

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИИ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Кафедра теоретической и математической физики

Исследование холестерико-нематического перехода в окрестности
дефектов пленки SiO_2 в структурах Si/SiO_2 /холестерик/прозрачный
электрод

Диссертация на соискание академической степени магистра

Направления подготовки **03.04.02 Физика**

Программа "**Физика конденсированного состояния**"

Тростянский Александр Анатольевич

Научный руководитель
канд. физ.-мат. наук, доцент
Кучеев С.И.

Рецензент
канд. физ.-мат. наук, доцент
Тарновский А. И.

БЕЛГОРОД 2016г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Литературный обзор	4
1.1. Жидкие кристаллы.....	4
1.2. Холестерико-нематический переход.....	7
1.3. Шаг спирали. Методы определения.....	8
1.4. Получение пленок окиси кремния.....	9
1.5. МДП структура.....	11
Глава 2. Экспериментальная часть	15
2.1. Визуализация дефектов плёнки окиси кремния нематическим жидким кристаллом.....	15
2.2. Холестерико-нематический переход.....	20
2.3. Визуализация дефектов пленки SiO ₂ с помощью холестерико-нематического перехода.....	25
2.3.1. Постоянное напряжение.....	26
2.3.2. Переменное напряжение.....	27
2.4. Эффект обеднения в кремнии при визуализации дефектов SiO ₂ в МДП структуре.....	30
Заключение	33
Список используемой литературы	34

ВВЕДЕНИЕ

В наше время окись кремния является незаменимым материалом для создания различных полупроводниковых приборов. Однако в окиси кремнии всегда присутствуют различные дефекты. Один из типов дефектов это открытые поры в диэлектрике. Они нарушают изоляционные свойства пленок. Поэтому актуальностью работы является потребность в методах визуализации дефектов пленок SiO_2 .

Для выявления дефектов используется целый ряд хорошо зарекомендовавших себя методик: электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, ИК-спектроскопия, исследование электрических параметров дефектов, ЭПР-спектроскопия высокого разрешения и другие.

Однако у этих методов есть свои недостатки, например электронная микроскопия позволяет визуализировать дефекты с наноразмерным разрешением, но при этом не дает ответ о изоляционных свойствах данного дефекта. Поэтому основной целью работы является разработка метода визуализации дефектов пленки окиси кремния жидкими кристаллами, нематического и холестерического типов.

Для решения этой цели были поставлены задачи:

1. Визуализировать дефекты пленки окиси кремния с помощью нематического жидкого кристалла.
2. Визуализировать дефекты пленки окиси кремния с помощью холестерического жидкого кристалла, используя холестерико-нематический переход.
3. Визуализировать дефекты пленки окиси кремния с помощью холестерического жидкого кристалла с индуцированием обеднения поверхности кремния в МДП структуре.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

В настоящее время известны два типа жидких кристаллов: лиотропные и термотропные, классификация которых изображена на рис.1.1.

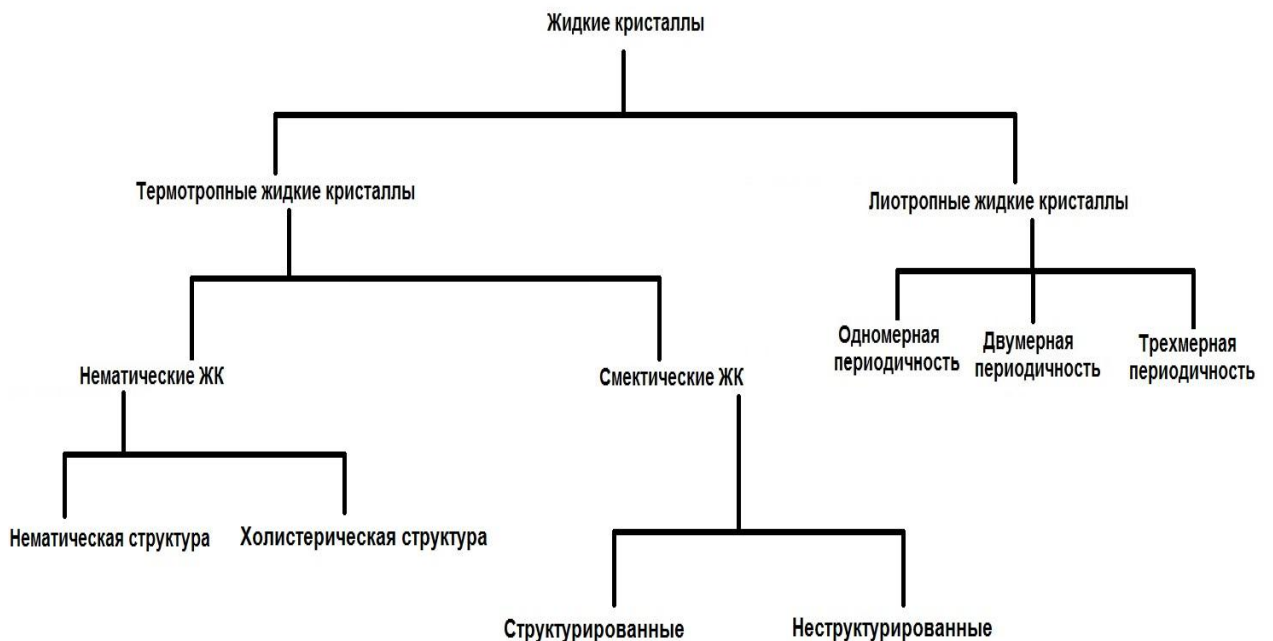


Рис.1.1. Классификация жидких кристаллов.

Лиотропные жидкие кристаллы получают за счет смешивания двух соединений, одно из которых является растворителем: кристаллы образуются при растворении в воде поверхностно-активных веществ. Все эти соединения - амфифильные вещества, в них есть как растворимая, так и нерастворимая в воде органическая часть. Самым простым примером лиотропного жидкого кристалла является обычное мыло [6].

Термотропные жидкие кристаллы могут быть либо смектиками, либо нематиками.

Смектические структуры слоистые, причем молекулы в слоях расположены так, что их длинные оси параллельны друг другу и приблизительно перпендикулярны плоскостям слоев. Существует семь смектических структур, их называют смектик А (рис.1.2, Б), смектик В и т.д., вплоть до Г. Их молекулы могут вращаться в одной оси и двигаться в двух направлениях. По расположению молекул смектические жидкие кристаллы можно разделить на регулярные и нерегулярные. По степени упорядоченности молекул в слоях их разделяют на структурированные и неструктурированные [2].

Нематические жидкие кристаллы делятся на два класса: нематические жидкие кристаллы (НЖК) и холестерические жидкие кристаллы (ХЖК).

Нематические жидкие кристаллы можно получить нагревая органические вещества, которые не являются оптически активными. Обычно НЖК имеют вытянутую форму, хотя известно, что они могут быть образованы и молекулами другой формы (например, дископодобной). Отличительной особенностью НЖК является параллельное расположение длинных осей молекул [1].

Двумерная картина расположения молекул в НЖК представлена на рис.1.2, А. Молекулы могут двигаться в трех направлениях и вращаться вокруг одной оси. Такое расположение похоже на упаковку круглых карандашей в коробке, которые могут перекашиваться, но остаются параллельными.

Холестерические жидкие кристаллы смешиваются с нематиками и имеют свойственную им упаковку молекул, закрученных друг относительно друга. Эта винтовая структура характеризуется шагом - расстоянием, на котором происходит поворот на 360° .

ХЖК образованные оптически активными молекулами отличаются тем, что направление длинных осей молекул в каждом последующем слое, составляет с направлением осей молекул предыдущего слоя некоторый угол (рис.1.2, В). При этом образуется спираль, шаг которой (P_0) зависит от

природы молекул и внешних воздействий. Шагу спирали соответствует поворот оси ориентации молекул (директора) на угол 2π , хотя период оптических свойств равен $P_0/2$, т.е. π .

Так же к ХЖК относятся "хиральные" нематики, молекулы которых имеют строение, характерное для НЖК, но при этом обладают оптической активностью [4].

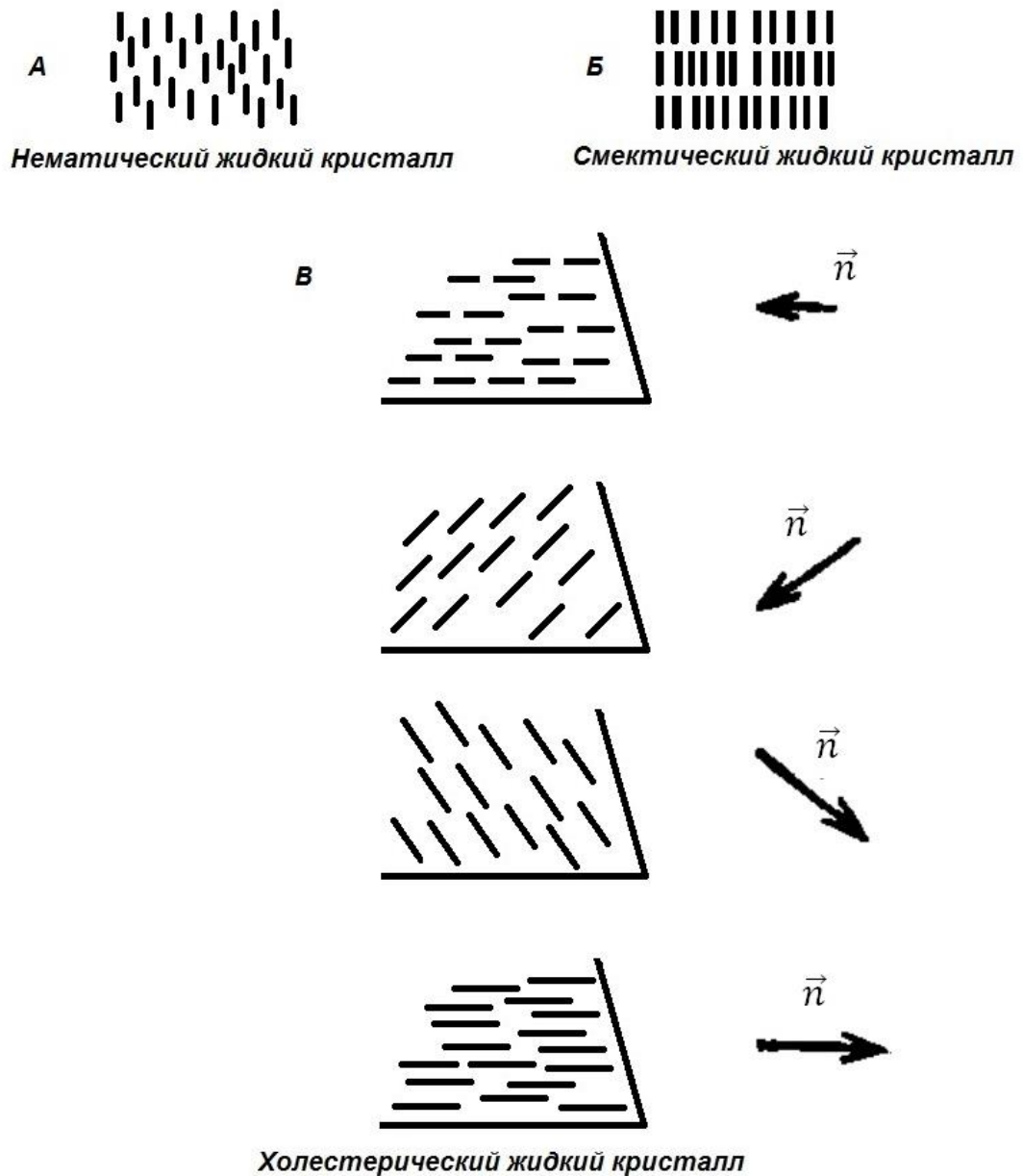


Рис.1.2. Схематическое расположение молекул в НЖК (А), в смектике (Б), в ХЖК (В).

