

Оптическая запись информации импульсным лазерным излучением в жидкокристаллических ячейках с азомодифицированной поверхностью

С.В.Серак*, А.В.Агашков*, В.Ю.Решетняк**

Исследовано влияние транс-цис-фотоизомеризации азофрагментов полимерной пленки на молекулярную переориентацию жидкого кристалла. Показано, что с помощью лазерных импульсов наносекундной длительности можно осуществить как реверсивную, так и статическую запись информации в жидкокристаллических ячейках с азомодифицированной поверхностью. Изучение переориентации методами динамической голографии показало, что время ее развития составляет ~30 мкс, а эффективность решетки достигает 15 %.

Ключевые слова: лазер, жидкий кристалл, азополимер, переориентация.

1. Введение

В настоящее время жидкие кристаллы (ЖК) находят широкое применение не только как материалы для дисплеев, но также в качестве нелинейно-оптических сред для устройств оптической записи и хранения информации, для модуляторов излучения, а также для лазерных элементов – модуляторов добротности резонаторов, обрабатываемой длиной волны, волновых пластинок, и др. Одной из актуальных задач является поиск новых материалов и способов управления ориентацией ЖК-матрицы с помощью лазерного излучения. Для этих целей используются fotocувствительные ориентанты, в частности азосодержащие полимеры, обладающие высоким нелинейным откликом [1–8].

Воздействием поляризованного лазерного излучения на ориентирующую поверхность из азополимера, содержащего структурные фрагменты, способные к транс-цис-фотоизомеризации, можно осуществить эффективную молекулярную переориентацию ЖК и достичь максимального изменения показателя преломления ЖК-слоя от n_e до n_o . При этом твист-деформация директора может измениться на планарную [2] или планарная – на гомеотропную [3] и т. д. Вид изменения зависит от химической структуры азосодержащих материалов, энергии сцепления молекул ЖК с поверхностью, параметров лазерного излучения (поляризация, интенсивность, время воздействия). В таких ЖК-устройствах излучением импульсного Ar-лазера с плотностью энергии ~ 1 Дж/см² [2] можно записывать стабильные голограммы с памятью и разрешением не хуже 100 лин./мм.

Другим способом управления директором ЖК-слоя является наведение лазерным излучением на неориентированной полимерной поверхности оси легкого ориенти-

рования [4, 9–10]. В этом случае играют роль молекулярная фотоизомеризация в объеме ЖК, активированного азокрасителем, и адсорбция изомеров на неориентированной поверхности. Особенностью этого способа является то, что директор слоя поворачивается в плоскости подложек ЖК-ячейки, в то время как в постоянном электрическом поле молекулы поворачиваются перпендикулярно подложкам. Кроме того, этот способ позволяет управлять поляризацией выходного излучения. Авторами [9] сообщалось о высоком пространственном разрешении решеток (до 200 лин./мм), записанных на таких материалах при плотности энергии ~ 0.1 Дж/см².

К настоящему времени механизм фотоиндуцированной ориентации в полимерных пленках, содержащих азохромные группы (связь $-N=N-$), изучен достаточно хорошо [11, 12]. Он включает в себя два этапа. Первый состоит в анизотропном истощении углового распределения транс-изомеров в результате накопления цис-изомеров вдоль направления поляризации. На втором происходит вращение молекул в процессе транс-цис-транс-изомеризационного цикла [11].

В большинстве случаев при взаимодействии азокрасителей с поляризованным лазерным излучением молекулярный фрагмент $-N=N-$ ориентируется перпендикулярно полю, и директор слоя постепенно отклоняется от направления поляризации [13]. Авторами большинства работ была исследована переориентация ЖК в стационарных условиях транс-цис-транс-фотоизомеризации в полимерных пленках при воздействии излучением непрерывных газовых лазеров. Время развития переориентации было довольно значительным – несколько минут. Повышение быстродействия этого эффекта наряду с поиском сред с большим нелинейным откликом является актуальной задачей с точки зрения как практического применения, так и научного изучения.

