

УДК 538.956 + 621.362.1

## ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ЕМКОСТНОЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ

Ан.Ал. Муравский<sup>1</sup>, Ал.Ан. Муравский<sup>1</sup>, В.В. Беляев<sup>2,3</sup>, Д.О. Рыбаков<sup>2</sup>,  
В.Г. Мазаева<sup>4</sup>, А.С. Соломатин<sup>2</sup>, Д.Н. Чаусов<sup>2</sup>, В.М. Шошин<sup>2</sup>, Ю.П. Бобылев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химии новых материалов НАН Беларуси  
220141, Минск, ул. Ф. Скорины, 36

<sup>2</sup>Московский государственный областной университет  
105005, Москва, ул. Радио, 10а

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов  
117198, ул. Миклухо-Маклая, д.6

<sup>4</sup>ГосНИИ химии и технологии элементоорганических соединений, Москва  
111123, г.Москва, ш. Энтузиастов, д. 38

*Аннотация.* Данная работа посвящена исследованию диэлектрических свойств жидких кристаллов с целью создания, на их основе, датчиков температуры. Отличительной чертой таких датчиков является компактность, универсальность и высокая точность измерения. Новизна данной исследовательской работы обусловлена новой методикой проведения эксперимента. Предметом исследования является реакция (отклик) ЖК материалов при воздействии на них температуры. Для достижения этой цели были созданы комбинированные ячейки с ЖК материалом, которые подвергались воздействию температуры. В ходе исследования выяснилось, что предложенная структура с комбинированной ориентацией ЖК дает возможность формировать сигналы высокого и низкого уровня при изменении температуры, а так же возможность создавать устройства для контроля и регулирования равномерности распределения температуры ЖК панели и других электронных устройств.

*Ключевые слова:* жидкие кристаллы, диэлектрические свойства, датчик температуры, комбинированная ориентация ЖК

### 1. Введение

Работа посвящена изучению зависимости анизотропии диэлектрической проницаемости от температуры для разработки датчиков температуры на основе жидких кристаллов (ЖК). Термодатчики могут применяться в различных устройствах. Современные ЖК телевизоры требуют контроля равномерности распределения температуры ЖК панели и ее регулирования в процессе работы устройства. Компактные датчики температуры, потребляющие минимальное количество энергии нужны, например, для автономных систем контроля температуры при транспортировке продуктов. Помимо компактности, надежности работы в широком диапазоне температур и дешевизны, особенностью таких термодатчиков является то, что они реагируют непосредственно на изменение температуры рабочей среды, что отличает их от датчиков, используемых в настоящее время, измеряющие температуру вблизи среды. Это термометры сопротивления и термоэлектрические преобразователи [1-3].

### 2. Диэлектрические свойства жидких кристаллов (ЖК)

Типичная зависимость компонент диэлектрической проницаемости нематического ЖК (4-пентил-4'-цианобифенил, в литературе 5ЦБ или 5СВ)  $\epsilon_{||}$  и  $\epsilon_{\perp}$  и ее анизотропии  $\Delta\epsilon = \epsilon_{||} -$

$\epsilon_{\perp}$  приведена на рис. 1. Величина  $\epsilon$  измеряется мостовым методом [4-6]. Для ее описания обычно используется теория Майера-Мейера [7,8] и выражение:

$$(\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp})\epsilon_0 = NFhS \left[ \Delta\alpha - \frac{F\mu^2}{2kT} (1 - 3\cos^2 \beta) \right] \quad (1)$$

