

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СЛОЕВ НА ОРИЕНТАЦИЮ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

М.В.Исаев, Е.А.Коншина, А.П.Ондлов, Т.С.Туровская

Всероссийский научный центр (ГОИ им. С.И. Вавилова),
199034, Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 24 октября 1994 г.)

Ориентация объема жидкого кристалла (ЖК) контролируется ориентацией молекул в приповерхностной области. Описание механизма взаимодействия на границе твердое тело–ЖК, представляющего в равной мере как физический, так и химические процессы, является наиболее труднейшей проблемой в научном и техническом отношении, а целевое изготовление ориентирующей поверхности продолжает оставаться вопросом навыка [1]. Одним из перспективных методов создания ориентирующей поверхности для ЖК устройств следует считать метод вакуумного осаждения слоев под углом к поверхности подложки. Это обусловлено его технологичностью, хорошей воспроизводимостью и экономичностью [2]. Ориентирующие свойства конденсированных слоев зависят от материала, способа осаждения, вакуумных условий, толщины слоя и угла, под которым производилось напыление [2–4]. Разноречивость сообщений ряда авторов о влиянии этих факторов на ориентацию ЖК требует детального изучения физико-химических свойств ориентирующих поверхностей для каждого конкретного материала.

В настоящей работе было исследовано влияние структуры поверхности новых ориентирующих материалов: двуокиси церия (CeO_2) и аморфного гидрогенизированного углерода ($a\text{-C:H}$) на характер ориентации нематических ЖК в ячейках типа “сэндвич”. Структурные свойства поверхности варьировались путем изменения угла осаждения материала на подложку (угла между направлением потока материала и нормалью к поверхности подложки) в интервале $60\text{--}85^\circ$. Слои конденсировались на стеклянные полированные подложки с прозрачным проводящим покрытием на основе окислов индия и олова, из которых затем собирались ЖК ячейки. Двуокись церия наносилась путем испарения материала лазерным пучком при давлении 10^{-5} Тор. Для улучшения однородности слоев предусматривалось вращение подложек вокруг оси рабочей камеры, совпадающей с направлением вектора диаграммы разлета пара. Аморфный гидрогенизированный углерод ($a\text{-C:H}$) осаждался в плазме тлеющего разряда из паров толуола при давлении $10^{-3}\text{--}10^{-4}$ Тор и подводимой мощности $1.6\text{--}2.0$ Вт. Тонкие слои $a\text{-C:H}$, полученные в этих условиях, имеют показатель поглощения $0.01\text{--}0.1$ и показатель преломления $1.6\text{--}1.8$ на длине волны 632.8 нм [5]. Существенным преимуществом этих слоев по сравнению с близкими им по химической природе полимерными ориентантами является химическая стойкость к воде и органическим растворителям и термическая стойкость. Это в сочетании с простотой и технологично-

стью способа их получения делает перспективным их применение в ЖК устройствах. Осаждение $a\text{-C:H}$ слоев на подложки, расположенные наклонно к направлению потока плазмы, обеспечивало однородную ориентацию.

Исследования проводились на нематической жидкокристаллической смеси на основе алкилцианобифенолов (ЖК-1282) с положительной анизотропией диэлектрической проницаемости. Ориентирующие поверхности располагались в ячейке антипараллельно. Заполнение ячеек осуществлялось капиллярным методом в вакууме при температуре изотропной фазы. Микрорельеф поверхности слоев исследовался с помощью электронной микроскопии по методу реплик. Ориентация слоев ЖК в ячейках толщиной 5–10 мкм контролировалась с помощью поляризационного микроскопа и измерениями угла подвеса молекул ЖК оптическим методом [6]. Метод основан на определении характеристического угла Ψ , соответствующего положению локального экстремума в разности оптического пути для двух нормальных оптических мод. Угол наклона определялся путем записи пропускания света, падающего при различных углах поворота ячейки. В качестве источника света был использован He-Ne лазер с длиной волны 632.8 нм. Ячейка располагалась между скрещенными поляризаторами таким образом, чтобы оптическая ось ячейки лежала в плоскости вращения и составляла угол 45° с плоскостью поляризации падающего света. Перемещение ячейки осуществлялось электромотором с помощью приводного устройства. Сигнал, поступающий с фотоприемника, регистрировался на самописце. Угол наклона директора Θ для случая гомогенной ориентации рассчитывался по формуле [7]

