

УДК 620.1.72:532.783

**ДОМЕННАЯ ПЕРЕОРИЕНТАЦИЯ НЕМАТИКА
В СТРУКТУРЕ Si/НЕМАТИК/ITO****С.И. Кучеев, Ю.С. Тучина**Белгородский государственный университет
ул.Студенческая, 14, г.Белгород 308007, Россия, e-mail: kucheev@bsu.edu.ru

Исследуется доменная переориентация нематика в сэндвич-структуре Si/нематик/ITO, индуцированная лазерным излучением. Определены условия возникновения и особенности передвижения границы доменной переориентации нематика. Предложен механизм формирования и движения стенки домена в структуре Si/нематик/ITO. Продемонстрирована запись дифракционной решётки с разрешением порядка 20 линии/мм, а также принципиальная возможность управлять направлением движения границы домена.

Ключевые слова: кремний, нематик, ионы в жидком кристалле.

1. Введение. Жидкокристаллические модуляторы света находят широкое применение в системах обработки и отображения оптической информации. В настоящее время наибольшее распространение получили модуляторы света, основанные на МОП структурах [1]. В таких модуляторах света слой окиси кремния играет роль диэлектрического зеркала. С другой стороны, диэлектрический слой препятствует протеканию процессов переноса и накопления заряда в жидком кристалле. Модуляция поверхностной проводимости кремния осуществляется исключительно электрическим полем электрода. В связи с этим функциональные возможности такого типа жидкокристаллических модуляторов света ограничены. В представленной работе рассматривается структура Si/нематик/прозрачный электрод (ITO), в которой могут протекать зарядовые процессы благодаря непосредственному контакту Si/нематик. Вследствие возможных процессов накопления ионных зарядов и переноса заряда через границу Si/жидкий кристалл (ЖК) функциональные возможности структур подобного рода значительно возрастают. В работе продемонстрирован и исследован электрооптический эффект, возникающий в структуре Si/нематик/ITO под действием лазерного излучения. Рассмотрены потенциальные возможности использования структуры для обработки оптической информации.

2. Эксперимент. В эксперименте исследовались электрооптические эффекты в структуре Si/нематик/ITO. В качестве подложки использовался монокристаллический кремний n-типа проводимости с удельным сопротивлением порядка $4,5 \text{ Ом} \times \text{см}$. Поверхность кремния была предварительно протравлена плавиковой кислотой с целью удаления загрязнений и окиси кремния. Верхней референтной подложкой служила стеклянная пластина с плёнкой ITO и полиимидной плёнкой, натёртой в одном направлении для формирования планарной ориентации нематика. Ячейка заправлялась нематическим жидким кристаллом 5СВ. Ориентация нематика на поверхности Si специально не задавалась.

В эксперименте было установлено, что при выполнении двух условий, а именно при наличии приложенного переменного напряжения и лазерном облучении, в структуре Si/нематик/ITO, возникает следующий нестационарный электрооптический эффект. В области лазерного пятна на поверхности кремния (стрелка 1) зарождается и расширяется область гомеотропной ориентации нематика (см. рис. 1). Эта область локализована, имеет однородную ориентацию нематика и демонстрирует высокий контраст границы, что позволяет

ниже называть эту область доменом. Стационарные размеры домена после фазы расширения зависят от интенсивности лазерного излучения. Характерная толщина ЖК-слоя, при которой возможно формирование домена, имеет порядок 1 мк.

