



УДК 620.1.72:532.783

ЭФФЕКТ ПОЛЯ, ИНДУЦИРОВАННЫЙ ПОДВИЖНЫМИ ИОНАМИ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКЕ С КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКОЙ

С.И. Кучеев, В.Ю. Новиков, Ю.С. Тучина

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

Аннотация. Исследуются переходные токи в жидкокристаллической ячейке с кремниевой подложкой р-типа проводимости. Анализ реакции темновых и модулированных светом токов в ячейке в ответ на ступеньку напряжения позволяет предположить, что реализуется эффект поля в кремнии, который индуцируется полем подвижных ионов (анионов) в слое жидкого кристалла.

Ключевые слова: жидкокристаллическая ячейка, подвижные ионы, кремнивая подложка.

1. Введение. Эффект поля в полупроводнике является одним из основных эффектов, на котором функционирует большинство полупроводниковых приборов. Обычно эффект поля индуцируется электрическим полем металлического электрода, на который подается потенциал смещения, знак полярности которого совпадает с типом проводимости полупроводника. В этом случае достигается режим обеднения или инверсии поверхности основными носителями заряда, что необходимо для формирования соответствующего проводящего поверхностного канала [1].

Однако электрическое поле в полупроводнике может индуцироваться другим способом, позволяющим значительно расширить функциональные возможности приборов на эффекте поля, например, встроенным зарядом в диэлектрике (флеш-память), ионами водорода в жидкостях (сенсоры pH) и т.д. При этом основной задачей остается установление четкой взаимосвязи между характеристиками, которые описывают заряды и среду, в которой они находятся, с проявлением эффекта поля, который был индуцирован этими зарядами.

Жидкие кристаллы (ЖК) относятся к материалам со слабой ионной проводимостью [2]. В электрических полях возможны процессы пространственного разделения и накопления ионов за счет электромиграции, что, как известно, может оказывать как негативное влияние на используемые в ЖК приборах электрооптические эффекты, так и целенаправленно использоваться для модуляции света [3]. Поэтому изучение зарядовой подсистемы в ЖК остается актуальной задачей.

В работе экспериментально рассматривается возможность реализации эффекта поля в кремнии подвижными ионными зарядами (анионами) в ЖК. При этом, учитывая, что эффект поля в полупроводнике по своей природе селективный с точки зрения знака электрического заряда, описываемый метод позволяет изучать селективное поведение

ионной подсистемы в ЖК материалах. В качестве примера рассмотрена возможность приложения эффекта поля в изучении подвижности анионов в ЖК.

2. Эксперимент. Подложкой в ЖК ячейке служил образец монокристаллического кремния р-типа проводимости с удельным сопротивлением 4,5 Ом·см. Предварительно поверхность кремния протравливалась плавиковой кислотой для удаления защитного слоя окиси кремния. Толщина ЖК слоя задавалась фторопластовыми прокладками между поверхностью кремния и покровной стеклянной пластинкой с токопроводящей пленкой окиси индия (ITO). Омический контакт к образцу кремния обеспечивался In-Ga пастой. Начальная ориентация молекул ЖК на поверхностях Si и ITO подложек не задавалась. В работе использовались нематические жидкие кристаллы ЖК1282 (НИ-ИОПИК, Москва) и Д205 (аналог 5СВ, НПО Монокристаллреактив, Харьков) без дополнительной очистки. Исследовались переходные токи в ячейке в ответ на изменение полярности ступеньки постоянного напряжения с +3В на $-U$ относительно кремния. Время действия ступеньки напряжения +3В в течение 3 сек.

