

ВЛИЯНИЕ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ И ПОСТОЯННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Кочержин А. И.², Кухтин М. П.¹, Лисецкий Л. Н.², Мачехин Ю. П.¹, Нерух А. Г.¹, Черняков Э. И.¹

¹Харьковский национальный университет радиозлектроники

61166, Харьков, пр. Ленина 14, каф. ФОЭТ

тел.: (057)702-14-84, e-mail: kukhmp@hotmail.com

²Институт сцинтилляционных материалов НТК «Институт монокристаллов» НАН Украины

61001, Харьков, пр. Ленина 60

e-mail: Lisetski@isk,kharkov.com

Аннотация — Исследовались электрофизические свойства нематических жидких кристаллов на основе цианобифенилов и в диапазоне частот 10^6 - 10^{10} ГГц при наложении постоянных электрических и магнитных полей. Полученные результаты интерпретируются на основе молекулярных моделей. Обсуждаются возможные применения ЖК в электронных устройствах.

I. Введение

Диэлектрические константы (ϵ , $tg\delta$) жидких кристаллов традиционно определяются в диапазоне частот 10^1 - 10^7 Гц. На этих частотах наиболее сильно проявляются анизотропные свойства материала, обусловленные ориентационными механизмами поляризованных молекул. В сантиметровом, и особенно в миллиметровом диапазонах анизотропия ϵ ЖК в электрических и магнитных полях мало исследована [1-2]. Применение явления диэлектрической анизотропии для перестраиваемых устройств сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн до настоящего времени также мало изучено. Так в работах [3-5] описываются первые перестраиваемые СВЧ фазовращатели, служащие компонентами антенных фазируемых решеток. Фазовый сдвиг в таких системах достигает 50° /дБ. Аналогичные результаты наблюдались и в волноводных структурах, заполненных НЖК. Фазовый сдвиг в них также достигал 60° при приложении постоянного магнитного поля 4500Э. [6].

Особый интерес представляют также работы, связанные с исследованием свойств композиций на основе жидких кристаллов и многостеночных углеродных нанотрубок (МСНТ) [6, 7]. Отмечается, что малые количества МСНТ могут существенно снизить паразитные токи, возникающие при приложении постоянного напряжения к нематической ячейке и уменьшить время переориентации молекул. Поэтому работы в данном направлении являются достаточно актуальными.

II. Результаты испытаний

В работе исследовались нематические ЖК 5СВ-класса цианобифенилов ($\epsilon_{\parallel} = 19.9$, $\epsilon_{\perp} = 6.9$, $\Delta\epsilon = 13$, ϵ_{\parallel} и ϵ_{\perp} — диэлектрические проницаемости ЖК в направлениях параллельных и перпендикулярных директору). Экспериментальные исследования на частоте 1МГц проводились емкостным методом. Толщина ЖК составляла 50 мкм., при этом обеспечивалась однородность ориентации диполей по поверхности конденсатора без приложения внешних статических полей. Дисперсии многостеночных нанотрубок (МСНТ) в нематической матрице были получены с

помощью ультразвукового диспергатора. Измерение емкости С и проводимости G осуществлялись измерителем иммитансов Е7-12. Обеспечивалась возможность подачи на измерительную ячейку постоянного напряжения до 200 В. Погрешность измерения С и G составляла порядка 5%. Время измерения не превышало 500 мс.

Результаты исследований анизотропии диэлектрической проницаемости ЖК-5СВ, а также НЖК с различными концентрациями МСНТ приведены на рис. 1.

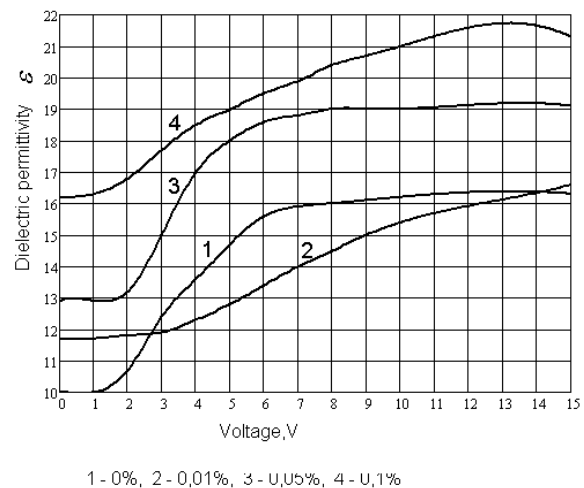


Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости ЖК от напряжения на конденсаторе.