Механизм транс-цис-изомеризации является одним из нелинейных механизмов, который может быть инициирован в поле коротких лазерных импульсов, т. к. время конформационных превращений молекул составляет пикосекунды [14]. Ранее нами впервые был осуществлен изотермический фазовый переход (разупорядочение слоя ЖК в результате накопления в нем цис-изомеров) моно-

*Институт электроники НАН Белоруссии, 220090 Минск, Логойский тракт, 22

**Киевский университет им. Тараса Шевченко, физический факультет, Украина, 252022 Киев, просп. Глушкова, 6

импульсным излучением второй гармоники рубинового лазера в жидкокристаллических азобензолах [15]. Дальнейшие исследования [16] обнаружили переориентацию директора в таких средах при тех же условиях возбуждения. Изучение динамики релаксации переориентации в условиях интенсивного нестационарного фотовозбуждения короткими лазерными импульсами позволяет установить, на каком этапе организуется коллективное вращательное движение ЖК-молекул.

В настоящей работе исследуется возможность записи информации наносекундными импульсами второй гармоники YAG:Nd-лазера в ЖК-ячейках с азополимерной пленкой на одной (входной) подложке. Изучается динамика молекулярной переориентации ЖК при лазерном облучении одним и двумя пучками с использованием динамической голографии и поляризационной микроскопии. Теоретически оценивается поверхностная энергия сцепления на входной подложке до и после облучения и ее изменение в процессе облучения.

2. Экспериментальное описание

2.1. ЖК-образцы

Для эксперимента были приготовлены ЖК-ячейки, одна из подложек которых (со стороны падающего пучка накачки) была покрыта азополимером, а вторая (выходная) – жестко натертой ориентирующей пленкой поливинилового спирта (ПВС). В качестве азополимера был использован сополимер поли-(дисперсный красный-1)-метакрилат-сометилметакрилат (ДК1-ПММА). К основной цепи полимера химически присоединены молекулы азокрасителя 4-диэтиламина-4'-нитроазобензола (ДК1, весовая концентрация 24 %). Структурная формула азополимера и спектры поглощения приведены на рис.1.

Спектр поглощения пленки имеет максимум на длине волны $\lambda = 485$ нм. Раствор азополимера в хлористом метиле (3 %) наносился на стеклянную подложку методом вытягивания подложки из раствора в одном направлении. При сборке направления вытягивания азополимера q и натирания пленки ПВС n были взаимно перпендикулярны. Собственное поглощение азополимерной пленки обнаруживает небольшой дихроизм поглощения $d = (k_{\parallel} - k_{\perp}) / (k_{\parallel} + k_{\perp}) = 0.15$, что обусловлено способом приготовления пленки. Здесь k_{\parallel} и k_{\perp} – коэффици-

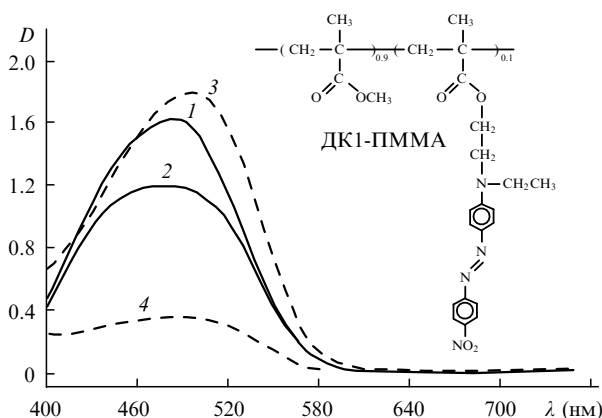


Рис.1. Структурная формула и спектры поглощения азополимера ДК1-ПММА (1, 2) и азокрасителя ДМАНАБ в планарном слое 5ЦБ (3, 4) при ориентациях $E \parallel q$ (1), $E \perp q$ (2), $E \parallel L$ (3) и $E \perp L$ (4).

циенты поглощения, соответствующие взаимно параллельной и ортогональной ориентациям вектора поляризации световой волны E и направления q .

После длительного облучения ЖК-ячейки непрерывным излучением He–Cd-лазера ($\lambda = 442$ нм) было обнаружено «покраснение» ячейки и смещение спектра поглощения на 10 нм в длинноволновую сторону, что подтверждает образование *цис*-изомеров [12]. В качестве ЖК-материала в экспериментах использовался нематик 4-пентил-4'-цианобифенил (5ЦБ). Толщина слоя ЖК была равна 10 мкм.

В слое ЖК с неориентированной азополимерной поверхностью устанавливается некоторая стабильная ориентация, которая может быть, в частности, планарной, гомеотропной или закрученной [17]. Мы исследовали ориентацию готовой ЖК-ячейки как в поле зрения поляризационного микроскопа, так и методом измерения дихроизма поглощения ЖК-слоя, активированного красителем, молекулы которого имели удлиненную форму и были изоморфны молекулам ЖК [18].

