
ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 532.783:620.179

Н. В. Мошель,
д.т.н., професор**ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА ПЕРЕОРИЕНТАЦИЮ НЖК
НАД ДЕФЕКТОМ ДИЭЛЕКТРИКА**

В статье приведены результаты исследований влияния граничных условий на переориентацию НЖК над дефектами диэлектрика. Определены критерии преобладания того или иного механизма переориентации НЖК в неоднородном электрическом поле.

Ключевые слова: диэлектрик, дефект, НЖК, переориентация, ионный заряд, флексоэлектричество.

М. В. Мошель,
д.т.н., професор**ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА ПЕРЕОРІЄНТАЦІЮ НРК
НАД ДЕФЕКТОМ ДІЕЛЕКТРИКА**

У статті наведено результати досліджень впливу граничних умов на переорієнтацію НРК над дефектами діелектрика. Визначено критерії переваг того чи іншого механізму переорієнтації НРК в неоднорідному електричному полі.

Ключові слова: діелектрик, дефект, НРК, переорієнтація, іонний заряд, флексоелектрика.

N. V. Moshel,
doctor of technical sciences, professor**THE INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS ON THE NLC
REORIENTATION OVER THE DIELECTRIC DEFECT**

The article presents the research results of the boundary conditions influence on the NLC reorientation over the dielectric defect. The author determines the predominance criteria of one or another NLC reorientation mechanism in nonhomogeneous electric field.

Keywords: dielectric, defect, NLC, reorientation, ionic charge, flexoelectric.

Актуальность темы исследования. Неразрушающий контроль тонких диэлектрических пленок с помощью нематических жидких кристаллов (НЖК) основан на отклике НЖК на дефект. Для реализации процедуры контроля формируют структуру: прозрачный электрод – НЖК – диэлектрик на подложке. К структуре, как конденсатору, прикладывают электрическое напряжение (разность потенциалов). Над дефектом формируется неоднородное электрическое поле и, соответственно, локальная переориентация НЖК. Однако механизм переориентации оставался до конца не выясненным.

Анализ последних исследований и публикаций. В работе [1] было показано, что в НЖК с близкой к нулю анизотропией диэлектрической проницаемости ($\Delta\epsilon \approx 0$) ответственным за переориентацию НЖК над дефектом

ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

діелектрика являється флексоелектрический дефект, и наоборот, результаты, представленные в [2], указывали на прямую зависимость чувствительности НЖК-слоя к выявлению дефектов диелектрика от удельной электропроводности НЖК.

Цель научной статьи. Для выяснения этого противоречия было предложено исследовать переориентацию НЖК над дефектами диелектрика, изменяя величину и знак $\Delta\epsilon$, значение удельной электропроводности и граничные условия. Изменение последних необходимо для отделения эффектов поверхностной поляризации от других механизмов переориентации НЖК в неоднородных электрических полях.

Изложение основного материала. Для оценки влияния величины и знака $\Delta\epsilon$ на визуализацию дефектов диелектрика была исследована переориентация трех образцов НЖК (с $\Delta\epsilon < 0$ и $\Delta\epsilon > 0$) над одним и тем же дефектом диелектрика. Зависимости размеров области деформации НЖК над дефектом от приложенного напряжения представлены на рис. 1. Исходя из влияния величины и знака $\Delta\epsilon$ на переориентацию НЖК в неоднородных электрических полях [3], эти зависимости не удовлетворяют представлениям ни о флексоелектрическом, ни о диелектрическом механизмах переориентации. Однако ситуация проясняется, если учесть их удельную электропроводность. Образец (1) имеет проводимость $7,9 \cdot 10^{-8}$ см/м; образец (2) – $5,1 \cdot 10^{-8}$ см/м, а образец (3) – $1,3 \cdot 10^{-8}$ см/м.

