

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

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Кафедра Теоретической и математической физики

**«Исследование переходных токов в структурах Si/нематик/прозрачный
электрод с пористым кремнием»**

Выпускная квалификационная работа студентки

**очной формы обучения
направления подготовки (специальности) 03.03.02 Физика
4 курса группы 07001210
Ченцова Виктория Викторовна**

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

БЕЛГОРОД 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
1.1 Носители зарядов в жидких кристаллах. Подвижность носителей.....	4
1.2. Электрооптические эффекты, обусловленные зарядами в жидких кристаллах.....	8
1.3. Пористый кремний.....	12
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	16
2.1. Структура жидкокристаллической ячейки.....	16
2.2. Экспериментальная установка.....	17
2.3. Ход эксперимента.....	18
2.3.1. Переходные токи в жидкокристаллической ячейке.....	18
2.3.2. Подвижность ионов в жидкокристаллической ячейке.....	23
2.3.3. Фотоэлектрические свойства жидкокристаллической ячейке с пористым кремнием.....	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	36
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	37

ВВЕДЕНИЕ

Современное общество не может представить свою жизнь без таких приборов, как мобильные телефоны, телевизоры, ноутбуки, планшеты и др. Данные приборы основаны на использовании жидких кристаллов (жк).

Существует большой класс электрооптических эффектов в жидких кристаллах, которые без непосредственного участия ионов не протекают. Ионы являются необходимой составляющей жидких кристаллов, для протекания электрооптических эффектов и функционирования определенных жк приборов. Поэтому важно знать механизмы формирования, параметры и другие свойства зарядовой подсистемы в жидких кристаллах.

Изучение ионных процессов составляет актуальную задачу, так как жидкие кристаллы составляют неотъемлемую часть многих современных жк приборов. Например, качество получаемого на дисплее изображения зависит от многих параметров, в частности от ионной подсистемы жк.

Цель: Установление одного из источников ионов в жидком кристалле в ячейке с пористым кремнием.

Исходя из цели квалификационной работы, вытекают следующие задачи:

1. Исследовать переходные токи в ячейках с пористым и полированным кремнием.
2. Сделать оценку подвижности ионов по параметрам переходных токов.
3. Исследовать фотоэлектрические свойства жк ячейки с пористым кремнием.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

1.1 Носители зарядов в жидких кристаллах. Подвижность носителей.

Жидкие кристаллы – это жидкости, в которых имеет место определенный порядок расположения молекул и, как следствие этого, анизотропия механических, электрических, магнитных и оптических свойств.[1]

С одной стороны, все эффекты, характерные для жидкостей-диэлектриков, проявляются в жидких кристаллах (примеры: эффект Керра [2], электрогидродинамические неустойчивости [3] и т.д.). В то же время целый ряд эффектов, характерных для твердого тела, в жидких кристаллах не удается наблюдать. Особенно это относится к эффектам, обусловленным инжекцией и движением носителей заряда, наличием неспаренных электронов, специальными видами симметрии (эффект Поக்கельса [4], например) и др.

Жидкие кристаллы диамагнитны, и поэтому все ныне известные магнитооптические явления в них имеют соответствующие электрооптические аналоги.

Основой большинства специфических для жидких кристаллов электро- и магнитооптических эффектов является переориентацией директора [5] (оси преимущественной направленности молекул) макроскопического объема вещества под действием поля или потока жидкости. Первопричиной переориентации является анизотропия электрических и магнитных свойств среды (диэлектрической диамагнитной восприимчивости, электропроводности), но ход процесса также зависит от анизотропии

вязкоупругих свойств и исходной ориентации молекул мезофазы относительно поля. Результатом переориентации является изменение оптических свойств среды теперь уже вследствие ее оптической анизотропии [1]. Этот процесс переориентации директора может быть прослежен буквально во всех электро- и магнитооптических эффектах [5].

Примерами могут служить: переход Фредерикса [2], динамическое рассеяние [4], где локальная переориентация директора вызвана турбулентным движением жидкости; фазовый переход холестерик → нематик в магнитное поле, где директор переориентируется в процессе раскрутки холестерической спирали ; волнообразная неустойчивость смектики А с пространственно-периодическим изменением директора в слое вещества и т.д.

Электро- и магнитооптические эксперименты легли в основу ряда точных методов определения физических параметров вещества, таких, как коэффициенты упругости и вязкости [7], оптическая анизотропия [1], пьезокоэффициент [8] и т.д.

Жидкие кристаллы состоят из сложных анизотропных молекул, и поэтому практически невозможно учесть все виды взаимодействия между молекулами. В большинстве практических применений и исследований жидких кристаллов используются ячейки сэндвичевого типа. В качестве прозрачных проводящих покрытий чаще всего используется двуокись олова (SnO_2) или окись индия (In_2O_3) [9].

Для исследования анизотропии свойств и характера электрооптического поведения жидких кристаллов совершенно необходимо задать определенную ориентацию их молекул на ограничивающих стенках ячейки. Тогда молекулы последующих слоев «пристроятся» к молекулам поверхностного слоя и весь объем образца будет представлять собой монокристалл, идеальный или

деформированный в зависимости от того, симметричны или нет условия ориентации на разных поверхностях.

Ориентация молекул характеризуется двумя параметрами – средним углом молекул с плоскостью поверхности θ_0 и энергией сцепления W_s . В зависимости от угла различаются планарная ($\theta_0=0$), гомеотропная ($\theta_0 = \pi/2$) и наклонная ($0 < \theta_0 < \pi/2$) ориентации.

Тщательно очищенные нематические жидкие кристаллы, как и другие органические диэлектрики, должны обладать чрезвычайно низкой собственной электропроводностью (возможно меньше 10^{-19} Ом $^{-1}$ ×см $^{-1}$). Практически даже при самой тщательной очистке в них остается некоторое количество ионных примесей, которые дадут заметную ионную электропроводность. При идеальной очистке ионы все равно могли бы рождаться за счет инжекции электронов из электрода с последующим захватом на нейтральных молекулах веществ [9].

Электронная проводимость органических жидкостей (в том числе и жк) чрезвычайно низка; по порядку величины она должна быть соизмерима с собственной электропроводностью беспримесных твердых органических диэлектриков (нафталин или антрацен). Носители заряда (ионы) могут и не быть собственными, а рождаться вблизи электродов за счет инжекции или эксклюзии электронов. В этом случае на электроде идет электрохимический процесс.

Большинство электрооптических эффектов изучается на толщинах жидких кристаллов порядка 5-50 мкм и напряженностями поля 10^4 - 10^5 В / см [1].

В реальных условиях ток насыщения редко удается наблюдать, поскольку скорость диссоциации предполагается постоянной, а на самом деле она уменьшается вследствие электролиза.

Если нет дисперсии диэлектрической постоянной, ионная электропроводность в первом приближении не зависит от частоты вплоть до частот порядка τ_1^{-1} , где τ_1 - время свободного пробега ионов между столкновениями. На частотах ниже области дисперсии $\epsilon(\omega)$ за счет дипольной поляризации среды движущимся ионом подвижность зависит от дебаевского времени дипольной релаксации τ_D .

Подвижность примесных ионов в МБА, измеренная по концентрационным зависимостям электропроводности имеет следующие значения (в $\text{см}^2 \times \text{с}^{-1} \times \text{В}^{-1}$): 9×10^{-8} ; 10^{-6} ; $1,05 \times 10^{-6}$; $4,1 \times 10^{-6}$. Дрейфовая подвижность, измеренная по времени пролета ионов между электродами, заметно выше $10^{-5} \text{ см}^2 \times \text{с}^{-1} \times \text{В}^{-1}$. Значение кажущейся подвижности линейно увеличивается с увеличением поля [1, 9].

