

Список використаних джерел

1. *Пентегов І. В.* Експериментальна установка для дослідження теслівських процесів при безконтактній зарядці акумуляторів / І. В. Пентегов, А. Л. Приступа // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія “Технічні науки” : зб. – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – №1(55). – С. 233-239.
2. *Пат. України* на корисну модель. МПК А61N1/362, Н04В10/10. Пристрій для безконтактної підзарядки акумуляторів імплантованих електростимуляторів / І. В. Пентегов, І. В. Волков, А. Л. Приступа, Д. О. Шейковський, Є. П. Стемковський. – № 31659 ; заявл. 03.03.06 ; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8. – 4 с.
3. *Пентегов І. В.* К расчету тесловских процессов при беспроводной передаче энергии / И. В. Пентегов, И. В. Волков, А. Л. Приступа // *Електротехніка і електромеханіка.* – 2007. – № 2. – С. 70-73.
4. *Пентегов І. В.* О возможности осуществления бесконтактной подзарядки аккумуляторов имплантированных электростимуляторов / И. В. Пентегов, И. В. Волков, А. Л. Приступа // *Технічна електродинаміка.* Тем. вип. “Проблеми сучасної електротехніки”. – 2008. – Ч. 5. – С. 109-113.
5. *Литиевые элементы и батареи.* Техническое руководство фирмы Panasonic. – 2000. – 100 с.
6. *Никель-металлогидридные аккумуляторы.* Техническое руководство фирмы Panasonic. – 2000. – 44 с.

УДК 537.311:532.783

О.В. Рогоза, канд. фіз.-мат. наук

А.О. Ковтун, канд. фіз.-мат. наук

Ю.Є. Шоломій, студент

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ТЕМПЕРАТУРНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ПИТОМОЇ ПРОВІДНОСТІ І РУХЛИВОСТІ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В ХОЛЕСТЕРИЧНОМУ РІДКОМУ КРИСТАЛІ

Досліджені температурні залежності питомої електричної провідності і рухливості носіїв зарядів у холестеричному рідкому кристалі. Визначені величини енергій активації питомої провідності і рухливості зарядів у різних рідкокристалічних станах. Аналіз температурних залежностей показує, що зміни провідності в областях фазових переходів у межах похибок обумовлені змінами рухливості носіїв заряду. Як під час охолодження до рідкокристалічного стану, так і під час нагрівання із цього стану природа механізму генерації і рекомбінації носіїв однакова.

Ключові слова: холестеричний рідкий кристал, питома електрична провідність, рухливість носіїв заряду.

Исследованы температурные зависимости удельной электрической проводимости и подвижности носителей зарядов в холестерическом жидком кристалле. Определены величины энергий активаций удельной проводимости и подвижности зарядов в разных жидкокристаллических состояниях. Анализ температурных зависимостей показывает, что изменения проводимости в областях фазовых преобразований в пределах погрешностей определены изменениями подвижности носителей заряда. Как при охлаждении к жидкокристаллическому состоянию, так и при нагревании из этого состояния природа механизма генерации и рекомбинации носителей одинакова.

Ключевые слова: холестерический жидкий кристалл, удельная электрическая проводимость, подвижность носителей заряда.

Temperature dependencies of specific conductivity and charge carrier mobility in cholesteric liquid crystal have been researched. Energy values of specific conductivity and charge carrier mobility in different liquid crystal states have been defined. Temperature dependencies analysis shows that changes of conductivity in the areas of phase transformation are defined by changes of the charge carrier mobility within the inaccuracy limits. While cooling to liquid crystal state, same as heating from this state, the nature of generation and carrier recombination is the same.

Key words: cholesteric liquid crystal, specific electrical conductivity, charge carrier mobility.

