



Sciences of Europe

VOL 1, No 50 (2020)

Sciences of Europe
(Praha, Czech Republic)

ISSN 3162-2364

The journal is registered and published in Czech Republic.
Articles in all spheres of sciences are published in the journal.

Journal is published in Czech, English, Polish, Russian, Chinese, German and French.

Articles are accepted each month.

Frequency: 12 issues per year.

Format - A4

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

All manuscripts are peer reviewed by experts in the respective field. Authors of the manuscripts bear responsibility for their content, credibility and reliability.

Editorial board doesn't expect the manuscripts' authors to always agree with its opinion.

Chief editor: Petr Bohacek

Managing editor: Michal Hudecek

- Jiří Pospíšil (Organic and Medicinal Chemistry) Zentiva
- Jaroslav Fährnich (Organic Chemistry) Institute of Organic Chemistry and Biochemistry Academy of Sciences of the Czech Republic
- Smirnova Oksana K., Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Department of History (Moscow, Russia);
- Rasa Boháček – Ph.D. člen Česká zemědělská univerzita v Praze
- Naumov Jaroslav S., MD, Ph.D., assistant professor of history of medicine and the social sciences and humanities. (Kiev, Ukraine)
- Viktor Pour – Ph.D. člen Univerzita Pardubice
- Petrenko Svyatoslav, PhD in geography, lecturer in social and economic geography. (Kharkov, Ukraine)
- Karel Schwaninger – Ph.D. člen Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
- Kozachenko Artem Leonidovich, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Department of History (Moscow, Russia);
- Václav Pittner -Ph.D. člen Technická univerzita v Liberci
- Dudnik Oleg Arturovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Physical and Mathematical management methods. (Chernivtsi, Ukraine)
- Konovalov Artem Nikolaevich, Doctor of Psychology, Professor, Chair of General Psychology and Pedagogy. (Minsk, Belarus)

«Sciences of Europe» -

Editorial office: Křižíkova 384/101 Karlín, 186 00 Praha

E-mail: info@european-science.org

Web: www.european-science.org

CONTENT

AGRICULTURAL SCIENCES

Kolisnyk O.

YIELD OF BEAN SEEDS DEPENDING ON THE APPROVAL AND APPLICATION OF SEED INOCULATION IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE 3

Fedorchuk S., Zuravel S.,

Klymenko T., Trembitska O., Polishchuk V.
FUNGICIDE ACTIVITY OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL ORIGINS AGAINST *PHYTOPHTORA INFESTANS* AND *ALTERNARIA SOLANI* POTATOES14

PHYSICS AND MATHEMATICS

Kozhamkulov B., Bitibayeva Zh.,

Primkulova Zh., Kuatbayeva D.,

Jumadillayeva A.

STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES IRRADIATED AT LOW AND HIGH TEMPERATURES18

Shevchuk O.

NONLINEAR DIELECTRIC EFFECT OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS.....39

Yurov V., Makhanov K.

THICKNESS OF THE SURFACE LAYER OF METAL GLASSES.....46

Rysin A., Nikiforov I.,

Boikachev V., Hlebnikov A.

ERRORS OF THE WAVE PROBABILISTIC APPROACH IN QUANTUM MECHANICS. EVIDENCE OF PRACTICAL AND LOGICAL CONFIRMATION OF THE THEORY OF THE UNIVERSE 24

TECHNICAL SCIENCES

Khlevna I., Mochalova D.

PREDICTION OF ATHEROSCLEROSIS DISEASE WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK53

Kunanbaeva Y., Usenkulov J., Bakhtybai A.

EVALUATION OF THE CARRYING ABILITY OF FOUNDATIONS IN SHOCKED PITCHES BY DYNAMIC PARAMETERS 58

Kukunin S.

DEVELOPMENT OF THE MULTIVARIATE SEARCH SYSTEM FOR THE SOFTWARE AND HARDWARE PLATFORM OF THE CLOUD SERVICE.....61

Semenov S., Poltavskiy A., Rusyaeva E.

INFORMATIZATION OF INTELLIGENT SYSTEMS: TOWARDS THE DEFINITION AND ANALYSIS OF THE VALUE FUNCTION65

Шевчук О.Ф.

кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри математики, фізики та комп'ютерних технологій,
Вінницький національний аграрний університет, Україна

NONLINEAR DIELECTRIC EFFECT OF FERROELECTRIC LIQUID CRYSTALS

Shevchuk O.

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Computer Technologies
Vinnytsia National Agrarian University, Ukraine

АНОТАЦІЯ

У статті проаналізовано та систематизовано результати експериментальних досліджень нелінійного діелектричного ефекту (НДЕ) сегнетоелектричних рідких кристалів (СЕРК). Наводяться частотні спектри а також температурні залежності дійсної та уявної частини нелінійної діелектричної проникності третього порядку. Подано основні схеми вимірювання нелінійного діелектричного ефекту.

ABSTRACT

The results of experimental studies of nonlinear dielectric effect (NDE) of ferroelectric liquid crystals (FLC) are analyzed and systematized in the article. Frequency spectra and temperature dependences of the real and imaginary part of the third order nonlinear inductivity are given. The basic schemes of nonlinear dielectric effect measurement are presented.

