



V. ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

УДК 532.538.226.1

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНИХ РІДКИХ КРИСТАЛІВШевчук Олександр Федорович, к.ф.-м.н., доцент
Вінницький національний аграрний університетA. Shevchuk, PhD, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

Проаналізовано існуючі методи вимірювання нелінійних діелектричних властивостей сегнетоелектричних рідких кристалів (СЕРК). Показано, що ці методи не дозволяють досягти достатньої точності вимірювання ϵ_3 через наявність активної складової провідності, яка зумовлена впливом власних або цілеспрямовано введених домішок. Запропоновано альтернативний метод дослідження нелінійних діелектричних властивостей СЕРК за допомогою аналізу температурної залежності провідності на змінному струмі. Відмінність даного методу вимірювання полягає у тому, що аналізується значення стрибка провідності $\Delta\sigma_{AC}$ на змінному струмі при переході від холестеричної до смектичних фаз СЕРК. Показано, що величина $\Delta\sigma_{AC}$ є однією із складових коефіцієнта, що відповідає квадратичному по полю члену поляризації.

Ключові слова: сегнетоелектричний рідкий кристал, нелінійна діелектрична спектроскопія, діелектрична проникність, стрибок провідності.

Ф. 9. Рис. 5. Літ. 13.

1. Вступ

Як відомо, рідкі кристали наразі переважно використовують при виробництві дисплеїв, оскільки основним параметром РК тривалий час вважалася саме оптична анізотропія та наявність різного типу електро- та магнітооптичних ефектів [1]. Проте рідкі кристали як середовища, що легко можуть змінювати свої властивості під дією різних полів, проявляють також і нелінійні властивості [2-4]. Найінтенсивніше нелінійні властивості рідких кристалів почали досліджуватися лише в останні 15-20 років, переважно розглядаючи РК в якості нелінійно оптичних матеріалів [2-4]. В результаті було встановлено, що за своїми параметрами деякі зразки, побудовані на основі РК, з точки зору нелінійних оптичних властивостей, наближаються до кращих зразків на твердотільних елементах, хоч і дещо поступаються їм у стабільності [2, 3].

Крім оптичної нелінійності, не менш важливою як з наукової точки зору так і в плані можливого практичного використання, є нелінійність діелектричних властивостей РК, яка найбільше проявляється у сегнетоелектричних рідких кристалах (СЕРК). Це пов'язано з тим, що у СЕРК смектична C^* фаза створюється дзеркально-асиметричними молекулами, дипольний момент яких направлений під кутом до їхньої довгої осі.

З іншого боку, як показано в ряді робіт, унікальні фізичні ефекти вдається отримати при доповненні РК контрольованими домішками [5] або наночастинками [6, 7]. Такі композитні матеріали проявляють електро- та магнітооптичні властивості, що притаманні як введеним домішці так і самій РК матриці, а отже сприяє розширенню практичних сфер їх застосування.

Але введення контрольованих домішок у рідкий кристал, змінюючи (модифікуючи) його певні фізичні властивості, може вплинути також і на можливість використання класичних методик вимірювання. Це пов'язано з тим, що введена домішка значно збільшує активну складову провідності РК, яка для чистого РК практично дорівнює нулеві. Така ситуація спостерігається, наприклад, при вимірюванні величини спонтанної поляризації P_s сегнетоелектричного рідкого кристалу (СЕРК) [8]. Можна припустити також, що аналогічна проблема виникатиме і при вимірюванні нелінійних діелектричних властивостей СЕРК доповнених різними типами домішок.

Тому *метою даної роботи* є аналіз існуючих методів нелінійної діелектричної спектроскопії СЕРК та розробка модифікованого методу, придатного для вимірювання нелінійних діелектричних властивостей СЕРК доповнених контрольованими домішками, наночастинками зокрема.

2. Виклад основного матеріалу

Нелінійні електричні (діелектричні) властивості речовин переважно описують на основі залежності індукції електричного поля D від напруженості поля E (1).



$$D = P_0 + \varepsilon_1 E + \varepsilon_2 E^2 + \varepsilon_3 E^3 + \dots \quad (1)$$

де P_0 – дипольний момент при відсутності дії зовнішнього електричного поля; ε_1 – лінійна діелектрична проникність речовини; ε_n ($n \geq 2$) – нелінійні діелектричні коефіцієнти квадратичної, кубічної і т.д. по електричному полю поляризації. Але парні гармоніки в рівнянні (1) для полярних матеріалів дорівнюють нулеві, і тому ε_3 є тим основним параметром, що й характеризує нелінійні діелектричні властивості СЕРК.