Для этого в нематик 5ЦБ добавлялось небольшое количество (0.1 %) азокрасителя 4-диметиламино-4'-нитроазобензола (ДМАНАБ). Параметр порядка ДМАНАБ в планарном слое 5ЦБ, ориентированном натертными пленками ПВС на двух подложках, определялся как $S = (k_{\parallel} - k_{\perp}) / (k_{\parallel} + 2k_{\perp}) = 0.6$ и был примерно равен параметру порядка ЖК.

Коэффициенты поглощения ЖК-слоя k_{\parallel} и k_{\perp} соответствуют ориентациям $E \parallel L$ и $E \perp L$, где L – направление директора ЖК. В этом случае дихроизм поглощения слоя $d = 0.68$. Сразу после заполнения ЖК-ячейки с азомодифицированной поверхностью дихроизм поглощения $d = 0.43$, что меньше, чем в планарной ячейке. Исследование образцов в поляризационном микроскопе обнаруживает ориентацию, близкую к планарной, с преднаклоном молекул на входной подложке. С течением времени (один-два часа) дихроизм поглощения падал до 0.2, что свидетельствовало об установлении другой, более стабильной ориентации. Возникла твист-структура с некоторым углом закрутки φ' на входной подложке, зависящим от толщины азополимерной пленки (она изменялась от 0.2 до 0.5 мкм) и технологических условий ее нанесения.

2.2. Фотоиндуцированная переориентация директора в ЖК-ячейках с азосодержащей полимерной поверхностью

Были исследованы ориентационные изменения в объеме неактивированного слоя 5ЦБ, фотоиндуцированные азомодифицированной поверхностью. Схема эксперимента приведена на рис.2. Нелинейно-оптические свойства ЖК-ячеек изучались как в скрещенных поляроидах

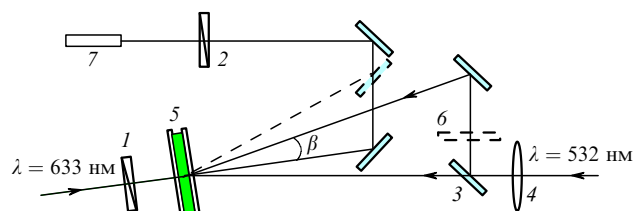


Рис.2. Схема экспериментальной установки для исследования переориентации ЖК-ячейки с азомодифицированной поверхностью излучением второй гармоники YAG:Nd-лазера: 1 – поляризатор; 2 – анализатор; 3 – зеркало, $R = 50\%$; 4 – линза, $f = 1.5$ м; 5 – ячейка с ЖК; 6 – экран; 7 – фотоприемник.

1, 2 (экран б перекрывает один из возбуждающих пучков), так и методом динамических решеток (экран удален). Фотоприемник 7 регистрировал интенсивность зондирующего пучка He-Ne-лазера ($P = 1$ мВт, $\lambda = 633$ нм), прошедшего через центр области возбуждения ЖК-ячейки 5. В качестве источника возбуждения был использован YAG:Nd-лазер с удвоением частоты со следующими параметрами излучения: энергия в моноимпульсе $E = 1$ мДж, энергия импульса с усилителем – 5.5 мДж, его длительность $\tau = 10$ нс, длина волны излучения $\lambda = 532$ нм.

Геометрия эксперимента позволяла исследовать как кинетику пропускания, так и поворот директора слоя в соответствии с режимом Могена. В ЖК-ячейке с азополимерной пленкой на входной подложке, ось ориентирования на которой имеет угол φ' с направлением натирания n на второй подложке, при воздействии линейно поляризованного излучения YAG:Nd-лазера возникает область с твист-ориентацией, отличной от исходной.

Было исследовано изменение пропускания зондирующего пучка, прошедшего через ячейку с азомодифицированной пленкой, помещенную между поляроидами таким образом, что направление натирания n выходной поверхности совпадало с направлением оси поляризатора 1, а ось анализатора 2 была повернута на угол $90^\circ + \varphi'$, чтобы пропускание ячейки было минимальным. В такой геометрии в соответствии с режимом Могена вектор поляризации He-Ne-лазера следует за поворотом директора и мы можем определить его угол поворота с помощью анализатора. Когда вектор поляризации излучения YAG:Nd-лазера E_{Nd} параллелен направлению n , угол закрутки директора φ увеличивается ($\varphi > \varphi'$), когда $E_{Nd} \perp n$ – уменьшается ($\varphi < \varphi'$). Иными словами, молекулы ЖК выстраиваются перпендикулярно направлению поляризации излучения. Этот угол зависит от мощности возбуждения.