$$\sin 2\Theta = 2 \sin \Psi(n_0 + n_e),$$

где n_0 и n_e — показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей, которые для ЖК-1282 равны соответственно 1.504 и 1.672 при температуре 20°C и длине волны 632.8 нм. В результате проведенных исследований было установлено, что для слоев CeO_2 наблюдается значительное изменение характера рельефа поверхности при вариации угла осаждения материала. На рис. 1 приведены микрофотографии при увеличении $20\,000\times$ поверхности слоев, полученных для значений углов 60° (а) и 84° до и после отжига (б, в). Расчетная толщина слоев, соответствующая данным интерферометрического контроля толщины в процессе осаждения, составляла 500–700 Å. С увеличением угла осаждения наблюдались тенденции к образованию столбчатых структур и появлению анизотропии рельефа в виде параллельных канавок. Направление последних отличается от направления осаждения на угол $\sim 30^\circ$. Наблюдения ориентации ЖК в поляризационном микроскопе для ячеек, собранных на основе вышеописанных слоев, показали, что с увеличением угла осаждения вероятность гомогенной (планарной) ориентации ЖК растет. Так, ориентация ЖК в ячейках, собранных на базе слоев CeO_2 , полученных при углах 60° , была гомеотропной (перпендикулярной). Слои, полученные при осаждении под углами $70\text{--}75^\circ$, давали наклонную гомогенную ориентацию. Однородная гомогенная ориентация с углами подвеса директора, близкими к нулю, была достигнута на ориентирующих слоях, полученных при скользящем угле осаждения 84° . Эти результаты свидетельствуют о влиянии геометрии

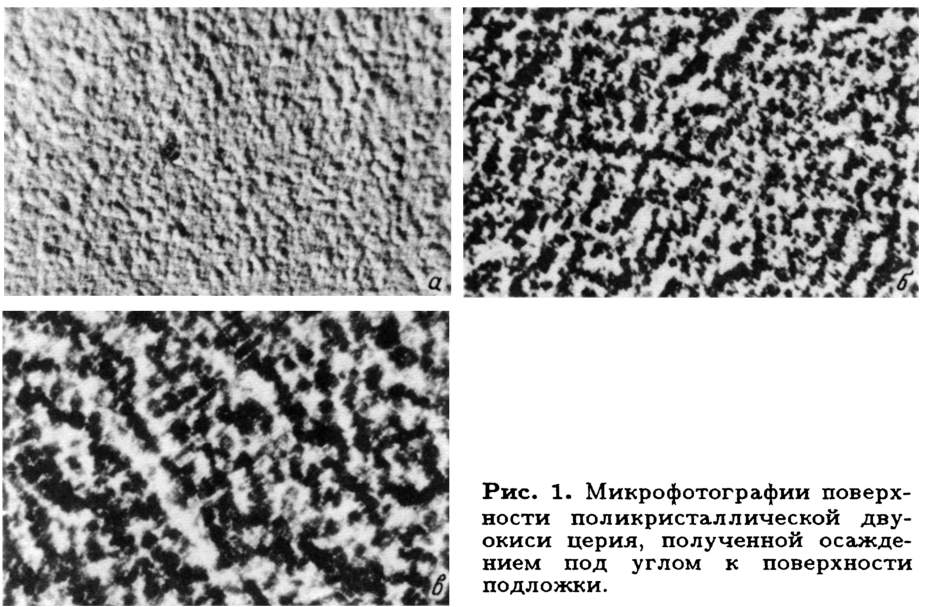


Рис. 1. Микрофотографии поверхности поликристаллической двуокиси церия, полученной осаждением под углом к поверхности подложки.