где  $\Delta\alpha$  – анизотропия молекулярной поляризуемости,  $\mu$  – дипольный момент молекулы,  $F$  – параметр действующего поля (reaction field),  $h$  – форм-фактор полости для расчета действующего поля,  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $\beta$  – угол между направлениями оси молекулы и дипольного момента,  $S$  – параметр порядка (степень упорядоченности) ЖК,  $N$  – мольная концентрация НЖК,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная. Из (1) следует, что обычно диэлектрическая анизотропия пропорциональна первой степени параметра порядка (рис.1). В широком диапазоне температуры при  $T < T_{NI} - 10K$  зависимость  $\Delta\epsilon(T)$  имеет квазилинейный вид, а при  $T \rightarrow T_{NI}$  ее крутизна растет. Величина  $\Delta\epsilon$  увеличивается с ростом дипольного момента молекулы и может достигать для ряда НЖК +90 [9-14]. Поэтому для емкостных ЖК датчиков температуры следует выбирать НЖК с широким температурным интервалом мезофазы, большим значением  $\Delta\epsilon$ , высокой крутизной зависимости  $\Delta\epsilon(T)$ .

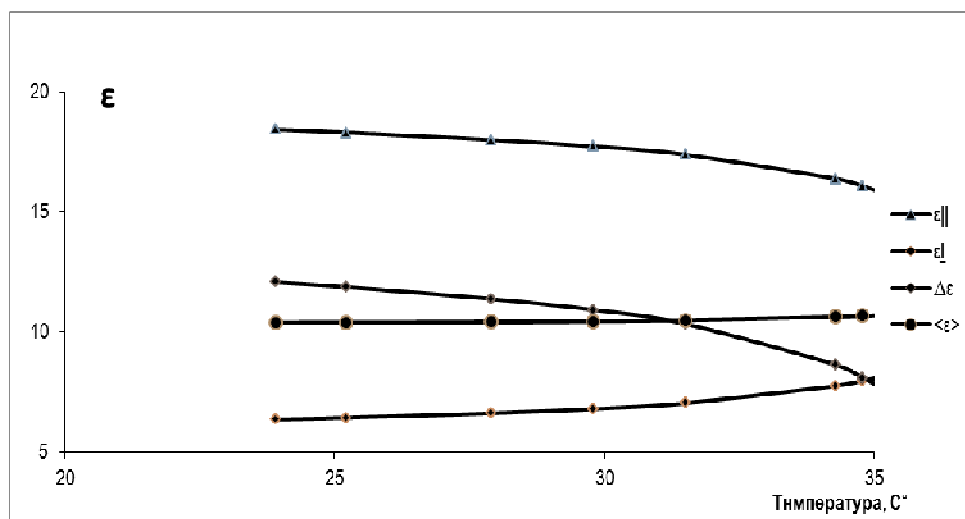


Рис.1. Графики зависимости составляющих диэлектрической проницаемости  $\epsilon_{\parallel}$  и  $\epsilon_{\perp}$ , ее средней величины в нематической и изотропной фазах  $\langle \epsilon \rangle$  и  $\epsilon_{is}$ , соответственно, и ее анизотропии  $\Delta\epsilon$  для ЖК 5ЦБ.

### 3. Принцип работы ячейки

Для изучения диэлектрических свойств ЖК ячейки была использована установка на базе платы аналогового входа-выхода DAC-NI PCI-6281, National Instruments, США. Электрическая схема ячейки показана на рис. 2.

Рабочей средой ячейки является ЖК с положительной диэлектрической анизотропией ( $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp} > 0$ , где  $\epsilon_{\parallel}$  и  $\epsilon_{\perp}$  – параллельная и перпендикулярная составляющие диэлектрической проницаемости, соответственно).