Можно достичь практически полной твист- или планарной переориентации, т. е. наблюдать раскручивание директора слоя до $\varphi = 0^\circ$ или его докручивание до $\varphi = 90^\circ$. На рис. 3 показаны зависимости угла закрутки $\varphi = \varphi' + \Delta\varphi$ от плотности энергии излучения накачки W и времени после облучения. На рис. 3,а угол закрутки определялся через 5 с после облучения (начальный угол закрутки $\varphi' = 18^\circ$). Нелинейный отклик и время установления переориентации существенно зависят от интенсивности возбуждения. Существует пороговая плотность энергии накачки $W_{th} = 30$ мДж/см², с которой переориентация начинает активно развиваться (рис. 3,а). Как видно из осциллограммы рис. 3,б, время ее развития составляет ~ 10 мс.

При освещении одиночным импульсом с плотностью энергии $W = 80$ мДж/см² дальнейшее затухание происходит в два этапа: вначале в течение ~ 1 с пропускание ячейки быстро падает (рис. 3,з, кривая 1), а затем за несколько минут медленно возвращается к исходному состоянию. Возбуждение двумя-тремя импульсами вызывает статическую запись фотоориентации, которая сохраняется несколько часов. В поляризационном микроскопе можно было наблюдать медленное затухание индуцированного угла закрутки.

На рис. 4 демонстрируется накопление фотоиндуцированной переориентации при воздействии на ячейку серии импульсов с энергией 5 мДж в импульсе и частотой 1 Гц. В ЖК-ячейке с исходной закруткой директора на

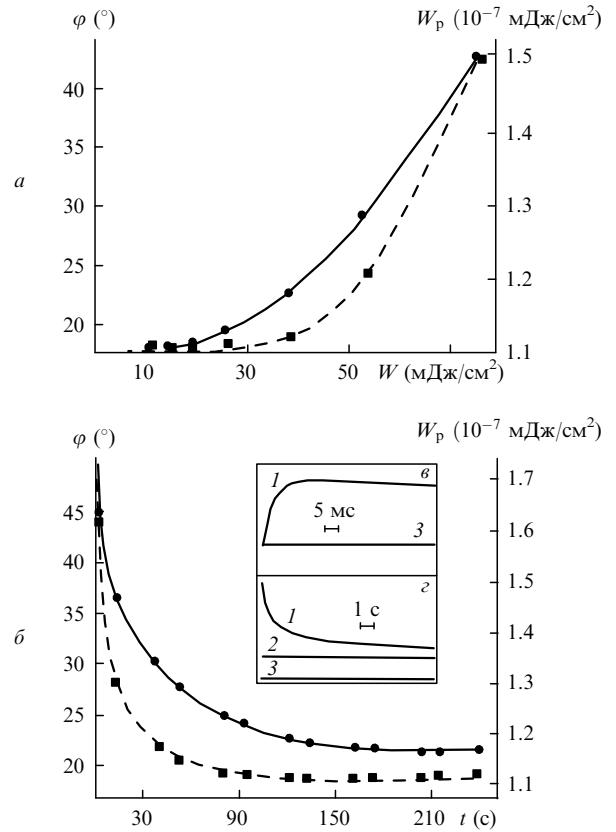


Рис.3. Зависимости угла поворота директора φ в ЖК-ячейке с азополимерной поверхностью (сплошная кривая) и энергии сцепления молекул ЖК с поверхностью W_p (штриховая кривая) от плотности энергии возбуждения (а) и времени после облучения (б), а также изменение пропускания ЖК-ячейки во времени в разных масштабах (в, з) сразу после воздействия (1) и через 30 с после воздействия (2), а также до воздействия (3).

18° после облучения наблюдается увеличение угла закрутки от 38 до 70° в зависимости от числа импульсов (рис. 4,а). На рис. 4,б приведена осциллограмма динамики переориентации в этом случае. Хорошо виден рост постоянной составляющей цепочки импульсов. После облучения первым импульсом исходная ориентация ячейки не восстанавливается, а наблюдается тенденция к накоплению эффекта с последующими импульсами и его насыщению после седьмого импульса. Восьмой импульс производит статическую запись пятна (рис. 4,в), которая сохраняется в течение нескольких месяцев.