Ключові слова: нелінійний діелектричний ефект, сегнетоелектричний рідкий кристал, нелінійна діелектрична проникність, діаграма Коул-Кола.

Keywords: nonlinear dielectric effect, ferroelectric liquid crystal, nonlinear dielectric constant, Cole-Cole diagram.

Вступ. З моменту свого відкриття сегнетоелектричні рідкі кристали (СЕРК) привернули значну увагу науковців як з фундаментальної, так і з технологічної точки зору. СЕРК, маючи мікросекундні часи електрооптичного відгуку, бістабільність та широкий кут огляду, є досить перспективними матеріалами для практичних застосувань. Це пов'язано з тим, що смектична C^* фаза СЕРК створюється дзеркально-асиметричними (хіральними) молекулами дипольний момент яких направлений під кутом до їхньої довгої осі. Завдяки хіральності молекул утворюється спіральна-шарова структура, а вектор спонтанної поляризації лежить у площині шару і є перпендикулярним до директора. А отже, як наслідок, саме у таких рідких кристалах (РК) найбільше проявляється нелінійність діелектричних властивостей. Експериментальне вивчення НДЕ є перспективним науковим напрямком, оскільки результати таких досліджень можуть стати новим інструментом структурного аналізу а також сприятимуть розширенню кола можливих практичних застосувань СЕРК.

Тому, метою даної роботи є комплексний аналіз та систематизація результатів експериментальних досліджень нелінійного діелектричного ефекту сегнетоелектричних рідких кристалів.

Виклад основного матеріалу. Загальний термін “нелінійний діелектричний ефект” має місце при будь-якому відхиленні від лінійної кореляції між поляризацією P та зовнішнім електричним полем E . В такому випадку нелінійні діелектричні властивості речовин можна описати на основі залежності індукції електричного поля D від напруженості поля E :

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

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 поляричних матеріалів, в тому числі СЕРК, дорівнюють нулеві, і тому ε_3 є тим основним параметром, що і характеризує нелінійні діелектричні властивості РК.

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.

Як правило, основне завдання, розроблених дослідниками, схем вимірювання полягає в тому, щоб значно зменшуючи амплітуду сигналу з частотою, рівною частоті прикладеної до зразка напруги, виділити гармоніку з потроєною частотою. Практично така задача вирішувалась лише при дослідженні речовин, струм провідності в яких був набагато менше струму зміщення (добре очищених від сторонніх домішок).

Для загального ознайомлення, на рис. 1-4 представлено основні схеми вимірювання нелінійного діелектричного ефекту СЕРК, а більш детальний опис та специфічні особливості їхньої роботи розглянуто у статті [16].

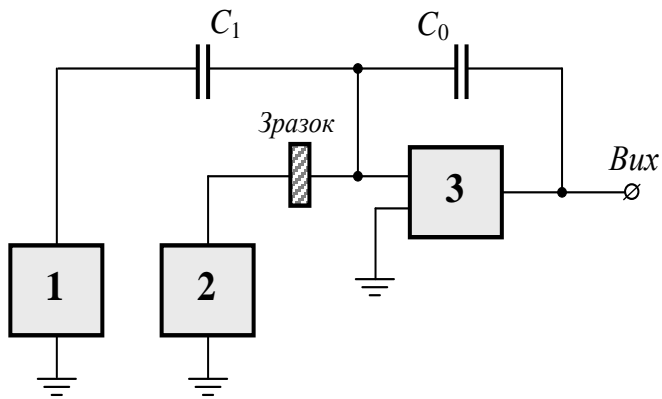


Рис. 1. Блок-схема виділення сигналу з частотою 3ω за рахунок компенсації сигналу частотою ω генератором з протифазною частотою

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

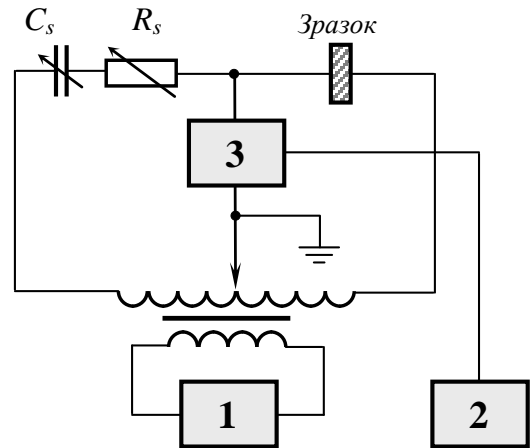


Рис. 2. Блок-схема виділення сигналу з частотою 3ω за рахунок компенсації сигналу частотою ω мостовим методом