Вступ. Рухливість носіїв заряду є одним із фундаментальних та інформативних параметрів і дає багато інформації про характер електричних процесів у рідкому кристалі (мезофазі). Дослідження температурної залежності рухливості у різних рідкокристалічних станах, включаючи й області фазових переходів, аналіз взаємозв'язку результатів з відповідними даними про провідність, дозволяє зробити висновки про механізм провідності рідкокристалічної фази і процеси генерації носіїв заряду. Однак таких досліджень виконано мало.

Методи та результати. Електропровідність у рідкокристалічній фазі здійснюється іонами.

Рухливість вимірювалась методом зворотного поля за часом проходження носіїв струму між електродами під час зміни полярності прикладеної напруги до рідкокристалічного зразка.

У момент часу $t = 0$ до зразка прикладалась напруга U_1 і в об'ємі починався перерозподіл зарядів. При цьому струм через зразок зменшувався. Через проміжок часу t_1 , коли іони сконцентрувались біля одного електрода і струм прийняв квазістаціонарне значення, прикладалась напруга зворотної полярності U_2 , менша за U_1 . Сконцентровані біля першого електрода іони починали рухатись до другого електрода і коли їх основний пакет досягав його, струм у колі набував максимального значення. Вимірюючи проміжок часу τ від моменту зміни полярності напруги на зразку до моменту, коли струм у колі досягне максимального значення, можна розрахувати рухливість μ носіїв заряду:

$$\mu = \frac{d^2}{\tau U},$$

де d – відстань між електродами, U – прикладена до зразка електрична напруга.

Зміна у часі струму в колі записувалась двокоординатним потенціометром, що мав часову розгортку, або фіксувалась з допомогою осцилографа і визначався час τ . Зразок рідкого кристалу знаходився в триелектродній ячейці (з охоронним електродом), що поміщувалась у термостат. Це давало можливість досліджувати рухливість носіїв заряду при різних температурах. Кожне значення рухливості вимірювалось у квазістаціонарних температурних умовах: швидкість зміни температури під час нагрівання чи охолодження зразка не перевищувала 0,2. Значення напруг на зразку (одиниці вольт) підбиралось таким чином, щоб не виникало гідродинамічних течій і зміни текстури рідкого кристалу, що контролювалось з допомогою фотоелектронного підсилювача. Для вимірювання значень малих струмів, що протікали у колі ($10^{-8} \dots 10^{-11}$ А), використовувався електрометричний підсилювач.

Поряд з визначенням рухливості носіїв заряду в різних рідкокристалічних станах, становить інтерес знати, як буде поводити себе рухливість у випадку, якщо охолодити зразок до певної температури рідкокристалічного стану, а потім знову підвищувати температуру.

Експериментальні результати (рис.) показують, що температурні залежності рухливості зарядів у рідкокристалічній фазі й ізотропній рідині добре описуються експоненціальними функціями. Енергія активації провідності у мезоморфному стані та ізотропній рідині незначно більша відповідних значень енергії активації рухливості. Це говорить про те, що температурні зміни питомої провідності визначаються, в основному, характером поведінки рухливості зарядів.

Якщо зразок охолодити з ізотропної рідини з переходом його у смектичну (чи холестеричну) фазу до температури, що дещо перевищує температуру фазового переходу (смектичний рідкий кристал \rightarrow твердий кристал чи холестеричний \rightarrow смектичний рідкий кристал), а потім знову нагрівати до ізотропної рідини, то відповідні криві залежностей провідності і рухливості від температури розташовуються нижче за значеннями, порівняно з їх значеннями для процесу охолодження. При цьому температури фазових переходів смектик-холестерик, холестерик-ізотропна рідина зміщуються в сторону більш високих значень, а величини енергій активацій питомої провідності і рухливості зарядів – не змінюються. Ці результати свідчать про одну й ту ж природу механізму генерації і рекомбінації носіїв як під час охолодження до мезоморфного стану, так і під час нагрівання з відповідної мезофази.

У мезофазах та ізотропній рідині, як відомо, домінує іонний механізм електропровідності.