Враховуючи те, що величина нелінійної діелектричної константи третього порядку ε_3 має досить мале значення у порівнянні з лінійною частиною, чітке її вимірювання викликає певні труднощі.

У більшості випадків для знаходження ε_3 , експериментально аналізують реакцію досліджуваних зразків на дію зовнішнього електричного поля за величиною струму, що протікає через зразок. У загальному випадку густина J такого струму дорівнюватиме :

$$J(t) = \sigma E(t) + \frac{\partial D(t)}{\partial t} \quad (2)$$

де σ – питома електропровідність.

Тому для дослідження залежності $D(E)$ необхідно із загального струму виділити струм зміщення. При дії синусоїдального електричного поля, електричне зміщення містить компоненти з різними частотами і для комплексного випадку може бути записано як:

$$D(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (D'_n \cos n\omega t + D''_n \sin n\omega t) \quad (3)$$

Для кожного із значень n комплексна діелектрична проникність :

$$\varepsilon_n^* = \varepsilon'_n - i\varepsilon''_n \quad (4)$$

компоненти якої

$$\varepsilon'_n = \frac{2^{n-1} D'_n}{E_0^n}, \quad \varepsilon''_n = \frac{2^{n-1} D''_n}{E_0^n} \quad (5)$$

де ε'_n та ε''_n – відповідно дійсна та уявна компоненти нелінійної діелектричної проникності, E_0 – амплітудне значення напруженості електричного поля.

Отже, основне завдання схеми вимірювання полягає у тому, щоб значно зменшуючи амплітуду сигналу з частотою, що дорівнює частоті прикладеної до зразка напруги, виділити гармоніку з потроєною частотою. Практично така задача розв'язувалась лише при дослідженні речовин, струм провідності в яких був набагато меншим за струм зміщення (добре очищених від домішок).

У схемі, наведеній на рис. 1, виділення гармоніки з потроєною частотою реалізується за рахунок використання двох генераторів, продукуючих напругу однакової частоти, але зсунуті за фазою на 180° (це може бути один генератор, який має додатковий вихід з протифазною до основного виходу напругою). Змінюючи відношення ємностей конденсаторів C_1 та C_0 (принаймні один із них повинен бути змінним), досягають такого стану, коли на виході операційного підсилювача сигнал частотою ω буде мати амплітуду меншу, ніж амплітуда сигналу з частотою 3ω . Для аналізу сигналу частотою 3ω та виділення активної і реактивної складових використовують різні, але достатньо описані в наукових публікаціях методи. Тому на їх аналізі ми не спинятимемося.

Дещо інший підхід до вимірювання діелектричної константи третього порядку був запропонований у роботі [10]. У схемі, наведеній на рис. 2, зменшення амплітуди сигналу частотою ω здійснюється за рахунок використання трансформаторної мостової схеми. Змінюючи ємність C_S та опір R_S , досягають балансу моста на частоті ω і в колі реєстрації розбалансу моста за допомогою підсилювача з синхронним детектуванням визначають активну та реактивну складові сигналу частотою 3ω .



Діелектрична константа ε_3 далі знаходиться з полярної залежності:

$$\frac{D_3}{2} = \varepsilon_3 \left(\frac{E_0}{2} \right)^3, \quad (6)$$

де D_3 – електричне зміщення третього порядку; E_0 – амплітудне значення вимірювального сигналу.

