

УДК 535-4:57.083.1:548.1

М. Г. Томили

НОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

NEW OPTIC METHOD FOR RESEARCH OF BIOLOGICAL OBJECTS ELECTRIC FIELDS

Санкт-Петербургский университет информационных технологий, механики и оптики
197101 Санкт-Петербург, Кронверкский пр-т, 49.

Дается описание нового оптического метода изучения электрических полей биологических объектов, основанного на использовании нематических жидких кристаллов. В качестве примера исследовано изменение электрического поля свежесрезанного волоса человека во времени.

A new optic method for the research of biological objects electric fields, based on nematic liquid crystals, is described. As an example the electric field changing of a freshly cut human hair in time is investigated.

Ключевые слова: *электрическое поле, биообъекты.*

Key words: *electric field, bioobjects.*

Изучение электрических полей (Е-полей) биологических объектов является эффективным диагностическим средством в медицине и биологии. Высокой информативностью обладают методы биофотоники, визуализирующие Е-поля объектов живой природы и динамику их изменений. За последние полвека получил развитие метод газоразрядной визуализации (ГРВ). Он основан на регистрации изображения приповерхностных Е-полей объектов живой и неживой природы при разряде в конденсаторе. Изображения возникают при воздействии высоковольтных Е-полей (десятки кВ) высокой частоты (десятки кГц) при возбуждении молекул воздуха или газа, сопровождаемого излучением фотонов при их возвращении в невозбужденное состояние [1]. Метод является строгим физическим методом, однако наблюдаемые Е-поля интерпретируются авторами как поля особой природы, присущей только живым организмам. Эта позиция воспринимается академической наукой как метафизическая [2]. Кроме того, высоковольтные поля могут изменять поверхностные свойства объекта.

В работе описан новый оптический метод детектирования Е-полей биологических объектов, основанный на низковольтных электрооптических эффектах в нематических жидких кристаллах (НЖК) [3, 4].

Объектом исследования был человеческий волос диаметром около 10 мкм, помещенный в полость электрооптической жидкокристаллической ячейки (ЖКЯ) толщиной слоя НЖК 80 мкм. Малые толщины слоя НЖК позволяют исследовать электрический рельеф на поверхности объектов при малых напряжениях внешнего Е-поля. ЖКЯ

представляла собой электролитический конденсатор с НЖК, размещенным между разделенными прокладками плоскопараллельными стеклянными подложками, на внутренней стороне которых нанесен прозрачный токопроводящий слой. Подложки склеивались по периметру. На поверхности подложек задавалась планарная ориентация НЖК. ЖКЯ заполнялась материалом ЖК-1289 ($\Delta n = 0,169$; $\Delta \epsilon > 0$) разработки НИИОПиК. Удельная электропроводность составляла величину порядка $1 \cdot 10^{-13} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Исследовались три ЖКЯ, в каждую помещалось по три образца волоса параллельно направлению ориентации. Волосы с помощью прокладок размещались в средней части ячейки. Они принадлежали молодому человеку, не были ни окрашены, ни подвержены болезни.

Методика эксперимента основана на наблюдении в поляризованном свете эффекта переориентации молекул НЖК в ячейке вблизи биологического объекта при приложении внешнего напряжения. Источником питания служил генератор низкочастотного напряжения. Измерительная установка содержала поляризационный микроскоп с исследуемой ЖКЯ на рабочем столе и цифровой камерой, генератор низкочастотного напряжения и вольтметр. Наблюдения производились в режиме на просвет; регистрация статических и переходных динамических процессов переориентации НЖК осуществлялась цифровой фотокамерой. На экране дисплея наблюдались с высоким цветовым контрастом и измерялись размеры волоса и деформированного слоя НЖК вокруг него.

Экспериментально получены следующие результаты. В отсутствие внешнего Е-поля в окрестности волоса наблюдалась небольшая деформация слоев НЖК, вызванная влиянием поверхности на ориентацию прилегающих слоев. Выявлялись дефекты рельефа поверхности волоса и его формы (рис. 1, а). Диаметр зоны деформации НЖК $d_{\text{ЖК}}$ измерялся и сопоставлялся с диаметром волоса d . Область деформации $d_{\text{ЖК}}$ в отсутствие внешнего Е-поля ($U = 0$) составляла в среднем величину $1,3d$.