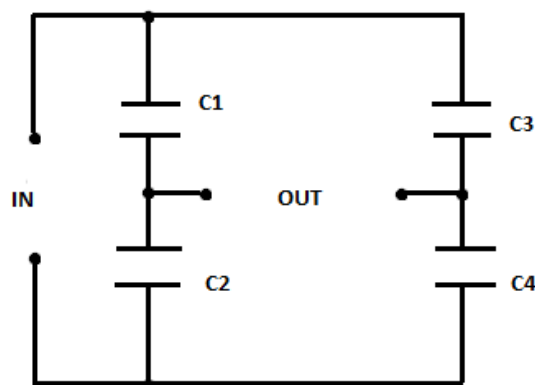


Рис.2. Электрическая схема комбинированной ЖК ячейки

Жидкие кристаллы, из-за своих физико-химических свойств, чувствительны к внешним воздействиям, таким как электрическое и магнитное поле, механическое воздействие или изменение температуры. При внешних воздействиях и постоянной температуре директор ЖК изменяет направление ориентации в пространстве. При изменении температуры изменяются параметры, характеризующие упорядочение молекул внутри жидкого кристалла. Это параметр порядка, анизотропия диэлектрической проницаемости и величина двулучепреломления. Для нас важно изменение диэлектрических свойств, изменение же других свойств не должно влиять на опыт. Следовательно, на эксперимент накладываются определенные ограничения.

1) Подаваемый на ячейку сигнал должен быть коротким импульсом прямоугольной формы. Его длительность  $\tau$  должна быть меньше 1 мс, но не короче времени заряда электрической емкости

$$t=RC \quad (2)$$

где  $R$  – сопротивление электродов в ЖК ячейке, не превышающее 1 кОм,  $C$  – емкость ячейки, равная 10 нФ. Таким образом, исходя из этих значений, длительность импульса должна быть  $\tau = 100$  мкс.

2) Средняя величина напряжения, подаваемого на ЖК ячейку, должна быть меньше порогового напряжения переключения жидкого кристалла  $V_{th}=2\pi(K_{11}/\epsilon_0\Delta\epsilon)^{1/2}$ , где  $K_{11}$  – коэффициент упругости,  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная.

3) Подаваемый сигнал должен быть электрически симметричным. При этом амплитуды входного и выходного сигнала связаны следующим образом

$$V_{OUT} = \frac{\Delta\epsilon}{\epsilon_{\parallel} + \epsilon_{\perp}} V_{IN} , \quad (3)$$

$$C_1 = C_4 = \frac{\epsilon_{\perp}\epsilon_0 S}{d}, \quad C_2 = C_3 = \frac{\epsilon_{\parallel}\epsilon_0 S}{d} \quad (4)$$

Емкость конденсаторов  $C_1$  и  $C_4$  определяются величиной  $\epsilon_{\perp}$ ,  $C_2$  и  $C_3$  определяются  $\epsilon_{\parallel}$ .

### 3. Конструкция ячейки

Для изучения зависимости диэлектрических свойств ЖК ячейки от температуры, как датчика, использовались ячейки, состоящие из двух стеклянных подложек с зазором

порядка 20 микрон (рис.3). Эти ячейки были заполнены жидкокристаллическими материалами: 5ЦБ с интервалом температур существования ЖК фазы 25-35°C (рис.1), E7 (интервал существования ЖК фазы от -20 до +60°C, смесь MLC-5700-000 (от -30 до +90°C). Зависимость отклика ЖК ячеек  $\Delta U$  от температуры представлена в разделе 5.

