

УДК 538.94:538.95

А. В. Дубцов, С. В. Пасечник, О. А. Харламова, И. Д. Антипов

**ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОРИЕНТАЦИИ НЕМАТИЧЕСКИХ
ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ПОЛЯ И ЛИНЕЙНО-ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА**

**SURFACE ORIENTATION CHANGE OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS
INFLUENCED BY ELECTRIC FIELD AND LINEARLY POLARIZED LIGHT**

Московский государственный университет приборостроения и информатики
107996 Москва, Россия, ул. Стромынка, 20. E-mail: dav.e@mail.ru

Экспериментально исследовано изменение поверхностной ориентации нематических жидких кристаллов индуцированное воздействием электрического поля и линейно-поляризованного УФ-излучения при различных направлениях плоскости поляризации световой волны. Изменение поверхностной ориентации фиксировалось с помощью контроля положения поверхностного директора НЖК на фотоориентированной подложке. Установлено, что с увеличением угла между направлением плоскости поляризации и исходной ориентации молекул НЖК динамика поворота поверхностного директора замедляется.

Ключевые слова: фотоориентация, нематический жидкий кристалл, поворот легкой оси, электрическое поле, линейно-поляризованный свет, плоскость поляризации.

Surface orientation change of nematic liquid crystals under the action of electric field and linearly polarized UV irradiation at different directions of the polarization plane is investigated. Surface orientation change was controlled by an observation of surface director position at photoaligned substrate. It was found that an increase of the angle between polarization plane direction and initial orientation of liquid crystal molecules resulted in slowing down of surface director dynamics.

Key words: photoalignment, nematic liquid crystal, easy axis gliding, electric field, linearly polarized light, polarization plane

Взаимодействие жидких кристаллов с подложками, обработанными различными ориентирующими покрытиями, играет ключевую роль в работе различного вида устройств на их основе. Изменение поверхностной ориентации жидких кристаллов может негативно сказываться на технических параметрах таких устройств, в тоже время, открывая возможности создания управляющих поверхностей. Несмотря на множество методов поверхностной обработки, технология фотоориентации [1] обладает определенными преимуществами с точки зрения применения в технологических процессах дисплейных и не дисплейных отраслях производства. В частности, метод фотоориентации может применяться после заполнения ячейки жидким кристаллом, таким образом создавая новый вид управляемых поверхностей. Возможность управления поверхностной ориентацией нематических жидких кристаллов продемонстрирована на примере

оптически-перезаписываемого дисплея [2], в котором запись и стирание информации контролировались через азимутальное вращение легкой оси (предпочтительного направления абсорбированных молекул ЖК на поверхности). Направление поверхностной ориентации молекул ЖК изменялось за счет изменения направления поляризации воздействующего светового излучения (на длине волны 450 нм).

Хорошо известно, что изменение положения оси легкого ориентирования может быть вызвано сильными электрическими (магнитными) полями, приложенными как в плоскости [3, 4, 5, 6, 7], так и в ортогональном направлении [8] относительно слоя ЖК. Данное явление исследовалось как при слабой, так и сильной энергии сцепления.

В работах [9, 10] авторы наблюдали рассматриваемое явление под действием поляризованного УФ-излучения в ЖК с добавленным красителем. Новое поверхностное направление сохранялось в течение нескольких дней после выключения электрического поля, проявляя временную память.

Дхара и соавторы исследовали изменение поверхностной ориентации жидких кристаллов с большим поперечным дипольным моментом под воздействием температуры на подложках с перфторополимером [11].

Недавно нами был обнаружен эффект электрически вспомогательного фотоиндуцированного азимутального поворота оси легкого ориентирования нематических жидких кристаллах на фотоориентированных подложках при комбинированном воздействии электрического поля и линейно-поляризованного света [12]. После выключения поля и света наблюдались эффекты памяти. Исследования релаксационной динамики показали, что при надлежащем подборе контрольных параметров, память может достигать нескольких недель, после чего поверхностная ориентация возвращалась в исходное положение.

Ранее комбинированное воздействие электрического поля и неполяризованного света использовалось для увеличения скорости полярного поворота молекул ЖК на поверхности полимера под действием мощного УФ-излучения [13].

