

УДК 620.1.72:532.783

БИСТАБИЛЬНОСТЬ НЕМАТИКА 5CB НА НАНОРАЗМЕРНОЙ УГЛЕРОДНОЙ ПЛЁНКЕ

BISTABILITY OF NEMATIC 5CB ON NANOSCALE CARBON FILM

И.Ю. Гончаров, Д.А. Колесников, С.И. Кучеев
I.Yu. Goncharov, D.A. Kolesnikov, S.I. Kucheev

Белгородский национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85
Belgorod National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: kucheev@bsu.edu.ru

Аннотация. Экспериментально показано, что нематический жидкий кристалл 5CB со свободной поверхностью на наноразмерных углеродных плёнках, полученных методом нагара в сканирующем электронном микроскопе демонстрирует два стабильных оптически хорошо различимых в поляризованном свете состояния. Продемонстрирована высокая чувствительность ориентации нематика в одном из стабильных состояний к величине толщины наноразмерной углеродной пленки в диапазоне десятых нанометра.

Resume. It was shown experimentally that the nematic liquid crystal 5CB with a free surface on the nanoscale carbon films obtained by a scanning electron microscope demonstrates two stable states optically well-defined with polarized light. High sensitivity nematic orientation has been demonstrated in one of the stable state to the value of the thickness of the nano-scale carbon film in the range of tenths of a nanometer.

Ключевые слова: бистабильность, жидкий кристалл, углеродная плёнка.

Key words: bistability, liquid crystal, carbon film.

Благодаря высокой чувствительности молекулярного упорядочивания в жидких кристаллах (ЖК) к внешним воздействиям, ЖК рассматриваются как перспективные материалы для детектирования внешних факторов среды (например: влажность [1], давление [2], воздушный поток [3], вещества химико-биологического происхождения [4]). В рамках моностабильной ориентации директора на поверхности, параметрами регистрации обычно выступают особенности ориентации молекул в объеме ЖК. Эффекты ориентационной бистабильности в нематиках, основанных на нарушении сцепления директора с поверхностью [5], рассматриваются на сегодняшний день только с точки зрения дисплейных приложений. По сведению авторов, работы, в которых эффекты бистабильности были бы использованы для регистрации факторов внешней среды, в опубликованной литературе отсутствуют. Одной из причин отсутствия подобных работ, является вынужденная практика применения ячеек «сэндвич»-типа, в которых ЖК изолированы от окружающей среды. Предлагаемая работа демонстрирует принципиальную возможность реализации бистабильности нематика с открытой поверхностью на углеродных пленках, полученных методом электронного нагара, что открывает доступ инородных веществ к жидким кристаллам.

Наноразмерные углеродные пленки получались методом электронно-лучевого нагара [6] на поверхности термической окиси кремния SiO_2 (толщина $\sim 0,4 \mu\text{m}$) на кремнии, в сканирующем растровом электронном микроскопе (РЭМ) FEI Quanta 200 3D. Выбором раstra, углеродные плёнки могут быть получены сплошными (рис. 1а) или представлять собой набор полосок нагара (рис. 2а).

После нанесения нематического жидкого кристалла 5CB на углеродное покрытие, в поляризованном свете можно обнаружить стабильные во времени участки (с двумя разными, далее – условно S- и N-типами ориентации нематика, рис. 1б), разделенные друг от друга дисклинациями (D, отмечено стрелками). Эти участки могут образовываться также в виде островков (Is, рис. 1б). Изменение границ участков S- и N-типа можно осуществить действием воздушного потока на открытую поверхность нематика (рис. 1с). Тип ориентации меняется в зоне перемещения дисклинации в направлении действия воздушного потока. Оценка скорости воздушного потока, при которой начинается движение дисклинации, дает величину $\sim 10 \text{ m/s}$.