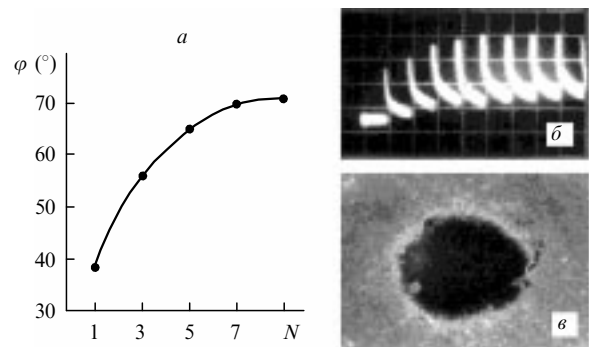


Рис.4. Накопление фотоиндуцированной переориентации ЖК-ячейки при возбуждении наносекундными импульсами с плотностью энергии в импульсе 80 мДж/см² и частотой 1 Гц (а, б) и статическая запись пятна серий из 8 импульсов (в).

Особенностью данной записи является формирование различно ориентированных структур в центре и по краям пятна. После воздействия пучком с гауссовым распределением и направлением вектора поляризации вдоль направления натирания n центральная область гауссова пятна оказывается «докрученной» до 63° , а внешняя – «раскрученной» до нуля. Когда угол поворота оси ориентации на входной подложке близок к 45° , взаимодействующие в объеме и на поверхности ориентирующие силы могут распределяться таким образом, что в одном и том же пятне будут области с различной ориентацией. Картина приобретает вид четырехлепестковой структуры, где докрученная область сменяется раскрученной. В зондирующем пучке в этом случае регистрируется «крест», оси которого привязаны к осям скрещенных поляридов.

2.3. Динамические и статические решетки в ЖК-ячейках с азополимерной поверхностью

В ЖК-ячейках с азомодифицированной поверхностью интерференционным полем излучения YAG:Nd-лазера была осуществлена запись как динамических, так и статических решеток. На рис.5,а–г представлены осциллограммы релаксационных кривых для динамических решеток разного типа. Наличие таких решеток обнаруживается по нескольким фотоиндуцированным экспоненциально затухающим процессам с характеристическими временами 5 мкс (рис.5,а), 3 мс (рис.5,б) и 0.3 с (рис.5,г). В ЖК-ячейке с азомодифицированной поверхностью под действием импульсного лазерного излучения могут произойти нагрев азополимерной пленки и ЖК-слоя вблизи поверхности, переориентация ЖК-молекул в объеме слоя, а также фотоиндуцированные изменения полимерной поверхности. Это приведет к образованию фазовых и амплитудных решеток.

Константы затухания тепловой и ориентационной решеток можно оценить с помощью соотношений [19]

$$\tau_t = \frac{L^2}{4\pi^2 D_t}, \quad \tau_\theta = \frac{\gamma L^2}{4\pi^2 K_{22}},$$

где D_t – коэффициент тепловой диффузии; γ – вращательная вязкость ЖК; K_{22} – константа упругости для твист-деформации директора. Для 5ЦБ $D_t \approx 1.8 \cdot 10^{-3}$ см²/с [19], $\gamma \approx 10^{-2}$ Н·с/м², $K_{22} \approx 4.0 \cdot 10^{-12}$ Н [20]. Тогда для периода решетки $L = 10$ мкм (при таком периоде достигается

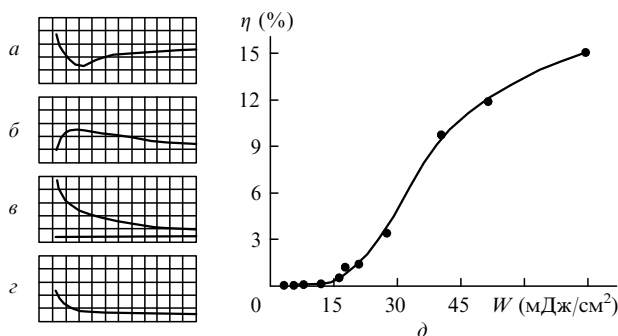


Рис.5. Релаксация динамических решеток различного типа в ЖК-ячейке с азополимерной поверхностью (а–г) при плотности энергии возбуждения 60 мДж/см² и зависимость дифракционной эффективности ориентационной решетки η от плотности энергии возбуждения W (д). Цена деления временной шкалы на осциллограммах 5 мкс (а), 50 мкс (б), 5 мс (в) и 0.2 с (г).