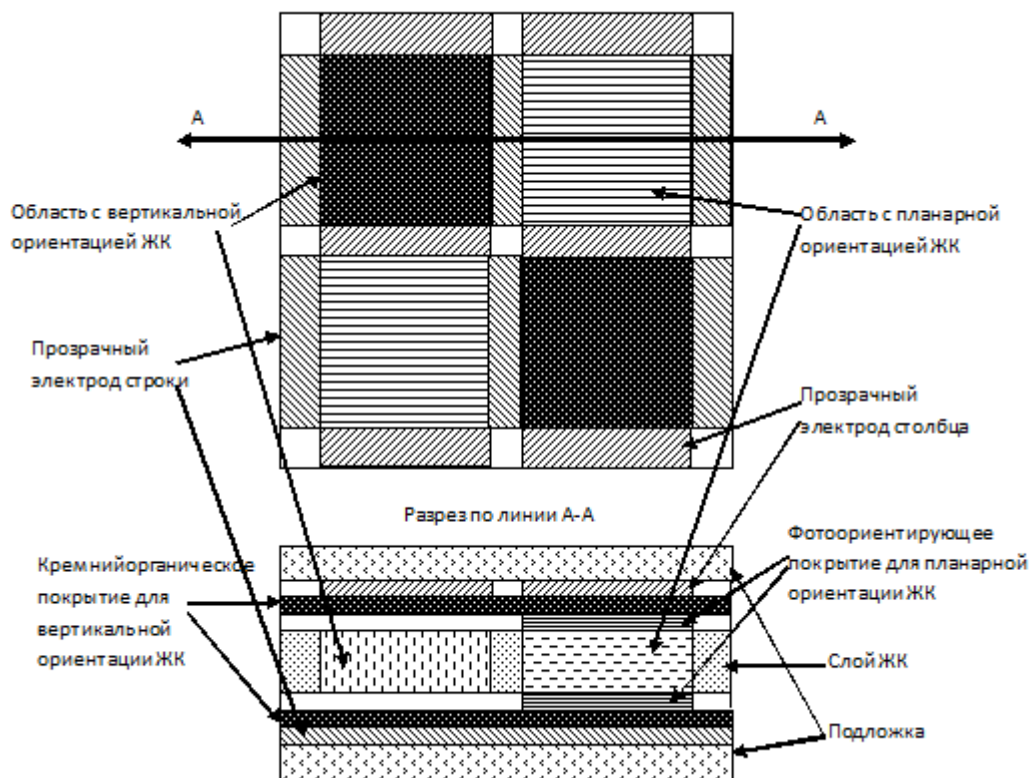


Рис.3. Конструкция комбинированной ЖК ячейки.

#### 4. Метод изготовления ячейки

Для ячеек, имеющих области с разной ориентации ЖК, разработаны методы формирования многослойных покрытий, сформированных из ориентирующих материалов различного типа. Проведение этой работы обусловлено особенностями ориентирующих материалов: материалы, задающие вертикальную ориентацию ЖК (Табл.1), имеют слабую энергию взаимодействия с другими материалами [15,16] и, как следствие, проблемы с образованием сплошной пленки, наносимой на тонкий слой такого материала, что проявляется появлением разрывов и дефектов в наносимом слое. С другой стороны, слои кремнийорганических полимеров, которые используются в данной работе в качестве вертикально ориентирующих материалов (химические формулы и угол подвеса приведены в таблице), не позволяют формировать рисунок методами фотолитографии.

Кроме того, эти материалы после нанесения надо отжечь при температуре 200°C. При таких температурах происходит разориентация фоториентируемых красителей. В связи с этим было определено, что нижним слоем должен быть слой, задающий вертикальную ориентацию. В качестве верхнего слоя был использован водорастворимый краси-

тель АВА2522. Нанесение его методом печати, позволяет формировать рисунок слоя красителя верхнего (второго) слоя показано на рис.4.

Таблица 1

Материалы для вертикальной ориентации ЖК

Ориентирующий материал	Угол подвеса
Олигометилгидридсилоксан $[(CH_3)HSiO]_m$	89,8°
Олигоэтилгидридсилоксан $[(C_2H_5)HSiO]_m$	89,9°
Олигодизтил(метилгидрид)силоксан $[(C_2H_5)_2SiO]_m[(CH_3)HSiO]_p$	90,0°
Олигодиметил(метилгидрид)силоксан $[(CH_3)_2SiO]_m[(CH_3)HSiO]_p$	89,9°

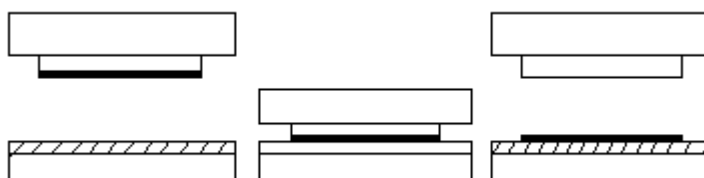


Рис.4. Создание рисунка ориентации методом печати.