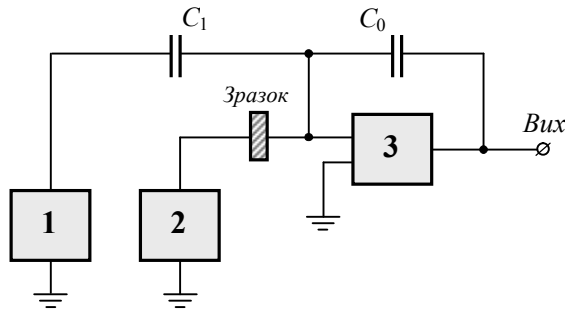


Рис. 1. Блок-схема виділення сигналу з частотою 3ω за рахунок компенсації сигналу частотою ω генератором з протифазною частотою [9]:

1 – генератор; 2 – генератор з зсувом фази на 180° ; 3 – операційний підсилювач

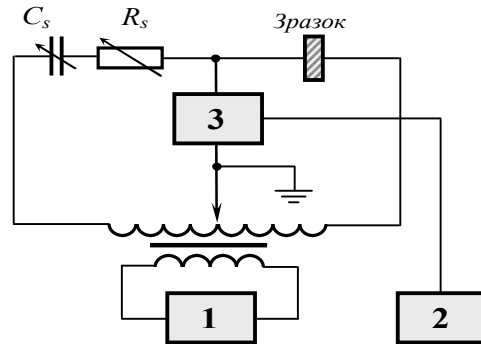


Рис. 2. Блок-схема виділення сигналу з частотою 3ω за рахунок компенсації сигналу частотою ω мостовим методом [10]:

1 – генератор (ω); 2 – генератор (3ω); 3 – підсилювач із синхронним детектуванням (Lock-in Amp)

З недоліків цієї схеми можна відзначити те, що вона дозволяє проводити лише вимірювання температурних залежностей ε_3 . Вимірювання частотних спектрів ε_3 є досить складним, через виділення потроєної частоти до основного генератора.

Також наші попередні дослідження нелінійних діелектричних властивостей СЕРК з домішками барвників та фулеренів на основі вищенаведених схем (рис. 1, 2) показали, що в межах похибки вимірювання, досить важко виділити сигнал з частотою 3ω [10]. Причиною цього є значне зростання провідності при введенні домішок, внаслідок чого (як це впливає із співвідношення (2)) зменшується внесок у загальний струм компоненти, яка зумовлена нелінійними діелектричними властивостями [11].

Інший метод дослідження нелінійних діелектричних властивостей СЕРК базується на основі аналізу зміни діелектричної проникності під дією електричного поля (нелінійний діелектричний ефект). Схема для вимірювання $\Delta\varepsilon(\omega)$, яку було наведено в одній із перших робіт по дослідженню нелінійного діелектричного ефекту [11], зображена на рис. 3.

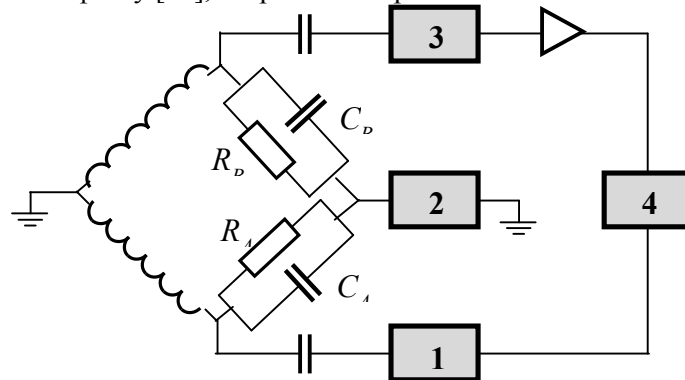


Рис. 3. Блок-схема пристрою для вимірювання нелінійної діелектричної константи $\Delta\varepsilon(\omega)$, 1 – низьковольтний і високочастотний генератор; 2 – високовольтний низькочастотний генератор; 3 – демодулятор; 4 – осцилоскоп



Досліджувана речовина заповнюється у спеціальну комірку, яку можна зобразити як два послідовно з'єднані конденсатори C_A та C_B з однаковими геометричними параметрами. Наявність у колі індуктивності призводить до того, що при певній частоті напруги, яка подається за допомогою низьковольтного і високочастотного генератора, спостерігається резонанс. При дії додаткового (до вимірювального) електричного поля за допомогою високовольтного низькочастотного генератора на ємність C_B частота резонансу змінюється (за рахунок зміни діелектричної проникності рідини і таким чином ємності конденсатора C_B). Як впливає із простих аналітичних розрахунків:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = k_r \frac{\Delta f_r}{f_r}, \quad (7)$$

де k_r – коефіцієнт пропорційності. Оскільки $\Delta f_r \approx 10^{-6} f_r$, то виміри $\Delta \varepsilon(\omega)$ проводять при високих частотах (більших за 100 кГц). Але навіть при цьому, самі зміни Δf_r малі, що дозволяє використовувати для аналізу зсуву резонансної частоти самописці.