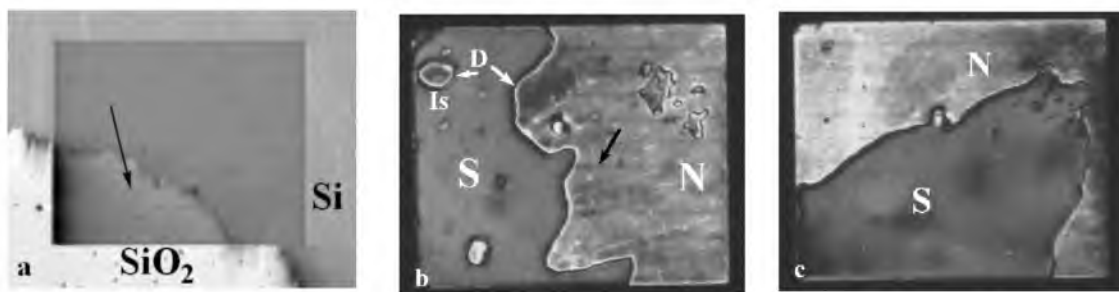


Рис. 1. Бистабильная ориентация нематика на углеродной пленке: а – РЭМ изображение типичной углеродной пленки ($200 \times 240 \mu\text{m}$) на SiO_2 и Si поверхностях с дополнительными полосками нагара (отмечено стрелкой). Ток 19 нА. Энергия 30 кэВ. Время напыления 10 мин; б, с – нематик со свободной поверхностью на прямоугольной углеродной пленке на SiO_2 ($300 \times 360 \mu\text{m}$. Ток 19 нА. Энергия 30 кэВ. Время напыления 20 мин.); с – изменение границы участков S- и N- типа после нескольких актов действия воздушным потоком на открытую поверхность нематика

Fig. 1. Bistable nematic orientation on the carbon film: a – SEM image of a typical carbon film ($200 \times 240 \mu\text{m}$) on SiO_2 and Si surfaces with additional strips of soot (marked by arrow). Current 19 nA. The energy of 30 keV. Deposition time 10 min; b, c – nematic with a free surface on a rectangular carbon film on SiO_2 ($300 \times 360 \mu\text{m}$. Current 19 nA 30 keV. Energy deposition time 20 min.); c – change the border areas of the S- and N- type after a few steps the air flow acts on the exposed surface of the nematic

Принципиальное различие ориентации директора для S- и N- участков видно из следующего экспериментального факта. На поверхности углеродной пленки, из-за особенности сканирующей системы данного электронного микроскопа, всегда формируется 10 дополнительных полос нагара, расположенных на равном расстоянии друг от друга. Эти полосы легко обнаруживаются на РЭМ изображениях углеродных плёнок благодаря их более темному виду по сравнению с фоном плёнки (рис.1а, отмечено стрелкой). ЖК в состоянии N-типа ориентации «визуализирует» эти дополнительные полосы нагара. Стрелка на рис. 1b отмечает одну из 10 визуализируемых жидким кристаллом полосок. Нематик, в состоянии S-типа, напротив, не обладает свойством «визуализировать» особенности рельефа углеродного покрытия (рис. 1b, 1c). Нематик на участке S-типа демонстрирует определённый интерференционный цвет, причем этот цвет, зависящий от толщины ЖК-слоя, сохраняется при утончении этого слоя воздушным потоком практически до полного исчезновения, что убедительно указывает на планарную ориентацию директора на участках S-типа. Эксперимент, в котором используется углеродное покрытие, представляющее собой набор отдельных полосок нагара, проясняет особенности N-типа ориентации директора. На рис. 2а представлено изображение, полученное с помощью атомного силового микроскопа (АСМ) (Ntegra Aura NT-MDT), фрагмента поверхности SiO_2 с углеродным покрытием в виде отдельных полосок. Хорошо виден характерный рисунок положения полосок нагара, сформированных при сканировании поверхности SiO_2 электронным лучом. Рис. 2b демонстрирует фрагмент поляризационного изображения слоя нематика с открытой поверхностью, который нанесен на выше указанное углеродное покрытие. Из рисунка видно, что нематик, без образования дисклинаций, декорирует полоски нагара соответствующим распределением яркости, как вдоль полосок (периодичность $\sim 25 \mu\text{m}$), так и поперёк их. Полосы на поляризационном изображении (рис. 2b) могут быть разбиты на группы 1, 2, 3 и 4 соответственно, в соответствии с их яркостью, причем 4-я группа представляет собой полосы гомеотропной ориентации нематика на поверхности SiO_2 без нагара. Благодаря характерному рисунку сканирования, представляется возможным точно сопоставить яркость полос в поляризованном свете с рельефом тех же самых полос нагара. АСМ исследования профиля полосок нагара (рис. 2а) обнаруживают такое же ранжирование полосок по группам, но уже в соответствии с их толщиной. Самыми толстыми оказываются полоски нагара из первой группы, далее идут полоски второй группы, и, наконец, полоски нагара третьей группы. Таким образом, чем толще данная полоска нагара, тем яркость слоя ЖК над ней в поляризованном свете больше. Примечательно, что разница в толщине углеродного покрытия в десятые нанометра (например $\sim 0,5 \text{ nm}$ для 1 и 3 полоски нагара, рис. 2с) вызывают заметную разницу в интенсивности отраженного поляризованного света (рис. 2b, стрелки 1, 3). Это указывает на высокую чувствительность ориентации директора в N-состоянии к толщине углеродной плёнки. Можно считать, что ориентация директора в N-состоянии близка к нормальной. Это отчетливо проявляется для периодического изменения ориентации директора вдоль полосок (рис. 2b), для которых (особенно для полосок 3-й группы) можно видеть изменения ориентации директо-

ра от некоторого наклонного состояния (максимально светлые места, стрелка m, рис. 2b) к практически гомеотропному (максимально темные места, стрелка h, рис. 2b).