рельефа поверхности слоев CeO_2 на взаимодействие с ней молекул ЖК. Варьируя углом осаждения геометрию рельефа, можно изменять угол наклона директора молекул от 90° до 0 . Влияние толщины слоя CeO_2 на структуру поверхности проявлялось в изменении размера зерна, в то время как анизотропия геометрии рельефа определялась углом осаждения материала. Аналогичные изменения топологии поверхности характерны для косоосажденных конденсатов других материалов, полученных в вакууме [3].

Эксперименты по отжигу слоев CeO_2 при температуре 800° (на воздухе) после осаждения показали, что это приводит к укрупнению зерна структуры поверхности (рис. 1, в) при одновременном уплотнении слоя, о чем свидетельствует уменьшение его толщины. В связи с этим представляет интерес исследование влияния температурных режимов осаждения на геометрию рельефа поверхности слоя окисла и последующую ориентацию ЖК. Кроме того, осаждение на нагретую подложку позволит повысить адгезию и прочность слоя, а следовательно, и надежность его эксплуатационных свойств.

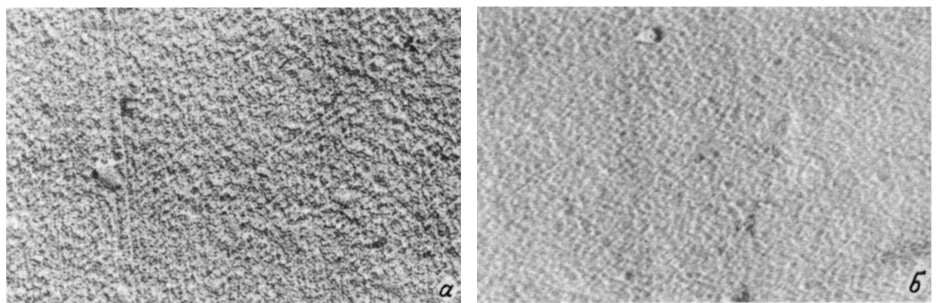


Рис. 2. Микрофотографии поверхности аморфного гидрогенизированного углерода, полученного осаждением под углом к поверхности подложки.

При микроскопическом исследовании поверхности ориентированных слоев a -C:H не было выявлено явно выраженного рельефа. На рис. 2 приведены микрофотографии слоев a -C:H, осажденных под углом 60° (а) и 80° (б), при увеличении $20\,000\times$. Можно видеть, что на поверхности слоев отсутствуют какие-либо проявления анизотропии рельефа, характерные для косонапыленных слоев CeO_2 . Вместе с тем эти слои обеспечивали планарную ориентацию молекул алкилциано-бифенилов, несмотря на относительно гладкую структуру поверхности. Существенных изменений рельефа при вариации угла осаждения слоев a -C:H нами не было обнаружено. В то же время измерения углов наклона директора молекул в ЖК ячейках с ориентирующими a -C:H слоями показали, что при вариации угла осаждения в интервале 60 – 85° наблюдалось увеличение начального угла Θ от 0 до $1.5 \pm 0.5^\circ$. Угловая зависимость пропускания света ЖК ячейкой с толщиной слоя 10 мкм и a -C:H ориентирующим покрытием, осажденным под углом к подложке 80° , приведена на рис. 3.

