



УДК УДК 620.1.72:532.783

ЭФФЕКТ «ИОННОГО ВЕТРА» В НЕМАТИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКЕ С КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКОЙ

С.И. Кучеев, Ю.С. Тучина

Белгородский государственный университет,
ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия, e-mail: skucheev@yahoo.com

Аннотация. Сообщаются результаты экспериментального наблюдения нестационарного изменения ориентации нематика в жидкокристаллической ячейке с кремниевой подложкой при возбуждении её ступенькой напряжения. Изменение исходной ориентации нематика объясняется влиянием на директор отрицательно заряженных ионов, которые образуются и перемещаются в жидком кристалле в результате инъекции электронов из p^+ области обратносмещенного $p^+ - n$ перехода.

Ключевые слова: нематический жидкий кристалл, нематическая ячейка, отрицательно заряженные ионы, p - n переход.

1. Введение. Хорошо известно, что жидкие кристаллы (ЖК) относятся к средам с ионной проводимостью [1]. В ЖК достаточно легко реализуются электрооптические эффекты, индуцированные пространственным биполярным разделением ионов под действием внешнего электрического поля. В этом случае индуцируются характерные пространственно периодические деформации директора (домены), а также эффекты турбулентного движения ЖК при более высоких электрических полях. С другой стороны, в твердом теле, газах (воздух) хорошо известны эффекты, которые вызваны монополярными носителями тока, когда имеет место обмен импульсами между этими носителями заряда и атомами (молекулами) среды, что сопровождается перемещением атомов (молекул) среды. К таким эффектам, например, относится эффект электромиграции атомов в проводнике под действием потока электронов [2] или так называемый электрический ветер (ионный ветер) в воздухе, возникающий в окрестности металлического острия, которое находится под большим потенциалом (см., например, [3]). В жидкокристаллической среде, в случае реализации эффекта аналогичного эффекту ионного ветра, можно ожидать влияние движения монополярных ионов на ориентацию директора. Целью работы было экспериментальное обнаружение влияния монополярных ионов на ориентированный нематический ЖК.

2. Экспериментальные результаты. На рис. 1 схематически представлена конструкция ЖК ячейки для исследования влияния монополярного ионного тока на ориентацию нематического ЖК. В качестве подложки использовался образец монокристаллического кремния n -типа проводимости (4,5 Ом·см) с высоколегированными карманами p^+ -типа проводимости (0,1 Ом·см). Начальная гомеотропная ориентация нематического ЖК 5СВ достигалась обработкой поверхности кремния и поверхности покровного стекла (без токопроводящей пленки) раствором лецитина в толуоле.

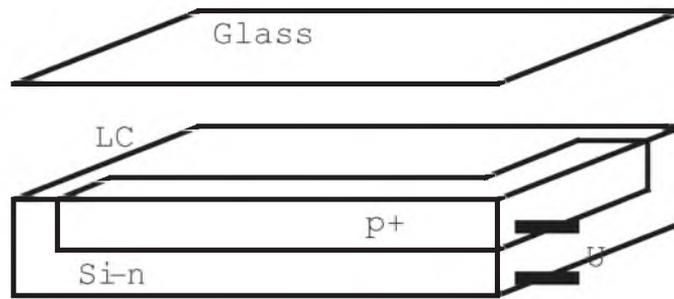


Рис. 1. Схематический вид ЖК ячейки на основе кремниевой подложки с p^+-n переходом. U — напряжение, приложенное к p^+-n переходу. LC — слой жидкого кристалла