1.2. ХОЛЕСТЕРИКО-НЕМАТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД

Электрооптические эффекты холестерических жидких кристаллов во многом схожи с электрооптикой нематических жидких кристаллов, но, в следствие закрученности структуры, характеризуются рядом отличительных особенностей. Из всех особенностей электрооптических эффектов в холестерических жидких кристаллах нам интересен только фазовый переход из холестерической фазы в нематическую под действием электрического поля (холестерико-нематический переход). ХНП обычно наблюдается в смесях холестерика и нематика, которые имеют структуру ХЖК.

Холестерический жидкий кристалл (неориентированный) имеет конфокальную текстуру (рис.1.3).

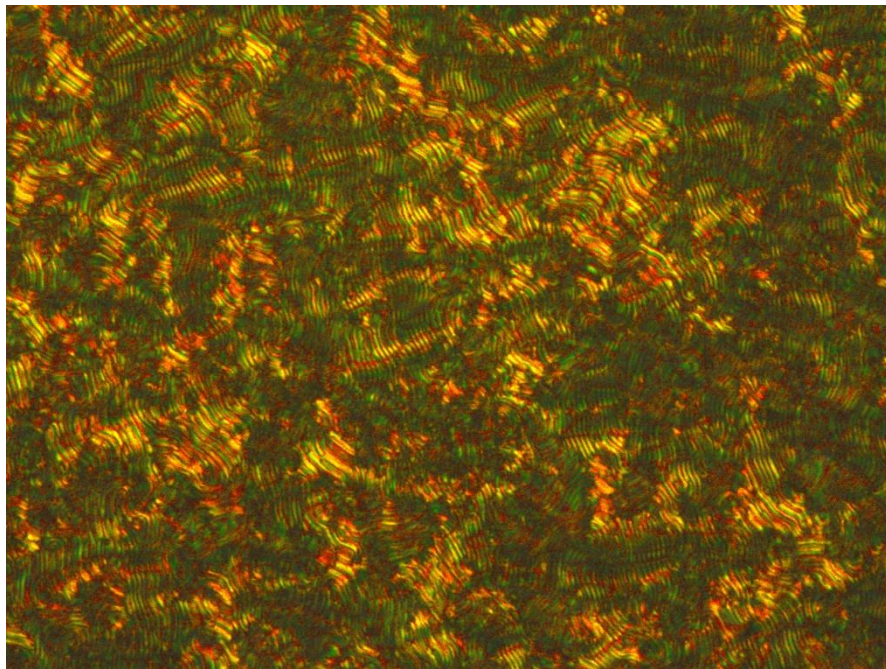


Рис.1.3. Фотография конфокальной текстуры ХЖК.

Если диэлектрическая анизотропия ХЖК положительна, то при включении электрического поля происходит раскрутка холестерической спирали, что означает переход из холестерической фазы в нематическую. Динамика этого процесса включает в себя текстурные изменения, например

переход конфокальной текстуры к текстуре "отпечатков пальцев" с последующей раскруткой холестерической спирали. При выключении электрического поля происходит обратный переход из нематической фазы в холестерическую [7].

Стоит заметить, что состояние полной раскрутки спирали является метастабильным, и релаксация начинается на дефектах структуры.

1.3. ШАГ СПИРАЛИ. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

Шаг спирали это период, при котором директор совершает полный оборот вокруг холестерической оси. Шаг спирали зависит от природы молекул и внешних воздействий.

Вкратце рассмотрим три основных метода измерения шага спирали:

1. Метод измерения с помощью поляризационного микроскопа в монохроматическом свете расстояния между двумя соседними темными линиями в текстуре "отпечатков пальцев". Это расстояние иногда равно половине шага. Однако несовершенство текстуры "отпечатков пальцев" нередко приводит к ошибкам. Этот способ дает хороший результат при относительно больших шагах $P_o > 1,5 \text{ мкм}$.

2. Метод определения спектрального минимума пропускания λ_{min} планарной текстуры является очень удобным при небольших шагах ($0,2 \text{ мкм} < P_o < 1,5 \text{ мкм}$). Ячейка при этом становится нормально к лучу самопишущего спектрофотометра. Шаг спирали $P_o = \frac{\lambda_{min}}{\langle n \rangle}$, где $\langle n \rangle$ - средний показатель преломления, определяемый независимо ($\langle n \rangle \approx 1,5$).

3. При исследовании электрогидродинамических неустойчивостей в клинообразных (рис.1.4, а) ячейках, где шаг спирали ХЖК можно определять непосредственно по дисклинациям Кано - Гранжана, которые хорошо

просматриваются на рисунке 1.4, б. Для вычисления шага спирали нужно знать угол клина α и расстояние между дисклинациями первого порядка l , $P_0 = 2/\alpha$. Угол клина можно определить по интерференционным полосам равной толщины в участке клина, не заполненном жидким кристаллом [3].

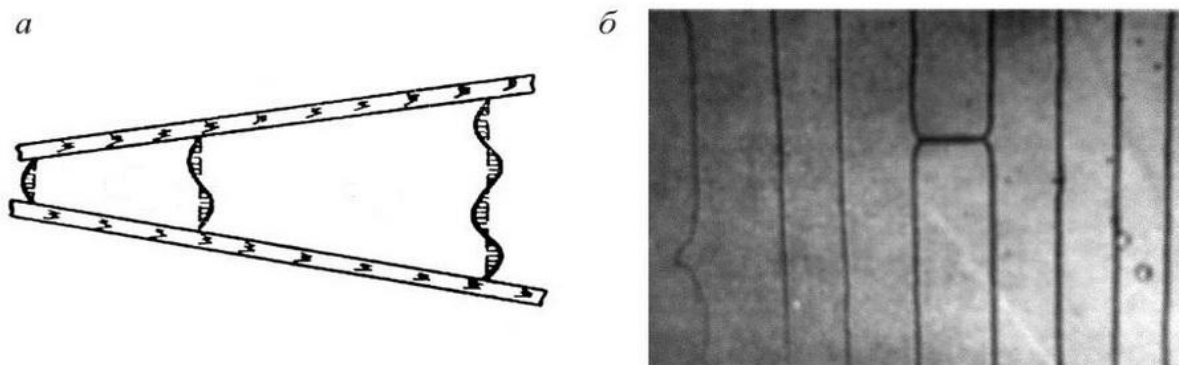


Рис.1.4. Клиновидная ячейка ХЖК. а - схема расположения спирали, б - фотография линейных дисклинаций в клиновидной ячейке.

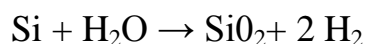
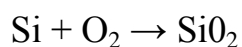
Все способы дают примерно одну и ту же погрешность ($\pm 10\%$) определения шага спирали, причем каждый из них удобен для разных шагов.

1.4. ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК ОКИСИ КРЕМНИЯ

Одним из наиболее технологичных и широко применяемых на практике методов получения плёнок является окисление кремния.

Искусственное окисление кремния осуществляется обычно в окислительных печах, подобных тем, которые используются для диффузии в потоке газа-носителя при высокой температуре (1000–1200 °С). Основу таких печей составляет, как и при диффузии, кварцевая труба с пластинами кремния, нагреваемая либо токами высокой частоты, либо другим путем. Через трубу пропускается поток кислорода (сухого или увлажненного) или пары воды,

которые реагируют с кремнием в высокотемпературной зоне. Окисляющим агентом обычно является кислород или пары воды при давлении, равном атмосферному:



Энергия активации химической реакции E_a близка к 2.2 эВ, величине соответствующей энергии разрыва связи Si – Si.

Термическое окисление можно проводить в атмосфере кислорода (сухое окисление), в смеси кислорода с парами воды (влажное окисление) или в парах воды. Получающийся оксид по свойствам близок к плавленому кварцу, имеет аморфную структуру и практически однороден по толщине.

Коэффициент диффузии O_2 несколько выше, чем коэффициент диффузии паров воды, однако, по крайней мере, при атмосферном давлении растворимость паров воды в SiO_2 приблизительно на три порядка величины больше, чем растворимость O_2 . Поэтому окисление в парах воды идет быстрее, чем в кислороде. Например, для выращивания пленки SiO_2 толщиной 0,5 мкм в сухом кислороде при 1000°C требуется около 5 ч, а во влажном – всего 20 мин. С уменьшением температуры на каждые 100°C время окисления возрастает в 2–3 раза.

Энергия активации (E_a) диффузионных процессов этих окислителей также различна: $E \approx 1.25$ эВ для кислорода и приблизительно $E \approx 0.8$ эВ для паров воды.

Качество окисной пленки повышается при использовании сухого кислорода, а так же с уменьшением температуры при выращивании. Поэтому тонкий окисел получают сухим окислением. При выращивании толстого окисла чередуют сухое и влажное окисление: первое обеспечивает отсутствие дефектов, а второе позволяет сократить время процесса.

Второе место по масштабам применения занимают методы осаждения из газовой фазы, в которых исходным веществом, содержащим кремний являются силан (SiH_4) или соединения кремния с галогенами (чаще всего с хлором), а в качестве окислителя используются кислород, пары воды, оксиды углерода и азота. Обычно эти процессы также проводятся при общем давлении газовой смеси, равном атмосферному [8].

1.5. МДП СТРУКТУРА

Структура металл - диэлектрик - полупроводник, или сокращенно МДП-структура представляет собой монокристаллическую пластину полупроводника, называемую подложкой, закрытую с планарной стороны диэлектриком. Металлический электрод, нанесенный на диэлектрик, носит название затвора, а сам диэлектрик называется подзатворным. На обратную непланарную сторону полупроводниковой пластины наносится металлический электрод, называющийся омическим контактом. Довольно часто в качестве диэлектрика в МДП-структурах используют окислы, поэтому вместо МДП употребляется название МОП-структура. Итак, МДП-структура, приведенная на рисунке 1.5, состоит из затвора, подзатворного диэлектрика, полупроводниковой подложки и омического контакта.