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию влияния направления плоскости поляризации линейно-поляризованного УФ-излучения, воздействующего совместно с электрическим полем на медленную поверхностную динамику на границе раздела нематический жидких кристалл – фотоориентируемый слой нанометрового размера.

Экспериментальная часть

Для изучения влияния направления плоскости поляризации на медленную поверхностную динамику при комбинированном воздействии поля и света мы использовали ЖК-ячейку с однородной планарной ориентацией (рис. 1, а).

Ячейка состояла из двух стеклянных подложек. Верхняя подложка покрывалась пленкой полиимида с последующим натиранием для обеспечения сильного поверхностного сцепления. На нижнюю подложку с токопроводящим слоем (ITO) и межэлектродными промежутками g была нанесена пленка азо-красителя SD1. Облучение данной пленки поляризованным УФ-излучением с энергетической дозой $D_p = 0,27 \text{ Дж/см}^2$ позволило создать слабое азимутальное сцепление [1].

Ячейка была запровадена нематической смесью E7 (Merck) в изотропной фазе и медленно охлаждена до комнатной температуры.

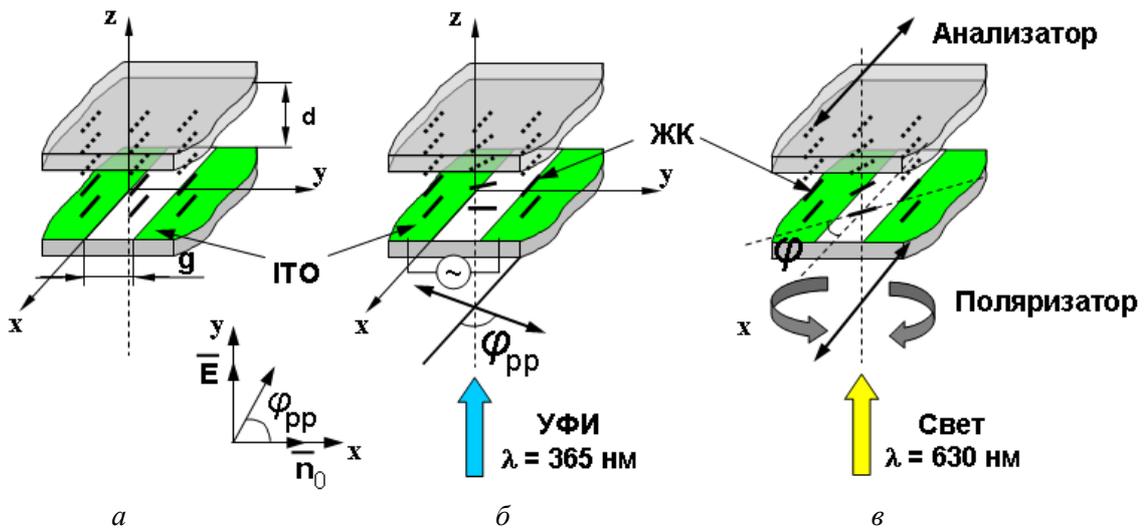


Рис. 1. Схема ЖК-ячейки и геометрия эксперимента, где:
 а – исходное положение $d = 18$ мкм – толщина ячейки; $g = 50$ мкм – ширина межэлектродного промежутка; б – комбинированное воздействие электрического поля и УФ-излучения $\varphi_{pp} = 0-90^\circ$ – угол между направлением исходной ориентацией молекул ЖК (n_0) и направлением плоскости поляризации воздействующего УФ-излучения; в – определение положения поверхностного директора

В экспериментах использовалась установка на базе поляризационного микроскопа, соединенного с оптоволоконным спектрометром и цифровой фотокамерой. В качестве воздействующего на ЖК-ячейку источника УФ-излучения применялась ртутная лампа мощностью 6 Вт (длина волны $\lambda = 365$ нм). Облучение ЖК-слоя линейно-поляризованным УФ-излучением проводилось при 5-ти различных положениях поляроида, соответствующих углу $\varphi_{pp} = 0^\circ; 25^\circ; 45^\circ; 65^\circ; 90^\circ$ (угол между направлением исходной ориентации молекул ЖК и плоскостью поляризации световой волны).