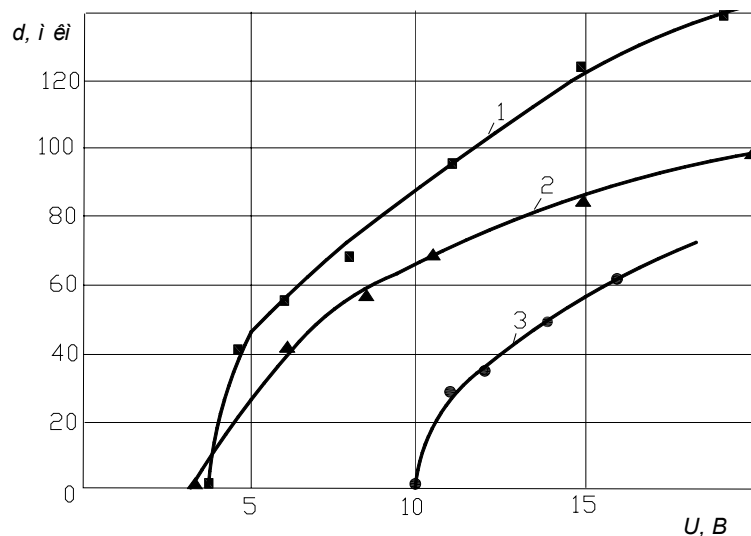


Рис. 1. Зависимость размера области деформации НЖК над дефектами SiO_2 от напряжения (толщина НЖК 20 мкм, ориентант лецитин): 1 – Ж440+D2O5 ($\Delta\epsilon = +1,6$); $\sigma = 7,9 \cdot 10^{-8}$ см/м; 2 – МББА ($\Delta\epsilon = -0,37$); $\sigma = 5,1 \cdot 10^{-8}$ см/м; 3 – ЖК-1268 ($\Delta\epsilon = +12$); $\sigma = 1,3 \cdot 10^{-8}$ см/м

При использовании вместо лецитина цетилпиридиний бромид в качестве ориентанта напряжения визуализации дефектов в НЖК (кривые 1-3, рис. 1) сохраняются, размеры областей деформации НЖК при тех же напряжениях несколько снижаются, что понятно, если учесть пониженную энергию сцепления с подложкой у лецитина [4].

Сравнение результатов, приведенных на рис. 1, позволяет сделать два предположения: а) основополагающую роль в формировании неоднородных

ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

родного электрического поля над дефектом диэлектрика играют подвижные ионные заряды жидкого кристалла; б) гомеотропный слой НЖК с $\Delta\varepsilon > 0$ выявляет тангенциальную составляющую неоднородного электрического поля у подложки. Подобная геометрия опыта использовалась ранее только для оконтуривания изображений в структурах "фотопроводник-НЖК".

Не анализируя преимуществ использования гомеотропного слоя НЖК с $\Delta\varepsilon > 0$ в неразрушающем контроле, отметим, что с их помощью возможен другой подход к изменению граничных условий. В структуре "металл-НЖК-диэлектрик-металл" граничные условия задаются, с одной стороны, контролируемым диэлектриком, с другой стороны - прозрачной проводящей пленкой SnO_2 на стекле. Изменить их для слоя НЖК можно поворотом молекул на 180° , и такую возможность дает НЖК с $\Delta\varepsilon > 0$.

Гомеотропная ориентация задавалась нанесением на подложку растворов ПАВ, при этом лецитин ориентировал молекулы D_2O_5 [4] CN-группой в объем, а силиконовый полимер [5] - к подложке. Толщина слоя НЖК составляла $20\div 50$ мкм, толщина диэлектрика - 0,4 мкм.

Для развития флексоустойчивости необходимо подавление диэлектрического момента, стабилизирующего структуру ЖК-слоя [5]:

$$e^2 > \frac{\Delta\varepsilon \cdot K_{33}}{4\pi},$$

где e - коэффициент флексополяризации НЖК.

Подстановка типичных значений параметров НЖК в выражение показывает, что для $|\Delta\varepsilon| > 1$ флексополяризация невозможна. Однако при одновременном проявлении и флексо- и поверхностной поляризации возможно превращение $e \rightarrow e^*$, где $e^* = e \pm \rho$ (ρ - коэффициент поверхностной поляризации).

Поскольку в ячейках с гомеотропной ориентацией всегда присутствуют эффекты поверхностной поляризации [6] и, в зависимости от знака анизотропии и формы молекул, возможны проявления флексоэлектрического эффекта [6], такой опыт позволит хотя бы качественно оценить вклад этих составляющих в свободную энергию НЖК.

На рис. 2 приведены зависимости размеров области переориентации НЖК над дефектом диэлектрика от напряжения. Как для структур с однородными граничными условиями (лецитин-лецитин, полимер-полимер), так и структур промежуточных, напряжение начала переориентации лежит в пределах $4\div 5$ В (кривая "1" снята дважды для оценки точности и повторяемости измерений).