Условия сушки и фотоориентации верхнего слоя не нарушают ориентирующие свойства нижнего слоя. Методы печати позволяют делать рисунок ориентации только низкого разрешения, и условия совмещения с элементами на подложке проблематичен. Для получения рисунка высокого качества и точного совмещения с рисунком ИТО (прозрачный электрод из окиси индия и олова) на подложке было решено использовать фотосшиваемый ориентирующий материал М16. Последовательность операций при работе с этим материалом показана на рис. 5.

Нанесение материала методом центрифугирования дает сплошную однородную пленку. После сушки, материал натирается для придания ему ориентирующих свойств. Затем следует операция облучения УФ светом с дозой 1 Дж/см<sup>2</sup>, за которой следует удаление необлученных областей материала. Скорость травления необлученного материала примерно равна 80 нм /мин. Поэтому для пленки толщиной 50 нм время травления определено как 40 с. Проверка ориентации структурированной поверхности проводилась анализом ориентации жидкого кристалла в ячейке с зазором 20 мкм и с рисунком ориентации одинаковым на верхней и нижней подложках. В областях, где был удален ориентирующий материал М16, формируется вертикальная ориентация, а в облученных областях, формируется однородная планарная ориентация с направлением ориентации, соответствующей направлению натирания. Таким образом, если не требуется высокое качество рисунка ориентации, то может быть использован метод печати водорастворимого фоториориентируемого красителя поверх слоя кремний органического полимера и последующего ориентирования последнего поляризованным светом. Если требуется более высокое качество изображения, аккуратный край элементов формируемых элементов и точное совмещение их с рисунком электродов на подложке, должен использоваться фотосшиваемый материал М16.

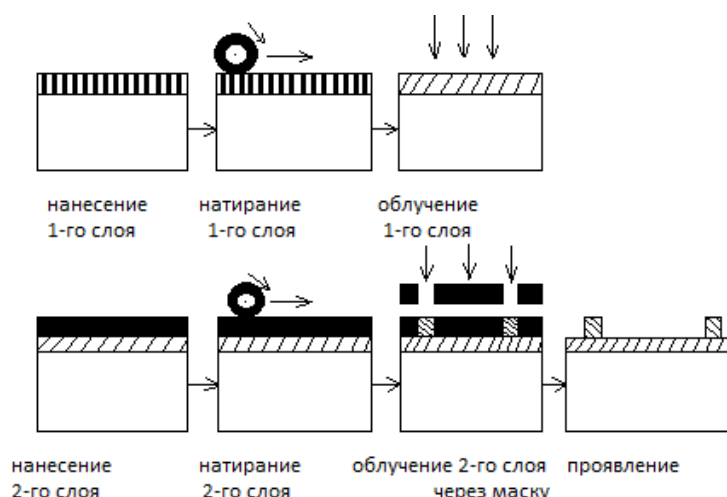


Рис.5. Последовательность операций при работе с материалом М16

## 6. Экспериментальные результаты. Режим датчика

Зависимость отклика ЖК ячеек  $\Delta U$  от температуры представлена на рис.6.

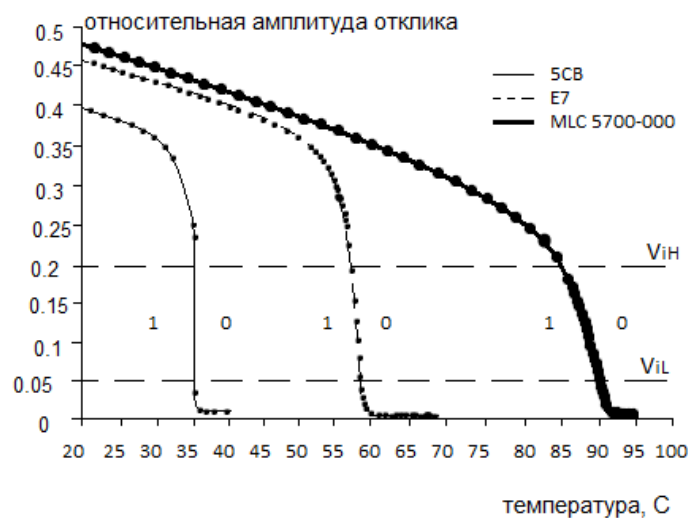


Рис.6. График зависимости  $\Delta U(T)$  для ячеек с веществами 5ЦБ, E7, MLC-5700-000.