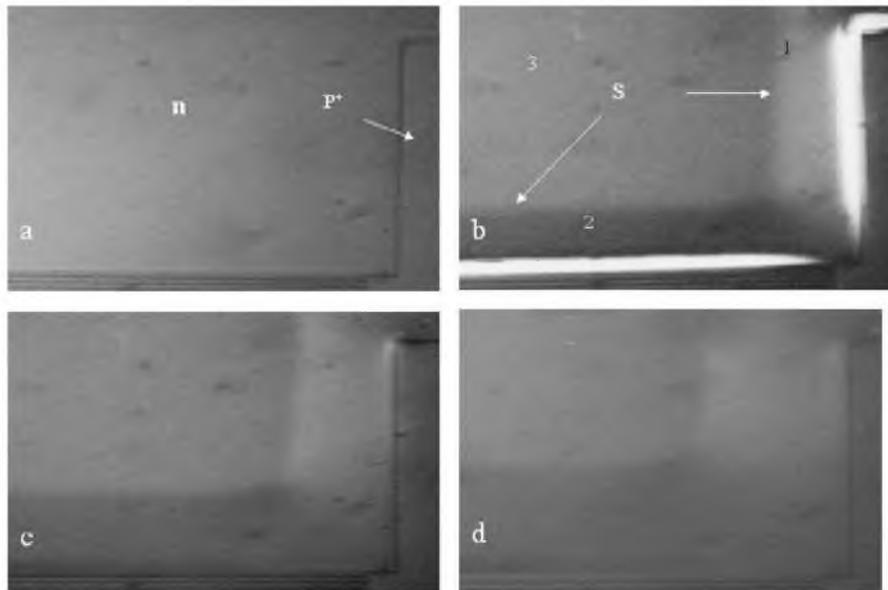


Рис. 2. Фрагмент ячейки с исходной гомеотропной ориентацией нематика при $U = 0$ (a). Расширение области измененной ориентации нематика (b-d). Время действия ступеньки напряжения ($U = 16$ V), секунды: (b) - 1, (c) - 3, (d) - 7. Толщина ЖК 10 микрон.

В момент прикладывания ступеньки напряжения U с обратной полярностью, в окрестности линии p^+-n перехода происходит хорошо наблюдаемая, в виде яркой светлой полосы, переориентация нематика (рис. 2b). Одновременно, от этой же полосы переориентированного нематика начинает расширяться область изменяющейся ориентации нематика, рис. 2 b-d. Граница S этой расширяющейся области перемещается над поверхностью кремния n -типа проводимости перпендикулярно линии p^+-n перехода (рис. 2b). В зависимости от расположения ячейки относительно скрещенных поляризаторов, расширяющаяся область измененной ориентации нематика имеет светлый (1) или темный



(2) однородный фон по сравнению с фоном исходной гомеотропной ориентации (3), и не имеет признаков доменного упорядочивания поля директора (рис. 2b-d). При повороте ячейки (в плоскости ячейки) на 90 градусов светлый фон меняется на темный и наоборот. Переориентация нематика, которая наблюдается в виде яркой полосы в окрестности линии p^+ - n перехода сравнительно быстро исчезает, но граница S области измененной ориентации нематика продолжает двигаться, оставаясь параллельной линии p^+ - n перехода, (рис. 2c, 2d). Контраст между областью измененной и исходной ориентацией нематика по мере удаления границы S от линии p^+ - n перехода постепенно уменьшается. В конечном итоге, граница S пройдя некоторое расстояние L , становится неразличимой на фоне исходной ориентации нематика. На рис. 3 представлена зависимость дистанции L от величины U ступеньки напряжения приложенного к p^+ - n переходу. Хорошо видно, что проявляется линейная зависимость между L и U .

