

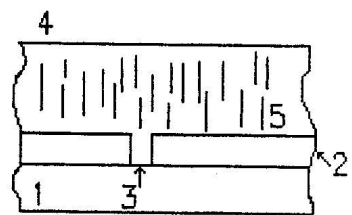
М. І. Гриценко, С. І. Кучеев

Роль адсорбованих зарядів у переорієнтації нематика біля пори діелектрика

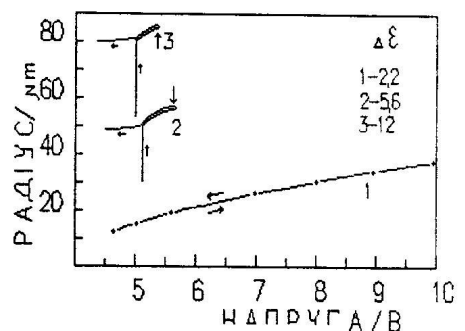
Добре відомо [1], що в плоских комірках перехід від омичного протікання струму до інжекційного супроводжується зміною розподілу електричного поля, як функції товщини комірки. Аналогічний процес відбувається в структурах точковий електрод—діелектрик—плоский електрод. У цьому випадку функція розподілу електричного поля від товщини діелектрика змінюється від залежності x^{-2} при омичному протіканні струму до залежності $x^{-1/2}$ при інжекції. Але в будь-якому випадку максимум електричного поля, за умови скінченних розмірів точкового електрода, віддалений від точкового електрода на відстань порядку розмірів електрода [1]. Досліджувані нами комірки мали аналогічну структуру: точковий контакт (пора в діелектрику)—шар рідкого кристалу (діелектрик)—прозорий плоский електрод. Якщо розглядати рідкий кристал як діелектрик і взяти до уваги скінченну величину його електропровідності, то максимум напруженості електричного поля буде розташований ще ближче до точкового контакту, ніж у випадку твердого діелектрика. З іншого боку, електрооптичні дослідження показують, що розміри zdeформованих ділянок нематика на порядок перевищують розміри точкового електрода і складають 150-200 мкм [2]. У даній роботі наведені результати експериментальних досліджень, на основі яких запропоновано модель переорієнтації нематика біля пори діелектрика.

Електрооптичні дослідження проводилися в комірці такої структури: низькоомний кремній (1) — пористий діелектрик (2) — нематичний рідкий кристал (5) — прозорий електрод (4) (мал.1). Нематичний рідкий кристал (НРК) з додатньою анізотропією діелектричної проникності ($\Delta\epsilon > 0$) товщиною 20 мкм орієнтувався гомеотропно за допомогою обробки поверхонь діелектрика і прозорого електрода розчином лецитину в толуолі. Переорієнтація нематика досліджувалась над порою діелектрика розміром ≈ 8 мкм.

Характер переорієнтації НРК залежить від величини прикладеної напруги. Якщо напруга не перевищує певної межі, то при подачі її відбувається повне або часткове погашення деформації, яка виникає з першого моменту після подачі сходинок напруги. Ці зміни в орієнтації директора відбуваються безпосередньо поблизу пори діелектрика. Максимальне віддалення де-



Мал.1

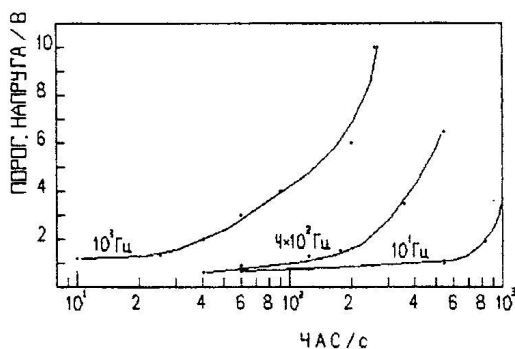


Мал.2.

формації не перевищує 8-10 мкм. Така поведінка деформованого шару нематика добре узгоджується з електростатичною моделлю взаємодії між директором і електричним полем точкового електрода, а також впливом на цю взаємодію поля просторового заряду [3]. Поляризація шару нематика призводить до згаданого гасіння деформації директора на початку сходинок напруги та короткого сплеску деформації в момент виключення напруги [4].