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

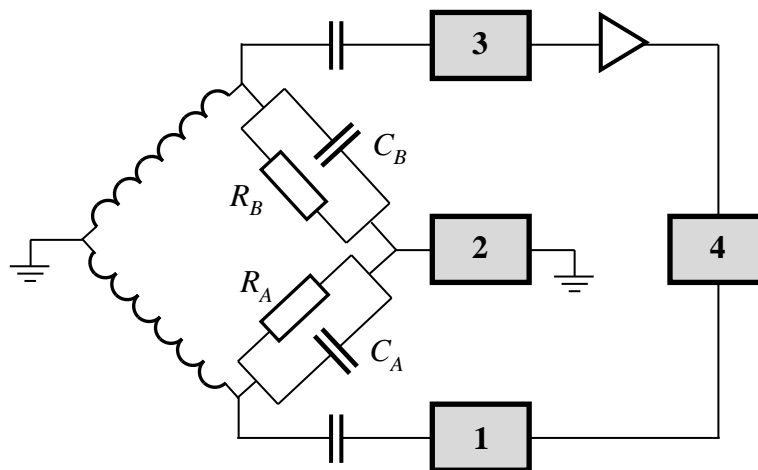


Рис. 3. Блок-схема пристрою для вимірювання нелінійної діелектричної константи $\Delta\varepsilon(\omega)$,
1 – низьковольтний і високочастотний генератор; 2 – високовольтний низькочастотний генератор;
3 – демодулятор; 4 – осцилоскоп

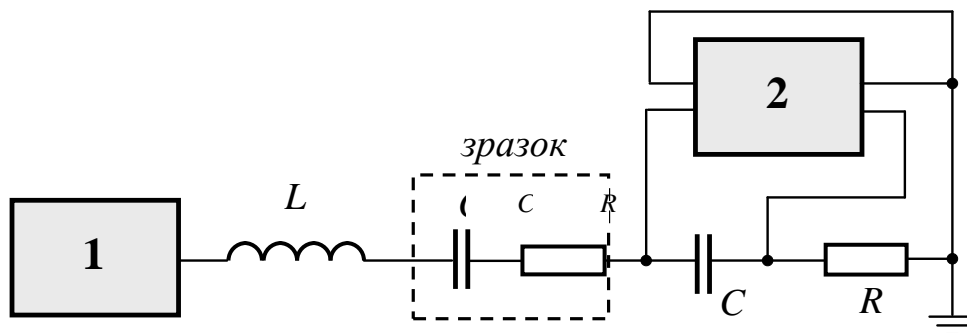


Рис. 4. Блок-схема методу нелінійного діелектричного резонансу
1 – генератор; 2 – осцилоскоп

Експериментальні результати та їхня інтерпретація. Нелінійна діелектрична спектроскопія сегнетоелектричного рідкого кристалу в SmC* фазі

була виконана в роботі [3] для експериментального підтвердження формули (2) отриманою Оріхарою та Ішибаші [2]:

$$\epsilon_3^G = -\frac{1}{\eta_0^2(k k_0^2)^3} \left(\frac{C}{2}\right)^4 \left[\frac{3}{(1+3i\omega\tau_G)(1+i\omega\tau_G)^2} + \frac{1}{(1+i\omega\tau_G)^3} - \frac{1}{(1+3i\omega\tau_G)(2+i\omega\tau_G)(1+i\omega\tau_G)} - \frac{1}{(2+i\omega\tau_G)(1+i\omega\tau_G)^2} \right], \quad (2)$$

де $\tau_G = \frac{\gamma}{k k_0^2}$ – час лінійної релаксації.

Вимірювання проводились в комплексі з лінійною діелектричною спектроскопією. На рис. 5 та рис. 6 показано відповідно частотні залежності дійсної та уявної частини лінійної діелектричної

проникності та діаграма Коул-Кола. Суцільними лініями на графіках накреслені теоретичні криві, що отримані підгонкою рівняння Дебая

$$\epsilon_{1,0} = \frac{C^2}{2k k_0^2} \frac{1}{1+i\omega\tau} + \epsilon_\infty, \quad (3)$$

в якому нехтується вклад м'якої моди. Діаграма Коул-Кола отримана з рівняння (3), де для

кращої відповідності експериментальним даним підставлено $(i\omega\tau)^\beta$ замість $i\omega\tau$.

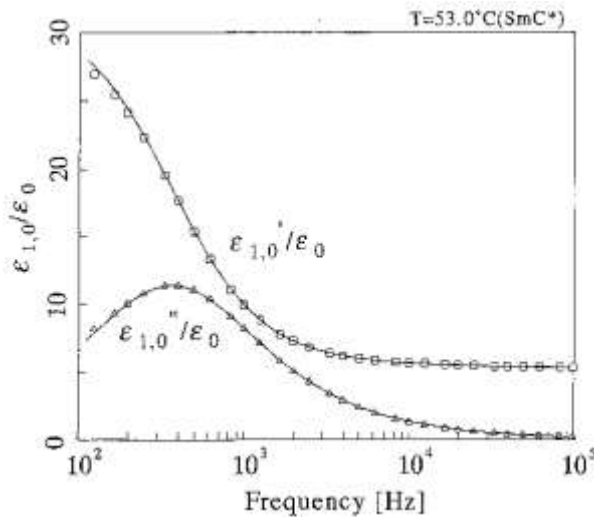


Рис. 5. Дисперсія лінійної діелектричної проникності в SmC* фазі при $t = 53,0 \text{ C}^\circ$