Молекули рідкого кристалу мають відмінний від нуля електричний дипольний момент і, цілком імовірно, що вони взаємодіють з полем іона, утворюючи сольватовані оболонки. Розглядаючи рух сольватованого іона у постійному електричному полі, у першому наближенні як сфери, можна оцінити радіус сольватації із формули Стокса:

$$\mu = \frac{q}{6\pi\eta r_s},$$

де η – коефіцієнт в'язкості, q – заряд іона, r_s – радіус сольватованого іона. Знаючи значення коефіцієнта в'язкості, можна одержати, що r_s за порядком величини рівний 10^{-9} м.

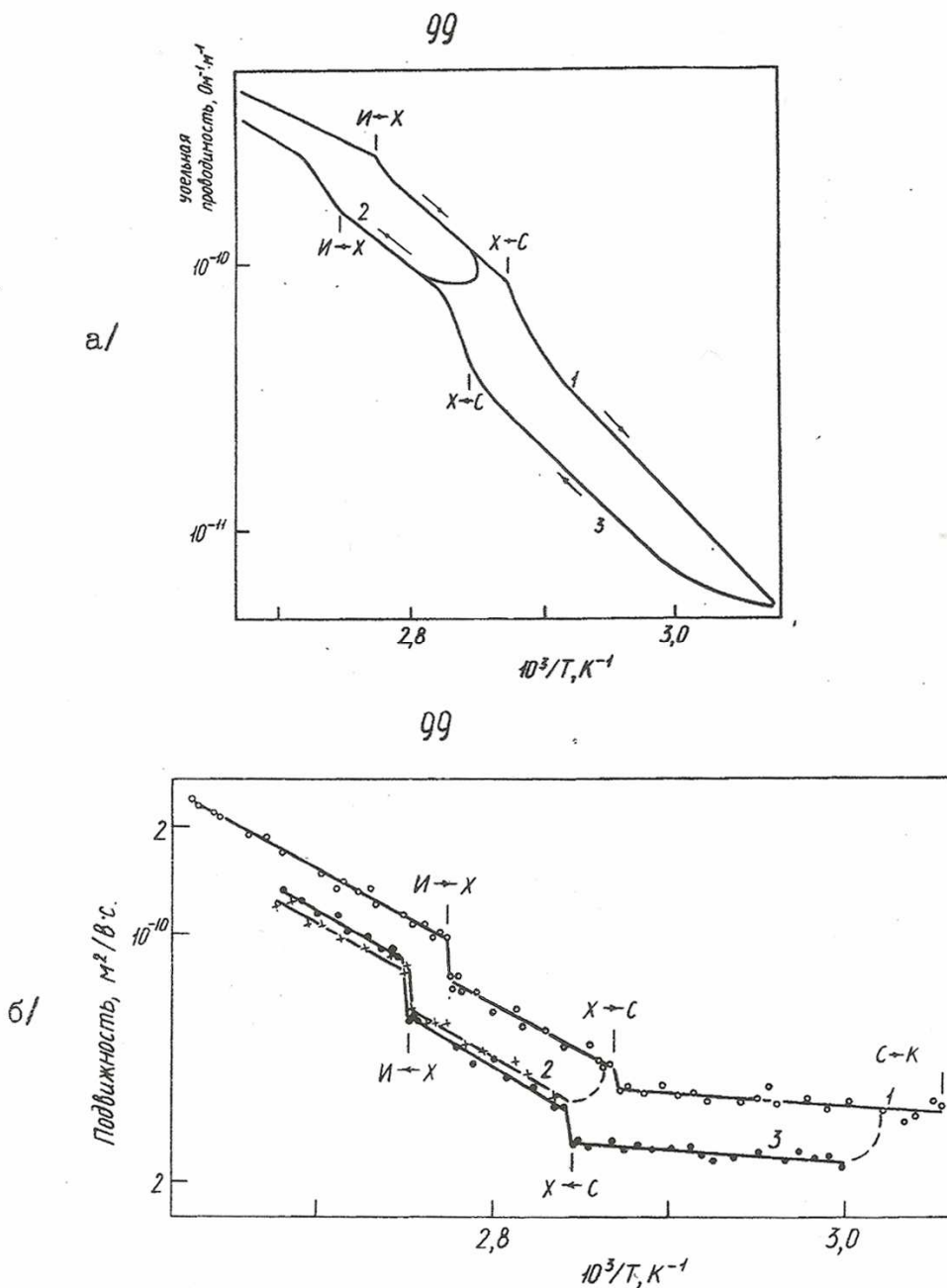


Рис. Температурні залежності питомої провідності (а) і рухливості носіїв зарядів (б) у холестерилкапринаті: 1 – охолодження з ізотропної рідини; 2 – нагрівання із холестеричної мезофази; 3 – нагрівання із смектичної мезофази

Висновки та результати. В одержаних експериментальних результатах температурних залежностей рухливості звертає на себе увагу значна відмінність у смектичній А-фазі величин енергій активації рухливості і питомої провідності, відповідно $\Delta E_{\mu} = 0,08$ еВ і $\Delta E_{\sigma} = 1,04$ еВ. Це характерне також і для смектичної фази холестерилпеларгонату.

Таку слабку температурну залежність рухливості зарядів можна пояснити наявністю протонного механізму переносу заряду. Для існування протонної провідності в рідкому кристалі необхідна наявність у ньому молекул, здатних розпадатись з утворенням протонів. У реальних умовах процес розпаду молекул мезогена, чи домішкових молекул, можливий під час контакту речовини з водою. Інформацію про наявність у рідкому кристалі вільних протонів, про вплив адсорбованої речовиною вологи на їх кількість можуть дати дослідження водневого показника рН рідкого кристала.

Отже, виконано такі дослідження для холестерилпеларгонату.