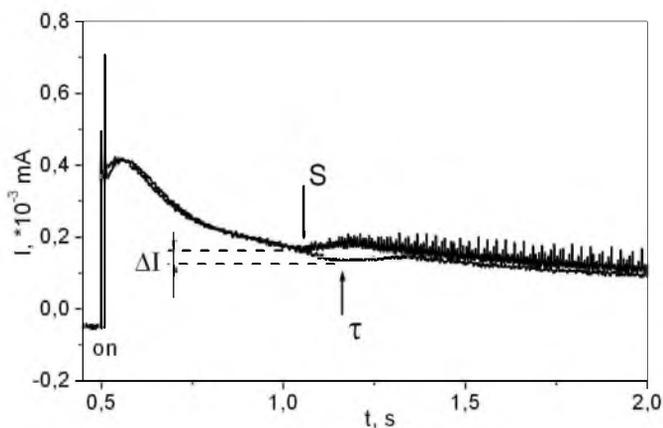


Рис. 1. Переходные темновой (1) и модулированный светом (2) токи в ячейке Si/Д205/ITO. Площадь ячейки 260 мм². Толщина ЖК слоя 20 мкм

На рис. 1 представлены типичные осциллограммы соответствующие темновому (1) и модулированному светом (2) токов после переключения (on) полярности ступеньки напряжения с $+U$ (3В) на $-U$ (10В) относительно кремниевой подложки. Модуляция света осуществлялась механическим прерыванием луча He-Ne (0,63 мкм) лазера подающего на ячейку. Из приведённого рисунка видно, что до момента времени, отмеченного стрелкой S, темновой и модулированный светом токи практически идентичны. После этого момента времени ячейка становится светочувствительной, что видно по проявлению модуляции света на кривой 2, при этом на кривой темнового тока (1) наблюдается минимум отмеченный стрелкой τ и амплитудой ΔI .

Мы связываем появление минимума на кривой темнового тока с проявлением эффекта поля в кремнии, который индуцирован анионами в ЖК. До переключения полярности на ячейку действовало напряжение с полярность $-U$, при этом анионы аккумулируются у поверхности ITO. После изменения полярности напряжения анионы



дрейфуют к поверхности кремния и при достигшии ее, своим электрическим полем вызывают дополнительное к действию электрического поля электрода ИТО, обеднение поверхности кремния основными носителями заряда. В этот момент времени поверхностный слой кремния становится высокоомным. В условиях освещения поверхности кремния, вследствие генерации электрон-дырочных пар, высокоомного состояния не формируется и минимум тока не проявляется.

С целью варьирования величины воздействия анионов на величину поверхностной проводимости кремния изменялась концентрация анионов (катионов) растворением в ЖК соли тетрабутил аммония бромида (ТВАВ), диссоциирующей на катионы Br^- и анионы TVA^+ [4].

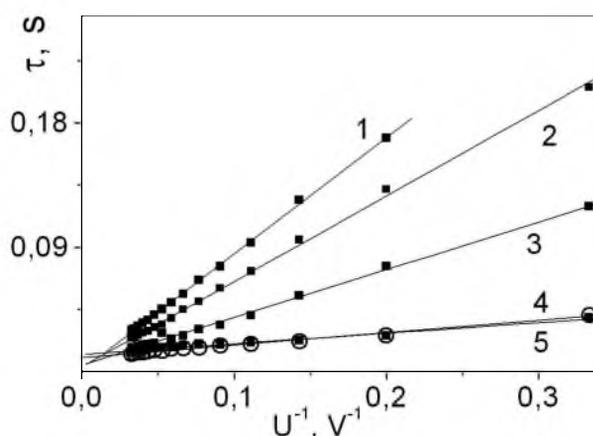


Рис. 2. Зависимость времени минимума переходного тока в ячейке Si/ЖК1282+ТВАВ/ИТО. Концентрация ТВАВ вес.; 2-0,74; 3- 1,37; 4-1,44; 5-2

На рис. 2 представлены зависимости времени τ появления минимума от обратной величины приложенного напряжения (U^{-1}) для разных концентраций соли ТВАВ. Хорошо видно, что экспериментальные точки ложатся на прямые, как для исходного ЖК, так и для ЖК с разной концентрацией соли. Такое поведение согласуется с моделью переноса анионов через слой ЖК, согласно которой подвижность (μ), время появления минимума (τ), приложенное напряжение (U) связаны простым соотношением $\mu = d^2/(\tau U)$ [5]. Из приведенного рисунка также следует, что подвижность носителей заряда, соответствующая наклону прямой, возрастает с увеличением концентрации анионов, что может быть обусловлено изменением вязкости ЖК материала и параметра порядка при введении в ЖК примеси. Оценка подвижности дает величину в диапазоне $10^{-9} - 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Вс}$, что находится в согласии с литературными данными [2, 6].