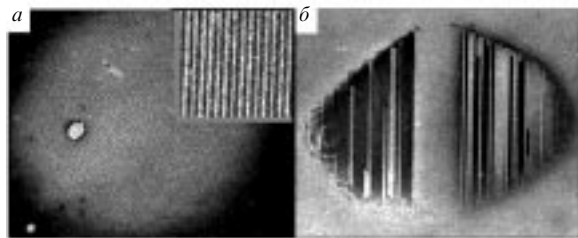


Рис.6. Микрофотографии решеток с пространственной частотой ~ 100 лин./мм при угле начальной твист-закрутки $\varphi' = 18^\circ$ (а) и 42° (б).

максимальная дифракционная эффективность ориентационной решетки) получаем $\tau_t = 14$ мкс и $\tau_\theta = 6$ мс. В ячейках с азополимерной пленкой экспериментальное время близко к времени релаксации тепловой решетки τ_t .

После термической релаксации эффективность решетки не падает, а наоборот, возрастает в течение ~ 30 мкс (осциллограмма рис.5,б). Мы полагаем, что это обусловлено инерционностью отклика ЖК-молекул на изменение ориентирующих свойств азополимера, т.к. другие решетки, а именно амплитудная «транс-цис-решетка» на поверхности и тепловая решетка, формируются в течение действия моноимпульса и затухают после его окончания. Время релаксации $\tau_\theta = 3$ мс типично для объемной переориентации ЖК [16]. Медленная релаксация с постоянной затухания $\tau_s = 0.3$ с может быть связана с фотоиндуцированной реорганизацией полимерной пленки. Изучение кинетики формирования решеток показывает, что при интенсивностях облучения свыше 70 мДж/см² яркость дифракционных максимумов возрастает в течение 1 с и затем устанавливается стационарное состояние.

На рис.5,д показано изменение дифракционной эффективности ориентационной решетки с увеличением плотности энергии импульса возбуждения. Дифракционная эффективность η определялась как отношение максимальной амплитуды импульса релаксации ориентационной решетки (осциллограмма рис.5,б) для первого порядка дифракции зондирующего пучка к амплитуде постоянного сигнала на осциллографе, соответствующего интенсивности падающего на ячейку зондирующего пучка. Эффективность η достигала максимума, равного 13%, для периода решетки $L = 10$ мкм. Соответствующее изменение показателя преломления Δn можно оценить из соотношения $\eta \sim (\Delta n L / \lambda)^2$; оно равно ~ 0.008 и характеризует высокий нелинейный отклик среды.

С помощью одиночного импульса при плотности энергии излучения не менее 80 мДж/см² были записаны статические решетки с пространственной частотой не хуже 100 лин./мм, микрофотографии которых приведены на рис.6. Время релаксации решеток достигало нескольких недель. На рис.6,б показаны решетки, записанные в ячейке с углом начальной закрутки 42° на фоне областей с конкурирующими закрученными и раскрученными структурами в одном и том же пятне.

3. Теоретические оценки и обсуждение

Молекулярная переориентация ЖК вызвана фотоизомеризацией красителя, химически присоединенного к полимерным цепям азополимера, нанесенного на одну из подложек ЖК-ячейки. Угол поворота директора зависит как от интенсивности лазерного излучения и направления его поляризации, так и от распределения упругих сил

в объеме и поверхностного сцепления. Зная угол поворота директора на входной подложке, можно оценить поверхностную энергию сцепления и ее изменение в ходе облучения.

Рассмотрим ЖК-ячейку толщиной L , у которой выходная подложка натерта и директор имеет бесконечно сильное сцепление с ней, а на входной подложке имеется конечное сцепление директора и направление легкой оси составляет угол φ_0 с направлением натирания \mathbf{n} на выходной подложке. В силу симметрии задачи поле директора будем описывать углом $\varphi(z)$:

$$\mathbf{n}(z) = \{\cos \varphi(z), \sin \varphi(z), 0\}, \quad (1)$$

где ось z направлена перпендикулярно подложкам ячейки.

Функционал свободной энергии имеет вид

$$F = \frac{1}{2} \int_0^L K_{22} \left(\frac{d\varphi}{dz} \right)^2 dz - \frac{1}{2} W_p \cos^2(\varphi(L) - \varphi_0), \quad (2)$$

где K_{22} – константа упругости; W_p – энергия сцепления с подложкой при $z = L$; легкая ось при $z = 0$ предполагается направленной вдоль оси x .