У хроматографічно очищену і висушену речовину у процесі вимірювання кількості вільних протонів була внесена деяка кількість води з електрода порівняння іонміра, що пов'язане з принципом роботи останнього. Присутність вологи за час вимірювання не змінює рН висушеного мезогена. Кожне наступне вимірювання проводилось через добу. Так, зокрема, у смектичній А-фазі висушеного у вакуумі холестерилпеларгонату при 68 °С початкова концентрація протонів рівна $2,4 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$. Через добу концентрація збільшилась до $6,5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$, через дві – більш ніж до 10^{24} м^{-3} . Для вказаної температури концентрація носіїв заряду, розрахована на основі вимірювання рухливості і провідності, має значення $2,2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$. Тобто обидва незалежні методи визначення концентрації носіїв дають добре узгоджені результати. Після третього вимірювання мезоген знову висушувався протягом двох діб. І хоча вологу із нього повністю видалити складно, все ж результати дослідження зразка показують, що концентрація протонів зменшилась на декілька порядків.

Підвищене число протонів у холестеричній та ізотропній фазах порівняно з тим, що дає дистильована вода, можна пояснити утворенням, внаслідок гідролізу, пеларгонової кислоти і дисоціацією її при високих температурах.

Аналіз температурних змін рухливості і питомої провідності показує, що зміни провідності в областях фазових переходів у межах похибок обумовлені змінами рухливості носіїв заряду.

Список використаних джерел

1. *Блинов Л. М.* Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Л. М. Блинов. – М. : Наука, 1978. – С. 121-139.
2. *Гриценко М. І.* Фізика рідких кристалів : навч. посіб. / М. І. Гриценко. – К. : Академія, 2012. – 272 с. – (Серія «Альма-матер»).
3. *Сонин А. С.* Введение в физику жидких кристаллов / А. С. Сонин. – М. : Наука, 1983. – С. 104-114.
4. *Сугаков В. Й.* Фізика рідкокристалічного стану / В. Й. Сугаков. – К. : Вища школа, 1992. – С. 16, 17, 24-26, 32-34.