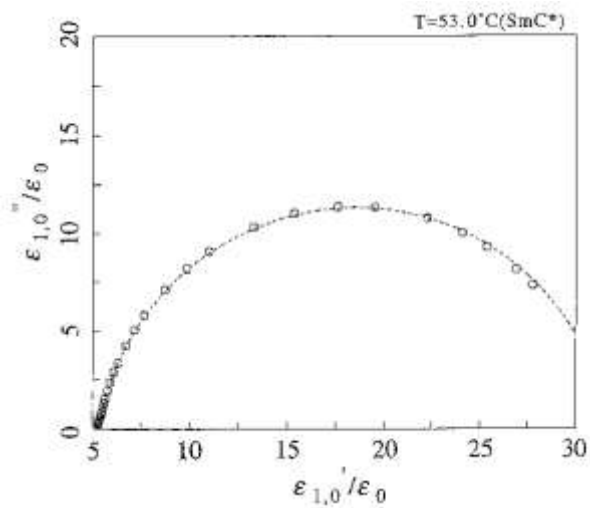


Рис. 6. Діаграма Коул-Кола лінійної діелектричної проникності в SmC* фазі при $t = 53,0 \text{ C}^\circ$

Частотні залежності дійсної та уявної частини нелінійної діелектричної проникності третього порядку (зауважимо, що $\epsilon_{3,0} = \epsilon'_{3,0} + i\epsilon''_{3,0}$) та діаграма Коул-Кола представлені на рис. 7 та рис. 8 відповідно. Суцільною лінією накреслено теоретичну криву, розраховану за рівнянням (2). Тут так

само, як і у випадку лінійної діелектричної проникності для кращої відповідності експериментальним даним підставлено $(i\omega\tau)^\beta$ замість $i\omega\tau$. З наведених результатів видно, що рівняння (2) знаходиться в гарній згоді з експериментальними даними.

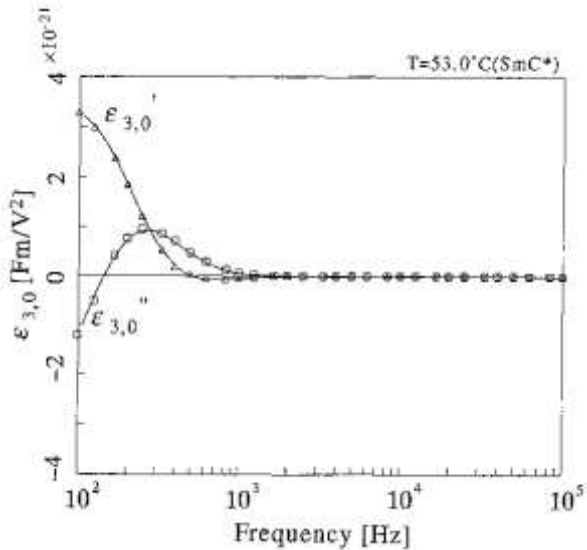


Рис. 7. Дисперсія нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmC* фазі при $t = 53,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

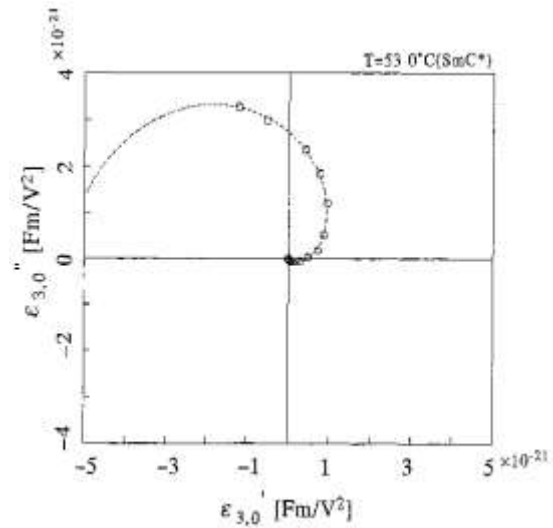


Рис. 8. Діаграма Коул-Кола нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmC* фазі при $t = 53,0 \text{ } ^\circ\text{C}$

З наведених даних також можна зробити досить важливий висновок: якщо сама частотна залежність ϵ_3' та ϵ_3'' за формою кривих мало відрізняється від частотної залежності ϵ' та ϵ'' , то діаграми Коул-Коула відрізняються суттєво. Як правило, у випадку частотних залежностей ϵ' та ϵ'' діаграми Коул-Коула переважно мають вигляд півкола, дуги або деформованої дуги (це підтверджується також експериментальними даними для частотних залежностей ϵ' та ϵ'' , отриманими у ро-

боті [3]). Діаграма ж Коул-Коула для частотних залежностей ϵ_3' та ϵ_3'' має вигляд спіралі, що само собою є досить важливим експериментальним результатом.

Відповідно теорії Оріхари та Ішибаши [2], час релаксації третього порядку в рівнянні (2) повинен бути таким самим як і час релаксації лінійної реакції в рівнянні (3). Це досить гарно підтверджується з температурних залежностей релаксаційних частот представлених на рис. 9.