Существует процесс разрядки ионов на электродах, т.е. их окисление или восстановление до нейтральных молекул в результате электронного обмена с электродом. Ионы могут образовываться вблизи электрода из нейтральных молекул НЖК за счет инжекции или эксклюзии электронов из контакта. На этом принципе основан метод измерения подвижности ионов [10], образованных при фотоинжекции электронов из электрода, вызванной световым импульсом.

Если ячейка находится в постоянном поле, то идет интенсивный процесс полевого увода ионов на электроды. Заряд распределяется неравномерно по толщине ячейки. Максимум напряженности находится вблизи электрода, где образуется двойной электрический слой [11]. Наличие двойных слоев в растворах сильных электролитов легко регистрируется по вольт-амперным характеристикам. В слабых электролитах балластное сопротивление жидкого кристалла сглаживает вольт-амперную кривую. Тем не менее двойной слой проявляет себя в кажущемся возрастании диэлектрической постоянной

жидкокристаллической ячейки на частотах ниже обратного времени диэлектрической релаксации, $\omega < \tau_c^{-1}$.

Толщина двойного слоя в зависимости от концентрации ионов дается известной формулой Дебая для длины экранирования:

$$L_D = \sqrt{\frac{\epsilon k_B T}{4\pi e^2 n}} \quad (1.1)$$

Толщина двойного слоя всегда меньше, при обычных концентрациях примеси 1 мкм, т.е. значительно меньше толщины стандартных жк ячеек [4].

1.2. Электрооптические эффекты, обусловленные зарядами в жидких кристаллах.

Если задать исходную ориентацию директора НЖК с $\Delta\epsilon < 0$ (диэлектрическая анизотропия) [5] вдоль координаты x , например, с помощью натирания, то в низкочастотном электрическом поле возникнет периодическая картина распределения директора вдоль x . В поляризованном свете наблюдается чередование четких светлых и темных полос, перпендикулярных направлению натирания. Причиной этого чередования является периодичность изменения показателя преломления для необыкновенного луча, обусловленная изменением директора $\theta(x)$. Впервые, пространственно-периодическое распределение коэффициента преломления (домены) наблюдалось Капустиным и Зверевой. Затем Вильямс исследовал поперечные домены. Для доменов Капустина-Вильямса, кроме направленности перпендикулярно детектору, характерна практическая независимость

порогового напряжения от толщины ячейки и слабая зависимость периода доменов от внешнего напряжения – период их всегда чуть меньше толщины ячейки. В области низких частот, пороговое напряжение не зависит от частоты. С увеличением напряжения доменная картина усложняется и затем смазывается, сменяясь картиной интенсивного «кипения», сопровождающегося интенсивным рассеянием света.

Если пропустить монохроматический, например лазерный, луч через ячейку с доменной картиной, на экране, поставленном за ячейкой, возникнет картина дифракции в виде цепочки рефлексов, расположенных в плоскости, перпендикулярной доменам. Угловое распределение максимумов и минимумов описывается обычной формулой дифракционной решетки с периодом ω (ω – период доменов Капустина-Вильямса).

Стационарные домены Капустина-Вильямса наблюдаются и при небольших положительных $\Delta\varepsilon$, т.к. переход через точку $\Delta\varepsilon = 0$ не меняет картины; просто вклад диэлектрического момента меняет знак, но остается недостаточным, чтобы изменить предпороговые условия.

При повышении напряжения вначале происходит переориентация директора, а уж затем, если достигнутый вследствие S-эффекта средний угол не слишком близок к $\pi/2$ могут наблюдаться и домены. Они наблюдаются только во время переориентации как переходной процесс.

Эксперимент показывает, что в тонких ячейках (порядка 10 мкм и менее) и особенно в случае хорошо очищенных НЖК (электропроводность $\sim 10^{-11}$ Ом $^{-1}$ ×см $^{-1}$) домены Капустина-Вильямса не возникают. В зависимости от параметров НЖК наблюдаются либо продольные домены Вистиня, которые имеют флексоэлектрическую природу, либо ЭГД неустойчивость «шеvronного» типа. В обоих случаях период доменов зависит от поля, так что осуществляется режим управляемой дифракционной решетки. Чем тоньше

ячейка, тем меньше период доменов Капустина-Вильямса, т.е. меньше расстояние между разведенными по оси x положительными и отрицательными зарядами. Диффузионный ток старается размыть периодическое распределение, вызванное анизотропией электропроводности, тем самым повышая необходимое для возникновения неустойчивости напряжение [4].

В условиях интенсивного турбулентного движения НЖК наблюдаются оптические эффекты, например вторичное динамическое рассеяние или текстурирование, связанные с возникновением петлевых дисклинаций или стенок, разделяющих пространственные области с различной ориентацией директора. Стенки появляются при релаксации текстурированных областей динамического рассеяния к исходной гомеотропной ориентации. В этих областях ориентация директора метастабильна, т.е. имеется некоторая аналогия с релаксацией твист-эффекта [4]. Вторичные эффекты, как правило, затягивают релаксацию динамического рассеяния: кроме стадий релаксации гидродинамических вихрей и «мелкомасштабной», а значит и относительно быстрой, релаксации директора добавляется еще медленная стадия «стягивания» петлевых дисклинаций или стенок.

Акцепторные примеси дают малую анизотропию электропроводности и высокий порог ЭГД неустойчивости на переменном токе. В тоже время, по-видимому, за счет свойств двойного слоя, изменяющегося условия инъекции носителей заряда, эти примеси понижают порог неустойчивости на постоянном токе.

Двойной электрический слой (межфазный) (ДЭС) — слой ионов, образующийся на поверхности частиц в результате адсорбции ионов из раствора, диссоциации поверхностного соединения или ориентировании полярных молекул на границе фаз. Ионы, непосредственно связанные с поверхностью называются потенциалопределяющими. Заряд этого слоя компенсируется зарядом второго слоя ионов, называемых противоионами.

Механизм образования ДЭС.

Двойной электрический слой возникает при контакте двух фаз, из которых хотя бы одна является жидкой. Стремление системы понизить поверхностную энергию приводит к тому, что частицы на поверхности раздела фаз ориентируются особым образом. Вследствие этого контактирующие фазы приобретают заряды противоположного знака, но равной величины, что приводит к образованию двойного электрического слоя. Можно выделить три механизма образования ДЭС:

1. Переход ионов или электронов из одной фазы в другую (поверхностная ионизация). Примером является диссоциация поверхностных функциональных групп, принадлежащих одной из фаз (как правило, твердой). Для определения знака заряда поверхности используется правило Фаянса — Панета.
2. Преимущественная адсорбция в межфазном слое ионов одного знака.
3. Ориентирование полярных молекул в поверхностном слое. По этому механизму ДЭС образуется в случае, если вещества, составляющие фазы системы не могут обмениваться зарядами. Для определения знака заряда поверхности используют правило Кёна, гласящее, что из двух соприкасающихся фаз положительно заряжается та, которая имеет большую диэлектрическую проницаемость [11].

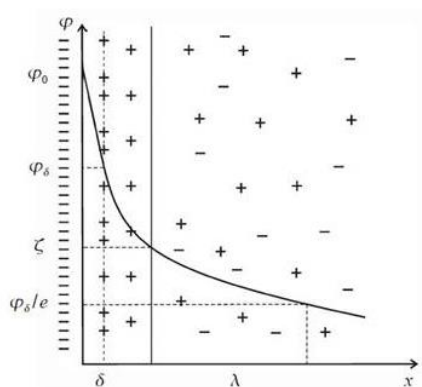


Рис. 1.1. Схема двойного электрического слоя на поверхности твердого тела.