$V_{iH}$  и  $V_{iL}$  – выходное напряжение высокого и низкого уровня, соответственно, характеризующее сигналы логических единицы и нуля.

Из графика видно, что с ростом температуры изменение величины отклика индивидуального вещества (5ЦБ), при фазовом переходе из изотропной жидкости в ЖК фазу, происходит резко, чем для смесей ЖК. У смесей в области существования ЖК фазы происходит монотонное и плавное изменение значений величины анизотропии диэлектрической проницаемости, что приводит к монотонному изменению величины отклика ЖК ячейки.

### 7. Выводы и заключение

Разработана и исследована жидкокристаллическая ячейка для использования ее в качестве емкостного датчика температуры. Предложенная структура с комбинированной ориентацией ЖК позволяет формировать сигналы высокого и низкого уровня при изменении температуры и создавать устройства для контроля и регулирования равномерности распределения температуры ЖК панели и других электронных устройств. Работа выполнена по совместному проекту при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №12-07-90007-Бел\_а, и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант № Ф12Р-188.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Беляев, В.И. Карлацук, Технические средства систем управления. Часть 1. Операционные усилители и измерительные преобразователи, Учебное пособие: М: РУДН, 2009, С.1-100.
2. <http://www.piezoelectric.ru/Products/TransmittersTemperature/ThermalTransformerSOS.php>
3. М. Нойманн, Холодильник с индикацией диапазона температур, Патент РФ №2265166.
4. М.Ф. Гребенкин, А.В. Иващенко, Жидкокристаллические материалы / М.: Химия, 1989. 288 с.
5. S. Urban, Static dielectric properties of nematics, In: Physical Properties of Liquid Crystals: Nematics. Eds. G. R. Luckhurst, David A. Dunmur, Atsuo Fukuda. Institution of Electrical Engineers, 2001.
6. D. Dunmur and K. Toriyama, Dielectric Properties, In: Handbook of Liquid Crystals, Low Molecular Weight Liquid Crystals II, Eds. George W. Gray, Volkmar Vill, Hans W. Spiess, Wiley-VCH, pp.231-252 (1998).
7. W. Maier and G. Meier, Eine einfache Theorie der dielektrischen Eigenschaften homogen orientierter kristallglüssiger Phasen des nematischen Typs, Z. Naturforsch., 16a, 262 (1961).
8. W. Maier and G. Meier, Hauptdielektrizitätskonstanten der kristallglüssiger Phasen des nematischen Typs, Z. Naturforsch., 16a, 470 (1961).
9. Безбородов В.С. «Синтез новых карбо- и гетероциклических соединений и создание эффективных жидкокристаллических материалов на их основе». Диссертация на соискание уч. степ. докт. хим. наук, 02.00.03, Белорусский гос. университет, Минск, 1999
10. П.Адоменас, В.В. Беляев, С.А.Иванов, А.Б.Кузнецов, Н.Ф.Ковтонюк, В.Шешкаускас, В.С.Безбородов, Р.Папконене, Жидкокристаллический материал с положительной диэлектрической анизотропией для оптоэлектронных устройств, Положит реш. по заявке на Авторское свидетельство СССР № 4821614/04 от 30.07.91, приор.03.05.90.
11. V. Bezborodov, S. Mikhalyonok, I. Zharski, O. Dormeshkin, A. Smirnov and A. Stsiapanau, "New Concept for the Design, Synthesis, and Application of Nanostructured Anisotropic Materials and Conductive and Alignment Coatings for High-Efficient Displays and Photonic Devices", 33<sup>rd</sup> International Display Research Confer-

ence EuroDisplay 2013, London, UK. 16-19 September 2013. Conference Proceedings. P.81-84.

