

ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЕВ, ОРИЕНТИРУЮЩИХ ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ НА НАНОПОРИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Смирнов А.Г.¹, Степанов А.А.¹, Жук С.Д.¹, Лапаник В.И.²,
Луговский А.А.², Луговский А.П.², Тимофеев С.Н.²,
Беляев В.В.³, Чаусов Д.Н.³, Дадиванян А.К.³

¹Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, Минск,

²Институт прикладных физических проблем, Минск

³Московский государственный областной университет, Москва

В статье описана разработанная нами технология формирования слоев на нанопористых поверхностях, способных ориентировать молекулы жидких кристаллов (ЖК). Данная технология позволяет использовать недефицитные материалы, упростить процессы формирования ориентирующих слоев и, в итоге, снизить конечную стоимость ЖК дисплеев.

Введение

Ранее нами было показано [1–5], что эффективная ориентация молекул жидких кристаллов, в том числе нематического и смектического типов, может быть достигнута с помощью рельефной поверхности на основе нанопористых слоев алюминия и его анодных оксидов, сформированных в электролитах низкотемпературным методом электрохимического анодирования. Такой подход позволяет формировать нанопористые поверхности с регулярной сотовой структурой с варьируемыми размерами ячеек и возможностью прецизионного контроля угла подвеса и энергии сцепления молекул ЖК с ориентирующей поверхностью при высокой степени повторяемости от процесса к процессу. При этом принципиально возможно использование подложек любого типа и размера, в том числе гибких, что имеет основополагающее значение при организации высокопроизводительного непрерывного технологического процесса типа «с рулона-на-рулон» [2,3].

Гомеотропная ориентация молекул нематических жидких кристаллов на наноструктурированных алюминиевых пленках

В данной работе рассматривается альтернативный вариант создания гомеотропной ориентации молекул нематических жидких кристаллов (НЖК) на нанопористых алюминиевых пленках. Исходные пленки алюминия толщиной 200-500 нм получали методом магнетронного распыления алюминиевой мишени чистотой 99,99% на стеклянную подложку размером 60x48 мм. Электрохимическое анодирование проводили в ячейке погружного типа с перемешиванием электролита с помощью магнитной мешалки.

Для исключения отсечки на границе раздела воздух – электролит соответствующие участки алюминия покрывали химическим лаком.

Процесс одностадийного анодирования проводили в 0,04 М водном растворе щавелевой кислоты при напряжении 30 - 40 В при температуре 11°C. Время окончания процесса анодирования контролировали по характерному уменьшению тока на конечной стадии. Пористый оксид алюминия травили в селективном травителе $\text{CrO}_3:\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O} = 2:1:2$ в течение 10 минут при температуре 70°C, затем образцы промывали дистиллированной водой в ультразвуковой ванне СТ-400D и просушивали в течение часа при $T=75^\circ\text{C}$. В результате была получена нанорельефная алюминиевая пленка с диаметром пор от 80 до 120 нм. Изменяя параметры анодирования, можно изменять поверхностный рельеф таких пленок, диаметр и глубину пор [2, 3].

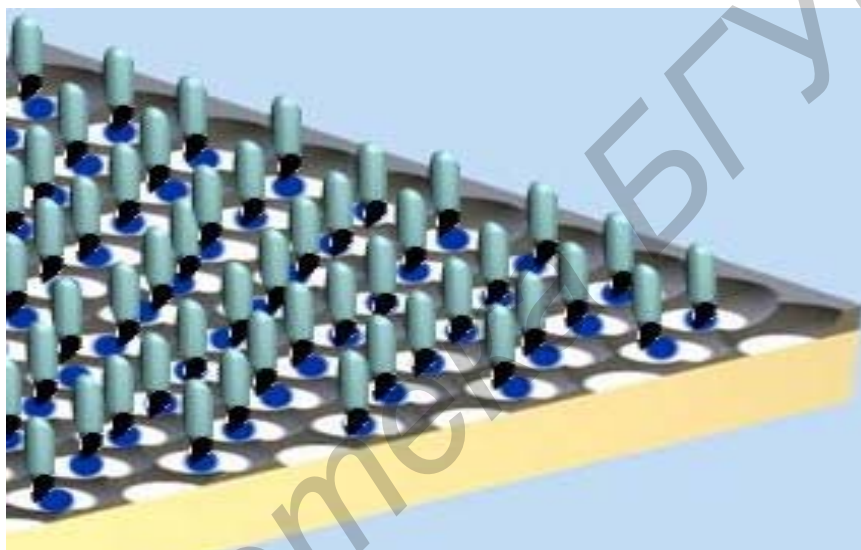


Рисунок 1 – Гомеотропная ориентация молекул НЖК на нанопористой алюминиевой пленке

Используя алюминиевую нанопористую пленку в качестве ориентирующего слоя, можно добиться улучшения качества и стабильности ориентации нематических жидких кристаллов, временных характеристик жидкокристаллических устройств отображения информации, а также упрощения и удешевления процесса ориентации. Особенностью конструкции и технологии изготовления ячеек данного типа является отсутствие операций нанесения и термообработки полимерных ориентирующих молекулы ЖК слоев. Для заполнения исследуемых ячеек необходимо использовать НЖК с отрицательной диэлектрической анизотропией [4].