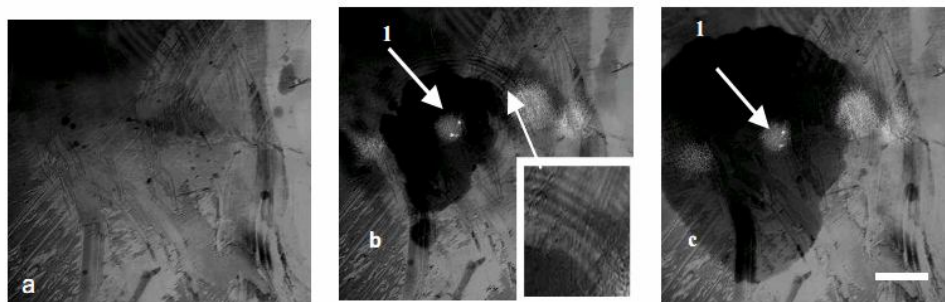


Рис. 1. Доменная переориентация в структуре SI/нематик/ГГО, индуцированная лазерным излучением (He-Ne, 0,63; μm). Напряжение 5,5 В. Частота 3×10^3 Гц. Время после включения лазерного луча: b – 2 с; c – 25 с. Масштаб 0,5 мм. Вставка – дифракционная решётка, индуцированная дифрагированным лазерным лучом.

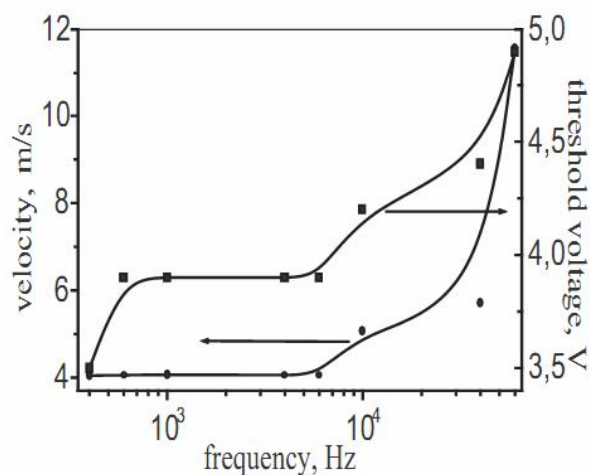


Рис. 2. Типичная зависимость от частоты порогового напряжения появления домена, индуцированного лазерным излучением, и скорости перемещения границы домена.

На рис. 2 представлена зависимость порогового напряжения доменной переориентации от частоты. Как видно, область существования такой переориентации находится в диапазоне $4 \times 10^2 - 6 \times 10^4$ Гц. При частотах, меньше чем 4×10^2 Гц, контраст границы домена сильно снижается. При частотах больше, чем 6×10^4 Гц, пороговое напряжение резко возрастает. Контраст границы домена при этом сохраняется.

Экспериментально установлено, что для возникновения домена интенсивность света должна превышать соответствующее пороговое значение. На рис. 1 хорошо видно, что

место первоначального возникновения домена соответствует лазерному пятну на поверхности кремния (рис. 1b, 1c), т.е. месту с максимальной интенсивностью. Из-за дифракции лазерного луча лазерное пятно окружено дифракционной картиной в виде концентрических колец, имеющих меньшую интенсивность. Благодаря пороговому характеру возникновения доменной переориентации, домены не зарождаются в области дифракционной картины, но при этом в соответствии с распределением интенсивности света в структуре формируется дифракционная решётка (вставка на рис. 1б). Записанная решётка существует до тех пор, пока по области, где она записана, не пройдет фронт домена (рис. 1с). Оценка разрешения записанной дифракционной решётки даёт величину порядка 20 линий/мм.

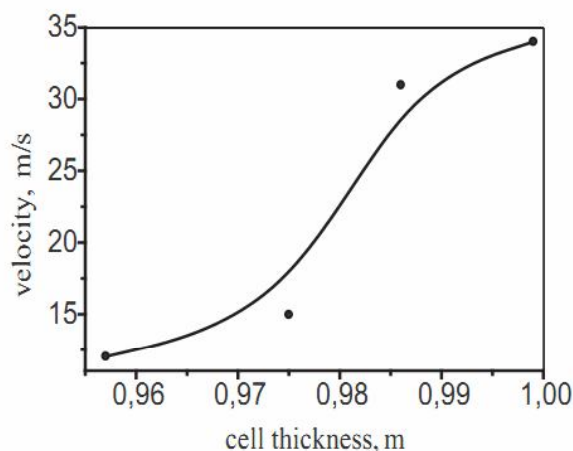


Рис. 3. Зависимость скорости перемещения границы домена от толщины слоя нематика. Напряжение 4 В. Частота 3×10^3 Гц.