12. *В.С.Безбородов, О.А.Гринкевич, М.Ф.Гребенкин*, 2-(4-карбоксит-3-галогенфенил)-5-алкил-1,3,2-диоксаборинаны в качестве полупродуктов синтеза жидкокристаллических производных галогенфенил-5-алкил-1,3,2-диоксаборинанов, Авторское свидетельство СССР №4162761/04 (Патент SU 1766922). Приоритет 17.12.86. Оpubл. 07.10.92. Бюл. изобр. № 37 (1992).
13. *R.Dąbrowski, V.Bezborodov*, "Developing syntheses of new liquid crystals", *Liq. Cryst.*, 33, 1487-1489 (2006).
14. *M.J. Lim, S.H. Kim, Y.J. Lee, D.J. Jeong, K.H. Uh, E.S. Lee, and Y.S. Choi*, Physical Properties of Liquid Crystal Single Compounds with 1,3,2-Dioxaborinane Group for LCD Applications, *Molecular Crystals and Liquid Crystals Science and Technology. Section A. Molecular Crystals and Liquid Crystals*, V. 352, p. 319-326 (2000).
15. *V.V. Belyaev, V.G. Mazaeva, A.S. Solomatin, A.A. Muravskii, A.A. Gorbunov, A.A. Muravskii*, New organosilicon oligomer films for NLC alignment, *Proc. International Conference 2011 China display/Asia display*, Kunshan, China, 6-9 November 2011.
16. *Al. Muravsky, An. Murauski, V. Mazaeva, V. Belyaev*, "Parameters on the LC alignment of organosilicon compound films", *J. Soc. Inf. Display*. **13**, 349-354 (2005).
17. *De Jeu W.H.* "Physical Properties of Liquid Crystalline Materials", Gordon & Breach, New York, 1980

## LIQUID CRYSTAL CAPACITOR TEMPERATURE SENSOR

**An.Al. Murauski<sup>1</sup>, Ak.An. Muravsky<sup>1</sup>, V. V. Belyaev<sup>2,3</sup>, D. O. Rybakov<sup>2</sup>,  
V. G. Mazayeva<sup>4</sup>, A.S. Solomatin<sup>2</sup>, D. N. Chausov<sup>2</sup>, V. M. Shoshin<sup>2</sup>, Yu.P. Bobyliov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Chemistry of New Materials NAS Belarus  
36, F. Skorina st., Minsk, 220141, Belarus*

<sup>2</sup>*Moscow Region State University*

*10a, Radio st., Moscow, 105005, Russia*

<sup>3</sup>*People's Friendship University of Russia,*

*6, Miklukho-Maklay st., Moscow, 11719, Russia*

<sup>4</sup>*GNIKHTEOS (State R&D Institute for Chemistry and Technology of Organo-Element Compounds)  
38, Shaussee Enthuziastov, Moscow, 111123, Russia*

*Abstract.* This work is devoted to research of dielectric properties of liquid crystals for the purpose of creation, on their basis, temperature sensors. Distinctive feature of such sensors is compactness, universality and high precision of measurement. Novelty of this research work is caused by a new technique of carrying out experiment. Object of research is reaction (response) of NLC of materials at impact of temperature on them. For achievement of this purpose the combined cells with NLC a material which were affected by temperature were created. During research it became clear that the offered structure with the combined orientation of NLC gives the chance to form signals of high and low level at temperature change, and as opportunity to create devices for control and regulation of uniformity of distribution of temperature of NLC of the panel and other electronic devices.

*Key words:* liquid crystal, dielectric properties, temperature sensor, LC combined alignment