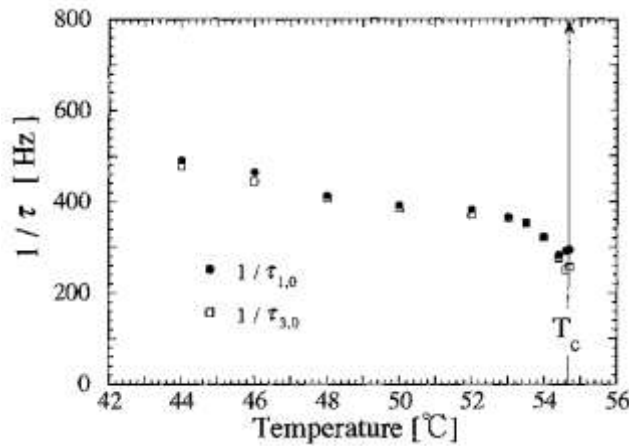


Рис. 9. Температурні залежності релаксаційних частот $1/\tau_{1,0}$ та $1/\tau_{3,0}$, отриманих для $\epsilon_{1,0}$ та $\epsilon_{3,0}$, відповідно

Для антисегнетоелектричного рідкого кристалу в SmC_A* фазі, дослідженого у роботі [4], дисперсія ϵ' та ϵ'' , яка б відповідала антисегнетоелек-

тричній голдстоунівській моді, на відміну від експериментальних даних отриманих у [3], не спостерігалась. Це видно з аналізу частотних залежностей представлених на рис. 10. Тут низькочастотна дисперсія з'являється лише завдяки іонній провідності.

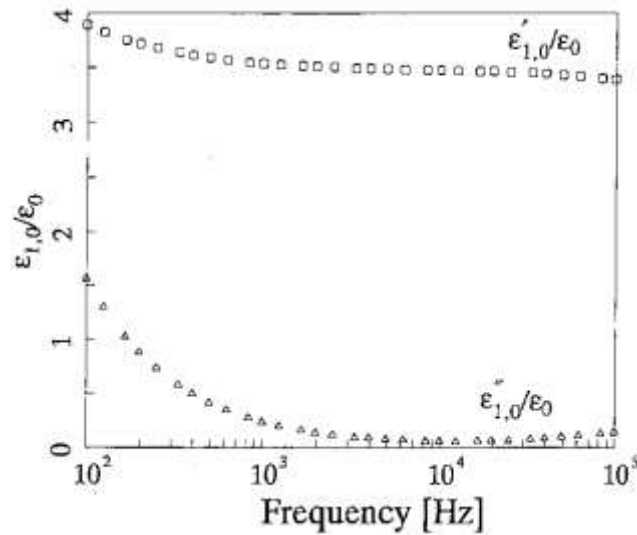


Рис. 10. Дисперсія лінійної діелектричної проникності в антисегнетоелектричній фазі при $t = 105 \text{ C}^\circ$

Для нелінійної діелектричної проникності $\epsilon_{3,0}$ характеристичні криві, що отримані в SmC_A^* фазі представлені на рис. 11 та рис. 12. Суцільними лініями показані теоретичні криві, отримані за допомогою рівняння: де замість $i2\omega\tau$

було підставлено $(i2\omega\tau)^\beta$. Хоч в даному досліді β практично дорівнювало 1. Як видно з рисунків, отримані теоретичні криві досить гарно відповідають експериментальним даним

$$\epsilon_{3,0}(\omega) = \frac{\xi_0^2}{4} \left(\epsilon'_a + \gamma_2 (\lambda_f \chi_f)^2 \chi_{fs}(\omega) \chi_{fs}(3\omega) \right) \left(\epsilon'_a + \gamma_2 (\lambda_f \chi_f)^2 \chi_{fs}(\omega)^2 \right) \chi_{aG}(2q, 2\omega), \quad (26)$$

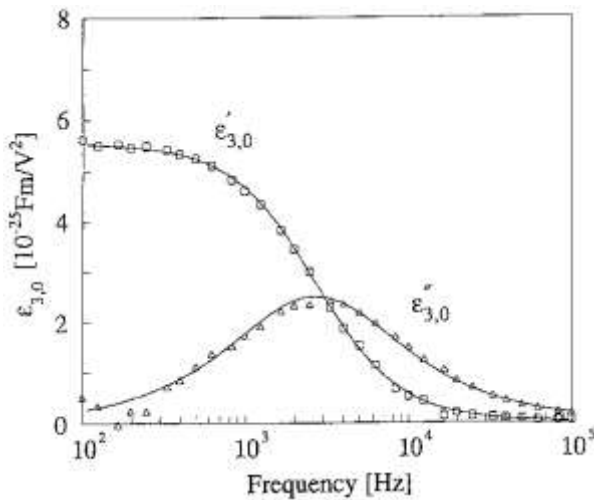


Рис. 11. Дисперсія нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmC_A^* фазі при $t = 105 \text{ C}^\circ$

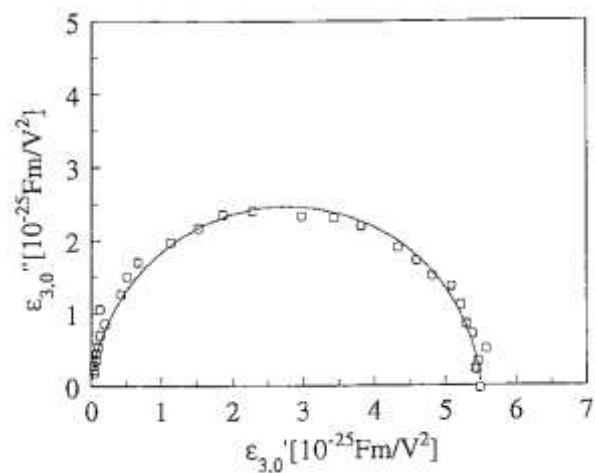


Рис. 12. Діаграма Коул-Кола нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmC_A^* фазі при $t = 105 \text{ C}^\circ$

Слід звернути увагу на те, що функціональний вигляд діаграм Коул-Кола нелінійної діелектричної проникності для СЕРК та анти-СЕРК (рис. 8 та рис. 12) різний. В першому випадку ми маємо спіраль, а в другому – півколо. Така відмінність пояснюється тим, що для антисегнетоелектричних мод діелектрична проникність третього порядку пропорційна лінійній чутливості по електричному полю, а для

сегнетоелектричних мод вона пропорційна чутливості третього порядку E_0^3 .