Из условия минимальности функционала свободной энергии получим уравнение Эйлера – Лагранжа и граничное условие к нему

$$K_{22} \frac{d\varphi}{dz} + W_p \cos[\varphi(L) - \varphi_0] \sin[\varphi(L) - \varphi_0] = 0, \quad (3)$$

$$\frac{d^2\varphi}{dz^2} = 0.$$

Кроме того, в силу бесконечно сильного сцепления на натертой подложке имеем второе граничное условие $\varphi(0) = 0$. Решение уравнения Эйлера – Лагранжа, удовлетворяющее этому условию, имеет вид

$$\varphi(z) = a \frac{z}{L}; \quad (4)$$

здесь неизвестная постоянная $a = \varphi(L)$ находится из первого граничного условия

$$-\frac{2a}{\sin 2(a - \varphi_0)} = \xi_p, \quad (5)$$

где $\xi_p = W_p L / K_{22}$. В общем случае найти постоянную a можно лишь численно.

Для частного случая, когда $\varphi_0 = \pi/2$ (директор стремится ориентироваться перпендикулярно поляризации света), имеем

$$\frac{2a}{\sin 2a} = \xi_2. \quad (6)$$

В данном случае нетривиальное решение существует лишь при $\xi_2 > 1$. Это означает, что при $\xi_2 \leq 1$ и бесконечно сильном сцеплении директора со второй подложкой ($z = 0$) распределение директора в ячейке будет однородным: $\varphi(z) \equiv 0$. При $\xi_2 \gg 1$ легко найти решение в виде разложения по $1/\xi_2$:

$$\varphi(z) = \begin{cases} 0, & \xi_2 \leq 1, \\ \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{1}{\xi_2} \right) \frac{z}{L}, & \xi_2 \gg 1. \end{cases} \quad (7)$$

Затем получим выражение для оценки энергии сцепления и ее изменения в ходе облучения:

$$W_p = \frac{K_{22}}{L} \frac{2\varphi(L)}{\sin 2\varphi(L)}. \quad (8)$$

В исследуемых ячейках имелась начальная твист-структура с некоторым углом φ' , который изменялся после облучения. Штриховые кривые на рис.3 иллюстрируют зависимость плотности энергии сцепления, рассчитанной по формуле (8), от энергии накачки (рис.3,а) и ее изменение во времени после возбуждения (рис.3,б). Плотность энергии сцепления, соответствующая исходному углу закрутки $\varphi' = 18^\circ$, равна $1.1 \cdot 10^{-7}$ мДж/см².

При облучении азофрагменты выстраиваются преимущественно перпендикулярно поляризации света. Такое выстраивание либо повышает энергию сцепления (поляризация света направлена вдоль натирания), либо понижает ее (поляризация перпендикулярна натиранию). Соответственно параметр a , а вместе с ним $\varphi(L) = a$, растет либо падает или даже становится равным нулю. Физически это приводит к увеличению (уменьшению) или полному исчезновению закрутки директора. Так, из рис.3,а видно, что при возбуждении одиночным импульсом с плотностью энергии 80 мДж/см², когда направление поляризации совпадало с направлением натирания \mathbf{n} , директор поворачивался на 23° дополнительно к начальному углу ориентации. Энергии сцепления увеличивалась в 1.5 раза, начиная с некоторой пороговой плотности энергии накачки, равной 30 мДж/см². Серия импульсов с частотой 1 Гц формировала статическую запись, для которой плотность энергии сцепления равна $2.4 \cdot 10^{-7}$ мДж/см².

Облучение достаточно мощным светом оказывает не только ориентирующее действие на азофрагменты, но и приводит к нагреву ориентанта, а также ЖК вблизи поверхности. Это в свою очередь вызывает уменьшение энергии сцепления за счет уменьшения параметра порядка как азофрагментов и полимерных цепей пленки, так и ЖК вблизи поверхности. В результате в центральной области воздействия гауссова пучка ориентационная упорядоченность азофрагментов достаточно велика, выполняется условие $\xi_p \geq 1$ и, соответственно, угол поворота директора увеличивается. На периферии пучка $\xi_p < 1$ и закрутка отсутствует вовсе. Это хорошо видно при статической записи области воздействия серией импульсов (рис.4,в).