Приложение электрического поля $U = 100$ В к слою нематического жидкого кристалла E7 с положительным значением анизотропии диэлектрической проницаемости ($\Delta\epsilon = +13,8$) вызывало переориентацию объемного директора ЖК вдоль направления действия поля (рис. 1, б). В этом случае в области межэлектродного промежутка появлялась светлая полоса. После прекращения действия электрического поля объемный директор возвращался в исходное положение.

Изменение поверхностной ориентации при одновременном воздействии электрического поля и УФ-излучения (отдельного воздействия УФ-излучения) фиксировалось следующим образом. Для определения нового поверхностного направления в течение процесса переориентации, действие электрического поля и света прерывалось на несколько секунд. После выключения поля и света происходила быстрая релаксация объемного директора до положения поверхностного директора. После этого угол поворота поверхностного директора относительно исходного направления определялся с помощью поворота нижнего поляроида до положения, соответствующего наиболее темному участку межэлектродного промежутка (рис. 1, в).

Обсуждение результатов

В предыдущей нашей работе [14] было установлено, что комбинированное воздействие электрического поля и линейно-поляризованного излучения, направленных в ортогональных направлениях ($\varphi_{pp} = 0^\circ$), вызывало глайдинг (поворот) оси легкого ориентирования в направлении электрического поля. Отдельное воздействие данных факторов не приводило к таким сильным изменениям в поверхностной ориентации в течение рассматриваемого времени экспозиции.

Согласно механизму фотоориентации азо-красителя SD1, УФ с $\varphi_{pp} = 0^\circ$ приводит к повороту молекул азо-красителя в перпендикулярное направление. Таким образом, в случае с $\varphi_{pp} = 0^\circ$ электрическое поле и свет действуют в одном направлении.

Комбинированное воздействие (отдельное воздействие УФ-излучения) при $\varphi_{pp} = 90^\circ$ не изменяло поверхностную ориентацию, т. к. данное облучение с соответствующей поляризацией увеличивало начальную дозу D_p и соответственно азимутальную энергию сцепления вдоль исходного направления молекул ЖК.

Набор экспериментальных данных, полученных при комбинированном воздействии электрического поля $U = 100$ В и линейно-поляризованного УФ-излучения $I = 2,6$ Вт/м² при различных направлениях плоскости поляризации, представлен на рис. 2.

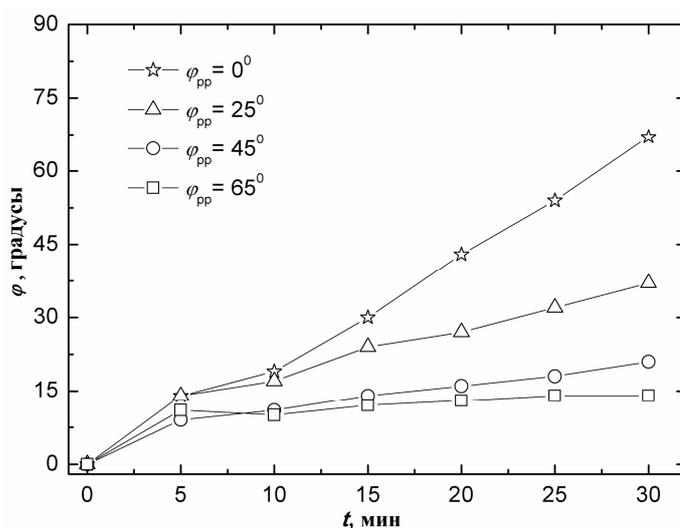


Рис. 2. Зависимость угла поворота поверхностного директора от времени экспозиции, где $\varphi_{pp} = 0-65^\circ$ при комбинированном воздействии электрического поля и линейно-поляризованного света

На рис. 2 наблюдается снижение релаксационной динамики поверхностного директора с увеличением угла между плоскостью поляризации линейно-поляризованного света и исходной ориентацией молекул ЖК.

ЖК-ячейка была подвержена как комбинированному, так и отдельному воздействию линейно-поляризованного УФ-излучения с различным направлением плоскости поляризации без приложения электрического поля (рис. 3).