Размеры области переориентации НЖК в неоднородном поле для образцов с различными ориентантами на подложках (при постоянном напряжении) больше, чем в образцах с симметричными граничными условиями. Этот экспериментальный факт согласуется с представлениями о влиянии граничных условий на переориентацию НЖК в неоднородных электрических полях [3].

ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

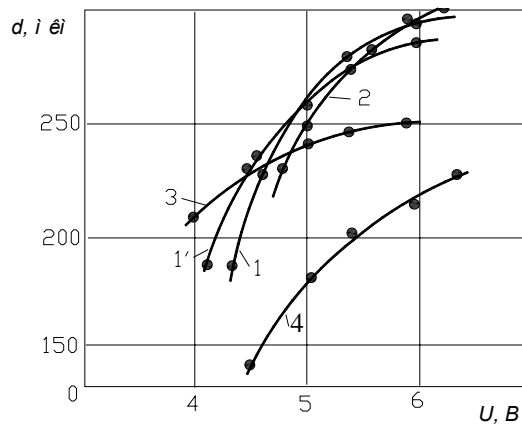


Рис. 2. Влияние ориентанта на размеры области деформации D2O5 над дефектом диэлектрика (толщина НЖК 50 мкм): 1 – на диэлектрике полимер, на SnO₂ лецитин; 1' – повторение (1); 2 – лецитин-полимер; 3 – полимер-полимер; 4 – лецитин-лецитин

Фотографії двох областей деформації НЖК в неоднородному полі для ориентантів "полімер"-полімер представлені на рис. 3. Во всіх випадках деформація при спостереженні в скрещених поляризаціях має вигляд конускоподібної фігури, характерної для оптичних неоднородностей з циліндричною симетрією.

Ісходя з теоретических представлень о поляризованих станах в рідких кристалах [1], вклад поверхнової і об'ємної поляризації в переорієнтацію НЖК, оцінений по напруженням переорієнтації при повороті директора на 180°, становить 15÷20%. Столь малий вклад можна пояснити наступними причинами: переобладанням діелектричного механізму переорієнтації і екранування наведених поляризаційних зарядів рухомими іонними зарядами НЖК. Опустив першу причину, оціним і порівняємо значення поляризаційних і відповідуючих їм іонних зарядів. Оскільки в НЖК завжди є залишкові домішки – носії струму, то будь-яке поляризоване стан викликає перерозподіл об'ємного заряду в середі.

Предположимо, що область переорієнтації НЖК представляє собою півсферу з центром в дефекті. При деформації НЖК в електричному полі на границі деформованої області (по її поверхні) наведеться флексоелектричний заряд $q_{фл}$, який в умовах рівноваги екранується рухомими іонними зарядами $q_{ион}$:

$$q_{фл} = \sigma_{фл} \cdot S = \frac{e}{r} \cdot S,$$

$$q_{ион} = \frac{\sigma}{\mu} V = \frac{\sigma}{\mu} d_{жк} \pi r^2$$

де e – флексокоэффициент; r – радіус області деформації; S = площа поверхні концентрації заряду ($S = 2\pi r^2$), $V = d_{жк} \cdot \pi r^2$; σ – удельна електропровідність НЖК; μ – подвижність іонів в НЖК.

Іонний заряд визначимо, як заряд, знаходящийся в циліндрі з висотою, рівною товщині НЖК $d_{жк}$, а основою πr^2 .

ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

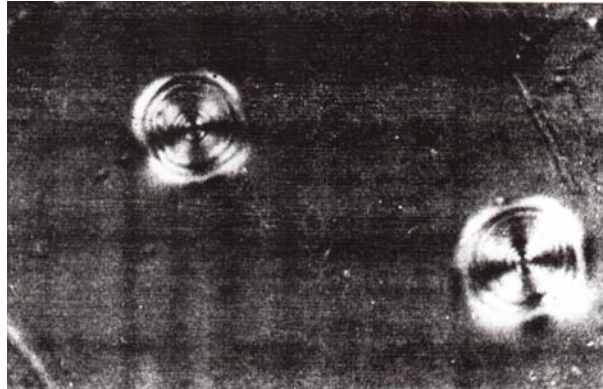


Рис. 3. Переориентация гомеотропного слоя D2O5 над дефектами диелектрика (ориентанты "полимер-полимер", напряжение 5,4 В)