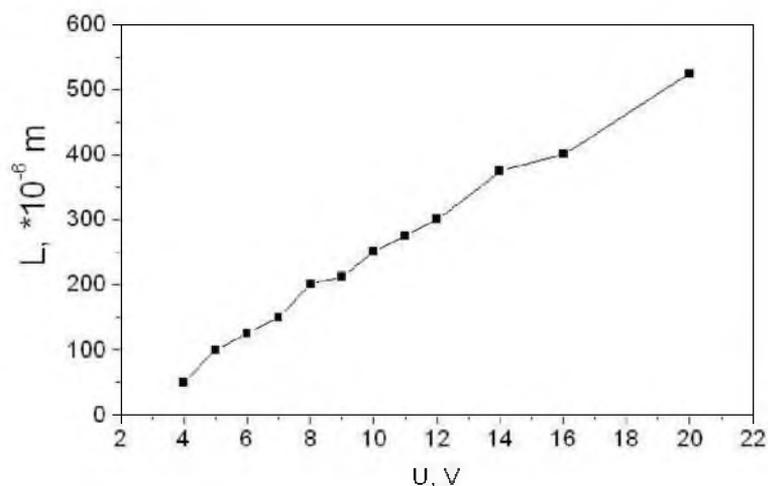


Рис. 3. Зависимость расстояния L от величины ступеньки напряжения U .
Толщина ЖК 10 микрон

Для вышеуказанного p^+ - n перехода, ширина слоя обедненного основными носителями заряда, в котором формируется электрическое поле p^+ - n перехода и которое принципиально может проникнуть в слой ЖК и вызвать соответствующее изменение ориентации директора, не превышает 1-2 микрона [2]. Поэтому появление области измененной ориентации нематика и тем более движение ее границы на столь значительное расстояние L не вызвано электрическим полем обедненного слоя p^+ - n перехода.

При обратном смещении p^+ - n перехода возможны два варианта токов не основных носителей заряда (электронов) из области p^+ кремния. Это электронный ток непосредственно через p^+ - n переход (j_1), и утечка заряда в виде ионного тока (j) через слой ЖК, минуя p^+ - n переход, вследствие инжекции электронов в ЖК [1]. Измерение тока через p^+ - n переход подтверждает наличие тока через слой ЖК. Обратный ток p^+ - n перехода без ЖК на порядок меньше тока в ячейке, которая содержит ЖК.

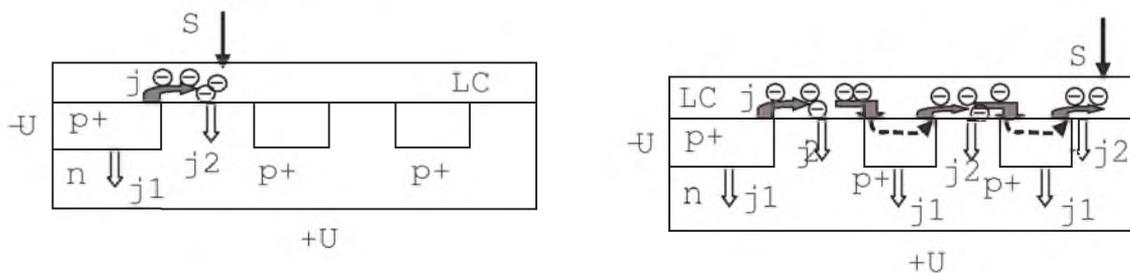


Рис. 4. Схематическое представление токов и движения границы S в ЖК ячейке с несколькими p^+ карманами. j_1 и j_2 токи утечки через p^+-n переход и через контакт LC/Si соответственно. j — ток инжекции в ЖК.

Рассмотрим движение границы S , когда на поверхности кремния n -типа проводимости есть несколько изолированных друг от друга p^+ карманов, рис. 4. Прикладывая к p^+-n переходу ступеньку напряжения соответствующей величины, граница S , покинув линию p^+-n перехода может достигнуть границу ближайшего изолированного p^+ кармана. После соприкосновения границы S с p^+ карманом, новое положение границы S , почти мгновенно, появляется на противоположной стороне этого p^+ кармана и продолжает свое движение с прежней скоростью до другого p^+ кармана, при этом никаких изменений ориентации нематика над поверхностью этого p^+ кармана не происходит. Такая же картина повторяется при достижении границы S последующих изолированных p^+ карманов. Выше перечисленные экспериментальные результаты позволяют предположить, что появление расширяющейся области измененной ориентации нематика над поверхностью кремния n -типа проводимости связано с движением отрицательно заряженных ионов. В этом случае отсутствие изменения ориентации нематика над p^+ карманами объясняется сменой типа носителя заряда в момент соприкосновения границы S с p^+ карманом: от ионного тока в ЖК среде к электронному в самом p^+ кармане, рис. 4.