1.3. Пористый кремний.

Пористый кремний (*por-Si* или ПК) — кремний, испещренный порами, то есть имеющий пористую структуру [13].

Традиционным способом получения пористого кремния является электрохимическое травление пластин монокристаллического кремния (с-Si) в этаноловом растворе плавиковой кислоты HF. Один из вариантов конструкции электрохимической ячейки для получения слоев ПК показан на рис. 1.2.

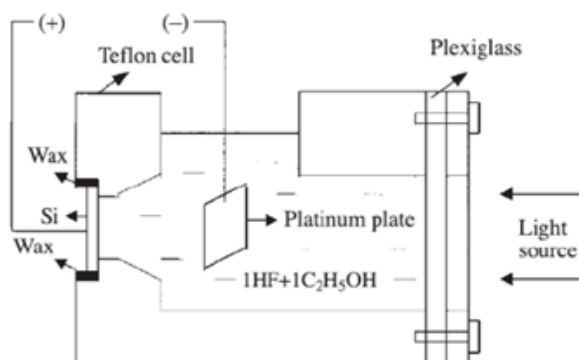


Рис. 1.2. Конструкция электрохимической ячейки для получения пористого кремния.

В качестве анода служит кремниевая пластина, которая помещается в электрохимическую ячейку. Основой электролита является плавиковая кислота (HF) с различными органическими добавками, которые хорошо смачивают поверхность кремния (чаще используют этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Корпус ячейки, как правило, выполняют из фторопласта, электроды — из платины. Если рост слоев ПК производится при освещении поверхности кремниевой подложки, то в корпусе электрохимической ячейки монтируется прозрачное окно из материала, устойчивого к действию HF.

Электрохимическое травление кремния проводят в одном из трех режимов – гальваностатическом (при постоянном токе), потенциостатическом (при постоянном напряжении) и комбинированном.

При анодном электрохимическом окислении кремния вначале происходит изотропное растворение кремния и накопление ионов. На этой стадии ПК не образуется. Возникающие ионы Si^{2+} могут адсорбироваться на поверхности кремния, а также диффундировать в раствор в виде комплексных ионов $[\text{SiF}_4]^{2-}$ и адсорбироваться на некотором расстоянии от места их образования. Затем начинаются реакции окисления водородом и диспропорционирования. Реакция диспропорционирования наиболее вероятно протекает на поверхности кремния, так как благодаря наличию свободных носителей в твердой фазе возможен прямой обмен зарядами между частицами, расположенными на удалении друг от друга. Вторичные атомы кремния, возникающие по реакции диспропорционирования, также изначально адсорбируются на поверхности кремния. Таким образом, на поверхности кремния образуются начальные островки роста. Концентрация вторичных атомов кремния, адсорбированных на поверхности подложки, сопоставима или превышает поверхностную концентрацию атомов кремния исходной подложки. При этом вторичные атомы кремния не имеют возможности достраивать кристаллическую решетку исходного кремния и хаотически располагаются по поверхности подложки. Возможно также образование агрегатов, состоящих из нескольких атомов вторичного кремния. Образующиеся на поверхности кремниевой подложки структуры роста могут растворяться в соответствии с реакцией образования неустойчивых ионов, однако в результате квантово-размерных эффектов их электрическое сопротивление может оказаться значительно выше сопротивления исходного кремния, что увеличит устойчивость структур роста к растворению. Так на

поверхности кремниевой подложки возникают поверхностные нанокристаллиты.

В дальнейшем кремний растворяется преимущественно в промежутках между нанокристаллитами, начинается образование и углубление пор. Одновременно с образованием пор продолжается нарастание вторичного кремния на всей поверхности ПК, в том числе и на стенках пор. Высокое удельное сопротивление вторичного кремния обеспечивает повышенную устойчивость стенок пор к растворению и способствует росту крупных пор вглубь подложки. Вторичный кремний осаждается на стенках пор также в виде отдельных разрозненных агрегатов, в результате чего образуются мелкие боковые ответвления пор. Освещение кремниевой подложки усиливает вклад реакции диспропорционирования в образование ПК. На подложках n-типа проводимости ПК практически всегда получают при освещении, поскольку свет обеспечивает достаточную концентрацию дырок на границе кремния с электролитом. Пористость слоя заметно возрастает с увеличением интенсивности освещения. Причем спектральный состав излучения существенно не влияет на пористость [14].

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

2.1. Структура жк ячейки.

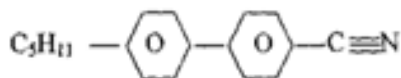
В эксперименте использовалось 2 типа жк ячеек:

-с плёнкой пористого кремния (ПК) на монокристаллическом кремнии р- типа проводимости (2 Ом*см)

-с полированным монокристаллическим кремнием р- типа проводимости (2 Ом*см)

Использовались жк ячейки разной толщиной жидкого кристалла: 20, 40, 100 мкм.

В качестве жк использовался 4,4' – пентил-цианобифенил (5CB, производство фирмы MERCK) со структурной формулой:



с температурами фазовых переходов Crystal 21,5 °C Nematic 35 °C Isotropic и обладающей положительной анизотропией диэлектрической проницаемости $\Delta \epsilon = 11,5$ при 20 °C.

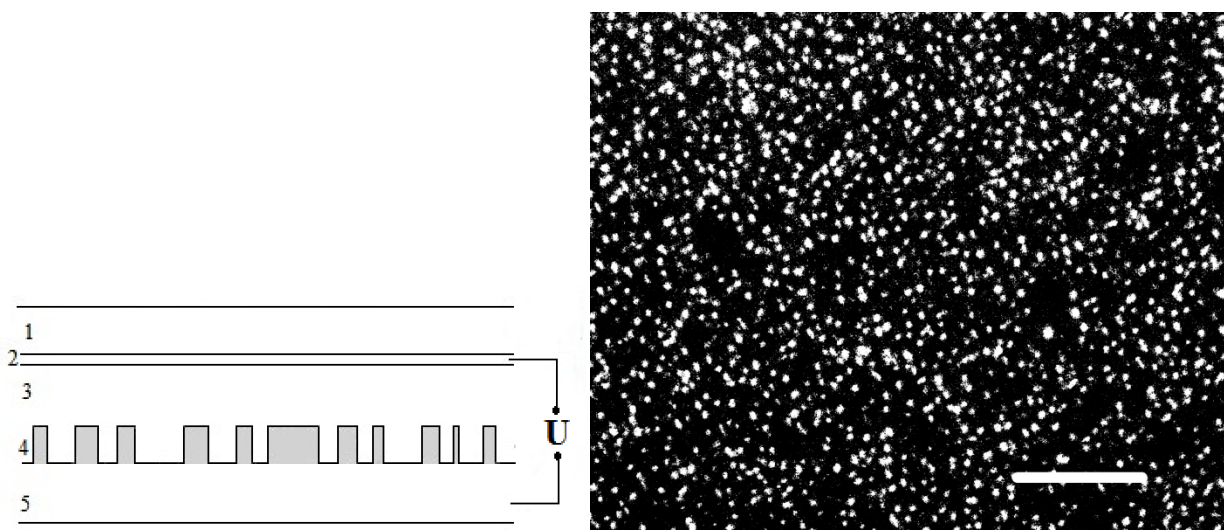


Рис. 2.1. Схематическое изображение строения жк ячейки и оптическое изображение поверхности пористого кремния (масштаб 100 мкм). 1 – стекло,

2 – прозрачный электрод (окись индия, ИТО), 3 – жидкий кристалл, 4 – пористый кремний, 5 – кремний p-типа.