Fig. 1. Dependence of LC permittivity vs. voltage on the capacitor

Для измерений диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь НЖК на частоте 35ГГц использовался цилиндрический резонатор с колебаниями E_{010} . Диаметр резонатора 6.5 мм, длина 10.3 мм. Стекланный капилляр, заполненный исследуемым ЖК, располагался строго по оси резонатора по всей его длине. Наружный диаметр капилляра 0.57 мм, внутренний -0.41мм. Измерения резонансной частоты и добротности резонатора, включенного в волноводный тракт на проход, осуществлялись с помощью панорамного измерителя Р2-65. Постоянное магнитное поле составляло $B=0.128$ Тл. Результаты измерений и расчетов выполненные методами частичных областей (ЧО) и возмущений [8] приведены в табл 1.

III. Интерпретация результатов испытаний

Исследования на частоте 1 МГц показали, что при приложении постоянного электрического поля к ячейке с нанотрубками значения ε , G и C возрастали после достижения ~ 5 В, с тенденцией к насыщению выше ~ 15 В аналогично переходу Фредерикса из планарной в гомеотропную ориентацию. Наблюдалось возрастание диэлектрической проницаемости порядка $\sim 30\%$ в зависимости от концентрации НТ. Длительность переходных токов составляла порядка $\sim 0.5 - 2$ с и заметно снижалась в присутствии НТ.

При достижении порогового значения поля E_c соответствующего U_c , измеряемые значения стабилизируются, что связано с завершением молекулярной переориентации. Наблюдаемые E_c того же порядка (хотя и выше), что и типичные E_c для S-эффекта Фредерикса в переменном поле. Наблюдаемый эффект вполне четкий и однозначный, несмотря на возможное влияние паразитных емкостей у электродов, разориентации ЖК доменов, поверхностных эффектов, переноса заряда и т.д.

IV. Заключение

Проведены измерения временных зависимостей изменений ε , C , G ячейки с ЖК, даны оценки времени включения и выключения ориентационных эффектов. Измерения показали существенное изменение электродинамических свойств ЖК в зависимости от управляющих параметров на низких частотах. Ход зависимостей качественно совпадает с аналогичными зависимостями, полученными по стандартным методикам. Отчетливо наблюдаются характерные типичные особенности для точек фазового перехода нематика в изотропную жидкость. Представленный подход может быть распространен на ЖК других типов, в частности, сегнетоэлектриков, смектиков, а также ЖК с диспергированными в них микро- и наночастицами (нанотрубки, кристаллические сегнетоэлектрики, ферромагнетики и т.д.).

Табл. 1. Зависимость $f_{\text{рез}}$ от $\varepsilon_{\text{НЖК}}$

Table 1. Dependence of f_{res} on ε_{LC}

Резонатор, E_{010}	$f_{\text{рез}}$, ГГц	$\varepsilon_{\text{НЖК}}$ (метод ЧО)	$\varepsilon_{\text{НЖК}}$ (метод возм)
1 Резонатор без капилляра	35.20		
2 Резонатор с капилляром	34.67		
5 Капилляр с НЖК $V=0$	33.99	3.598	3.676
6 Капилляр с НЖК, $V \perp$ перпендикулярно оси капилляра	34.083	3.249	3.307
7 Капилляр с НЖК V_{11} параллельно оси капилляра,	33.96	3.71	3.791