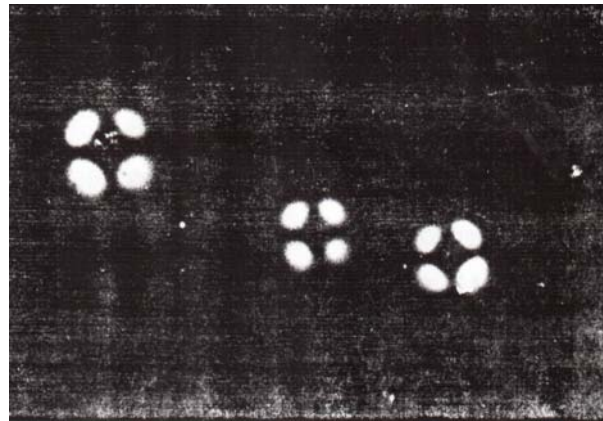


Рис. 4. Визуализация дефектов диелектрика НЖК с $\Delta\epsilon > 0$ в переменном элетрическом поле (D2O5, толщина 20 мкм, ориентант лецитин, напряжение 3,37 В; частота 70 Гц)

Примем: $d_{жк} = 20 \cdot 10^{-6}$; $\mu = 10^{-10}$; $\epsilon = 10^{-11}$ (в единицах системы СИ). Для преобладания флексоэлектрического механизма переориентации НЖК необходимо выполнение условия:

$$q_{фл} > q_{ион}, \text{ т.е. } 2e > d_{жк} \cdot r \cdot \frac{\sigma}{\mu}.$$

Поэтому для преобладания флексоэффекта в переориентации НЖК с размерами области деформации $r \sim 10^{-5}$ проводимость НЖК должна быть меньше 10^{-11} см/м.

Заключение. Проведенный анализ позволяет объяснить противоречие между представлениями о флексоэлектрическом механизме переориентации НЖК в неоднородном электрическом поле и инжекционной моделью неоднородного электрического поля над дефектом диелектрика. В компенсированном ЖК с близкими к нулю σ и $\Delta\epsilon$ повышение проводимости ведет к экранировке флексоэлектрического заряда и необходимости повышать напряжение для получения переориентации, что эквивалентно снижению чувствительности, как и показано в [1]. В НЖК с отличной от нуля диелектриче-

ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

ской анизотропией повышение проводимости ведет к скоплению большего заряда в области неоднородности поля и повышению этой неоднородности, т.е. возрастанию чувствительности [6,7].

Литература

1. Невская Г. Е. Электрофизика структуры жидкий кристалл-диэлектрик-полупроводник. / Г. Е. Невская, В. Г. Чигринов, И. В. Тихомиров [и др.] // Известия АН СССР, серия физическая. - 1989. – Т. 53, № 10. – С. 2016-2029.
2. Гриценко Н. И. Влияние электропроводности НЖК на визуализацию дефектов диэлектрических слоев / Н. И. Гриценко, С. И. Кучеев, Н. В. Мошель // УФЖ. - 1989. – Т. 34, № 2. – С. 217-219.
3. Чигринов В. Г. Ориентационные эффекты в НЖК в электрических и магнитных полях / В. Г. Чигринов // Кристаллография. - 1982. – Т. 27. – С. 404-430.
4. Жидкие кристаллы / Под ред. С. И. Жданова. – М.: Химия, 1979. – 328 с.
5. Лаврентович О. Д. О механизмах доменных неустойчивостей гомеотропного слоя нематика с $\Delta\epsilon > 0$ в постоянном электрическом поле / О. Д. Лаврентович, В. В. Серган, В. В. Сорокин // УФЖ. - 1991. – Т. 36, №2. – С. 222-331.
6. Береснев Л. А. Прямое измерение флексоэлектрической поляризации НЖК / Л. А. Береснев, Л. М. Блинов, С. А. Давидян [и др.] // Письма в ЖЭТФ. - 1987. – Т. 45, вып. 12. – С. 592-594.
7. Гриценко Н. И. Использование НЖК для неразрушающего контроля изделий микроэлектроники / Н. И. Гриценко, С. И. Кучеев, Н. В. Мошель // Известия АН СССР, серия физическая. – 1989. – Т. 53, №10. – С. 2029-2044.

Надійшла 22.11.2011 р.