2.2. Экспериментальная установка.

В работе использовалась экспериментальная установка, состоящая из усилителя – микроамперметра, источника тока, ключа, запоминающего осциллографа. В эксперименте исследовались переходные токи I через ячейку в зависимости от времени t , при прикладывании ступеньки напряжения и регистрировался сигнал запоминающим осциллографом.

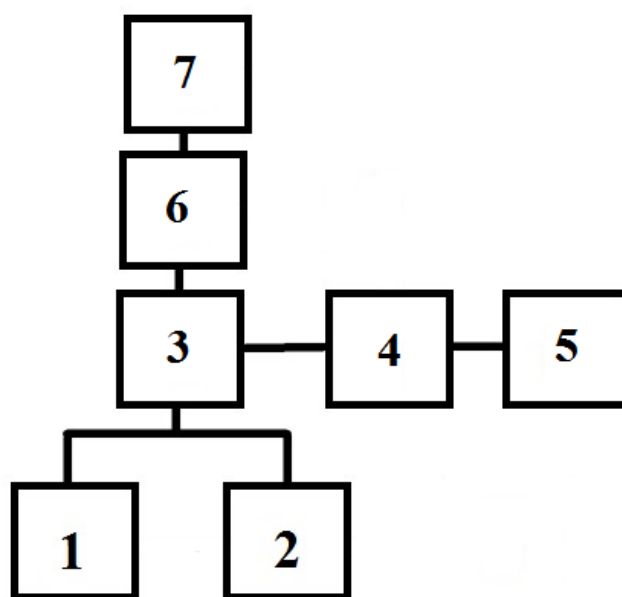


Рис. 2.2. Схематическое изображение блок – схемы экспериментальной установки: 1, 2 – блоки питания, 3 – жк ячейка, 4 – модулятор интенсивности света, 5 – гелий-неоновый лазер (0, 63 мкм), 6 – усилитель, 7 – запоминающий осциллограф.

2.3 Ход эксперимента.

2.3.1. Переходные токи в жк ячейке.

Эксперимент состоит в измерении переходных токов в жк ячейке с полированным и пористым кремнием, при подаче на жк ячейку ступеньки напряжения.

На жк ячейку подается ступенька напряжения. Изменение тока при прохождении через ячейку фиксируется запоминающим осциллографом. Полярность ступеньки напряжения определяется относительно кремниевой подложки в жк ячейке.

На рис. 2.4. представлена типичная осциллограмма, соответствующая изменению тока при прохождении через ячейку, при подаче на нее ступеньки “+”U напряжения. Осциллограмма включает острый первый максимум, и второй менее острый. t – время появления второго максимума, B – амплитуда первого максимума, A – амплитуда второго максимума.

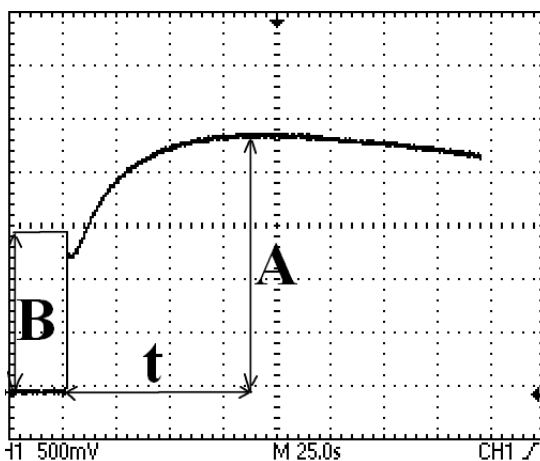


Рис. 2.4. Типичная осциллограмма при подаче ступеньки напряжения. Пределы усиления тока 10^{-5} – 10^{-6} А. Напряжение ступеньки “+” $U = 4,5$ В. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 40 мкм.

Рассмотрим свойства максимумов А и В каждые по отдельности.

На рис. 2.5 представлена зависимость амплитуды второго максимума А от величины ступеньки напряжения. Измерения зависимости амплитуды от напряжения проводились на двух ячейках, толщиной жк слоя: 20 и 40 мкм.

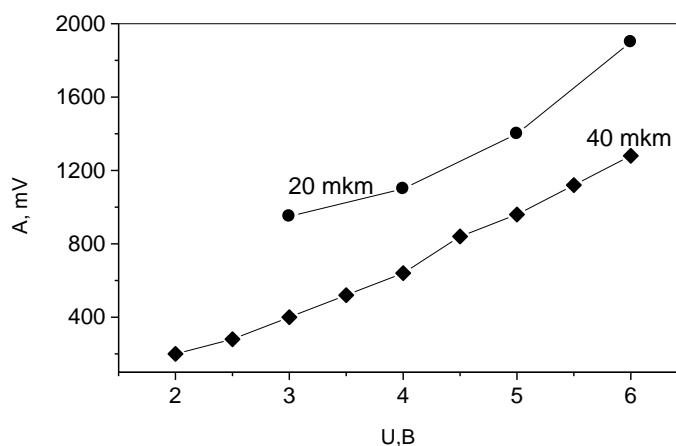


Рис.2.5. Зависимость амплитуды (А) второго максимума от ступеньки напряжения (U). Толщина жк ячейки 20 и 40 мкм.

Видно, что амплитуда второго максимума растет с увеличением напряжения.

На рис. 2.6 представлена осциллограмма, полученная с ячейки с полированным кремнием.

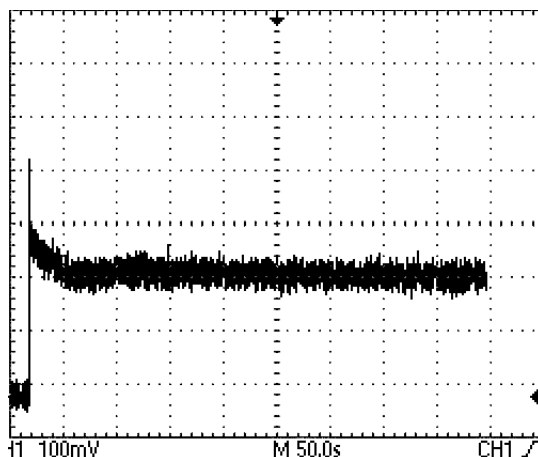


Рис.2.6. Осциллограмма, соответствующая подаче ступеньки “+” $U = 14,5$ В напряжения. Пределы усиления тока $I=10^{-5}$ А. Образец – жк с полированным кремнием.

Видно, что осциллограмма, полученная с жк ячейки с полированным кремнием, отличается от осциллограммы с жк ячейки с пористым кремнием. Второй максимум амплитуды на осциллограмме с полированным кремнием не наблюдается, чего не скажешь об образце с пористым кремнием.

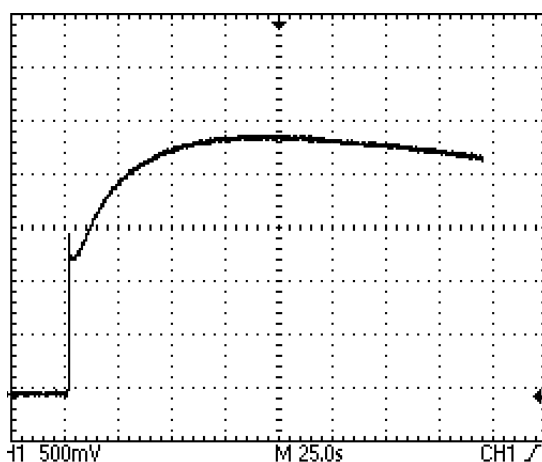


Рис. 2.7. Осциллограмма, соответствующая подаче ступеньки “+” $U = 4,5$ В напряжения. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Пределы усиления тока $10^{-5} - 10^{-6}$ А. Толщина жк ячейки 40 мкм. Величина первого максимума $B = 1500$ mV, величина второго максимума $A = 2400$ mV.