Типы ориентации молекул НЖК на поверхности нанопористых алюминиевых пленках с различным диаметром пор определены экспериментально и представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Тип ориентации молекул НЖК

Диаметр пор / энергия сцепления, J/m^2	50 нм	100 нм	150 нм	200 нм	250 нм
$1 \cdot 10^{-2}$	планарная	планарная	планарная	планарная	планарная
$1 \cdot 10^{-4}$	гомеотропная	гомеотропная	наклонная	наклонная	планарная
$1 \cdot 10^{-6}$	гомеотропная	гомеотропная	гомеотропная	гомеотропная	наклонная

Случай, когда энергия сцепления находится на уровне $1 \cdot 10^{-2} J/m^2$, возможен только тогда, когда поверхность пор и зазор между ними покрыт слоем ориентирующего материала с высокой энергией сцепления. В этом случае получить гомеотропную ориентацию за счет пор вообще невозможно.

Случай, когда энергия сцепления находится на уровне $1 \cdot 10^{-4} J/m^2$, возможен при наличии определенных полиимидных слоев или когда стенки пор будут не гладкими, а с неровностями, которые имеют вид бороздок (то есть имеется выбранное направление).

Энергия сцепления находится на уровне $1 \cdot 10^{-6} J/m^2$ в случае, когда отсутствует какой-либо ориентирующий материал (полиимид), или формируется алюминиевая нанопористая пленка. В этом случае однородная стабильная гомеотропная ориентация может быть достигнута при диаметре пор менее 250 нм.

Нами установлено, что гомеотропная ориентация НЖК может быть достигнута, когда площадь вертикальной поверхности в ориентирующем слое больше площади горизонтальной поверхности. Кроме этого энергия сцепления должна быть значительно меньше результирующей энергии для вертикальной линеаризации к ориентирующей поверхности. Таким образом, отношение вертикальной зоны к горизонтальной ($K_{v/h}$) – это ключевой фактор для ориентации жидких кристаллов на нанопористых ориентирующих поверхностях.

Таким образом, метод гомеотропной ориентации нанопористыми пленками алюминия с регулярной рельефной поверхностью может рассматриваться как альтернативный, более простой и экономичный метод по сравнению с традиционными, при этом он полностью исключает серьезную проблему наведенного в процессе натирания полиимида значительного электростатического заряда [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования Республики Беларусь (проекты № 14-3064, 14-7016) и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (гранты Т14Р-236, 14-07-90009_Bel_a, 14-07-00574_a).

Литература

1. A. Smirnov, Electrochemical Fabrication of Alignment and Multifunctional Nanostructured Layers for LCD // SID 11 DIGEST, v.5. P. 64-68 (2011)
2. P. Jaguiro, Self-organized nanostructured anodic oxides for display applications // Sem. Physics, Quantum Electronics & Optoelect., v.8. P 109-113 (2010)
3. А.Г. Смирнов, А.А. Степанов, Структура, морфология и электрофизические свойства прозрачных наносетчатых пленок алюминия // Доклады БГУИР, № 5 (67), 2012, С. 21-29
4. А.К. Дадиванян, В.В. Беляев, Д.Н. Чаусов, А.Г. Смирнов, А.А. Степанов, А.Д. Курилов, Я.В. Сацкевич, Ориентация нематических жидких кристаллов относительно нанопористых пленок // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2013. Вып. 4(46). с. 81-86.
5. В. Лапаник, С. Тимофеев, А. Луговский, А.Г. Смирнов, А.А. Степанов, Быстродействующее жидкокристаллическое устройство с вертикальной ориентацией молекул: патент № 8994 Респ. Беларусь, МПК В 82 В 1/00, В 82 В 3/00, С 09 К 19/52, С 09 К 19/56, G 02 F 1/13, G 02 F 1/1337, G 02 F 1/

FABRICATION TECHNOLOGY OF LIQUID CRYSTALS ALIGNMENT LAYERS ON NANOPOROUS SURFACES

Smirnov A.G.¹, Stepanov A.A.¹, Zhuk S.D.¹, Lapanik V.I.², Lugovskiy A.A.²,
Lugovskiy A.P.², Timofeev S.D.², Belyaev V.V., Chausov D.N., Dadivanyan A.

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

²A.N.Sevchenko Institut of Applied Physics, Minsk

³Moscow Region State University, Moscow

Theoretical and experimental results on fabrication technology of liquid crystals alignment layers on nanoporous surfaces are presented in this paper. These layers could replace organic alignment materials, which do not suit anymore to all demands of modern optoelectronic devices mass production (LC displays, sensors, smart windows e.t.c).