Нелінійна діелектрична спектроскопія сегнетоелектричного та антисегнетоелектричного рідкого кристалу була виконана також і в роботах [11, 13].

Частотні спектри дійсної та уявної частин комплексної нелінійної діелектричної проникності в

SmC^* фазі, на відміну від результатів (рис. 7.) отриманих в [3], були виміряні в досить широкому діапазоні (рис. 13).

Завдяки розширенню частотного діапазону експериментально було показано, що досить великі значення ϵ_3' та ϵ_3'' спостерігаються в області низьких частот. Такий експериментально отриманий ефект може бути зумовлений впливом приелектродних процесів на переорієнтацію молекул СЕРК і, як наслідок, на релаксаційні процеси.

Ще одна відмінність полягала в тому, що експериментальні данні були проаналізовані за допомогою формули Накади [1] з певною модифікацією:

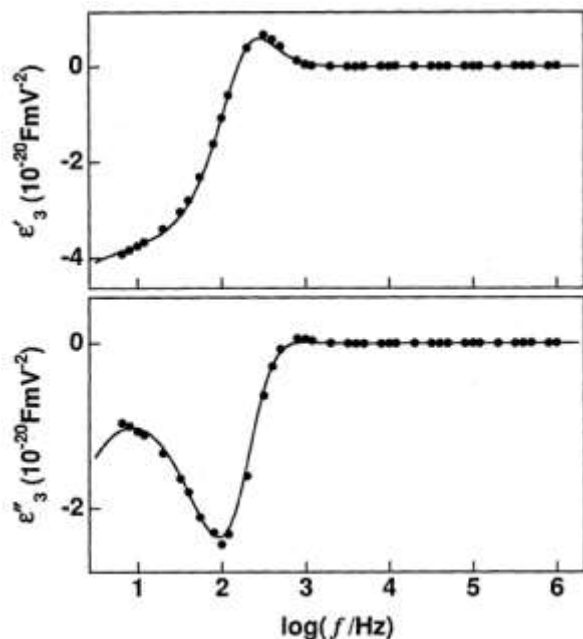


Рис. 13. Дисперсія нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmC^* фазі при $t = 75 C^\circ$

Експериментальне дослідження температурних залежностей нелінійної діелектричної проникності третього порядку СЕРК у SmA фазі біля сегнетоелектричних SmC^* та SmC_A^* фаз було проведено в роботі [14]. Як видно з рис. 15 та рис. 16, експериментальні результати досить добре узгоджуються з отриманими авторами теоретичними кривими, що зображені суцільними лініями.

У випадку СЕРК теоретичні значення температурної залежності нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmA фазі біля сегнетоелектричної SmC^* фази розраховувались за формулою:

$$\epsilon_3 = -\frac{A'}{(T - T_f)^4} + \frac{B'}{(T - T_c)^\delta} \left(\frac{C'}{(T - T_f)^2} - 1 \right) \left(\frac{3C'}{(T - T_f)^2} - 1 \right), \quad (6)$$

$$\epsilon_3 = \frac{\Delta\epsilon_3}{\left(1 + (i\omega\tau_3)^{\beta_3}\right)^3} + \frac{B}{(i\omega)^{\gamma_3}}. \quad (4)$$

Другий доданок в правій частині рівняння (4) був додатково введений для кращої відповідності експериментальним результатам на низькій частоті.

Частотні спектри нелінійної діелектричної проникності в SmC_A^* фазі антисегнетоелектричного кристалу (рис. 14) були також проаналізовані за допомогою рівняння (4). У порівнянні з рис. 11 ми бачимо суттєву різницю у формі кривих на низькій частоті. Така невідповідність може бути викликана приелектродними процесами.

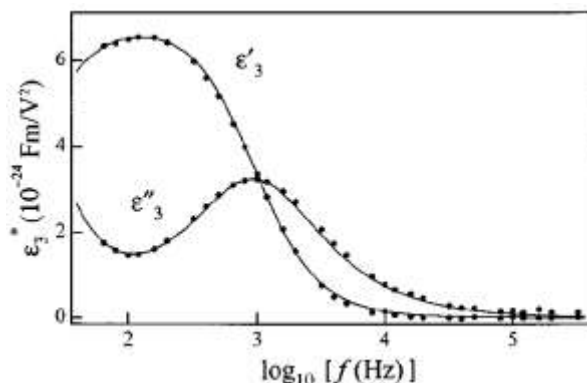


Рис. 14. Дисперсія нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmC_A^* фазі при $t = 85 C^\circ$

$$\epsilon_3 = \frac{A}{(T - T_c)^4}, \quad (5)$$

де T_c – температура фазового переходу; A – коефіцієнт, який має додатний знак при фазовому переході першого порядку і від'ємний знак при фазовому переході другого порядку.