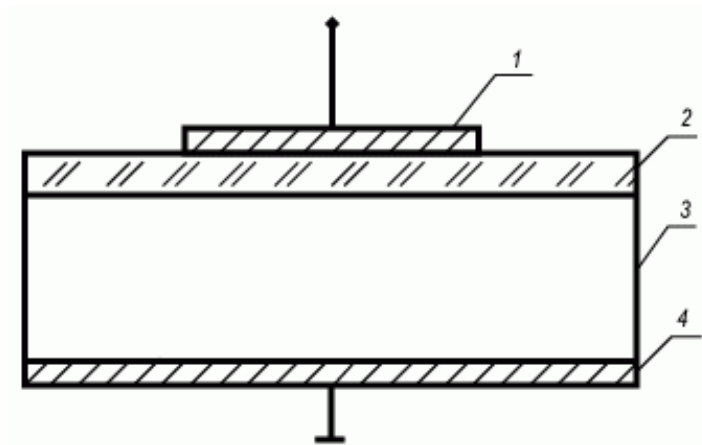


Рис.1.5. Устройство МДП структуры. 1 - затвор, 2 - диэлектрик, 3 - полупроводниковая подложка, 4 - омический контакт.

В зависимости от направления и величины внешнего электрического поля, типа полупроводниковой подложки различают 4 различных состояния поверхности полупроводника: обогащение, обеднение, слабая инверсия и сильная инверсия. Все эти состояния отражены на рисунке 1.6, для полупроводника n-типа.

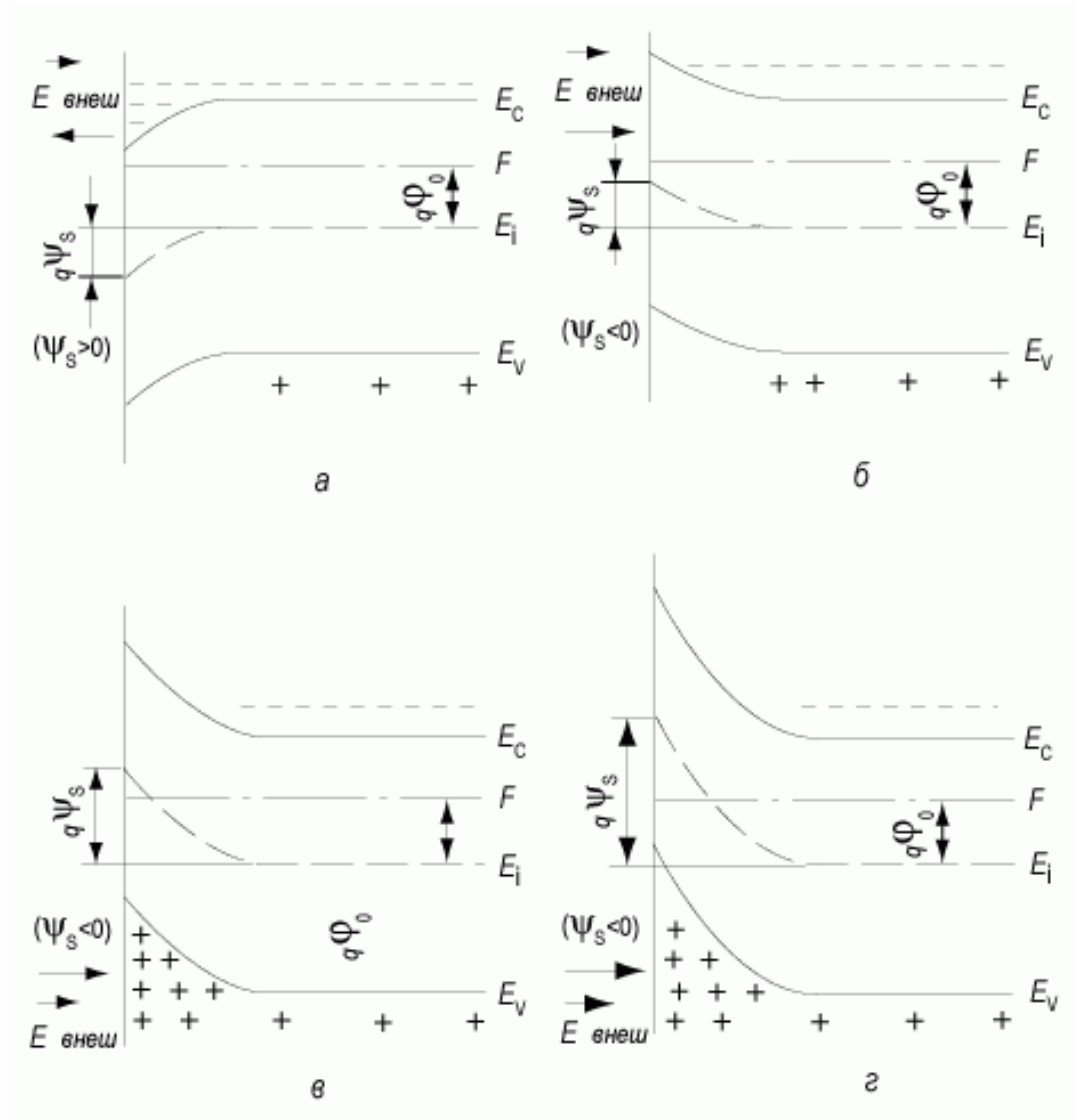


Рис. 1.6. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника n-типа при различных состояниях поверхности: а - обогащение; б - обеднение; в - слабая инверсия; г - сильная инверсия.

Обогащение - состояние полупроводника, когда на поверхности концентрация основных носителей заряда больше, чем концентрация основных носителей в нейтральном объеме (рис.1.6 а).

Обеднение - состояние полупроводника, когда на поверхности концентрация неосновных носителей меньше, чем концентрация основных носителей, но больше, чем поверхностная концентрация неосновных носителей (рис.1.6 б).

Переход от обогащения к обеднению происходит при значении поверхностного потенциала $\psi_s = 0$, получившем название потенциала "плоских" зон. При этом концентрации основных и неосновных носителей на поверхности и в объеме совпадают.

Слабая инверсия - состояние полупроводника, когда на поверхности концентрация неосновных носителей больше, чем поверхностная концентрация основных, но меньше, чем концентрация основных носителей (рис.1.6 в).

Переход от обеднения к слабой инверсии происходит при значении поверхностного потенциала $|\psi_s| = \phi_0$, соответствующем состоянию поверхности с собственной проводимостью :

$$n_s = p_s = n_i$$

Сильная инверсия - состояние полупроводника, когда на поверхности концентрация неосновных носителей больше, чем концентрация основных носителей (рис.1.6 г).

Переход от слабой инверсии к сильной инверсии происходит при значении поверхностного потенциала $\psi_s = 2\phi_0$, получившем название "порогового" потенциала. При этом концентрация неосновных носителей на поверхности равна концентрации основных носителей в объеме полупроводника.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ПЛЕНКИ ОКИСИ КРЕМНИЯ НЕМАТИЧЕСКИМ ЖИДКИМ КРИСТАЛЛОМ

Детектирование дефектов пленки окиси кремния возможно с помощью нематических жидких кристаллов. Воздействуя на ячейку постоянным напряжением (на подложку подается минус напряжения) мы можем наблюдать рост области деформации в окрестности дефектов пленки окиси кремния (рис.2.1).

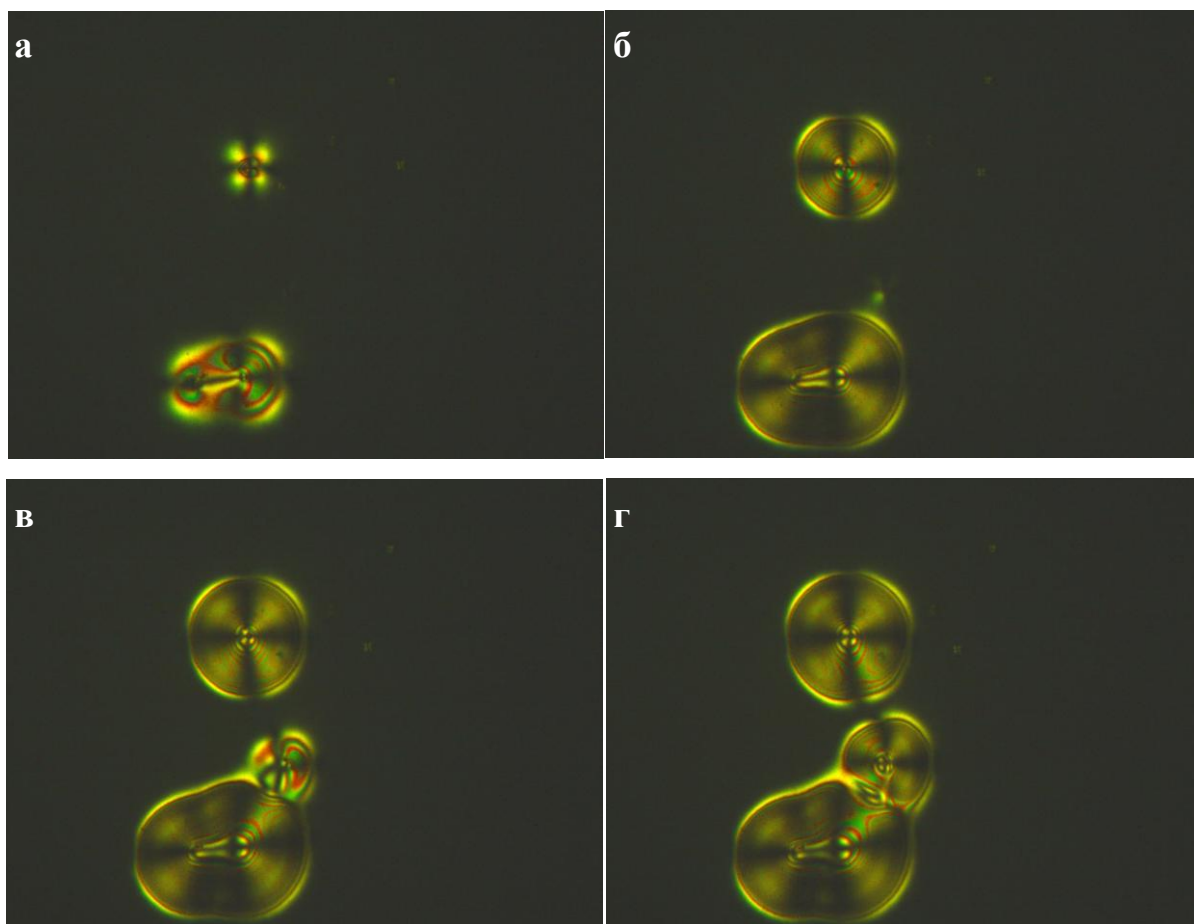


Рис.2.1. Рост области деформации слоя нематика в окрестности дефектов пленки окиси кремния (бВ, а - 1 мин, б - 5 мин, в - 10 мин, г - 20 мин после включения напряжения).