З теорії коливань відомо, що частоту резонансу можна точно визначити тільки за умови високої добротності коливального контуру, яка для випадку вимірювання діелектричних властивостей буде сильно залежати від провідності рідини.

Отже, дана методика вимірювання виявилася також досить чутливою до наявності домішок у рідкому кристалі.

Подібний метод нелінійного діелектричного резонансу описаний у роботі [12] та наведений на рис. 4.

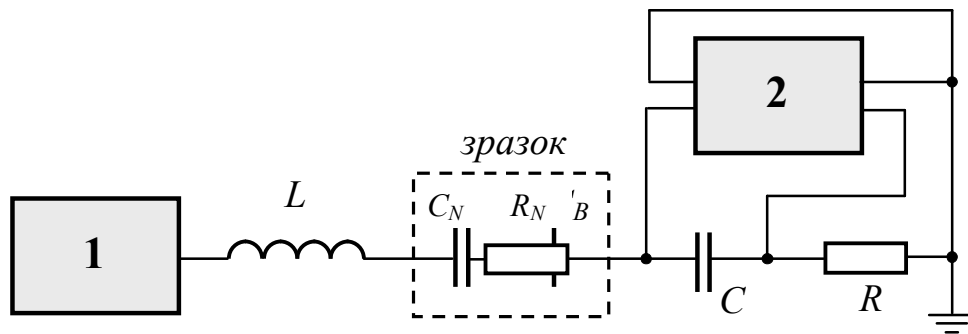


Рис. 4. Блок-схема методу нелінійного діелектричного резонансу [12],
1 – генератор; 2 – осцилоскоп

Зразок у даній схемі відіграє роль нелінійної ємності C_N . Для забезпечення резонансу, до зразка послідовно підключали індуктивність L . Величину індуктивності вибирали таким чином, щоб частота резонансу збігалася з частотою голдстоунівської моди (при таких частотах максимально проявляються нелінійні діелектричні властивості). Послідовно до зразка також приєднувались ємність C та опір R . Для того, щоб дані елементи не впливали на струм, що проходить через зразок, їхні параметри підбирали таким чином, щоб виконувалась умова $C_N^{-1} \gg C^{-1} \gg R$. За допомогою осцилоскопа аналізували залежність напруги, яка виділялась на опорі U_R від напруги, яка виділялась на ємності U_C . Оскільки величина U_R пропорційна струму (відповідно до співвідношення (2) пропорційна dD/dt), а величина U_C пропорційна заряду (ємність виступає в ролі інтегратора), то залежність $U_R(U_C)$ фактично відповідає залежності $dD/dt(D)$.

Але за допомогою наведеної на рис. 4 схеми, переважно отримують динамічні характеристики, на основі яких лише якісно можна говорити про нелінійні діелектричні характеристики речовини.

Отже, цей аналіз показує, що розроблені науковцями методики дослідження нелінійних діелектричних властивостей СЕРК можуть бути застосовані лише у випадку “чистих” та добре очищених від сторонніх домішок РК і навпаки є непридатними для використання на композитних матеріалах. Іншими словами, ці методики не дають можливості дослідити та проаналізувати вплив різного типу домішок, наночастинок зокрема, на нелінійні діелектричні властивості СЕРК.

Тому нами було розроблено та реалізовано модифікований метод дослідження нелінійних діелектричних властивостей за допомогою аналізу температурної залежності провідності на змінному струмі σ_{AC} .



В роботі [13] експериментально було показано, що при переході від холестеричної до смектичних фаз відбувається різке збільшення провідності при змінному струмі σ_{AC} , в той час, як провідність при сталому струмі зменшувалась. Такий ефект зумовлений нелінійними сегнето-електричними властивостями смектичних фаз РК, бо саме в смектичних фазах підключається додатковий канал перенесення заряду внаслідок коливання диполів молекул (струм зміщення). Отже, зміна провідності $\Delta\sigma_{AC}$ при переході від холестеричної до смектичних фаз є тим основним параметром, який характеризує нелінійні властивості зразка.