Для анти-СЕРК, дана температурна залежність в SmA фазі біля SmC_A^* мала наступний вигляд:

де A' , B' , C' – коефіцієнти; δ – критичний показник степені теплоємності.

Для СЕРК з фазовим переходом другого роду (рис. 15 а) значення нелінійної діелектричної проникності третього порядку від'ємні, а для СЕРК з фазовим переходом першого роду (рис. 15 б) – додатні.

Оскільки фазовий перехід $SmA-SmC_A^*$ для анти-СЕРК є фазовим переходом другого роду, то аналогічно до СЕРК очікувалось, що значення нелінійної діелектричної проникності третього порядку

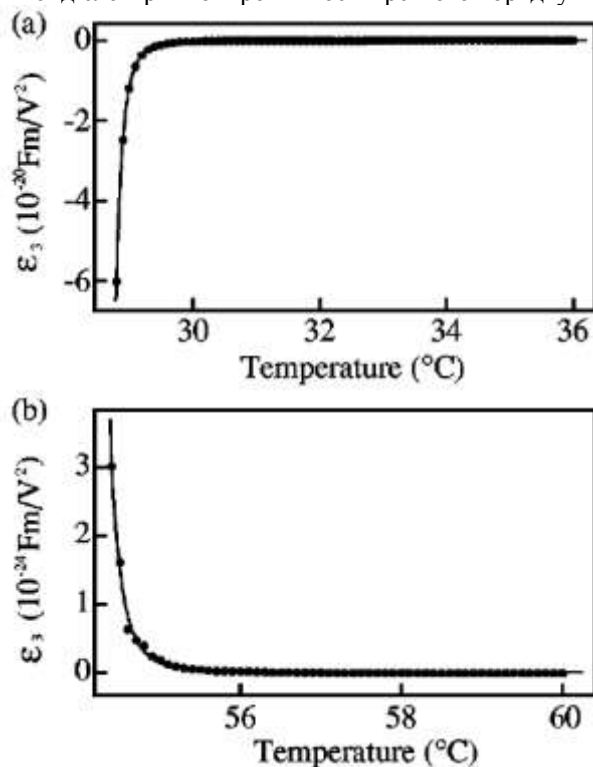


Рис. 15. Температурна залежність нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmA фазі для СЕРК
а) СЕРК з фазовим переходом другого роду;
б) СЕРК з фазовим переходом першого роду.

Температурні залежності нелінійної діелектричної проникності третього порядку також вимірювалися в роботі [9] для змішаних кристалів $Rb_{1-x}(NH_4)_xH_2PO_4$ при різних значеннях x ($0,2 < x < 0,8$). Було встановлено, що значення $\epsilon_{3,0}$ збільшуються біля транзиційної точки скла, та виявлено що $\epsilon''_{1,0}$ та $|\epsilon_{3,0}|$ пропорційні між собою, хоч і не дається пояснення цьому факту.

В роботі [12] досліджувались температурні залежності частотних спектрів нелінійної діелектричної проникності третього порядку для полівінілацетата. Отримані залежності аналізувалися за феноменологічною теорією Накади [1] і були у гарній згоді з теоретичними розрахунками.

будуть мати від'ємні значення. Але, з аналізу температурної залежності ϵ_3 (рис. 16) видно, що при певній температурі T_{inv} , яка знаходиться біля температури фазового переходу, відбувається зміна знаку ϵ_3 з від'ємного на додатній. Така критична поведінка ϵ_3 враховується рівнянням (6) і може бути пояснена великою флуктуацією нахилу молекул.

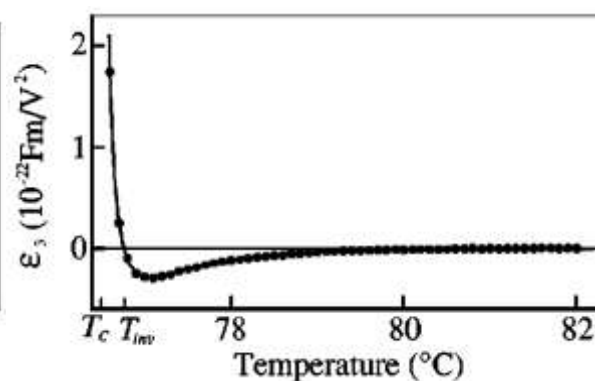


Рис. 16. Температурна залежність нелінійної діелектричної проникності третього порядку в SmA фазі для анти-СЕРК

Висновок. Наші дослідження нелінійних діелектричних властивостей СЕРК на основі вищезгаданих методів (рис. 1-4), показали, що їхнє використання можливе лише для аналізу "чистих" і досить добре очищених від сторонніх домішок СЕРК. Оскільки, при цілеспрямованому введенні у РК домішок барвників або наночастинок, в межах похибки вимірювання, досить важко виділити сигнал з частотою 3ω . Причиною цього може бути значне зростання провідності за рахунок введеної домішки, а отже, як наслідок, відбувається зменшення внеску у загальний струм компоненти, що зумовлена нелійними діелектричними властивостями.