На рис. 2.8, 2.9 продемонстрированы зависимости амплитуды первого максимума V от времени релаксации жк ячейки, из которых видно, что чем меньше время «отдыха» ячейки, тем величина первого максимума V больше. Величина первого максимума V зависит от времени релаксации жк ячейки. А общая зависимость на рис. 2.10.

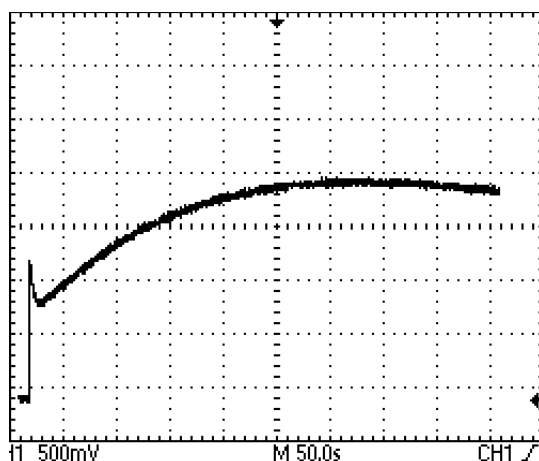


Рис. 2.8. Осциллограмма переходного тока в ячейке после суточной релаксации. Образец-жк ячейка с пористым кремнием. Пределы усиления тока 10^{-5} – 10^{-6} А. Толщина жк ячейки 40 мкм. “+” $U = 14,5$ В.

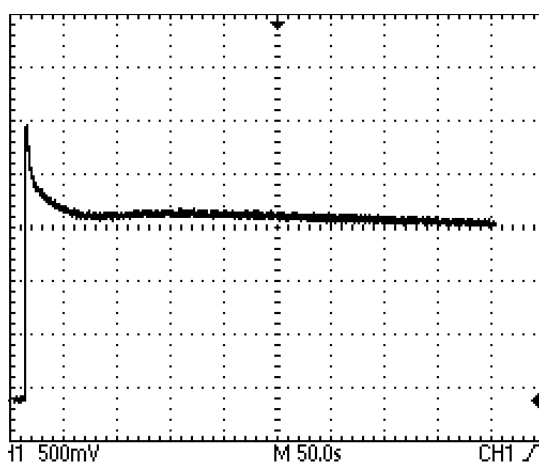


Рис. 2.9. Осциллограмма после релаксации ячейки. Величина первого максимума спустя 9 минут. Образец - жк ячейка с пористым кремнием.

Пределы усиления тока $10^{-5} - 10^{-6}$ А. Толщина жк ячейки 40 мкм. Полярность ступеньки “+”U. Напряжение = 14,5 В.

На рисунке 2.10 показана зависимость амплитуды первого максимума В от времени релаксации жк ячейки.

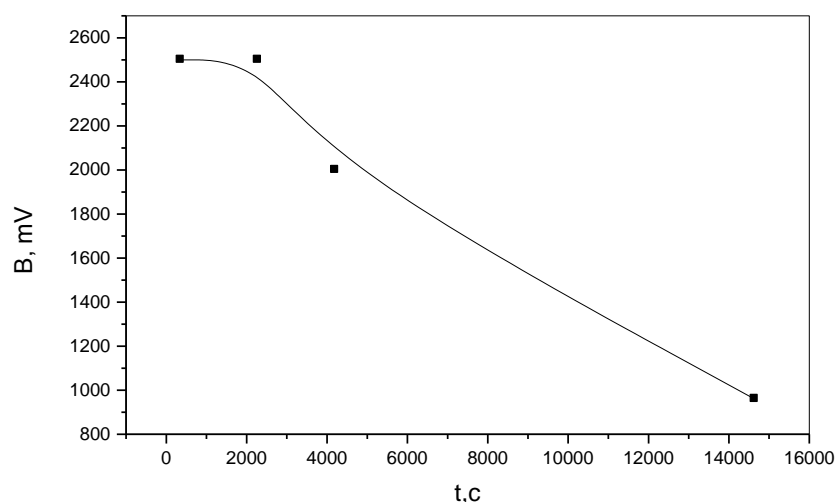


Рис.2.10. Зависимость амплитуды первого максимума В от длительности между последующими включениями ступеньки напряжения. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 40 мкм. “+”U =14,5 В. Пределы усиления тока $10^{-5} - 10^{-6}$ А.

2.3.2. Подвижность ионов в жк.

В ходе эксперимента была рассчитана подвижность ионов, при различной толщине жк ячейки.

Подвижность ионов от напряжения от толщины жк ячейки, рассчитана по формуле:

$$\mu = \frac{d^2}{t \times U} \quad (1,2),$$

где d -толщина жк ячейки; t - время появления второго максимума (А); U -напряжение ступеньки.

На графиках 2.11 - 2.20 изображены зависимости времени появления второго максимума (А) от величины ступеньки напряжения и зависимость времени появления второго максимума от обратного напряжения ступеньки.

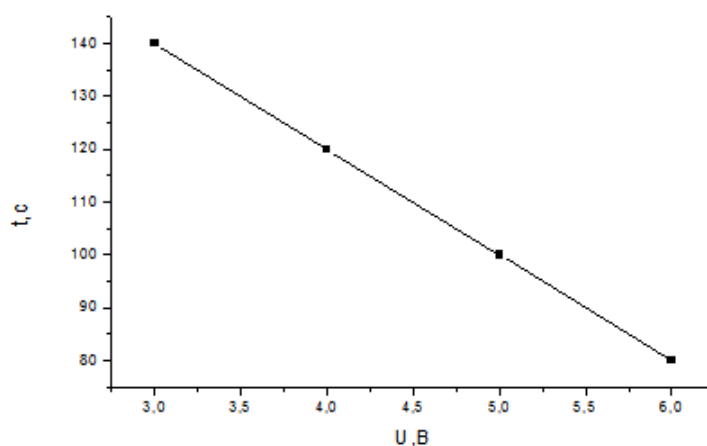


Рис. 2.11 Зависимость времени появления второго максимума от величины ступеньки напряжения. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 20 мкм. $I=10^{-6}A$.

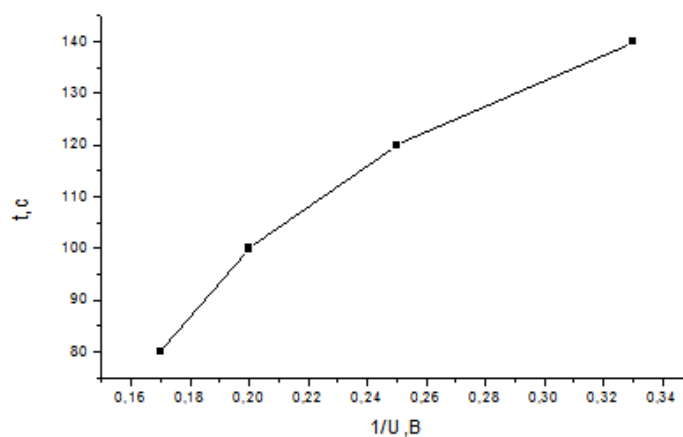


Рис. 2.12. Зависимость времени появления второго максимума от обратного напряжения ступеньки. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 20 мкм. $I=10^{-6}$ А.