Якщо зовнішня напруга перевищує вказаний поріг, то картина деформації суттєво змінюється. Після незначного гасіння початкової деформації, протягом наступних 1-2 хвилин спостерігається збільшення деформованої області нематика над порою діелектрика. Стаціонарні розміри цієї деформованої області нематика більш ніж на порядок перевищують розміри самої пори. Одночасно відбувається формування просторової структури розподілу директора в площині комірки. Внутрішня область стає темною (відбувається гомеотропний перехід), причому темна область розширюється від центра. Перше інтерференційне кольорове кільце, яке вказує, що на цій відстані від пори деформація максимальна, також на порядок перевищує розміри пори. При наступному збільшенні напруги розмір області деформації НРК з $\Delta\epsilon > 0$ зростає несуттєво і швидко наступає гідродинамічна нестабільність. Дослідження показали, що така поведінка спостерігається лише для нематиків з великою анізотропією. Малюнок 2 демонструє залежність радіуса деформованої області нематика над порою як функція прикладеної напруги.

Для встановлення механізму, відповідального за переорієнтацію нематика в постійних електричних полях, були проведені дослідження переорієнтації нематика в змінних електричних полях. Дослідження показали, що: 1) частотний діапазон візуалізації деформації нематика в змінному електричному полі розтягнутий до 600-800 Гц; 2) час існування деформованої області дуже залежить від значення частоти зовнішньої напруги. Зі збільшенням частоти цей час швидко зменшується. Графік (мал.3) відображає зростання порогової напруги початку деформації нематика біля пори діелектрика в залежності від часу затримки між моментами виключення постійної напруги і включення змінної напруги відповідної частоти. Від цього часу, крім того, залежить контраст деформованої області нематика в поляризованому світлі; 3) характерний час існування електрооптичного ефекту набагато більший, ніж час діелектричної релаксації зарядів, який для нематика з питомою провідністю порядку $\sigma \approx 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ складає величину $\tau \approx 10^{-3} \text{ с}$; 4) час електрооптичного відгуку шару нематика товщиною 20 мкм на переключення частоти зовнішньої напруги з низької, коли відбувається деформація директора, на високу (діелектричний режим) лежить у межах десяти мілісекунд при величині напруги 10 В [5].



Мал.3

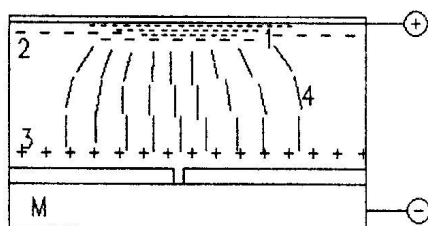
Розглянемо можливі механізми описаного вище електрооптичного ефекту. Механізм [6], відповідальний за утворення “мальтійських хрестів”, для нашого випадку мало підходить, оскільки переміщення речовини при порогових напругах поблизу пор не спостерігалось.

Діелектричний механізм також мало підходить, через те, що внаслідок його реалізації кінцева орієнтація директора була б гомеотропною.

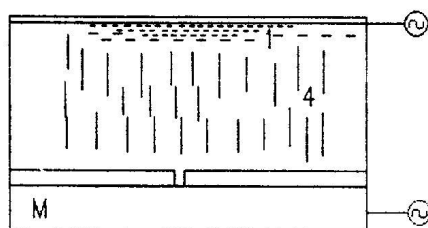
Можна з великою упевненістю стверджувати, що досліджуваний електрооптичний ефект не обумовлений ізотропною гідродинамічною нестійкістю, яка описується механізмом Фелісі [7], оскільки: 1) ефект спостерігається в обмеженому інтервалі часу, який набагато перевищує час максвелівської релаксації; 2) локалізація ефекту може бути переміщена в будь-яку точку комірки з допомогою зсуву скла; 3) спостерігається стійка орієнтація директора в гомеотропному стані безпосередньо над порою.