Для исследования зависимости скорости перемещения границы домена от толщины ЖК-слоя использовалась ячейка с неоднородной толщиной такого слоя. Контроль толщины ЖК-слоя осуществлялся благодаря имеющимся в ячейке так называемым кольцам Ньютона. На рис. 3 представлена зависимость скорости передвижения границы домена от толщины ЖК-слоя. Из этого графика видно, что с увеличением толщины ЖК-слоя скорость границы домена возрастает.

С целью выяснения механизма формирования домена и перемещения его границы были проведены два дополнительных эксперимента. В первом эксперименте использовался кремний, на поверхности которого была сформирована наноразмерная плёнка. Такая плёнка формируется при действии на структуру Si/нематик/ITO постоянного напряжения [2]. Рис. 4 демонстрирует зависимость скорости движения границы домена от длительности времени релаксации (промежутка времени между последующими включениями управляющего напряжения) структуры: в случае (1) – над чистым кремнием, в случае (2) – над кремнием с плёнкой. Хорошо видно, что при любых значениях времени релаксации структуры граница домена над плёнкой движется с меньшей скоростью, чем над чистым кремнием. Из приведенного графика также видно, что при уменьшении времени релаксации скорость перемещения границы домена увеличивается. Несмотря на то, что

механизм подобного гистерезисного поведения движения границы домена пока не ясен, мы полагаем, что такое поведение является подтверждением существенной роли накопления и релаксации ионных зарядов в жидком кристалле у поверхности кремния.

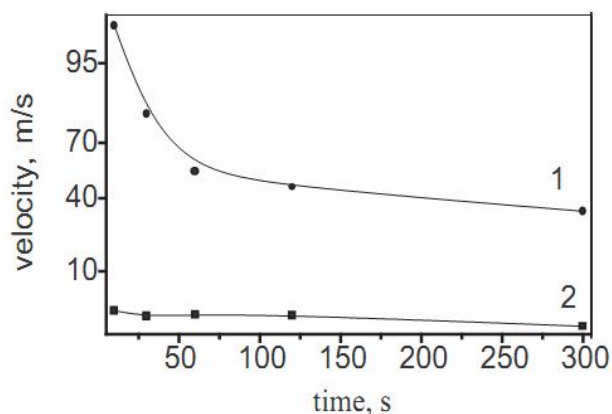


Рис. 4. Зависимость скорости перемещения границы домена от времени релаксации: 1 – над кремнием без плёнки; 2 – над кремнием с плёнкой. Напряжение 4,1 В. Частота 3×10^3 Гц.

Во втором эксперименте использовался кремний, поверхность которого была обработана фокусированным пучком ионов Ga энергией 30 keV и током 10 pA (FEI Quanta 200 3D). Форма обработанной поверхности представляла собой дорожку шириной порядка 10 μm . Было установлено, что граница домена не пересекает Ga-дорожку (рис. 5).



Рис. 5. Граница домена, остановленная Ga-дорожкой: 1 – домен; 2 – Ga-дорожка.

Принимая во внимание приведенные выше экспериментальные результаты, мы предполагаем, что механизм появления доменной переориентации нематика следующий. В структуре Si/нематик/ITO, благодаря выпрямлению переменного напряжения на границе Si/ЖК, происходит аккумуляция ионов в окрестности поверхности кремния. Из-за суммарного влияния электрического поля электрода ITO и поля накопленного ионного заряда у поверхности кремния приповерхностный слой обедняется основными носителями заряда вследствие наличия тока J_1 – оттока носителей от поверхности в глубь кремния. Однако ток утечки J_2 через контакт Si/ЖК поставляет носители заряда в приповерхностный

слой кремния и, следовательно, препятствует формированию обеднённого слоя. Поэтому в случае $J_1 > J_2$ формируется обеднённый высокоомный слой. В результате перераспределения напряжения между кремнием и слоем нематика, часть приложенного к ячейке напряжения падает на высокоомном слое в кремнии. При облучении поверхности кремния лазерным излучением, благодаря генерации неравновесных носителей заряда (электроны, дырки), обеднение в Si и, следовательно, высокоомный слой исчезают. Поэтому в области засветки поверхности кремния приложенное к структуре напряжение полностью падает на слое ЖК, что сопровождается переходом нематика в области домена в гомеотропное состояние.