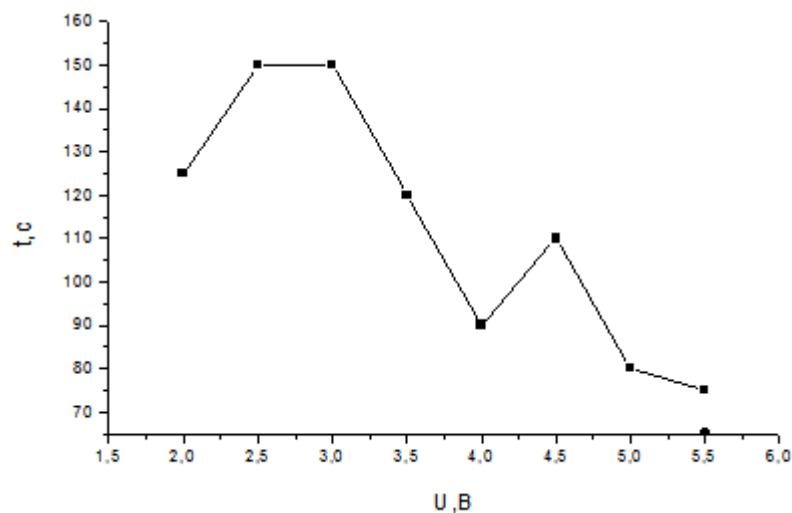


Рис. 2.13. Зависимость времени появления второго максимума от величины ступеньки напряжения. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 40 мкм. $I=10^{-6}$ А.

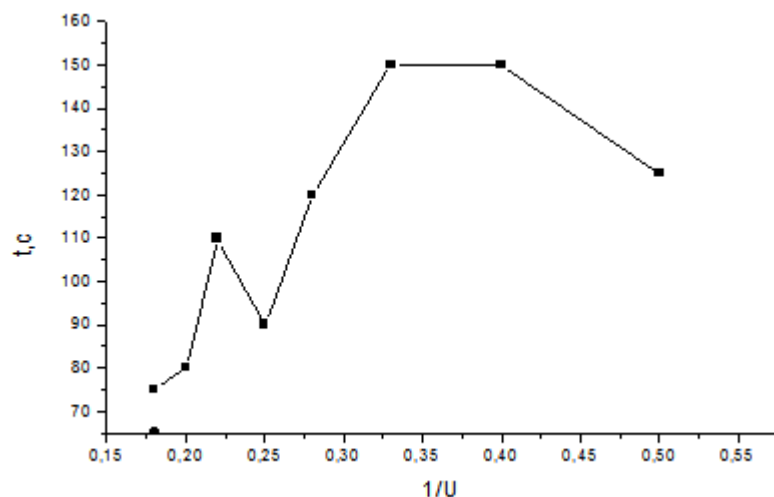


Рис.2.14. Зависимость времени появления второго максимума от обратного напряжения ступеньки. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 40 мкм. $I=10^{-6}$ А.

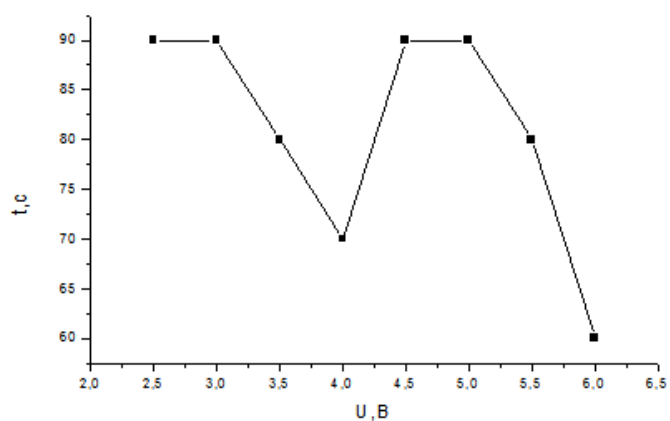


Рис. 2.15. Зависимость времени появления второго максимума от величины ступеньки напряжения. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 40 мкм. $I=10^{-5}$ А.

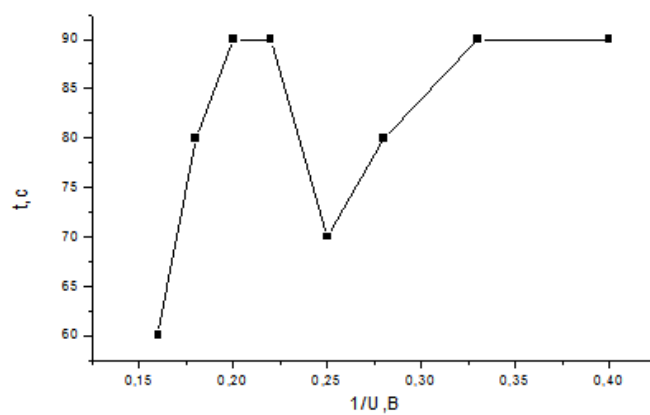


Рис. 2.16. Зависимость времени появления второго максимума от обратного напряжения ступеньки. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 40 мкм. $I=10^{-5}$ А.

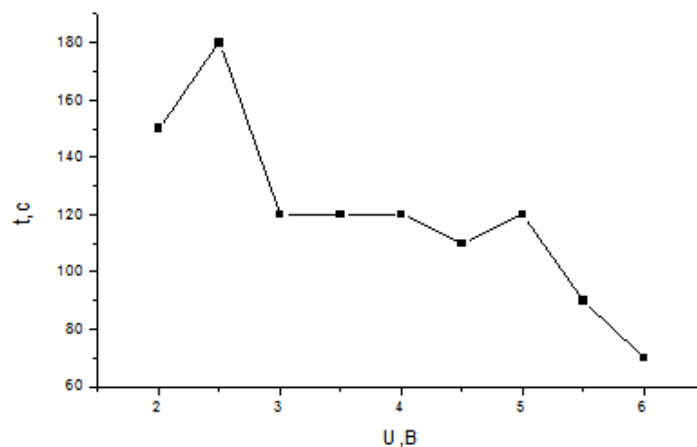


Рис. 2.17 Зависимость времени появления второго максимума от величины ступеньки напряжения. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 40 мкм. $I=10^{-6}$ А.

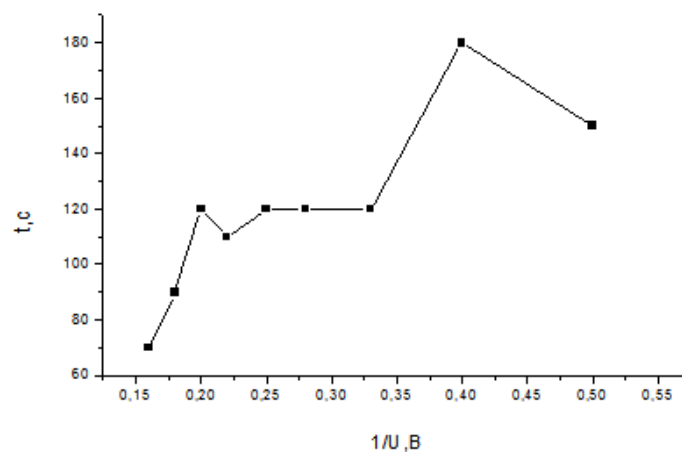


Рис. 2.18. Зависимость времени появления второго максимума от обратного напряжения ступеньки. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 40 мкм. $I=10^{-6}$ А.