Література

1. Nakada O. Theory of Non-linear Responses / O. Nakada // J. Phys. Soc. Jpn. – 1960. – 15, №12. – P. 2280.

2. Orihara H. A phenomenological theory of nonlinear dielectric response of a ferroelectric liquid crystal / H. Orihara, Y. Ishibashi // J. Phys. Soc. Jpn., – 1993. V.62. – No.2. – P.489–496.
3. 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. – No.3. – P.976–980.
4. Obayashi K. Nonlinear dielectric spectroscopy of the goldstone mode in an antiferroelectric liquid crystal / K. Obayashi, H. Orihara, Y. Ishibashi // J. Phys. Soc. Jpn. – 1995. – V.64. – No.9. – P.3188–3191.
5. Orihara H. A Phenomenological Theory of Nonlinear Dielectric Response / H. Orihara, Y. Ishibashi // J. Phys. Soc. Jpn. – 1995. – 64, №1. – P.99.
6. Orihara H. A Phenomenological Theory of Nonlinear Dielectric Response. II-Miller's Rule and Nonlinear Response in Nonferroelectrics / H. Orihara, Y. Ishibashi // J. Phys. Soc. Jpn. – 1997. – 66. – P. 242.
7. Iwata M., Orihara H., Ishibashi Y. // J. Phys. Soc. Jpn. – 1998. – 67. – P.3130.
8. Orihara H. Electro-optic effect and third-order nonlinear dielectric response in antiferroelectric liquid crystal / H. Orihara, Y. Ishibashi // J. Phys. Soc. Jpn. – 1995. – V.64. – No.10. – P.3775–3786.
9. Nagata T., Iwata M., Orihara H., Ishibashi Y., Miura Y., Mamiya T., Terauchi H. // J. Phys. Soc. Jpn. – 1997. – 66, №5. – P.1503.
10. Kimura Y., Hayakawa R. // Jpn. J. Appl. Phys. – 1992. – 31, №10. – P.3387.
11. Kimura Y. Experimental study of nonlinear dielectric relaxation spectra of ferroelectric liquid crystal in the smectic C* phase / Y. Kimura, R. Hayakawa, // Jpn. J. Appl. Phys. – 1993. – V.32. – No.10. – P.4571-4577.
12. Furukawa T. Nonlinear dielectric relaxation spectra of polyvinyl acetate / T. Furukawa, K. Matsumoto // Jpn. J. Appl. Phys. – 1992. – V.31. – No.3. – P.840–845.
13. Kimura Y. Nonlinear dielectric relaxations spectroscopy of the antiferroelectric liquid crystal 4-(trifluoromethyl-phenyl) phenyl 4'-octyloxybiphenyl-4-carboxylate / Y. Kimura, R. Hayakawa, N. Okabe, Y. Suzuki // Phys. Rev. E. – 1996. – V.53. – No.6. – P.6080–6084.
14. Kimura Y., Isono H., Hayakawa R. // Phys. Rev. E – 2001. – 64. – P.060701.
15. Kimura Y., Hayakawa R. // Eur. Phys. J. E – 2002. – 9. – P.3.
16. Шевчук О.Ф. Методи вимірювання нелінійних діелектричних властивостей сегнетоелектричних рідких кристалів / О.Ф. Шевчук / Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2018. – №1 (100) – С. 84-90.

ТОЛЩИНА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

**Юров В.М.,
Маханов К.М.**

*Карагандинский государственный университет имени Е.А.Букетова
Караганда, Казахстан*

THICKNESS OF THE SURFACE LAYER OF METAL GLASSES

**Yurov V.,
Makhanov K.**

*Karaganda State University named after EA. Buketov
Karaganda, Kazakhstan*

АННОТАЦИЯ

Предложена модель поверхностного слоя металлических стекол. В рамках модели показано, что толщина поверхностного слоя $d(I)$ определяется одним фундаментальным параметром – молярным (атомным) объемом элемента. Толщина поверхностного слоя $d(I)$ металлических стекол лежит от 1 до 2 нм. Эти толщины характерны для чистых металлов от Cu до Ni. В поверхностном слое $d(I)$ все уравнения, имеющие независимые от размера величины становятся размерно-зависимыми. Размерные эффекты в слое $d(I)$ определяются всем коллективом атомов в системе (коллективные процессы). Такие «квазиклассические» размерные эффекты наблюдаются только в наночастицах и наноструктурах. Эффекты в слое $d(II)$ называют размерными эффектами I рода. Такие размерные эффекты характерны для любых систем и определяются рассеянием квазичастиц (электронов, фононов и пр.) на границах системы. При $h = d$ в стекле имеется фазовый переход, связанный с реконструкцией или релаксацией поверхности.

ABSTRACT

A model of the surface layer of metal glasses is proposed. Within the framework of the model, it is shown that the thickness of the surface layer $d(I)$ is determined by one fundamental parameter - the molar (atomic) volume of the element. The thickness of the surface layer $d(I)$ of metal glasses lies from 1 to 2 nm. These thicknesses are characteristic of pure metals from Cu to Ni. In the surface layer $d(I)$, all equations having size-independent quantities become dimensionally dependent. Size effects in the $d(I)$ layer are determined by the entire collective of atoms in the system (collective processes). Such “semiclassical” size effects are observed only in nanoparticles