С другой стороны, при длительном облучении серией импульсов нагрев полимера приводит к его размягчению, поэтому ориентационное упорядочение азофрагментов влечет за собой переориентацию основной цепи полимера. Поскольку подвижность основной цепи полимера при комнатной температуре достаточно мала, получим новую стационарную энергию сцепления и, соответственно, статическую запись. Характерные времена переориентации основной цепи достаточно велики, поэтому возможно увеличение контраста записи после прекращения облучения. Это объясняет инерционность записи при изучении динамических ориентационных реше-

ток, которая проявляется в возрастании яркости дифракционных максимумов спустя 1 с после освещения.

4. Заключение

Таким образом, экспериментально получена запись информации и показаны возможности управления ориентацией директора ЖК-ячейки наносекундным лазерным излучением, взаимодействующим с фоточувствительными азофрагментами полимерной пленки, нанесенной на одну из подложек ячейки. Отметим следующие особенности переориентации.

1. Переориентация характеризуется азимутальным поворотом директора ЖК-слоя. Модифицированная азокрасителем поверхность способна закручивать молекулы ЖК вблизи поверхности на некоторый угол φ' , а после воздействия лазерного излучения приводить к раскрутке или закрутке оси преимущественной ориентации в зависимости от направления вектора поляризации излучения и сил взаимодействия в объеме и на поверхности.

2. Методом динамической голографии показано, что этот эффект развивается в течение ~ 30 мкс, а дифракционная эффективность ориентационных решеток достаточно велика ($\sim 15\%$).

3. В ЖК-ячейках с азополимерным покрытием интерференционным полем лазерного излучения записываются статические решетки с пространственной частотой не менее 100 лин./мм при плотности энергии излучения 80 мДж/см².

Авторы выражают благодарность О.Ярошцу за любезно предоставленный образец азополимера. Работа выполнена при поддержке Международного фонда INTAS-БЕЛАРУСЬ (грант INTAS № 97-0635).

1. Ichimura K., Suzuki Y., Seki T., Hosoki A., Aoki K. *Langmuir*, **4**, 1214 (1988).
2. Gibbons W.M., Shannon P.J., Sun S-T., Swetlin B.J. *Nature*, **351**, 49 (1991).
3. Wiesner U., Reynolds N., Boeffel C., Spiess H. *Liquid Crystals*, **11**, 251 (1992).
4. Дядюша А., Маруссий Т., Козенков В., Резников Ю. и др. *Укр.физ.ж.*, **36**, 1059 (1991).
5. Schadt M., Schmitt K., Kozenkov V., Chigrinov V. *Jap.J.Appl.Phys.*, **31**, 2155 (1992).
6. Kawanishi Y., Suzuki Y., Sakuragi M., Kamezaki H., Ichimura K. *J.Photochem. Photobiol.A*, **80**, 433 (1994).
7. Ikeda T., Tsutsumi O. *Science*, **268**, 1873 (1995).
8. Simoni F., Francescangeli O., Reznikov Y., Slussarenko S. *Optics Letts*, **22**, 549 (1997).
9. Симонов А.Н., Ларичев А.В. *Квантовая электроника*, **28**, 87 (1999).
10. Francescangeli O., Slussarenko S., Simoni F., Andrienko D., Reshetnyak V., Reznikov Yu. *Phys.Rev.Letts*, **82**, 1855 (1999).
11. Dumont M., Froc G., Hosotte S. *Nonlinear Optics*, **9**, 327 (1995).
12. Dumont M. *Mol.Cryst.Liq.Cryst.*, **282**, 437 (1996).
13. Макушенко А.М., Непорент Б.С., Столбова О.В. *Оптика и спектроскопия*, **31**, 557(1971).
14. Zimmerman G., Chow L.-Y., Paik U. *J. Amer.Chem.Soc.*, **80**, 3528 (1958).
15. Ковалев А.А., Некрасов Г.Л., Развин Ю.В. и др. В кн. *Оптические методы обработки информации* (Минск, Наука и техника, 1978, с.22).
16. Grozhik V., Gleeson H., Serak S., Watson S., Agashkov A. *Mol. Cryst.Liq.Cryst.*, **320**, 433 (1998).
17. Cognard J. *Alignment of Nematic Liquid Crystals and Their Mixtures* (New York, Gordon and Breach, Mol.Cryst.Liq.Cryst., Suppl.Ser.1, 1982).
18. Блинов Л.М., Кизель В.А., Румянцев В.Г., Титов В.В. *Кристаллография*, **20**, 1245 (1975).
19. Macdonald R., Eichler H.J. *Appl.Phys. B*, **60**, 543 (1995).
20. Skarp K., Lagerwall S., Stebler D. *Mol.Cryst.Liq.Cryst.*, **60**, 215 (1980).