Принято считать, что ориентирующее влияние подложки на молекулы ЖК — результат действия двух факторов: физико-химического взаимодействия молекул подложки с молекулами ЖК и ориентирующего действия неровностей на поверхности, например микроканалов. Предполагается, что геометрия структуры поверхности вызывает упругую деформацию ЖК. Энергетически выгодно ориентирование молекул нематика параллельно подложке и канавкам на ней [1]. В то же время наклонная гомеотропная ориентация была получена на поверхности монооксида кремния с “пилообразным” рельефом, покрытой тонким слоем (10 – 70 \AA) плазменно-полимеризованного тетрафторэтилена [8]. Это свидетельствует о том, что влияние межмолекулярного взаимодействия на границе ориентант–ЖК в этом случае является более сильным, чем действие анизотропно-упругих сил, обусловленных рельефом.

В этой работе нами получена однородная планарная ориентация ЖК как на слоях CeO_2 с явно выраженной анизотропией рельефа по-

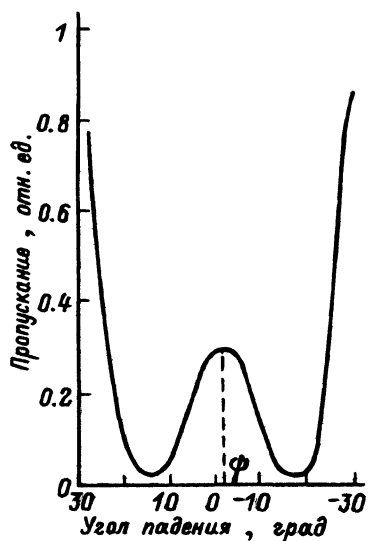


Рис. 3. Угловая зависимость пропускания света (632.8 нм) для гомогенно ориентированной ЖК ячейки толщиной 10 мкм с a -C:H ориентирующим покрытием, осажденным под углом к подложке 80° .

верхности, так и она относительно гладкой поверхности a -C:H. Это можно объяснить проявлением различных механизмов взаимодействия молекул цианобифенилов с поверхностью конденсированных слоев неорганической (CeO_2) и органической (a -C:H) природы. В основе взаимодействия слоев CeO_2 лежит физический процесс упругой деформации молекул ЖК, о чем свидетельствует зависимость угла наклона директора от геометрии рельефа. В случае слоев a -C:H ориентация молекул на границе ориентант-ЖК обусловлена в большей мере физико-химическим взаимодействием, характер которого на сегодня неясен и требует дальнейших исследований.

Проведенный нами сравнительный анализ структуры поверхности и характера взаимодействия ориентирующих слоев двуокиси церия и аморфного гидрогенизированного углерода будет способствовать дальнейшему развитию модельных представлений об ориентации молекул ЖК на поверхности твердого тела. Понимание этой проблемы необходимо для развития новых технологий получения ориентирующих поверхностей на промышленном уровне и совершенствования элементной базы оптоэлектроники на жидких кристаллах.

Список литературы

- [1] Адамчик А., Стругальский З. Жидкие кристаллы. М.: Сов. радио, 1979. 159 с.
- [2] Блинов Г.А., Волнистов В.Н. // Электронная техника. Сер. 10, Микроэлектронные устройства. 1983. № 1(37). С. 46-54.
- [3] Armitage D. // J. Appl. Phys. 1980. Vol. 51. N 5. P. 2552-2555.
- [4] Urbach W., Voix M., Guyon E. // Appl. Phys. Lett. 1974. Vol. 25. N 9. P. 479-481.
- [5] Коншина Е.А., Толмачев В.А. // ЖТФ. 1995. Т. 65. Вып. 1. С. 175-177.
- [6] Baur G., Wittwer V., Berreman D.W. // Phys. Lett. 1976. Vol. 56. N. 2. P. 142-144.
- [7] Лукьянченко Е.А., Соболев И.В. // Сб. тез. докл. "Электрооптика границы раздела жидкий кристалл-твердое тело". М., 1985. С. 49-50.
- [8] Heffner W.R., Berreman D.W., Sammon M., Meiboom S. // Appl. Phys. Lett. 1980. Vol. 36. N 2. P. 144-146.