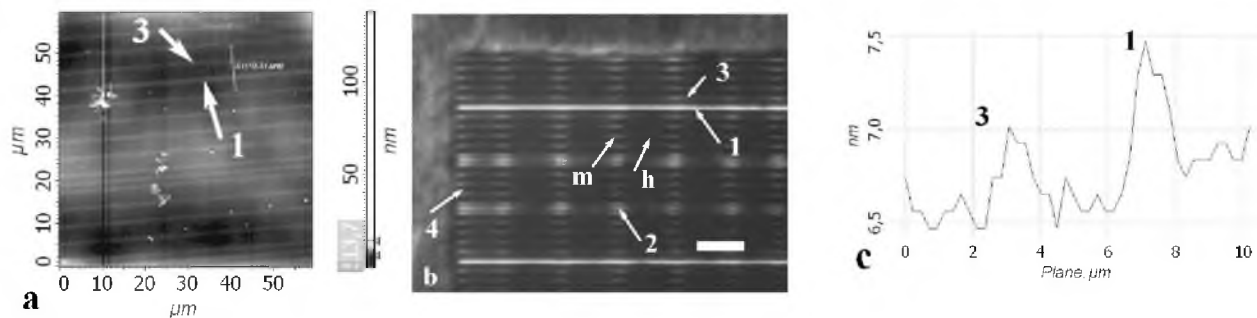


Рис. 2. Нематик на наноразмерных углеродных пленках разной толщины: а – АСМ изображение фрагмента (60*60 μm) углеродного покрытия (полный растр 220*730 μm). Ток 37 нА. Время напыления 3 min; б – поляризационное изображение слоя нематика с открытой поверхностью на фрагменте углеродного покрытия в виде изолированных полосок нагара. Масштаб 20 μm ; в – АСМ профиль соседних (1 и 3, рис. 2a) полос нагара

Fig. 2. Nematic at nanoscale carbon films of different thickness: a – AFM image fragment (60*60 μm) carbon coating (full screen 220*730 μm). Current 37 nA. spraying time 3 min; b – polarization image of a nematic layer with an open surface on a fragment of the carbon coating in the form of isolated strips of soot. Scale 20 μm ; c – the adjacent AFM profile (1 and 3, Figure 2a) varnish strips

Таким образом, выше приведенные экспериментальные факты наглядно демонстрируют, что нематик 5СВ со свободной поверхностью на углеродных плёнках, полученных методом нагара, демонстрирует бистабильность. В одном из стабильных состояний директор близок к гомеотропной ориентации, тогда как для другого состояния ориентация директора близка к планарной. Продемонстрирована высокая чувствительность ориентации нематика к толщине углеродной пленки, что позволяет управлять наклоном директора с помощью вариации толщины углеродного нагара в наноразмерном диапазоне.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НИУ «БелГУ» «Диагностика структуры и свойств наноматериалов» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта № 14.594.21.0010, уникальный код RFMEFI59414X0010.

Список литературы

1. Bechhoefer J., Jerom B., Pieranski P. Anchoring transition of nematic liquid crystal//Phase Transitions. – 1991. – V. 33. – P. 227–236.
2. Seo J., Lee C., Han H. et al. Touch sensors based on planar liquid crystal-gated-organic field-effect transistors //AIP ADVANCES. – 2014. – V.4. –P.097–109.
3. Коротаев В.М.,Трашкеев С.И., Жаркова Г.М. Оптический отклик слоя нематического жидкого кристалла на воздействие потока воздуха//Прикладная механика и техническая физика. 1998. Т. 39. №. 4. – С. 102–109.
4. Korotaev V.M, Trashkeev S.I., Zharkova G.M. Optical response of nematic liquid crystal layer on influence of air flux//Applied mechanics and technical physics. 1998. V. 39. №. 4. P.102- 109.
4. Price A.D., Schwartz D.K. Ordering Transitions in Nematic Liquid Crystals Induced by Vesicles Captured through Ligand-Receptor Interactions // J. Am. Chem. Soc. 2008. V. 130. N.26. P.8188-8194.
5. Dozov I., Nobili M., Durand G. Fast bistable nematic display using monostable surface switching//Appl. Phys. Lett. 1997. V.70. P.1179 -1181.
6. Kucheev S.I., Litvin P.M., Tkach V.N., Chigrinov V.G. Carbon – containing covering for anchoring breaking nematic microdevices //EuroDisplay, 2007, P-26, p.302-305.