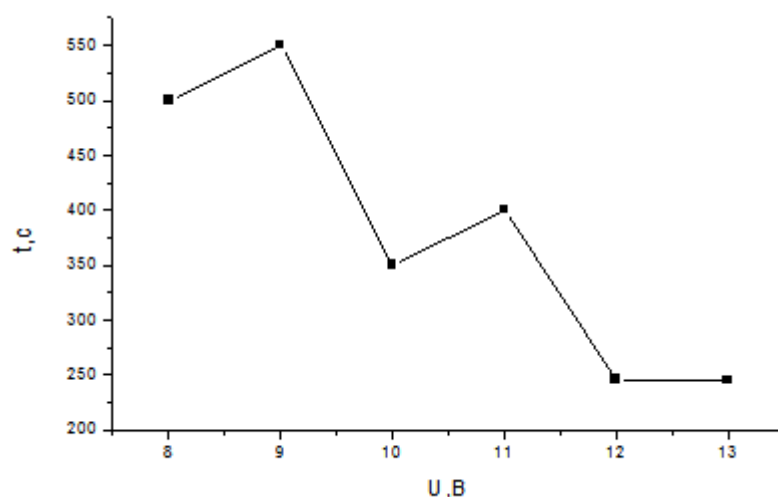


Рис. 2.19. Зависимость времени появления второго максимума от величины ступеньки напряжения. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 100 мкм. $I=10^{-6}$ А.

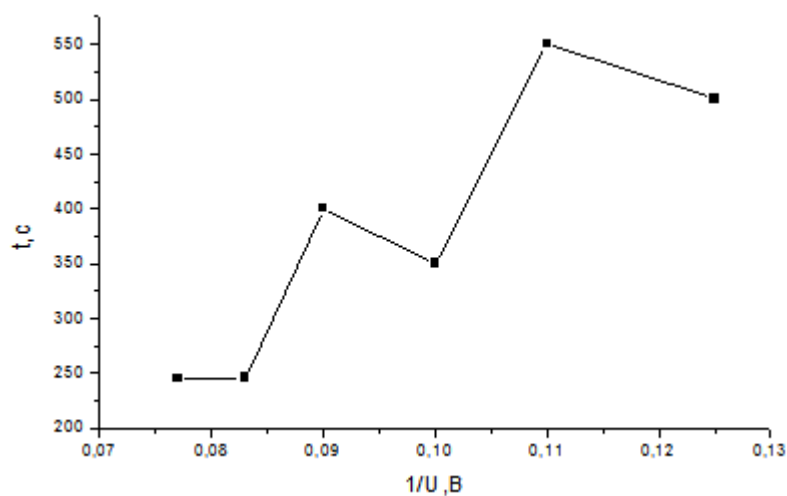


Рис. 2.20. Зависимость времени появления второго максимума от обратного напряжения ступеньки. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки 100 мкм. $I=10^{-6}$ А.

Данным графикам соответствуют следующие таблицы, в которых приведены оценки значений подвижности ионов в зависимости от толщины жк ячейки.

В таблице 2.1 приведены результаты расчетов подвижности, жк-ячейки, толщиной 20 мкм.

Таблица 2.1

t, с	U, В	d, мкм	μ , $\text{m}^2/\text{В}\times\text{с}$
140	3	20	$0,95 \times 10^{-12}$
120	4	20	$0,83 \times 10^{-12}$
100	5	20	$0,8 \times 10^{-12}$
80	6	20	$0,83 \times 10^{-12}$

В таблицах 2.2-2.4 приведены результаты расчетов подвижности, при толщине жк ячейки 40 мкм.

Таблица 2.2

t,с	U,В	d,мкм	μ , $\text{m}^2/\text{В}\times\text{с}$
75	5,5	40	$3,87 \times 10^{-12}$
80	5	40	4×10^{-12}
110	4,5	40	$3,23 \times 10^{-12}$
90	4	40	$4,44 \times 10^{-12}$
120	3,5	40	$3,81 \times 10^{-12}$
150	3	40	$3,5 \times 10^{-12}$
125	2	40	$6,4 \times 10^{-12}$
150	2,5	40	$4,26 \times 10^{-12}$

Таблица 2.3

t,с	U,В	d,мкм	$\mu, \text{m}^2/\text{В} \times \text{с}$
60	6	40	$4,44 \times 10^{-12}$
80	5,5	40	$3,64 \times 10^{-12}$
90	5	40	$3,55 \times 10^{-12}$
90	4,5	40	$3,95 \times 10^{-12}$
70	4	40	$7,62 \times 10^{-12}$
80	3,5	40	$5,71 \times 10^{-12}$
90	3	40	$5,93 \times 10^{-12}$
90	2,5	40	$7,11 \times 10^{-12}$

Таблица 2.4

t,с	U,В	d,мкм	$\mu, \text{m}^2/\text{В} \times \text{с}$
150	2	40	$5,33 \times 10^{-12}$
180	2,5	40	$3,56 \times 10^{-12}$
120	3	40	$4,4 \times 10^{-12}$
120	3,5	40	$3,81 \times 10^{-12}$
120	4	40	$3,33 \times 10^{-12}$
110	4,5	40	$3,23 \times 10^{-12}$
120	5	40	$2,67 \times 10^{-12}$
90	5,5	40	$3,23 \times 10^{-12}$
70	6	40	$3,81 \times 10^{-12}$

В таблице 2.5 приведены результаты расчетов подвижности, при толщине жк ячейки 100 мкм.

Таблица 2.5

t,с	U,В	d,мкм	$\mu, \text{m}^2/\text{В}\times\text{с}$
500	8	100	$2,5 \times 10^{-12}$
550	9	100	$2,02 \times 10^{-12}$
350	10	100	$2,86 \times 10^{-12}$
400	11	100	$2,27 \times 10^{-12}$
246	12	100	$3,39 \times 10^{-12}$
245	13	100	$3,14 \times 10^{-12}$
230	14	100	$3,11 \times 10^{-12}$

Полученные значения подвижности ионов данных таблиц отличаются от литературных данных. В литературных источниках подвижность ионов μ имеет порядок, $\sim 10^{-10} \text{ m}^2/\text{В}\times\text{с}$ [4] расчёты данной выпускной квалификационной работы показали иной порядок $\sim 10^{-12} \text{ m}^2/\text{В}\times\text{с}$. Предполагаем, что порядок μ связан с тем, что наблюдаются токи, которые обусловлены двойным электрическим слоем. Максимум тока соответствует ионам, происхождение которых связано с двойным электрическим слоем, т.е. при действии ступеньки “+”U, положительно заряженные ионы покидают плотную часть двойного электрического слоя на поверхности пористого кремния, рис. 2.21.

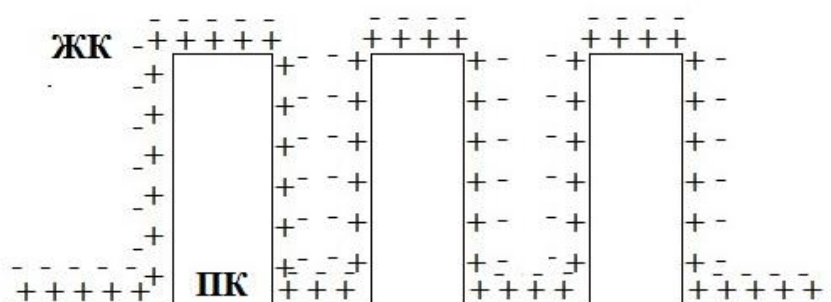


Рис. 2.21. Схематическое строение двойного электрического слоя на поверхности пористого кремния.

2.3.3. Фотоэлектрические свойства жк ячейки.

Далее изучалось изменение фотоэлектрические свойства жк ячейки (фототок), при освещении гелий-неоновым лазером (0, 63 мкм). Интенсивность пучка гелий-неонового лазера была модулирована.

На рисунке 2.22. представлена осциллограмма при подаче “-”U ступеньки напряжения, с одновременным освещением модулированным светом.

