. Song. Optics Express **24**, 7381 (2016).
- [8] G. Solladie, R.G. Zimmerman. Angew. Chem. Int. Ed. Engl. **23**, 348 (1984).