Хорошо видно, что поворот поверхностного директора при $\varphi_{pp} = 25^\circ; 45^\circ; 65^\circ$ осуществляется быстрее в условиях отдельного воздействия линейно-поляризованного света, чем при комбинированном действии электрического поля и света. Как уже ранее отмечалось при $\varphi_{pp} = 0^\circ$ наблюдались обратные зависимости, когда отдельное облуче-

ние линейно-поляризованным светом не вызывали сильных изменений поверхностного директора по сравнению с комбинированным воздействием [14].

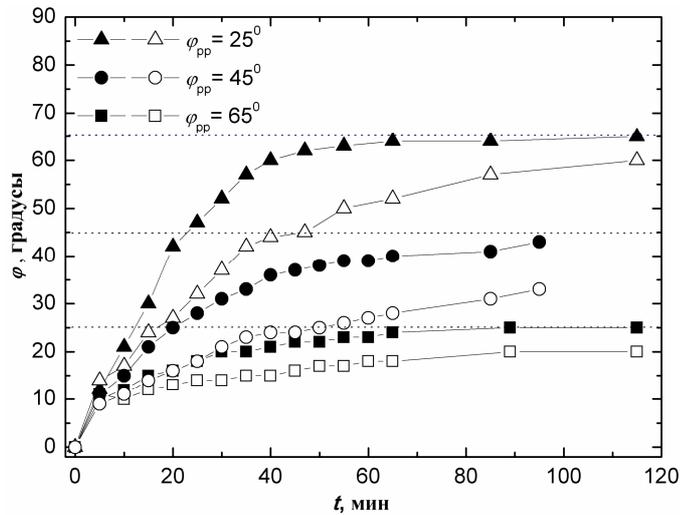


Рис. 3. Зависимость угла поворота поверхностного директора φ от времени экспозиции t . Открытые символы – комбинированное воздействие электрического поля и линейно-поляризованного света ($U = 100$ В, $I = 2,6$ Вт/м²); закрашенные символы – отдельное воздействие линейно-поляризованного света ($I = 2,6$ Вт/м²)

Для оценки наблюдаемых изменений были построены зависимости распределения ($\varphi/(90-\varphi_{pp})$) от времени экспозиции, которые показывают релаксационную динамику, когда поверхностный директор стремится к положению, заданному направлением плоскости поляризации.

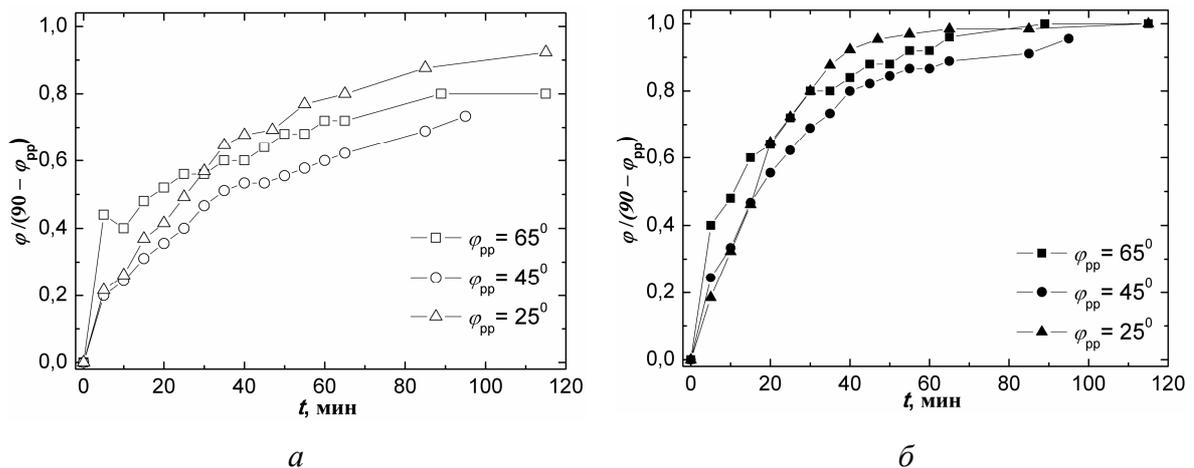


Рис. 4. Зависимость распределения ($\varphi/(90-\varphi_{pp})$) от времени экспозиции: а – комбинированное воздействие электрического поля и линейно-поляризованного света; б – отдельное воздействие линейно-поляризованного света

Из рис. 4 следует, что скорость достижения положения, заданного направлением плоскости поляризации для всех $\varphi_{pp} = 25^\circ; 45^\circ; 65^\circ$, приблизительно равна.