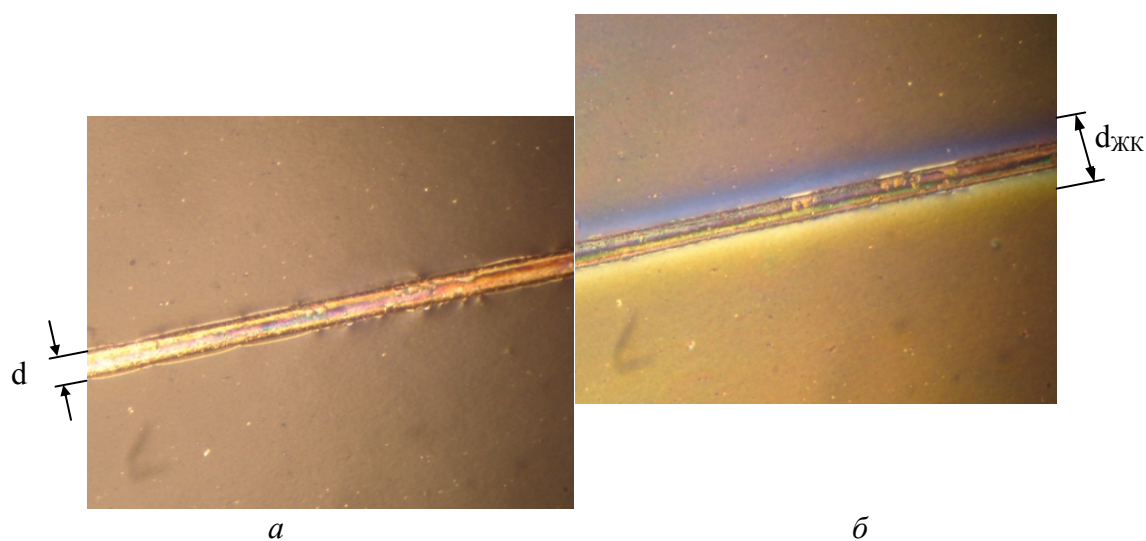


Рис. 1. Изображение деформированного слоя НЖК в одной из ЖКЯ в зоне волоса через день после срезания, наблюдаемое в поляризованный микроскоп:

$a - U = 0 \text{ В}$; $b - U = 10 \text{ В}$, $f = 1 \text{ Гц}$, $d_{\text{ЖК}}/d = 3,25 \pm 0,15$

При подаче напряжения 2В в диапазоне частот 1 – 10 Гц область деформации слоя НЖК вблизи волоса увеличивалась за доли секунды [4]. С увеличением напряжения область деформации плавно возрастала. Измерения проводились для напряжения 10 В на частоте 1 Гц. При этих условиях более четко наблюдалась граница области деформации НЖК. В начальный момент времени область деформации $d_{жк}$ для свежесрезанного («живого») волоса имела величину $3,5d$ (рис. 1, б).

Исследовалась зависимость $d_{жк}$ от времени. Обобщенные результаты исследований для трех ячеек приведены на рис. 2. Со временем величина $d_{жк}$ плавно уменьшалась и на 9 день после срезания достигала в среднем величины $2,3d$. Такую же величину $d_{жк}$ имели образцы после года хранения (рис. 2, кривая 4) или после температурного воздействия в 120°C , убивающего живую ткань (рис. 2, кривая 4) [5, 6]. После 9-го дня дальнейшее уменьшение деформированной зоны не зарегистрировано.

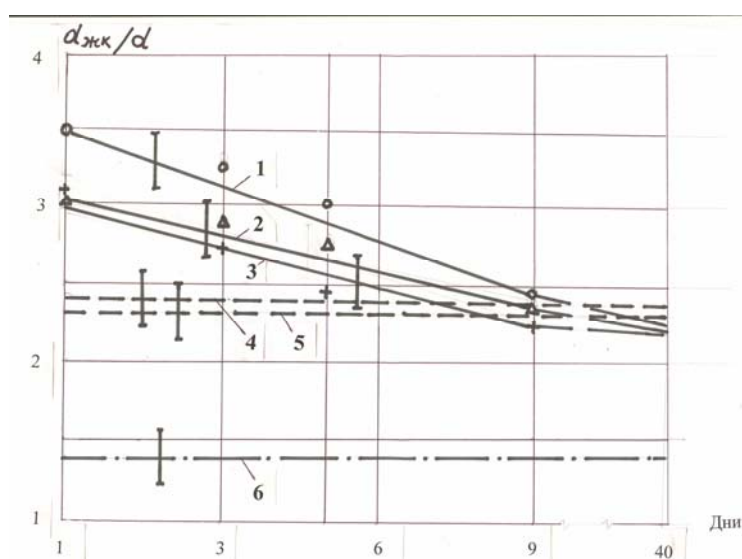


Рис. 2. Обобщенные результаты исследований деформированных областей ЖК для различных объектов и условий проведения экспериментов в течение времени (в днях): 1, 2, 3 – зависимость $d_{жк}/d$ для 3-х ЖКЯ при $U = 10\text{ В}$, $f = 1\text{ Гц}$. 4 – зависимость $d_{жк}/d$ для ЖКЯ при $U = 10\text{ В}$, $f = 1\text{ Гц}$ через год после срезания волоса. 5 – зависимость $d_{жк}/d$ для ЖКЯ при $U = 10\text{ В}$, $f = 1\text{ Гц}$ после температурного воздействия на образец в 120°C . 6 – зависимость $d_{жк}/d$ для ЖКЯ в отсутствии электрического поля; деформация вызвана воздействием поверхности образца

Полученные в работе результаты были сопоставлены с результатами исследования интенсивности свечения волоса методом ГРВ, выполненные под руководством профессора К. Г. Короткова и любезно представленные автору. Изменение интенсивности свечения волоса человека во времени для двух образцов после момента их срезания с головы испытуемых показаны на рис. 3. Характер зависимостей, представленных на рис. 2 и 3, совпадает.