Несуперечливо описує експериментальні факти, що спостерігаються, такий механізм [8]. Після подачі на комірку постійної напруги частина негативних іонів адсорбується на поверхні анода. Внаслідок електростатичного орієнтування, молекули нематика встановлюються перпендикулярно шару адсорбованих іонів. Оскільки густина іонного шару має азимутальну симетрію за способом формування, то розподіл директора матиме такий же вигляд. Після вимкнення напруги до цього негативно зарядженого шару притікають додатньо заряджені іони з об'єму РК. У такий спосіб формується подвійний електричний шар (конденсатор) на поверхні анода, у якому одна обкладинка являє собою нерухомий шар негативно заряджених іонів з неоднорідним розподілом по поверхні, а другою обкладинкою конденсатора є шар рухливих зарядів. Формуванням такого конденсатора пояснюється відсутність деформації директора протягом часу, коли на комірку не подана зовнішня напруга.

У змінних електричних полях рухливі поляризаційні заряди починають переміщуватись у відповідності з полярністю прикладеної напруги. Поляризаційні заряди екранують електричне поле електродів. Але оскільки молекули нематика на поверхні вже мають певну задану орієнтацію, обумовлену електростатичною дією адсорбованих іонів на директор, то спостерігається перехід від гомеотропної орієнтації до похилої, обумовленої вищезгаданою причиною. Малюнок 4 демонструє модель переорієнтації нематика над порою діелектрика в змінних електричних полях, де 1 - адсорбований шар негативних зарядів; 2, 3 - поляризаційні заряди (розподіл зарядів відображений відповідно до фази змінної напруги); 4 - розподіл директора. Малюнок 4а і 4б відповідає низькій та високій частотам, прикладеним до комірки.



a)



b)

Мал.4

Досліджувалась кореляція між оптичним відгуком шару РК і фазами змінної напруги прямокутної форми [8]. Для порівняння були вибрані дві ділянки комірки. Перша відповідає місцю поверхні над порою після переміщення верхнього електрода. На другій ділянці комірки має місце похила орієнтація директора на нижній підложці (діелектрику). Для ділянки нематика над порою електрооптичний відгук при позитивній полярності на кремнієвій підкладці має більшу величину, ніж при негативній. Для ділянки з похилою орієнтацією ситуація протилежна. Така поведінка якісно узгоджується з експериментальними даними після припущення, що додатні поляризаційні заряди мають більшу рухливість.

Слід наголосити на дуже сильній подібності між просторовим розподілом директора біля пори у змінних і постійних електричних полях. Це вказує на те, що механізм переорієнтації нематика в постійному електричному полі той же, що і в змінних полях. У цьому випадку поляризаційні заряди екранують поле електродів, а нематик переорієнтовується внаслідок електростатичного механізму адсорбованим зарядом.

1. Ламперт М., Марк П. *Инжекционные токи в твердых телах. Пер. с англ.* - Москва: Мир, 1973. - 416 с.
2. Gritsenko M.I., Kucheev S.I., Moshel N.V. *Physical aspects of nondestructive testing of microelectroproducts using NLC//Functional materials, 1994.-V.1,-1.-P.97-102.*
3. Gritsenko M.I., Kucheev S.I. *Polar-dependent deformation of director near the of dielectric in structure metal-dielectric-nematic-metal. Abstract of European Conference on Liquid Crystals. Zakopane, Poland, C.25. - P.271.*
4. Gritsenko M.I., Kucheev S.I. *Polar-dependent deformation of director near the of dielectric in structure metal-dielectric-nematic-metal. // Proceedings of SPIE, 1997,-3318.-P.242-244.*
5. Gritsenko M.I., Kucheev S.I. *Influence of spase charge on liquid crystal director dynamic Abstract of 5th Int. Conference Dielectric and Related Phenomena Poland Bielsko-Biala 24-27 Sept., p.148, 1998.*
6. Труфанов А.Н., Барник М.И., Блинов Л.М., Чигринов В.Г. *Электрогидродинамическая неустойчивость в гомеотропно ориентированных слоях нематических жидких кристаллов//Журн. "Экспер. и теор. физ.", 1981. - Т.80, №2.- С.704-715.*
7. Блинов Л.М. *Электро- и магнитооптика жидких кристаллов.* - Москва: Наука, 1978. - 384 с.
8. Gritsenko M.I., Kucheev S.I. *The electrooptical effect in nematic at a pore of dielectric film as possible pixel //Proceeding of 7 th International Symposium" Advanced Display Technologies" Belarus, Minsk, 1-5 December, P.37-39, 1998.*