Анализ скорости движения границы S позволил оценить подвижность ионов, которая по порядку получается равной 10^{-9} м²/Вс. Полученное значение величины подвижности ионов находится в согласии с литературными данными [1, 5].

Из-за конечной величины электрического сопротивления образца кремния, падение напряжения на поверхности кремния n -типа проводимости равномерно распределено по мере удаления от линии p^+-n перехода. Следовательно, тянущее электрическое поле также равномерно распределено в плоскости ячейки от линии p^+-n перехода. Косвенно, это подтверждается линейной зависимостью L от величины ступеньки напряжения U , рис. 3.

Установлено, что на контраст движущейся границы S влияет длительность периода отдыха ячейки между последовательными включениями ступеньки напряжения. При уменьшении времени отдыха ячейки контраст визуализации движущейся границы S падает. Для полного восстановления первоначального проявления электрооптического эффекта необходимо время отдыха ячейки порядка 3-5 минут. Такое влияние предистории ячейки указывает на накопление ионных зарядов в ЖК. Факт накопления ионного



заряда в процессе движения границы S проявляется например в темпе возрастания тока через p^+-n переход. Время выхода тока на насыщение при первом включении ступеньки в среднем соответствует времени прохождения границей S дистанции L . После кратковременного отключения напряжения, при новом включении ступеньки напряжения, ток p^+-n перехода нарастает значительно быстрее. Такой характер кривой подтверждает, что в слое ЖК после действия первой ступеньки напряжения накопился некоторый ионный заряд, который за период времени отдыха не успевает полностью нейтрализоваться, и сразу вовлекается в процесс переноса заряда в подложку при втором включении напряжения.

3. Заключение. Таким образом, несмотря на то, что детальный механизм описанного электрооптического эффекта остается не выясненным, приведенные в работе экспериментальные результаты свидетельствуют о ионном механизме описанного электрооптического эффекта. В данной геометрии ЖК ячейки, в которой ЖК граничит с кремниевой подложкой и p^+-n переходом на ее поверхности, при обратном смещении p^+-n перехода, область p^+ -типа проводимости кремния служит инжектором электронов в слой ЖК с образованием отрицательно заряженных ионов. В тянущем электрическом поле поток монополярных ионов вызывает однородное изменение исходной ориентации нематика.

Литература

1. Blinov L.M., Chigrinov V.G. Electrooptic Effects in Liquid Crystal Materials / New York: Springer, 1993
2. Muller R., Kamins T. Device electronics for integrated circuits / New York: Wiley, 1986.
3. Калашников С.Г. Общий курс физики. Электричество / М. Наука, 1977.
4. Zhang X.G. Electrochemistry of Silicon and Its Oxide / New York: Klumer Academic/Plenum Publishers, 2001.
5. deGennes P.G., Prost J. The Physics of Liquid Crystals / Oxford: Clarendon, 1995.

ION WIND EFFECT IN NEMATIC CELL WITH SILICON SUBSTRATE

S.I. Kucheev, Yu.S. Tuchina

Belgorod State University,
Pobedy Dt., 85, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: skucheev@yahoo.com

Abstract. Some experimental results concerning observation not stationary change of nematic orientation in liquid crystal cell with silicon substrate at disturbance by voltage step. Changing of initial nematic orientation is explained by the influence of negative ions movement (so-called ion wind) on the director. Ions are created due to electron injection from p^+ region of back biased p^+-n junction.

Key words: nematic liquid crystal, nematic cell, negatively charged ions, p-n junction.