Для вимірювання провідності σ_{AC} запропоновано використовувати осцилоскопічний метод, блок-схема якого наведена на рис. 5. Даний метод дозволяє вимірювати частотні залежності опору та ємності зразка у досить широкому діапазоні частот. Для знаходження самої величини провідності, проводиться аналіз частотної залежності опору, враховуючи, що при відсутності нерівномірного розподілу електричного поля (наприклад, завдяки впливу приелектродних процесів) опір рідини від частоти не залежить. Отже, величина ε'' повинна лінійно зменшуватись при зростанні частоти f . Як показали наші дослідження, такі ділянки прямолінійної залежності спостерігаються на всіх отриманих частотних залежностях ε'' . Сама величина провідності σ_{AC} на такій ділянці частот знаходиться на основі співвідношення:

$$\sigma_{AC} = \varepsilon_0 \omega \varepsilon'' . \quad (8)$$

Враховуючи те, що при вимірюванні використовуються сигнал трикутної форми, нами теоретично був отриманий вираз для знаходження величини поляризації від напруженості:

$$P(t) = \varepsilon_0 (\varepsilon' - 1) E(t) + \frac{\Delta\sigma_{AC} d}{4U_0 f} E^2(t) . \quad (9)$$

Отже, при лінійній залежності напруги вимірювального сигналу від часу, стрибок провідності на змінному струмі при переході від холестеричної до смектичних фаз входить як один із складових елементів коефіцієнта, що відповідає квадратичному по полю члену поляризації. Оскільки всі решта параметрів (товщина рідкого кристалу, напруга вимірювального сигналу та частота) характеризують або геометричні розміри зразка, або характеристики вимірювального сигналу, то саме величина $\Delta\sigma_{AC}$ є тим основним параметром, який характеризує нелінійний діелектричний ефект сегнетоелектричної фази РК.

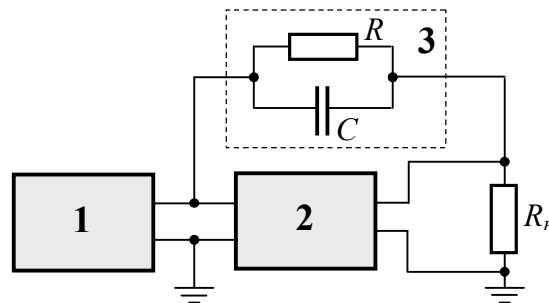


Рис. 5. Блок-схема осцилоскопічного методу вимірювання ємності C та опору R в діапазоні частот $10^{-2} - 10^6$ Гц : 1 – генератор Г6-34; 2 – осцилограф С1-83; 3 – зразок

Зазначимо також, що наведена вище методика була практично реалізована та використана нами в роботах [5-7] для дослідження впливу сильно-, слабодисоціюючих домішок та наночастинок на нелінійні діелектричні властивості СЕРК.

3. Висновки

На основі аналізу опублікованих даних та власних досліджень автора показано, що існуючі методи не дозволяють з достатньою точністю визначити компоненти нелінійної діелектричної проникності ε_3 у випадках, коли суттєвий внесок у електричний струм дає провідність, зумовлена наявністю різного типу домішок. Це стосується як методів компенсації сигналу з частотою ω так і методів дослідження нелінійного діелектричного ефекту.



Запропоновано модифікований метод вимірювання нелінійних діелектричних властивостей СЕРК, який відрізняється від інших методів тим, що аналізується значення стрибка провідності $\Delta\sigma_{AC}$ на змінному струмі при переході від холестеричної до смектичних фаз СЕРК. На основі математичного аналізу доведено, що величина $\Delta\sigma_{AC}$ входить як одна із складових в коефіцієнт, що відповідає квадратичному по полю члену поляризації.