Исходя из рисунка, можно сделать вывод, что область деформации слоя нематика увеличивается не стационарно. Размеры области деформации пропорциональны размерам дефектов, но точного размера не получено, так как мы не можем померить размеры самого дефекта. А так же было выяснено, что на рост области деформации влияет накопленные в кристалле ионные заряды. А именно, при меньшем времени релаксации наблюдается более быстрый темп роста области деформации ЖК, т.е. проявляется влияние ионных зарядов. Это хорошо видно на рис.2.2.

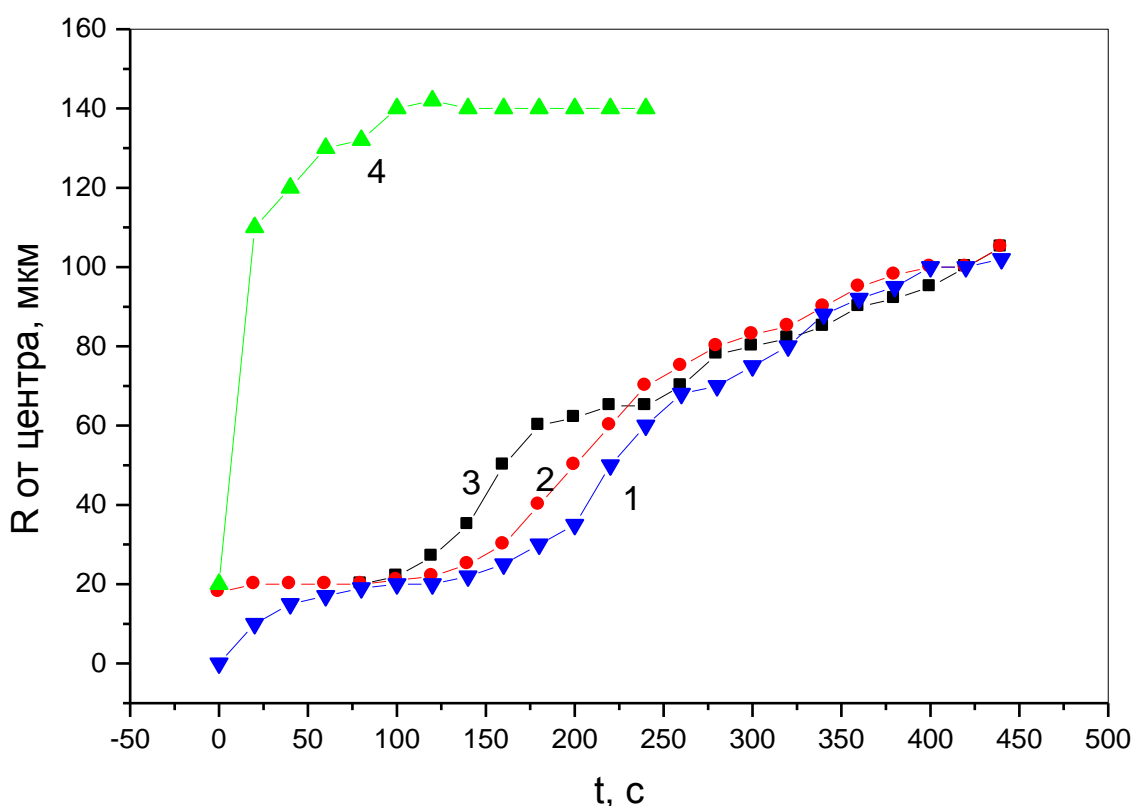


Рис.2.2. Зависимость темпа роста размера области деформации ЖК (R) от времени после включения ступеньки напряжения. 1- первоначальное включение. 2- после перерыва в 20 мин. 3- после перерыва в 10 мин. 4- перерыв 3 мин. Напряжение 5В. Толщина ЖК слоя 20 мкм.

Деформация нематика происходит за счет потока в ЖК, который формируется между верхней и нижней подложками, причем на нижней –это соответствует контакту с кремнием через открытую пору (дефект пленки) (рис.2.3). Ниже мы более подробно рассмотрим механизм деформации жидкого кристалла на примере попавшего в него микротела.

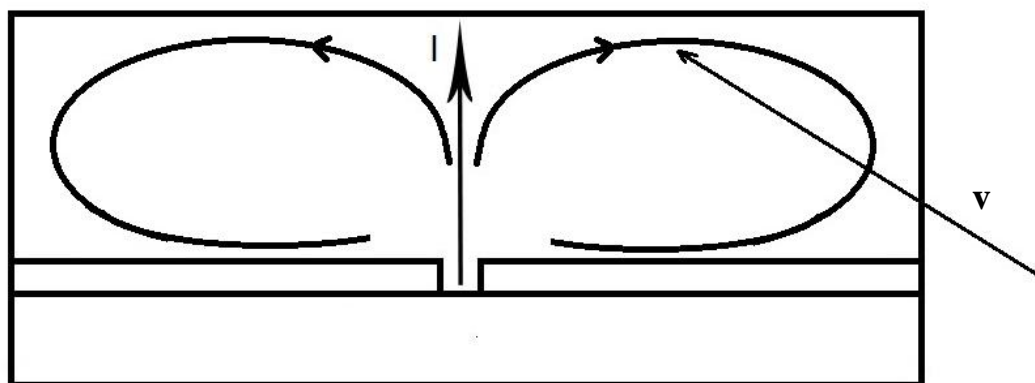


Рис.2.3. Поток в НЖК. v - участок, где микротело развивает максимальную скорость.

На рис.2.4 мы наблюдаем движение микротела в области деформации жидкого кристалла. Микротело движется строго в области деформации ЖК (рис.2.5), причем, скорость его движения на разных участках разная (рис.2.6).

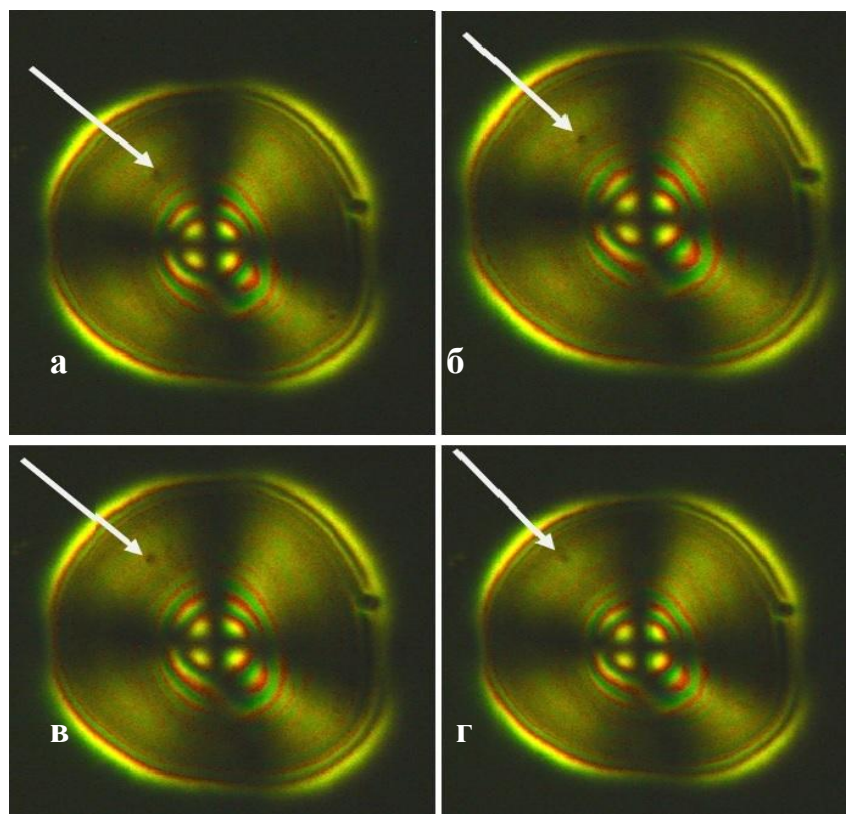


Рис. 2.4. Движение микротела в жидком кристалле в окрестности дефекта пленки окиси кремния. а - 1 сек, б - 2 сек, в - 3 сек, г - 6 сек (6В, 50мкм).

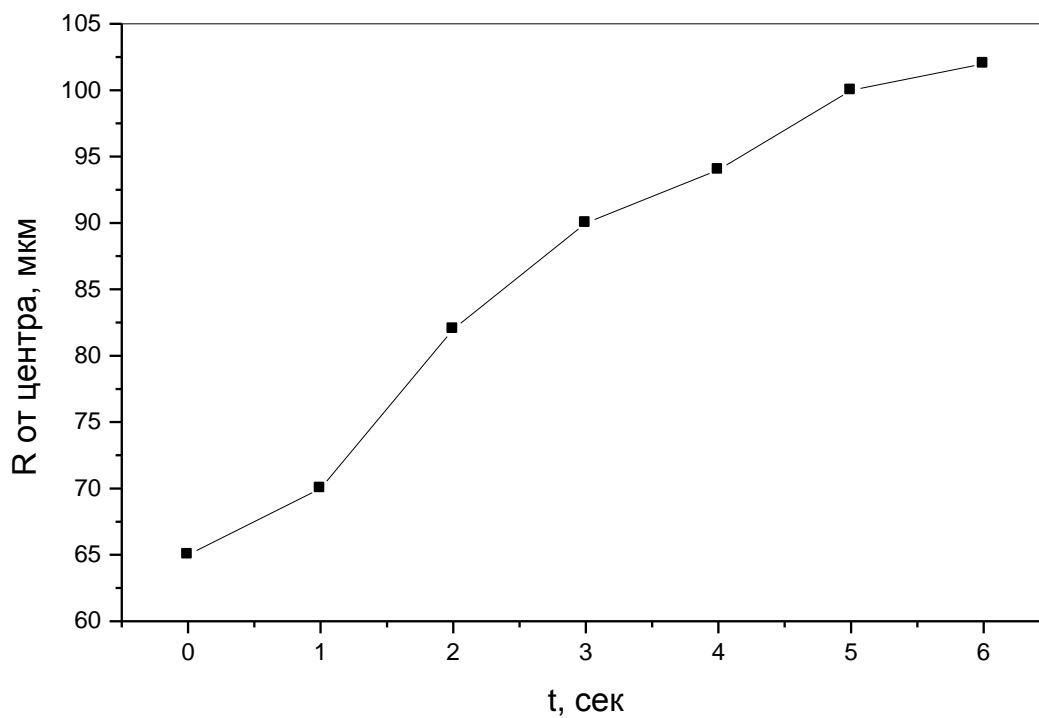


Рис.2.5. Координата микротеладвигающегося в области деформации ЖК в окрестности дефекта диэлектрика. (6В, 50 мкм).