На рис. 3 представлены зависимости амплитуды минимума ΔI от величины степени приложенного напряжения U при разной концентрации диссоциирующей соли. Хорошо видно, что с увеличением концентрации соли и, следовательно, концентрации анионов амплитуда минимума увеличивается, что также не противоречит нашему предположению об эффекте поля в кремнии. Эффект обеднения поверхности тем больше,

чем большее количество анионов подходит к поверхности кремния, а в эксперименте мы увеличиваем концентрацию анионов за счет растворения в ЖК большего количества соли. Несоответствие поведения кривой 5 (конц. 2) по сравнению с другими кривыми (1,2,3,4) на рис. 2, 3 по всей видимости обусловлено тем, что концентрация (2) близка к насыщению, о чем говорит некоторое количество нерастворенных в образце ЖК кристалликов соли.

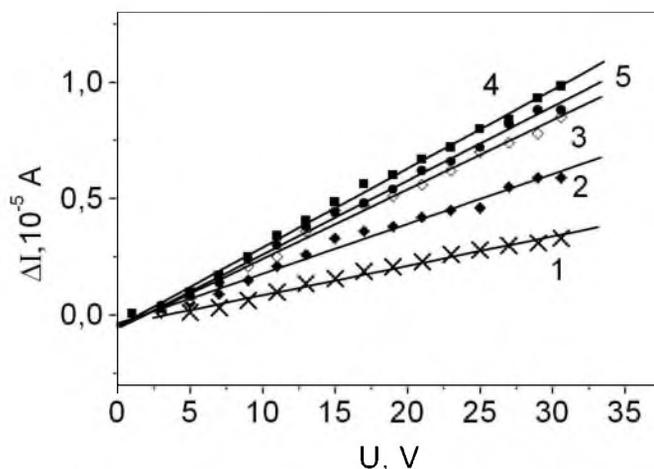


Рис. 3. Зависимость ампл. минимума переходного тока в ячейке Si/ЖК1282+ТВАВ/ИТО. Концентрация ТВАВ вес.: 1- исходный ЖК; 2-0,74; 3- 1,37; 4-1,44; 5-2

Таким образом экспериментально установлена реализация эффекта поля в кремнии р-типа проводимости в ЖК ячейке, который индуцируется подвижными ионами (анионами) в слое ЖК, образующимися в результате диссоциации растворимой соли и исходных примесей.

Литература

1. Muller R., Kamins T. Device electronics for integrated circuits / New York: Wiley, 1986.
2. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / М.:Наука,1978. 384 с.
3. Slussarenko S.S. // Europhysics letters. – 2001. – 56:5. – P.672-675.
4. Koval'chuk A.V. // Functional Materials. – 2001. – 8:4. – P.690-693.
5. deGennes P.G., Prost J. The Physics of Liquid Crystals / Oxford: Clarendon, 1995.
6. Mada H., Osajima K. // J. Appl. Phys. – 1986. – 60:9. – P.3111-3113.

FIELD EFFECT INDUCED BY MOBILE IONS IN LIQUID CRYSTAL CELL WITH SILICON SUBSTRATE

S.I. Kucheev, V. Yu. Novikov, Yu.S. Tuchina

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

Abstract. Transient currents in liquid crystal cell with silicon substrate of p-type conductivity are investigated. Analysis of dark and light modulated currents in the cell shows that field effect in silicon is induced by electric field of mobile ions (anions) in liquid crystal layer.

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