Список використаних джерел

1. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Л.М. Блинов // М.: "Наука", 1978. – 384 с.
2. Wiederrecht G.P. Photorefractive liquid crystals // Annu. Rev. Mater. Res. – 2001. – V. 31. – P.139-169.
3. Bunning T.J. Holographic polymer-dispersed liquid crystals (H-PDLCs) / T.J. Bunning, L.V. Natarajan, V.P. Tondigila, R.L. Shutterl // Annu. Rev. Mater. Res. – 2000. – V. 30. – P. 83-115.
4. Miniewicz A. Studies of Photorefractive Properties of a Novel Dye-doped Nematic Liquid Crystal System / A. Miniewicz, K. Komorowska, O.V. Koval'chuk, J. Vanchanen, J. Sworakowski, M.V. Kurik // Adv. Mater. Opt. Elektron. – 2000. – V.10. – № 2. – P.55-67.
5. Koval'chuk A.V. Low-frequency dielectric spectroscopy of ferroelectric liquid crystals: near-electrode and bulk processes / A.V. Koval'chuk, A.F. Shevchuk, D.A. Naiko, M.N. Pivnenko // Functional Materials. – 2003. – V. 10. – № 3. – P. 412 – 418.
6. Ковальчук О.В. Про один підхід до блокування голдстоунівської моди сегнетоелектричного рідкого кристалу / О.В. Ковальчук, О.Ф. Шевчук // Журнал нано- та електронної фізики. – 2014. – № 1. – Том 6. – 01027 (5cc).
7. Shevchuk A.F. Photoconductivity and dielectric properties of $(C_{60} + C_{70})$ – ferroelectric liquid crystal composite / A.F. Shevchuk, D.A. Naiko, A.V. Koval'chuk, E.V. Basiuk (Golovataya-Dzhymbeeva) // Ukr. J. Phys. – 2004. – V. 49. – № 12A. – P. A21 – A25.
8. Ковальчук О.В. Модифікований метод вимірювання величини спонтанної поляризації сегнетоелектричних рідких кристалів / О.В. Ковальчук, О.Ф. Шевчук // Журнал нано- та електронної фізики. – 2017. – № 4. – Том 9. – 04015 (5cc).
9. Orihara H. Nonlinear dielectric spectroscopy of the goldstone mode in a ferroelectric liquid crystal / H. Orihara, A. Fukase, Y. Ishibashi // J. Phys. Soc. Jpn., – 1995. – V.64 (3), P. 976-980.
10. Ishibashi Y. Nonlinear dielectric spectroscopy / Y. Ishibashi // J. Kor. Phys. Soc. – 1998. – V.32. – P. S407-S410.
11. Kedziora P. Dynamics of the nonlinear dielectric properties of a nematogenic compound dissolved in a nonpolar medium / P. Kedziora, J. Jazdyn, L. Hellemans // Phys. Rev. E, – 2002. – V. 66. – 021709.
12. Diestelhorst M. What can we learn about ferroelectrics using methods of nonlinear dynamics? / M. Diestelhorst // Cond. Matt. Phys. – 2003. – V.6. – № 2. – P.189-196.
13. Ковальчук О.В. "Аномальна" високочастотна провідність рідких кристалів в смектичних фазах / О.В. Ковальчук, М.М. Півненко // УФЖ. – 2002. – Т. 47, – № 2. – С.154-159.

References

1. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Л.М. Блинов // М.: "Наука", 1978. – 384 с.
2. Wiederrecht G.P. Photorefractive liquid crystals // Annu. Rev. Mater. Res. – 2001. – V. 31. – P.139-169.
3. Bunning T.J. Holographic polymer-dispersed liquid crystals (H-PDLCs) / T.J. Bunning, L.V. Natarajan, V.P. Tondigila, R.L. Shutterl // Annu. Rev. Mater. Res. – 2000. – V. 30. – P. 83-115.
4. Miniewicz A. Studies of Photorefractive Properties of a Novel Dye-doped Nematic Liquid Crystal System / A. Miniewicz, K. Komorowska, O.V. Koval'chuk, J. Vanchanen, J. Sworakowski, M.V. Kurik // Adv. Mater. Opt. Elektron. – 2000. – V.10. – № 2. – P.55-67.
5. Koval'chuk A.V. Low-frequency dielectric spectroscopy of ferroelectric liquid crystals: near-electrode and bulk processes / A.V. Koval'chuk, A.F. Shevchuk, D.A. Naiko, M.N. Pivnenko // Functional Materials. – 2003. – V. 10. – № 3. – P. 412 – 418.
6. Ковальчук О.В. Про один підхід до блокування голдстоунівської моди сегнетоелектричного рідкого кристалу / О.В. Ковальчук, О.Ф. Шевчук // Журнал нано- та електронної фізики. – 2014. – № 1. – Том 6. – 01027 (5cc).
7. Shevchuk A.F. Photoconductivity and dielectric properties of $(C_{60} + C_{70})$ – ferroelectric liquid crystal composite / A.F. Shevchuk, D.A. Naiko, A.V. Koval'chuk, E.V. Basiuk (Golovataya-Dzhymbeeva) // Ukr. J. Phys. – 2004. – V. 49. – № 12A. – P. A21 – A25.