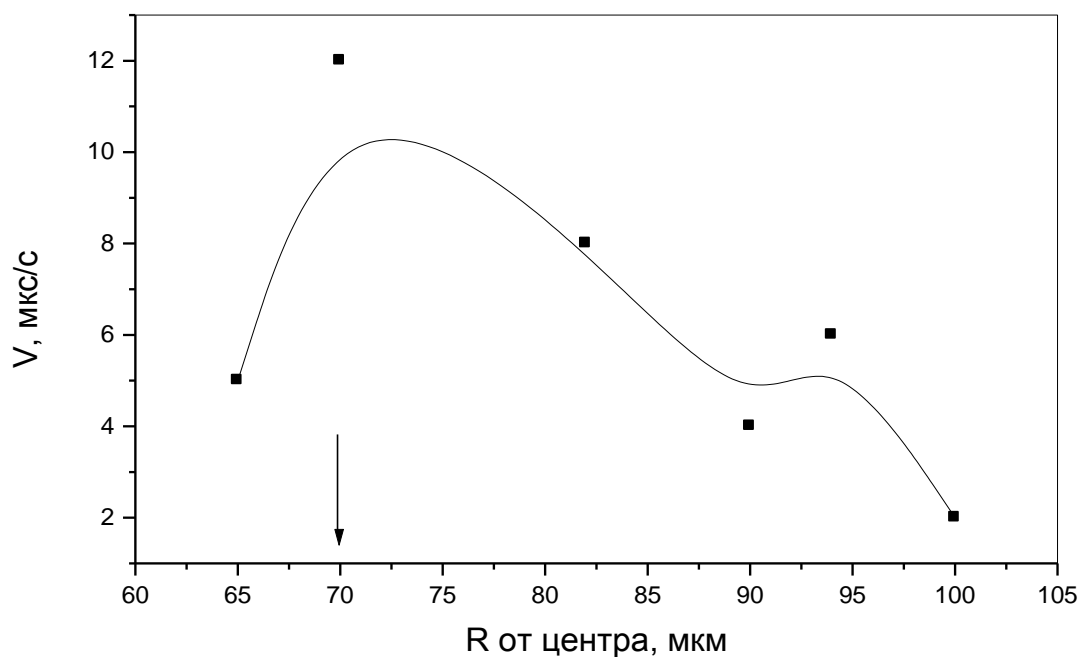


Рис.2.6. Зависимость скорости микротела от расстояния от центра дефекта. (6 В, 50 мкм).

Как показано на рис.2.6, максимальную скорость микротело имеет на участке 67-75 мкм от центра (рис.2.3, а). Эта область показана на рис.2.7 и соответствует наиболее светлой кольцевой области деформированного ЖК.

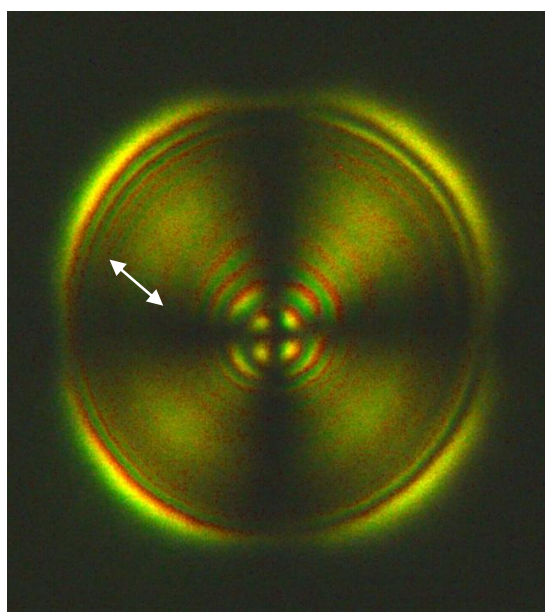


Рис.2.7. Область, где микротело имеет наибольшую скорость.

Таким образом, исследуя область деформации нематика, мы можем детектировать наличие дефекта пленки окиси кремния. Однако использование данного метода требует дорогостоящего оборудования (такого как поляризационный микроскоп). Поэтому поиск других возможностей детектирования с помощью жидких кристаллов, как оптических материалов, модулирующих свет, является актуальной задачей.

Метод детектирования дефектов пленки окиси кремния с использованием холестерического жидкого кристалла является менее затратным, потому что в этом случае можно обойтись без поляризационного микроскопа. Этот метод хорошо подходит как экспресс метод нахождения дефектов в окиси кремния. Ниже, мы более подробней рассмотрим данный метод.

2.2. ХОЛЕСТЕРИКО-НЕМАТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД

Рассмотрим холестерико-нематический переход (ХНП) в структуре прозрачный электрод - ХЖК - прозрачный электрод (рис.2.8). В этой структуре мы рассмотрим возможность ХНП в холестерике.

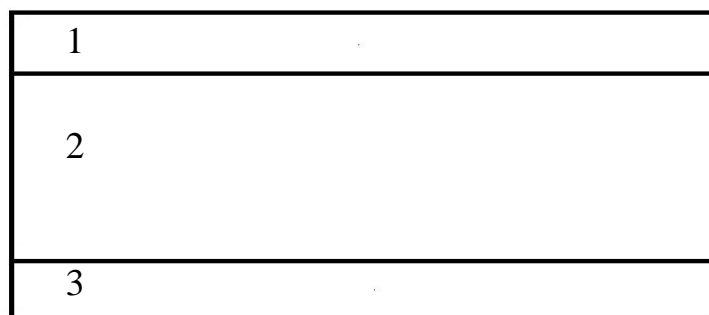


Рис.2.8. Конструкция ячейки. 1, 3 - Прозрачный электрод (окись индия, ITO). 2 - Холестерический жидкий кристалл.

Отметим, что ХНП является полевым эффектом, т.е, для раскрутки холестерической спирали нам надо воздействовать на холестерик электрическим полем, частота которого была выбрана 5 кГц. При воздействии электрического поля на ХЖК мы наблюдаем переход из ХЖК в НЖК (холестерико-нематический переход). ХНП имеет 3 фазы (рис.2.9), которые зависят от шага спирали. В ходе работы мы изменяли шаг спирали, которая индуцируется в жидком кристалле за счет оптически активной добавки (метоксибензилиден-ментанон) и в итоге остановились на ХЖК, который имеет шаг холестерической спирали $p = 6 \text{ мкм}$, при этом критическое напряжение перехода из ХЖК в НЖК равно 15В. Шаг спирали рассчитывался по формуле:

$$P = \frac{4l^2}{d} \sqrt{\frac{2K_{22}}{3K_{33}}}$$

где d - толщина образца, K_{22} , K_{33} - модули упругости [1], l - период деформации текстуры «сетка».

Использование данного шага спирали дает возможность рассмотреть способность детектировать дефекты диэлектрических пленок, рассматривая при этом все 3 фазы ХНП.

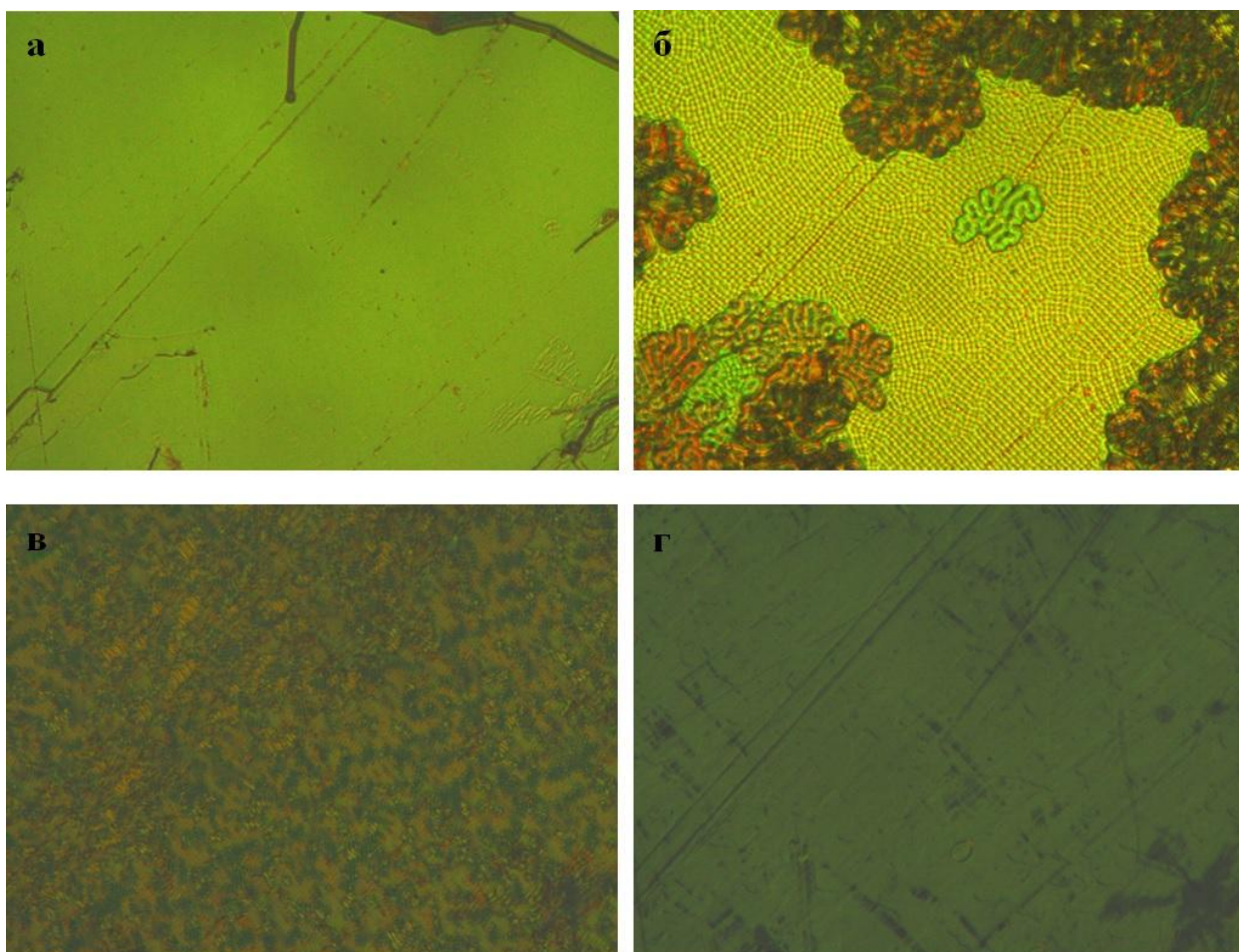


Рис.2.9. Фазы ХНП. а - планарная текстура, б - образование текстуры "сетка", в - образование текстуры "отпечатков пальцев", г - раскрутка холестерической спирали.