Более того, асимптотическое значение для $\varphi_{pp} = 65^\circ$ ($25^\circ, 45^\circ$) не превышает значения $90-\varphi_{pp}$ и поверхностный директор не поворачивается дальше к 90° (рис. 3) за время экспозиции $t = 120$ минут. После поворота молекул красителя (а также оси легкого ориентирования ЖК) в положение, определяемое углом $90-\varphi_{pp}$, происходит увеличение параметра порядка азо-красителя (и соответственно, азимутальной энергии сцепления).

Таким образом, данные закономерности связаны с конкуренцией между двумя выделенными направлениями – действием электрического поля и новым направлением, задаваемым плоскостью поляризации световой волны ($90-\varphi_{pp}$).

Теоретическое описание наблюдаемого процесса, которое будет представлено в дальнейших публикациях, может быть сделано с применением предложенных ранее моделей [14, 15, 16].

Заключение

Получены экспериментальные временные зависимости угла поворота поверхностного директора под воздействием электрического поля и линейно-поляризованного УФ-излучения на фотоориентированной подложке, предварительно обработанной УФ-излучением. Установлено, что с увеличением угла между направлением плоскости поляризации и исходной ориентации молекул НЖК динамика поворота поверхностного директора замедляется. Обнаружено отсутствие эффекта электрически вспомогательного фотоиндуцированного поворота оси легкого ориентирования, когда электрическое поле и световое излучение действуют в разных направлениях относительно друг друга.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов: ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» № 16.740.11.0324; АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» № 2.1.1/5873.

Список литературы

1. Chigrinov V. G., Cozenkov V. M., Kwok H. S. Photoaligning: Physics and Applications in Liquid Crystal Devices. Weinheim : Wiley, 2008. P. 248.
2. Muravsky Al., Murauski An., Li X., Chigrinov V., Kwok H. S. // J. SID. 2007. Vol. 15. № 4. P. 267 – 273.
3. Oliveira E. A., Figueiredo Neto A. M., Durand G. // Phys. Rev. A. 1991. Vol. 44. № 2. P. R825 – R827.
4. Vetter P., Ochmura Y., Uchida T. // Jpn. J. Appl. Phys. 1993. Part 2. Vol. 32. P. L1239.
5. Jánossy I. // Phys. Rev. E. 2010. Vol. 81. P. 031714.
6. Faetti S., Nobili M., Raggi I. // Eur. Phys. J. 1999. B. 11. P. 445 – 453.
7. Pasechnik S. V., Chigrinov V. G., Shmeliyova D. V. et al. // Liq. Cryst. 2006. Vol. 33. № 2. P. 175 – 185.
8. Joly S., Antonova K., Martinot-Lagarde P., Dozov I. // Phys. Rev. E. 2004. Vol. 70. P. 050701.
9. Fedorenko D., Slyusarenko K., Ouskova E. et al. // Phys. Rev. E. 2008. Vol. 77. P. 061705.

- ~~~~~
10. Statman D., Basore V., Sulai Y., et al. // *Liq. Cryst.* 2008. Vol. 35. № 1. P. 33 – 38.
 11. Dhara S., Kim J. K., Jeong S. M., et al. // *Phys. Rev. E.* 2009. Vol. 79. P. 060701(R).
 12. Pasechnik S. V., Dubtsov A. V., Shmeliova D. V., et al. // *Liq. Cryst.* 2008. Vol. 35. № 5. P. 569 – 579.
 13. Cui L., Xie P., Zhang R., Yang. T. // *Liq. Cryst.* 1999. Vol. 26. № 10. P. 1541 – 1546.
 14. Dubtsov A. V., Pasechnik S. V., Kiselev A. D., et al. // *Phys. Rev. E.* 2010. Vol. 82. P. 011702.
 15. Chigrinov V., Pikin S., Verevochnikov A., et al. // *Phys. Rev. E.* 2004. Vol. 69. P. 061713.
 16. Kiselev A. D., Chigrinov V. G., Kwok H.-S. // *Phys. Rev. E.* 2009. Vol. 80. P. 011706.

Поступила в редакцию 1.11.2010 г.