V. Список литературы

- [1] C. Weil, R. Jakoby Nonlinear dielectrics for microwave application-ferroelectrics and liquid crystals IEEE-VNN/AP German Newsletter –Vol.6-No 1-06/2002
- [2] P. Scheele, C. Weil, M. Wittek, Tunable passive phase shifter for microwave applications using highlyanisotropic liquid crystalsMuller, Microwave Symposium Digest 2004MTT-S International, vol. 2, pp.1153-1156, 2004

- [3] J. A. Yeh, C. A. Chang, C.-C. Cheng, J.-Y. Huang, S. S. H. Hsu, Microwave characteristics of liquid crystal tunable capacitors [Text] *Electron.Device Lett.*, vol.26, No.7. 2005 – P.451-453
- [4] F. Dubois, F. Krasinski, B. Splingart, N. Tentillier, C. Le-grand, A. Spadlo, R. Dabrowski, Large microwave birefringence liquid crystal characterization for phase-shifter applications [Text] *Jap.J.Appl.Phys.*, vol..47, No.11. 2008. – P. 3564 – 3567
- [5] T. Kamei, Y. Utsumi, H. Moritake, K. Toda, and H. vSu/uki, "Measurements of the dielectric properties of nematic liquid crystals at 10 kHz, to 40 GHz and application to a variable delay line," *Electron. Commun. Jpn*, pt. 2, vol. 86, 2003.
- [6] M. D. Lynch and D. I. Patrick, "Organizing carbon nanotubes with liquid crystals", *Nano Lett.*, vol. 2, no. 11, pp. 1197-1201, 2002.
- [7] I. Dierking, G. Scalia, P. Morales, "Liquid crystal – carbon nanotube dispersions", *J.Appl.Phys.*, vol. 97, p. 044309, 2005
- [8] А. А. Брандт. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. Гос. Узд. Физ-мат. лит.Москва,1963

EFFECTS OF MICROWAVE ELECTRIC AND STATIONARY MAGNETIC FIELDS ON ELECTROOPTICAL PROPERTIES OF NEMATIC LIQUID CRYSTALS WITH CARBON NANOTUBES

Kocherzhin A. I.², Kukhtin M. P.¹, Lisetski L. N.², Machekhin Yu. P.¹, Nerukh A. G.¹, Chernyakov E. I.¹
¹*Kharkiv National University of Radioelectronics*
 14, Lenin Lane, Kharkiv, 61166, Ukraine
 Ph. (057)702-14-84, e-mail kukhmp@hotmail.com
²*Institute for Scintillation Materials*
 STC "Institute for Single Crystals" of NAS
 60, Lenin Lane, Kharkiv, 61001, Ukraine
 E-mail lisetski@isma.kharkov.ua

Abstract — Investigations of electrophysical properties of nematic liquid crystals (LC) based on cyanobiphenyls under the frequency of 10^6 - 10^{10} GHz with applied electric and magnetic static fields are presented. The obtained results are interpreted in terms of molecular models. Possibilities of LC implementation into various electronic devices are also discussed in this thesis.

I. Introduction

Dielectric properties of liquid crystals (LC) in the 10 - 10^7 Hz range are well known and widely used in various devices for electrooptics and other fields. At higher frequencies (up to 40 GHz), few studies are known, though applications in microwave varactors and other similar devices have been proposed. Doping of LC with carbon nanotubes (NT) can offer further prospects in this direction, with dielectric and conductivity studies being a convenient tool for studies of field-induced reorientations, e.g., Freedericks effect known in LC electrooptics.

II. Results

Dielectric and conductivity measurements were carried out both in standard LC cell conditions and in cylindrical resonator geometry at 35 GHz. Application of magnetic field was also provided. Effects of field-induced orientation of LC were clearly reflected in the measured parameters. Introduction of NT greatly increased the LC conductivity, which was varied under application of dc voltage. The onset and saturation levels of conductivity reflected properties of the Freedericks transition occurring in the LC cell.

III. Conclusions

The results obtained show that orientation of LC by stationary electric and magnetic fields can provide possibilities of new effects related to controlled capacitance properties in the microwave range. Doping of LC with carbon nanotubes offers new ways of varying dielectric, conductivity and electro-optic properties of LC materials to be used in electronic devices.