8. Ковальчук О.В. Модифікований метод вимірювання величини спонтанної поляризації сегнетоелектричних рідких кристалів / О.В. Ковальчук, О.Ф. Шевчук // Журнал нано- та електронної фізики. – 2017. – № 4. – Том 9. – 04015 (5cc).
9. Orihara H. Nonlinear dielectric spectroscopy of the goldstone mode in a ferroelectric liquid crystal / H. Orihara, A. Fukase, Y. Ishibashi // J. Phys. Soc. Jpn., – 1995. – V.64 (3), P. 976-980.
10. Ishibashi Y. Nonlinear dielectric spectroscopy / Y. Ishibashi // J. Kor. Phys. Soc. – 1998. – V.32. – P. S407-S410.
11. Kedziora P. Dynamics of the nonlinear dielectric properties of a nematogenic compound dissolved in a nonpolar medium / P. Kedziora, J. Jazdyn, L. Hellemans // Phys. Rev. E, – 2002. – V. 66. – 021709.
12. Diestelhorst M. What can we learn about ferroelectrics using methods of nonlinear dynamics? / M. Diestelhorst // Cond. Matt. Phys. – 2003. – V.6. – № 2. – P.189-196.
13. Ковальчук О.В. "Аномальна" високочастотна провідність рідких кристалів в смектичних фазах / О.В. Ковальчук, М.М. Півненко // УФЖ. – 2002. – Т. 47, – № 2. – С.154-159.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Проанализированы существующие методы измерения нелинейных диэлектрических свойств сегнетоэлектрических жидких кристаллов (СЖК). Показано, что данные методы не позволяют достичь достаточной точности измерения ε_3 , из-за имеющейся активной составляющей проводимости обусловленной влиянием собственных или целенаправленно введенных примесей. Предложен альтернативный метод исследования нелинейных диэлектрических свойств СЖК с помощью анализа температурной зависимости проводимости на переменном токе. Отличием данного метода измерения является то, что анализируется значение скачка проводимости $\Delta\sigma_{AC}$ при переходе от холестерической к смектической фазе СЖК. Показано, что величина $\Delta\sigma_{AC}$ есть одной из составляющих коэффициента, соответствующему квадратичному по полю члену поляризации.

Ключевые слова: сегнетоэлектрических жидкий кристалл, нелинейная диэлектрическая спектроскопия, диэлектрическая проницаемость, скачок проводимости.

Ф. 9. Рис. 5. Лит. 13.

METHODS OF NONLINEAR DIELECTRIC PROPERTIES MEASUREMENT OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS

The existing methods of nonlinear dielectric properties measuring of ferroelectric liquid crystals (FLC) are analyzed. It is shown that the given methods do not allow to conduct ε_3 measurements of sufficient accuracy due to the existing active component of conductivity which is caused by the influence of own or purposefully introduced impurities. An alternative method for investigating the nonlinear dielectric properties of FLC with the help of analysis of the temperature dependence of conductivity on alternating current is proposed. The difference of this method of measurement from other methods is that the value of the jump of $\Delta\sigma_{AC}$ conductivity on the alternating current in the transition from the cholesteric to the smectic phases of the FLC is analyzed. It is shown that $\Delta\sigma_{AC}$ is included as one of the constituent elements of the coefficient corresponding to the quadratic field of the polarization term.

Key words: ferroelectric liquid crystal, nonlinear dielectric spectroscopy, permittivity, conduction jump.

F. 9. Fig. 5. Ref. 13.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Шевчук Олександр Федорович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри «Математики, фізики та комп'ютерних технологій» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: shevchuk177@gmail.com).

Шевчук Александр Федорович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математики, физики и компьютерных технологий» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: shevchuk177@gmail.com).

Shevchuk Aleksandr Fedorovich – candidate of physical and mathematical sciences, associate professor of the department "Mathematics, physics and computer technologies" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyschaya St., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: shevchuk177@gmail.com).