Первая фаза ХНП (рис.2.9, б) наблюдается при $U = 6V$ и $V = const = 5кГц$, проявляется в виде периодической неустойчивости (сетки) (рис.2.10). Сетка является двумерной пространственной периодической деформацией плоской текстуры. Далее увеличивая напряжения до 10В мы наблюдаем поворот оси холестерической спирали (рис.2.9, в), это так называемая текстура "отпечатков пальцев". Затем увеличивая напряжение до $U = 15V$ происходит процесс раскрутки спирали (рис.2.9, г). Раскрутка холестерической спирали (рис.2.11) означает переход из ХЖК в НЖК. При этом образовавшаяся структура нематического жидкого кристалла является гомеотропной, а ячейка становится прозрачной.

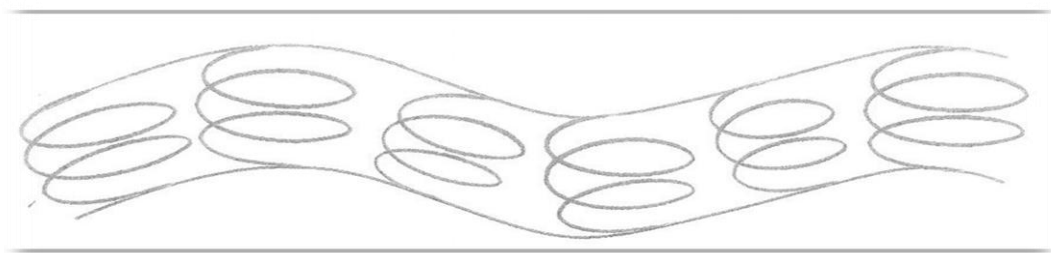


Рис.2.10. Схематический вид периодической деформации – текстура "сетка".

При выключении электрического поля происходит релаксация, в которой текстурные изменения идут в обратном порядке. Возврат в исходное состояние может составлять от нескольких секунд до нескольких месяцев, однако этот процесс можно осуществить быстро, подав на ячейку высокое напряжение.

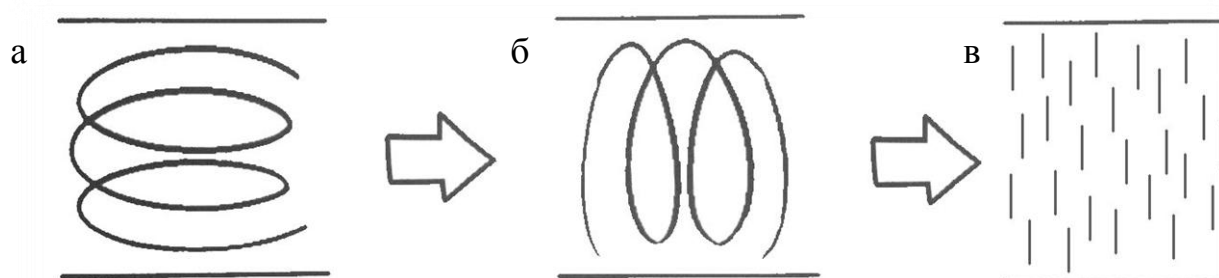


Рис.2.11. Расположение холестерической спирали до и после раскрутки в электрическом поле. а - плоская текстура, б – «падение» спирали (масляные бороздки или конфокальная), в - нематическая фаза (спираль полностью раскручена).

Процесс медленного возврата в планарное состояние может происходить очень долго (рис.2.12), следовательно, мы можем сказать, что имеет место эффект памяти, который в свою очередь зависит от шага спирали.

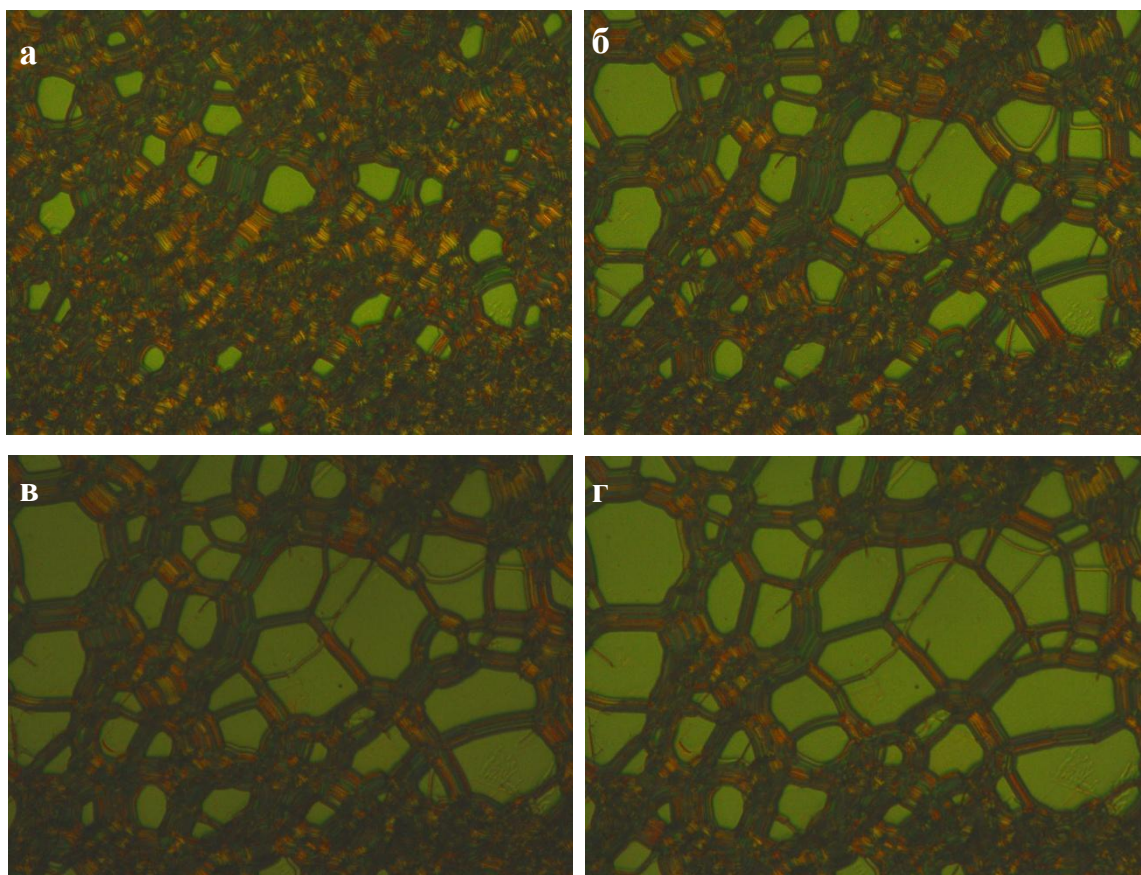


Рис.2.12. Медленный возврат в исходное состояние. а - 10 мин, б - 20 мин, в - 30 мин, г - 40 мин.

В отличие от медленного возврата в исходное состояние, быстрый возврат (рис.2.13) в планарное состояние происходит быстрее (приблизительно 10-15мин). Т.е, можно сказать что эффект памяти практически отсутствует.

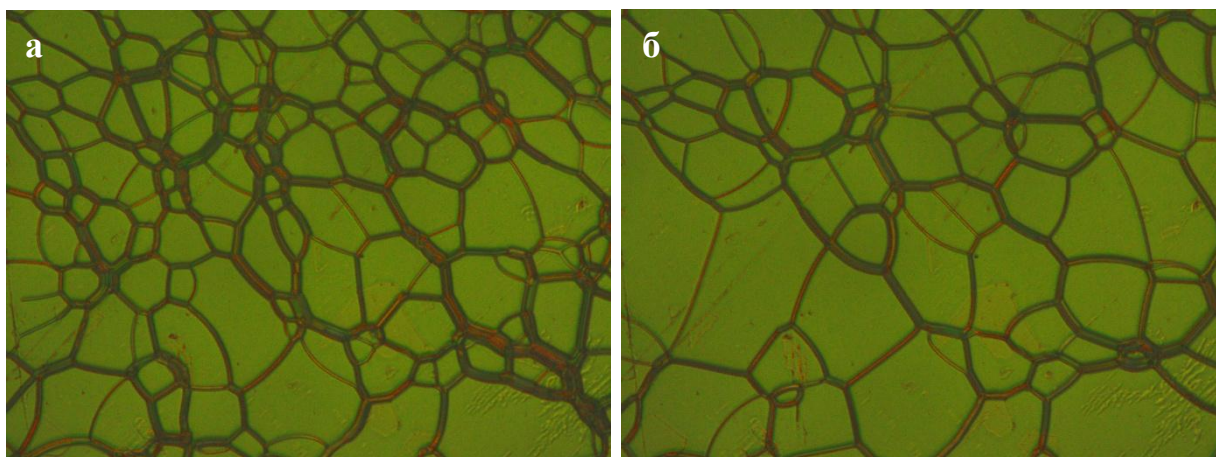


Рис.2.13. Быстрый возврат в исходное состояние. а - 5 мин, б - 10 мин.

2.3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ ПЛЕНКИ SiO_2 С ПОМОЩЬЮ ХОЛЕСТЕРИКО-НЕМАТИЧЕСКОГО ПЕРЕХОДА

Мы убедились, что в используемом холестерике возможен ХНП. Далее нам нужно проверить возможность использования ХНП с целью детектирования дефектов пленки окиси кремния. Для этого использовалась ячейка, схема которой показана на рис.2.14. Толщина слоя ЖК в ячейке составляет 20 мкм. Сама ячейка состоит из образца кремния, окиси кремния, жидкого кристалла и стекла с проводящей пленкой. Для создания в ячейке планарной ориентации поверхность проводящей пленки покрывалась полиимидной пленкой.

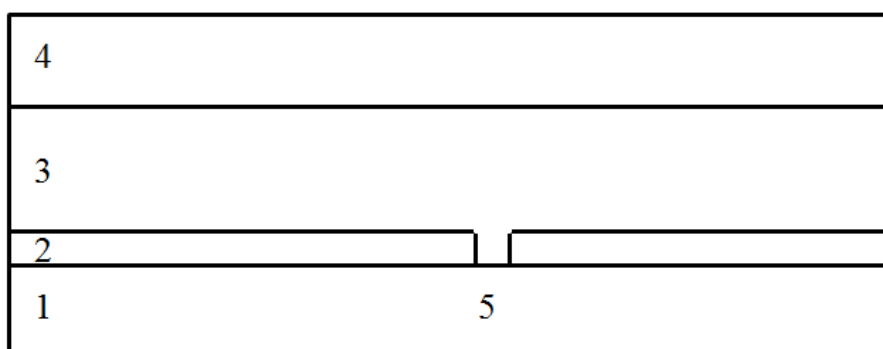


Рис.2.14. Схематический вид ячейки. 1- Кремний. 2- Окись кремния. 3- Жидкий кристалл. 4- Стекло с проводящим покрытием ITO. 5- Дефект пленки окиси кремния (открытая пора).

При подачи на ячейку постоянного и/или переменного поля мы наблюдаем отличные друг от друга свойства ЖК ячейки.