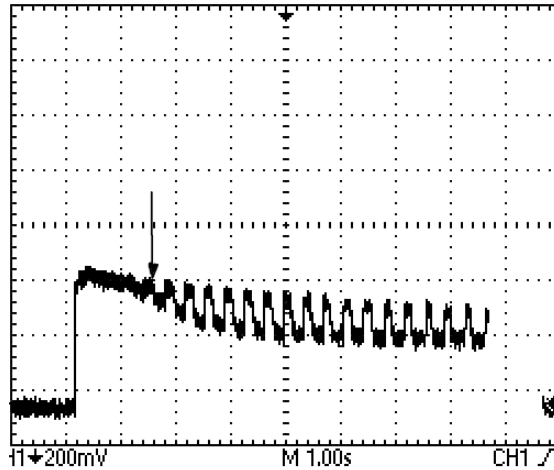


Рис. 2.22. Осциллограмма, соответствующая току жк ячейки при подаче “-”U ступеньки напряжения, с одновременным освещением модулированным светом. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина жк ячейки - 100 мкм.

Видно, что светочувствительность ячейки появляется с задержкой, равной 1,2 с. (показана на рис.2.22 стрелкой)

Далее на ячейку подавалась ступенька напряжения “+”U = 10 В. При подаче напряжения сразу видны изменения. Светочувствительность ячейки наблюдается с самого начала роста амплитуды первого максимума.

На рис. 2.23 представлена осциллограмма с появлением светочувствительности с самого начала роста первого максимума, процесс заметно меняется, по сравнению с рис.2.22.

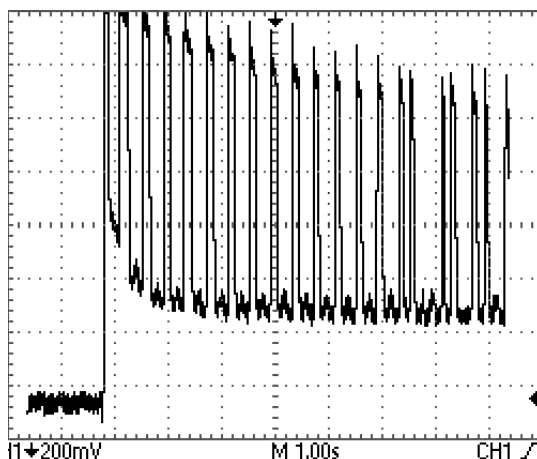


Рис. 2.23. Осциллограмма при предварительном включении “+”U ступеньки напряжения. Видно, что светочувствительность наблюдается с самого начала действия ступеньки напряжения. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина 100 мкм. Напряжение “-”U = - 10 В.

На рис. 2.24 представлена осциллограмма соответствующая освещенному образцу.

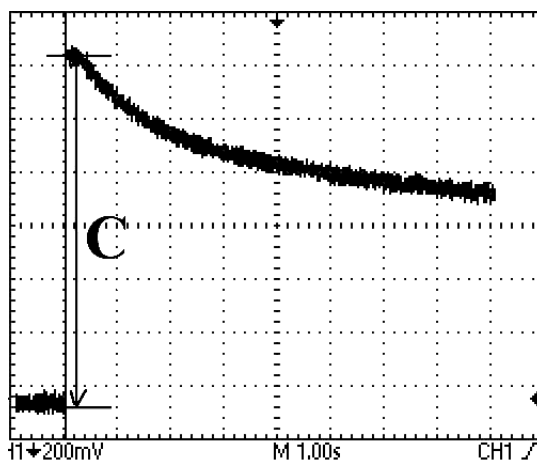


Рис. 2.24. Осциллограмма при освещении постоянным светом. Образец – жк ячейка с пористым кремнием. Толщина – 100 мкм. C – амплитуда в начале максимума. Напряжение “-”U = - 10 В.

На рис. 2.25 представлен график зависимость амплитуды фототока от времени релаксации ячейки на ступеньку “-”U напряжение после предварительного действия “+”U ступеньки.

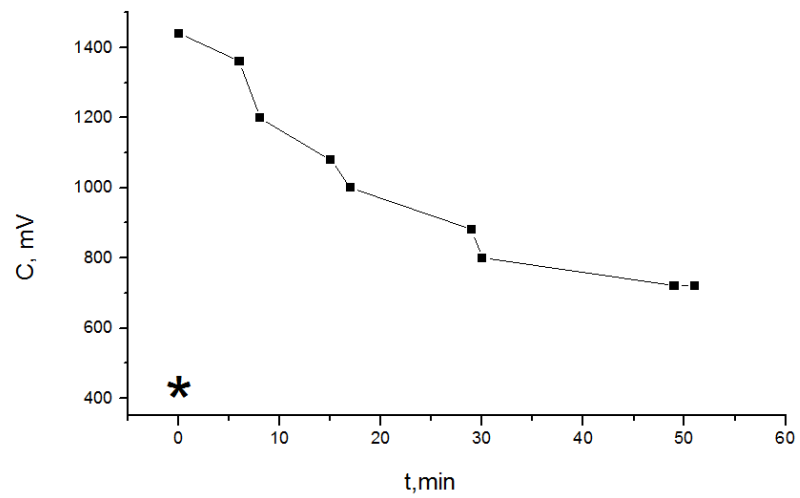


Рис. 2.25. Зависимость амплитуды C фототока от времени релаксации ячейки на ступеньку “-” U напряжения после предварительного действия “+” U ступеньки. * - амплитуда фототока, соответствующая ячейке, с большим значением величины времени отдыха

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения квалификационной работы были получены следующие результаты.

1. Установлено, что переходные токи в жк ячейках с пористым кремнием в ответ на ступеньки напряжения с полярностью “+”U, демонстрируют максимум тока, который не обнаруживается в жк ячейках с полированным кремнием.
2. Максимум тока связывается с инжекцией ионных зарядов из двойного электрического слоя на поверхности пористого кремния.
3. Пониженное значение подвижности ионов ($\sim 10^{-12} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), инжектированных из двойного электрического слоя в сравнении с литературными данными ($\sim 10^{-10} \text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$), связывается с особенностями движения ионов в каналах пористого кремния.

!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коншина Е.А., Амосова Л.П., Костомаров Д.С., Федоров М.А. Электроуправляемое двулучепреломление в нематических жидких кристаллах. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010.– 63 с.
2. П. де Жен Физика жидких кристаллов. М., 1977 – 395 с.
3. Вестник Челябинского государственного университета. 2011. № 15 (230). Физика. Вып. 10. С. 37–41. Физика жидких кристаллов.
4. Л.М.Блинов. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М., 1978 - 384 с.
5. Каманина Н. В. Электрооптические системы на основе жидких кристаллов и фуллеренов – перспективные материалы нанoeлектроники. Свойства и области применения. Учебное пособие. - СПб: СПбГУИТМО, 2008 – 137с.
6. Пикин С. А., Блинов Л. М. Жидкие кристаллы / Под ред. Л. Г. Асламазова. – М., 1982 – 208 с.
7. С. Чандрасекар. Жидкие кристаллы. М., 1980 – 340 с.
8. <http://mash-xxl.info/info/184078/>
9. <http://moluch.ru/archive/93/20562/>
10. <http://5fan.ru/wievjob.php?id=31856>
11. <http://www.studfiles.ru/preview/1826271/page:13/>
12. <http://www.chipdip.ru/video/id000309620/>
13. https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fphysics.uniyar.ac.ru%2Fdownloads%2Fpapers%2FSorosJ_SPZ.pdf&name=SorosJ_SPZ.pdf&lang=ru&c=5734ea9f25a4
14. http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/2279/1/10_Yuzova.pdf