Выше рассмотренные результаты, касающиеся движения границы домена в структуре с наноразмерной плёнкой на поверхности кремния, качественно подтверждают предложенную модель. Ранее было показано [2], что наноразмерная плёнка, выращенная на поверхности кремния, ослабляет ток утечки через границу Si/ЖК. Это способствует условию ($J_1 > J_2$) формирования обеднённого слоя, и, следовательно, скорость передвижения границы домена уменьшится. Блокировка движения границы домена Ga-дорожкой на поверхности кремния в структуре Si/нематик/ITO также проясняет механизм формирования и движения стенки домена. Хорошо известно [3], что при проникновении ускоренных ионов Ga в приповерхностные слои кремния образуется большое количество дефектов кристаллической решетки, которые могут играть роль ловушек носителей заряда. Когда движущаяся граница домена подходит к участку поверхности кремния с большой концентрацией ловушек, носители заряда, обеспечивающие ток утечки (J_2) в кремнии, захватываются ловушками. Это способствует сохранению условия формирования обеднённого слоя. Поэтому граница домена не пересекает участок поверхности кремния с большим числом ловушек заряда.

Заключение. В работе исследовалась доменная переориентация нематика в структуре Si/nematic/ITO. Установлено, что при условии возбуждения структуры переменным напряжением соответствующего диапазона частот источником доменной переориентации нематика может служить лазерное излучение. К характерным особенностям доменной переориентации относятся: 1) существование порога интенсивности лазерного излучения, 2) нестационарность размеров домена (увеличиваются со временем до некоторого равновесного значения), 3) домены формируются в нематике толщиной порядка одного микрометра. Основную роль в механизме формирования домена и движения его границы играют процессы накопления и релаксации ионных зарядов в ЖК. Продемонстрирована запись дифракционной решётки в структуре с разрешением 20 линий/мм. Участок кремния с большой концентрацией ловушек заряда может эффективно препятствовать движению границы домена, что открывает принципиальную возможность управлять направлением движения границы домена.

Авторы выражают благодарность за предоставленную возможность использовать оборудование Центра коллективного пользования БелГУ.

Литература

1. Сихарулидзе Д.Г. Преобразователи изображений типа МДП – электрооптический материал // Д.Г. Сихарулидзе, Г.С. Чилая. – М.: Радио и связь, 1986.

2. Gritsenko N.I., Kucheev S.I., Litvin P.M. Passivation of silicon surface by ultrathin dielectric film in M/Si/nematic/ITO structures // *Semicond. Phys., Quant.Elect.and Optoelect.* – 2004. –7;2. – P.154-156.
3. Yogev S., Levin J., Schwarzman A., Avayu A. and Rosenwaks Y. Charging of dielectrics under focused ion beam irradiation // *Journal of Applied Physics.* – 2008. – 103; 064107.

DOMAIN REORIENTATION OF NEMATIC IN THE Si/NEMATIC/ITO STRUCTURE

S.I. Kucheev, Yu.S. Tuchina

Belgorod state university

Studencheskaya, 14 St., Belgorod, 308007, Russia, e-mail: kucheev@bsu.edu.ru

Domain reorientation of nematic in the Si/nematic/ITO structure induced by laser irradiation was studied. The conditions of nematic domain formation and its boundary movement are found. The mechanism of domain formation in Si/nematic/ITO structure is proposed. The diffraction grating with about 20 line/mm of resolution and the principal possibility of direction control of domain boundary movement are demonstrated.

Key words: silicon, nematic, ions in liquid crystal