2.3.1 ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ.

Дефект пленки окиси кремния мы можем визуализировать при воздействии на ячейку постоянным напряжением. На подложку подается минус напряжения источника питания. При подачи на подложку плюса напряжения источника питания мы не наблюдаем эффекта, т.е. визуализация дефекта пленки окиси кремния возможна только при подачи на подложку минуса напряжения.

В микроскоп видно, что при подачи постоянного напряжения в районе дефекта пленки окиси кремния наблюдается образование масляных бороздок (рис. 2.15). То есть, воздействуя на ячейку постоянным напряжением мы инициируем ХНП, который проявляется для 2-й фазы в виде образования масляных бороздок в области дефекта пленки окиси кремния. Потоки жк материала вызывают формирование текстуры масляных бороздок.

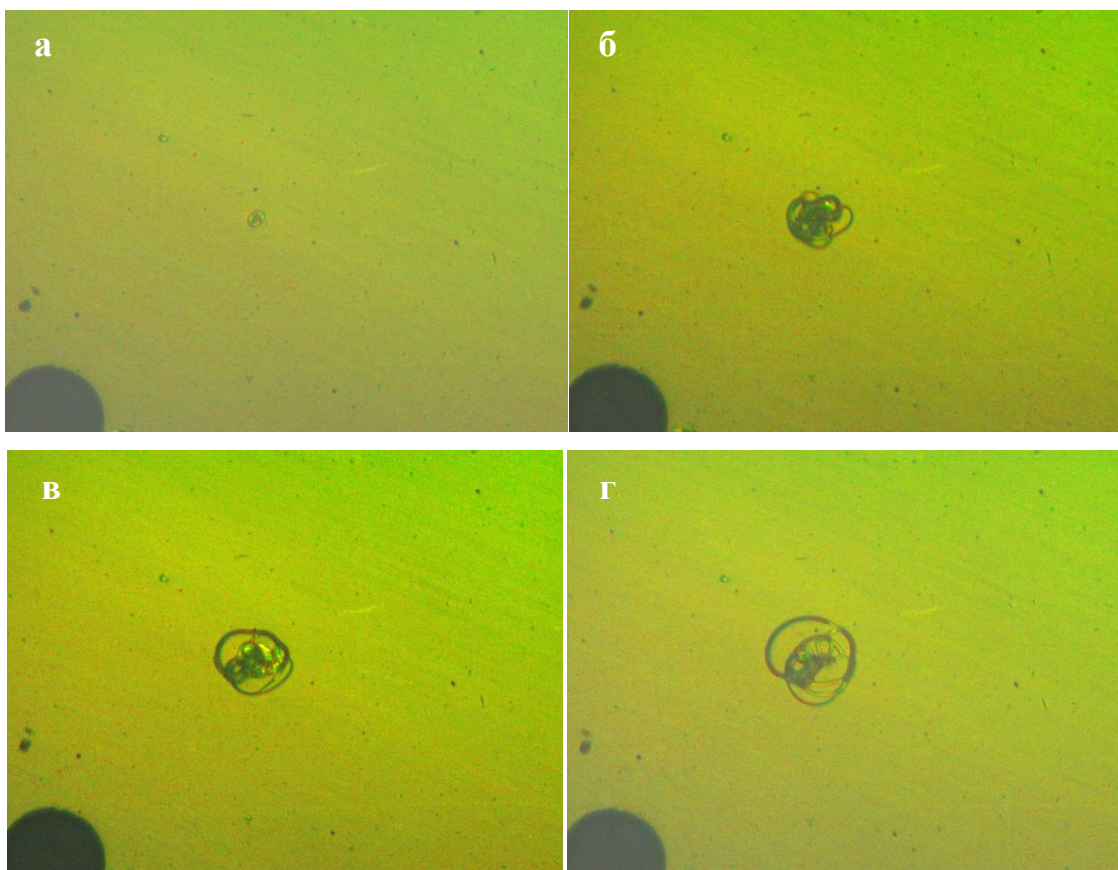


Рис. 2.15. Образование масляных бороздок в постоянном напряжении ($U = 13В$). а - начальное состояние, б - 5 сек после включения постоянного поля, в - 10 сек, г - 20 сек.

Из рисунка 2.15 видно, что в области, где дефект пленки окиси кремния отсутствует, не произошло изменение в ориентации жидкого кристалла. Следовательно, можно сказать, что мы визуализировали место положения дефекта в постоянном напряжении.

2.3.2 ПЕРЕМЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

При подключении переменного напряжения наблюдаются все стадии ХНП, но происходит это по всей ячейке. Вследствие этого мы не можем

визуализировать дефект пленки окиси кремния используя переменное напряжение.

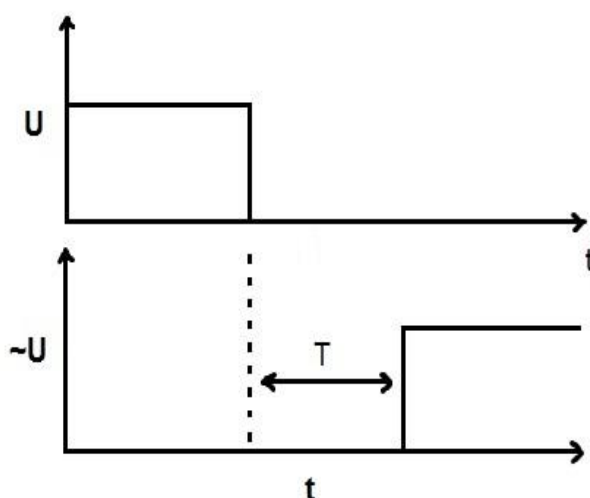


Рис.2.16. Схема подачи управляющих напряжений на ячейку. Т- задержка включения переменного напряжения.

Далее экспериментально было показано, что с помощью предварительно приложенным постоянным электрическим напряжением мы можем понизить порог появления холестерико-нематического перехода и инициировать появление масляных бороздок. Переключая с постоянного напряжения на переменное мы ускоряем процесс появления масляных бороздок. На рисунке 2.16 показана схема подачи напряжения (сначала подается постоянное напряжение, далее через некоторое время Т подается переменное напряжение).

Понижение порога появления масляных бороздок мы связываем с (1) присутствием ионных зарядов в ЖК, которые накопились в промежуток времени действия постоянного напряжения и (2) остаточных деформационных напряжений в слое ЖК, связанных с течениями ЖК материала в постоянном напряжении.

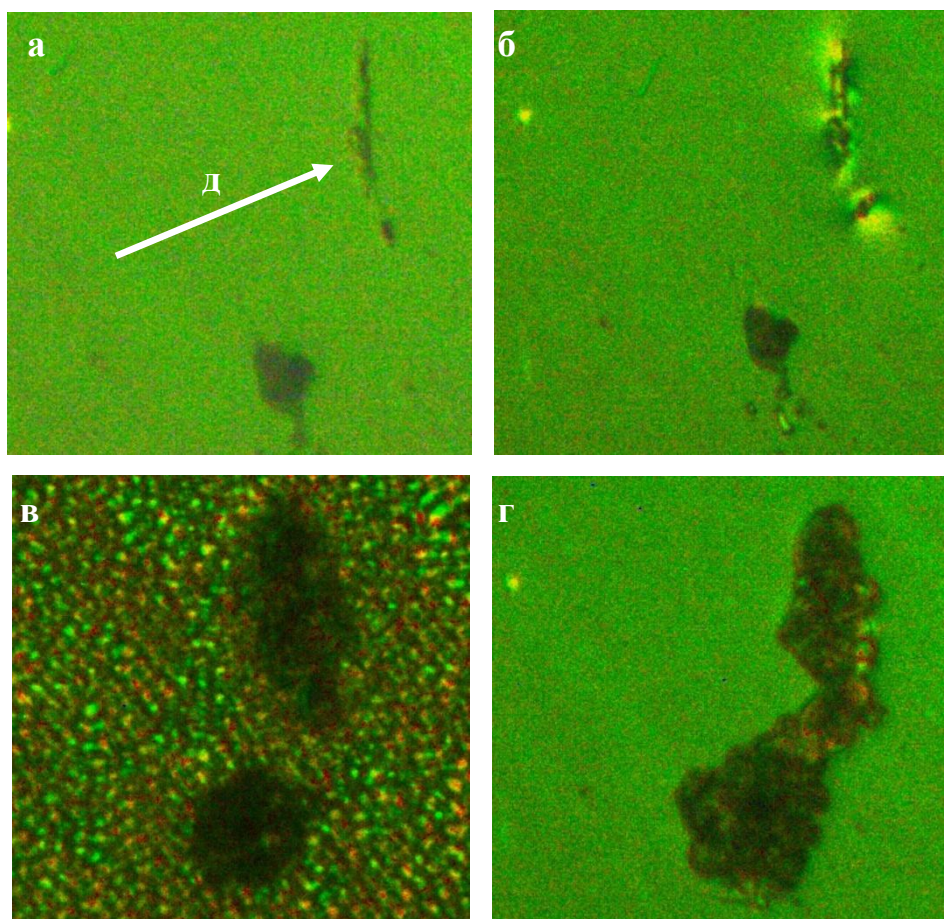


Рис.2.17. Переменное напряжение. а - начальное состояние, б - постоянное поле $U = 6.6V$, в - переключение с постоянного ($U = 6.6V$) на переменное поле ($U = 9.5V$), г - 5 секунд после отключения переменного поля, стрелка (д) - группа дефектов пленки окиси кремния.

В качестве доказательства на рисунке 2.17 хорошо видно, что масляные бороздки образуются в окрестности дефекта пленки окиси кремния. При отключении переменного напряжения масляные бороздки исчезают постепенно, это позволяет нам провести контроль дефектности диэлектрической пленки используя при этом стандартные оптические микроскопы (не поляризационные). Принимая во внимание, что ЖК представляют собой органический материал подверженный электролизу, то понижение порога появления масляных бороздок вызывает меньшее загрязнение поверхности диэлектрической пленки, т.е. метод становится в этом случае менее загрязняющий.

Так же в эксперименте, мы выясняли, что при отключении постоянного напряжения ионные заряды в жидком кристалле в районе дефекта плёнки какое-то время сохраняются и продолжают оказывать влияние на холестерик в случае включения переменного поля (рис.2.17), т.е. здесь присутствует некий "эффект памяти". Данный эффект влияния зарядов регистрируется приблизительно $T \sim 35-40$ секунд.