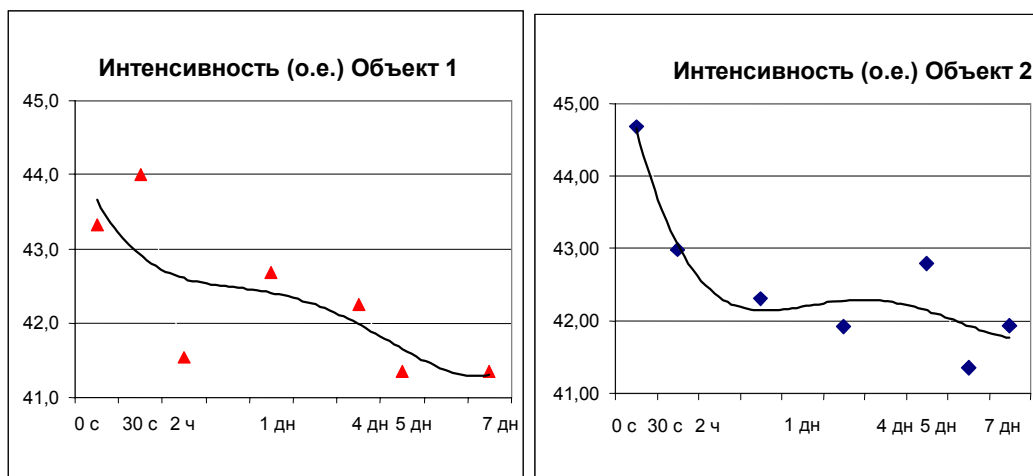


Рис. 3. Изменение интенсивности свечения волоса человека во времени для двух образцов после их срезания с головы испытуемых. По данным К. Г. Короткова, полученным методом ГРВ

Полученные в настоящей работе результаты свидетельствуют о возможности применения ЖК для визуализации биологических полей объектов и их динамики во времени. При этом ЖК ведут себя как пространственно-временной модулятор света, осуществляя локальную модуляцию излучения в реальном масштабе времени. Метод основан на деформации слоя НЖК в неоднородном Е-поле. Особенностью изучаемого биологического объекта является наличие собственного электрического поля. Возникающая зона деформации НЖК в окрестности волоса вызвана суперпозицией поля биологического объекта и внешнего Е-поля.

На аналогичном принципе визуализации Е-полей работают ЖК-дисплеи и пространственно-временные модуляторы света, а также строятся методы визуализации дефектов в изделиях микроэлектроники. Метод использовался для выявления пор в диэлектрических слоях, электрических неоднородностей в полупроводниках, обрывов электрических цепей, коротких замыканий и других нарушений, приводящих к возникновению неоднородных Е-полей в окрестности дефекта [4]. Высокая чувствительность и пространственная разрешающая способность, экспрессность, неразрушающее воздействие на объект, простота и низкая стоимость явились основанием для применения метода НЖК в изучении приповерхностных Е-полей биологических объектов.

Преимущество предложенного метода состоит в использовании низковольтных электрооптических эффектов в НЖК, не вызывающих заметных изменений свойств изучаемых объектов. Достоинством метода НЖК является его возможность определять значения собственных Е-полей биологических объектов, основанная на развитой теории электрооптических эффектов в НЖК. Его применение для изучения Е-полей живых и неживых объектов малых размеров открывает возможности для использования в биологии и медицине. Автор благодарит Н. Л. Иванову за помощь в изготовлении ЖКЯ, профессора Г. Е. Невскую и профессора К. Г. Короткова за обсуждение полученных результатов.

Список литературы

1. *Коротков К. Г.* Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. 360 с.
2. *Томилин М. Г.* Кирлиан-эффект: физика и метафизика // *Машины и механизмы.* 2008. № 1. С. 28 – 33.
3. *Томилин М. Г., Пестов С. М.* Свойства жидкокристаллических материалов. СПб., Политехника, 2005. 296 с.
4. *Chigrinov V. G., Nevskaya G. E.* // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1991. Vol. 209. P. 9 – 18.
5. *Иванова Н. Л., Коротков К. Г., Томилин М. Г.* // Труды VII Междунар. конференции «Прикладная оптика 2006». СПб., 2006. Т. 4. С. 131 – 134.
6. *Tomilin M. G.* How to display biological objects E-field. Program of SID-ME chapter meeting. Abbe Center, Beutenberg Campus, Jena, Germany, March 13–14, 2008.

Поступила в редакцию 20.10.2008 г.