2.4. ЭФФЕКТ ОБЕДНЕНИЯ В КРЕМНИИ ПРИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТОВ SiO_2 В МДП СТРУКТУРЕ

Далее будет рассмотрен ХНП в структуре металл - ХЖК - кремний, который сопровождается эффектом изменения поверхностной проводимости полупроводника. В этом методе выбирается напряжение, которое прикладывается к ячейке, при котором кремний обедняется основными носителями заряда, причем диэлектрическая пленка SiO_2 препятствует проникновению зарядов в кремний. А так же подбирается ХЖК с малым шагом спирали (т.е. ХЖК с большой концентрацией оптически активной добавки). На рис. 2.18 показана зависимость порогового напряжения в структуре металл - ХЖК - кремний. Видно, что пороговые напряжения достаточно высоки, это дает нам возможность обеднить поверхность кремния. Так же, стоит отметить, что такие высокие напряжения с нематиком не применимы, потому что они вызывают очень большие потоки ЖК, которые не позволяют детектировать места дефектов пленки окиси кремния.

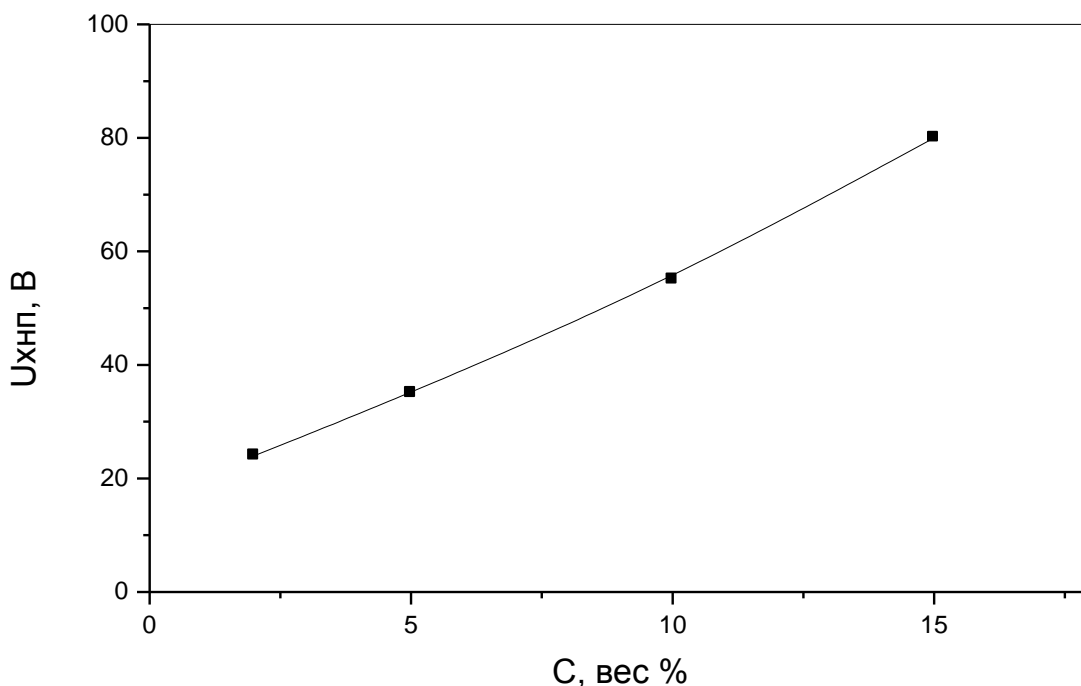


Рис.2.18. Зависимость порогового напряжения ХНП перехода в структуре металл - ХЖК - кремний от концентрации оптически активной добавки.

При подачи напряжения на ячейку в окрестности дефекта пленки окиси кремния наблюдается уменьшение порога появления ХНП, в отличие от областей с бездефектной пленки окиси кремния (рис.2.19). Это обусловлено тем, что заряды протекающие через пору препятствуют формированию обедненного (инверсного) слоя в кремнии в окрестности дефекта пленки окисла. В этом случае суммарная емкость бездефектного участка МДП структуры соответствует последовательному включению емкости диэлектрика и емкости инверсного слоя, что в совокупности имеет меньшее значение, чем в окрестности дефекта, где емкость соответствует только емкости пленки диэлектрика. Поэтому мы имеем уменьшение порога ХНП в окрестности дефекта. Следовательно, мы можем визуализировать местоположение дефекта пленки окиси кремния, причем размерам области с

нематической фазой пропорциональны размерам Дефекты пленки окиси кремния.

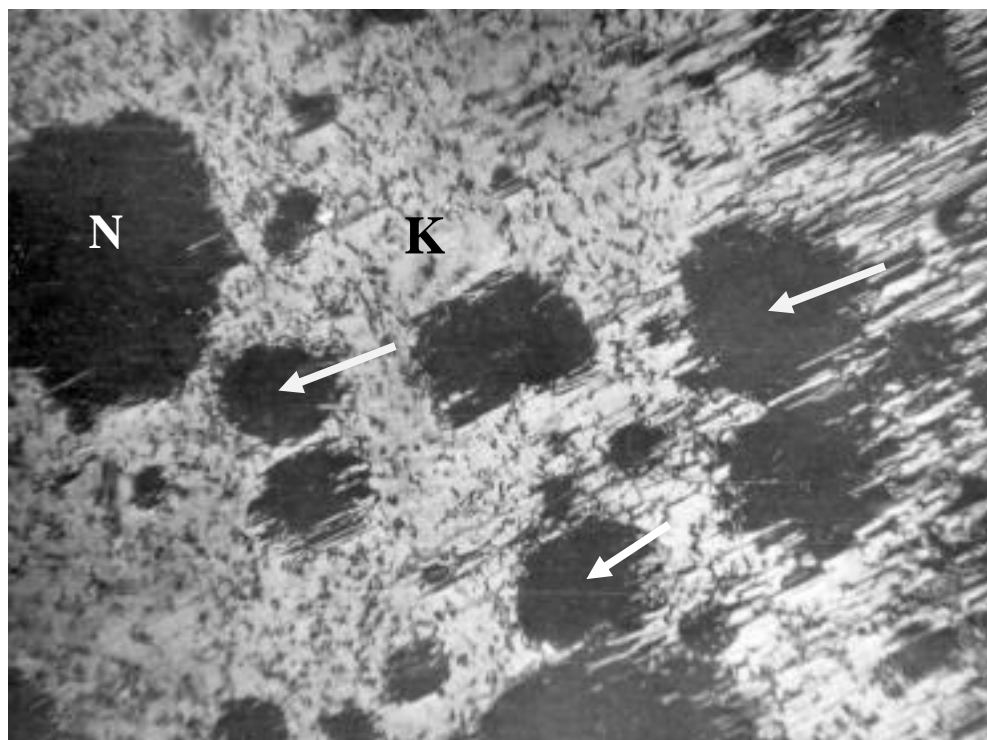


Рис.2.19. ХНП переход в окрестности дефектов пленки окиси кремния в структуре металл - ХЖК – окись кремния - кремний. N - нематическая текстура, K - конфокальная текстура. Стрелками указаны местоположение дефектов пленки окиси кремния.

Отметим, что рисунок 2.19 хорошо визуализируется как в поляризованном свете, так и не в поляризованном свете. Так же мы видим, что возле дефектов пленки окиси кремния происходит полная раскрутка холестерической спирали, в то время как в других областях еще наблюдается конфокальная, хорошо рассеивающая свет, текстура. На рис. 2.20 показан схематический вид ХНП перехода в области дефекта пленки окиси кремния с индуцированием обедненного (инверсного) слоя в кремнии.

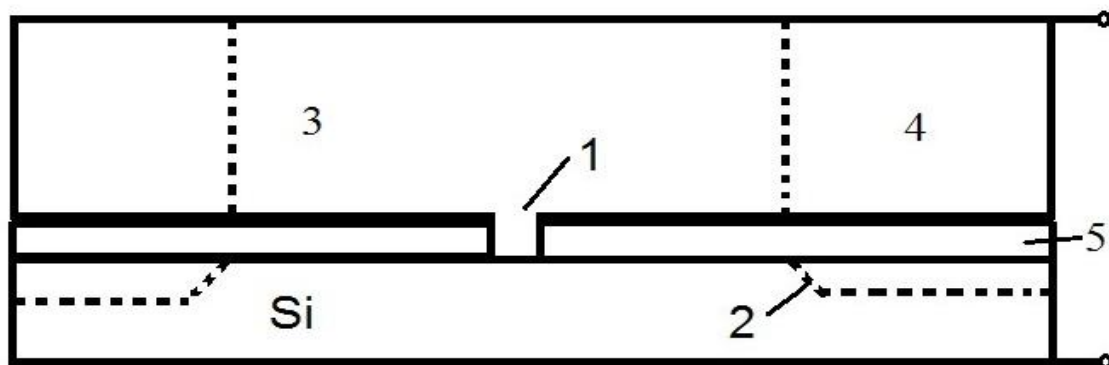


Рис.2.20. Схематический вид сечения ячейки, в которой происходит ХНП в области дефекта (1) диэлектрика (5). 2- граница обедненного слоя кремния в МДП структуре, 3 - нематическая фаза, 4 - конфокальная фаза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были получены следующие результаты:

1. С помощью нематического жидкого кристалла возможно визуализировать дефекты пленки окиси кремния за счет переориентации директора в потоке жидкокристаллического материала в области дефекта.
2. С помощью холестерического жидкого кристалла возможно визуализировать дефекты пленки окиси кремния за счет образования текстуры «масляных бороздок» в окрестности дефектов при действии постоянного напряжения.
3. Визуализация холестерическим жидким кристаллом дефектов пленки окиси кремния при действии переменного напряжения, с целью минимизировать загрязнения подложки, возможна при предварительном действии постоянного напряжения.
4. Для холестерического жидкого кристалла с малым шагом спирали визуализация дефектов пленки окиси кремния (открытые поры и полагается с тунельно тонким окислом) осуществляется за счет понижения порога холестерико-нематического перехода в области дефекта вследствие нарушения обеднения поверхности кремния в МДП структуре, с формированием нематической текстуры, тогда как для бездефектных областях ячейки имеет место конфокальная рассеивающая свет текстура.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов, Л. М. Электро- и магнитооптические свойства жидких кристаллов / Л. М. Блинов. - М.: Наука, 1977, - 384 с.
2. Браун, Г. Жидкие кристаллы и биологические структуры / Г. Браун, Дж. Уолкен. - М.: Мир, 1982, - 198 с.
3. Ермаков, С. Ф. Трибология жидкокристаллических наноматериалов и систем / С. Ф. Ермаков. - Минск: Беларус. Навука, 2011, - 381 с.
4. Жданова, С. И. Жидкие кристаллы / С.И. Жданова. - М.: Химия, 1979, - 327 с.
5. Капустин, А. П. Электрооптические и акустические свойства жидких кристаллов / А. П. Капустин. - М.: Наука, 1973, - 231 с.
6. Жен П. Физика жидких кристаллов / Поль де Жен. - М.: Мир, 1977, - 400 с.
7. Чистяков, И. Г. Жидкие кристаллы / И. Г. Чистяков. - М.: Наука, 1966, - 126 с.
8. Хасс Г. Физика тонких пленок / Г. Хасс, Р.Э. Тун. Том 3. - М.: Мир, 1968, - 338 с.