

О.В. Слободян, М.В. Шаплавський

Електрофізичні властивості плівок $C_{17}H_{35}COONa$

Буковинська державна медична академія, пл. Театральна, 2, Чернівці, 58000,
тел. (0372) 2-45-44, e-mail: oksana.v.s@mail.ru

Досліджено вплив змінного електричного поля на властивості плівок стеарату натрію в системі метал-плівка-метал. У досить широкому інтервалі значень амплітуди змінного струму спостерігається нелінійність активних складових вольт-амперної характеристики, а активний опір зменшується із ростом амплітудного значення електричного струму. Показано, що зміна активної складової електричного опору обумовлена стискуванням шарніроподібних зв'язків у вуглеводневих ланцюгах внаслідок притягання протилежно заряджених металевих пластин між собою. Останнє підтверджується аналогічними змінами активного електричного опору при механічному стискуванні пластин.

При збільшенні амплітуди електричного поля в системі метал-плівка-метал виникає зворотній електричний пробій. Критичне значення амплітуди електричного поля суттєво залежить від ступеня шороховатості металевих пластин.

Ключові слова: електрофізичні властивості, тонкі плівки, стеарат натрію, система метал-плівка-метал, тензометричний датчик, вольт-амперна характеристика, поверхнево-активні речовини.

Стаття постуила до редакції 15.01.2004; прийнята до друку 30.08.2004.

В останній час значну увагу приділяють дослідженню тонких плівок, які мають велике фундаментальне та прикладне значення. Особлива увага приділяється плівкам із сполук, в молекулах яких присутні як гідрофільні так і гідрофобні угруповання атомів [1]. Такі сполуки називають поверхнево-активними, оскільки вони концентруються та функціонують на поверхнях, утворюючи плівки, що розділяють різні по своїй хімічній природі матеріали [2]. На даний час в літературних джерелах відсутні дослідження електрофізичних властивостей плівок похідних стеаринової кислоти у змінному електричному полі, і які містять аліфатичний ланцюг та карбоксильну групу, що є атрибутивними в біологічних структурах.

У даній роботі проведені електрофізичні дослідження плівок із стеарату натрію ($C_{17}H_{35}COONa$), молекула якого у воді розкладається на додатній іон Na^+ і від'ємний ланцюг $C_{17}H_{35}COO^-$. Довгий вуглеводневий ланцюг стеарату натрію є гідрофобною частиною молекули, яка добре змішується з жироподібними речовинами, а іонізована група COO^- виконує функції гідрофільного угруповання, яке зв'язується з водою. Гідрофільні групи утворюють водневі зв'язки з молекулами води, завдяки чому молекули стеарату натрію разом з жироподібними речовинами відриваються від поверхні і переносяться у водне середовище [3].

Для дослідження електрофізичних властивостей системи метал-плівка-метал вибирались попередньо

відшліфовані та поліровані металеві пластини [4]. На кожную пластину наносилась плівка стеарату натрію із водного розчину. Через деякий час плівки висихали. Після незначного зволоження поверхні металевих пластин, вкритих плівкою, пластини притискали одна до одної. Утворена система контактів метал-зволожена плівка-метал, досліджувалась у змінному електричному полі за допомогою комп'ютеризованої установки, на дисплеї якої будувались вольт-амперні характеристики при різних амплітудах електричного поля. В залежності від величини амплітуди електричного поля можна виділити три різні випадки:

1. При малих амплітудах електричного поля вольт-амперна характеристика системи метал-плівка-метал має вигляд повернутого під кутом еліпсу, який свідчить про наявність в системі активної та реактивної складової опору (рис. 1). Якби реактивна складова була б не суттєвою, то еліпс би виродився у пряму лінію, тангенс кута нахилу якої до вісі струмів дорівнює активному електричному опору. В даному випадку реактивна складова має переважно ємнісний характер, оскільки металеві пластинки утворюють плоскопаралельний конденсатор в середині якого знаходиться плівка із стеарату натрію. При збільшенні ємнісної складової площа еліпсу зростає. Характерною особливістю плівки є те, що із збільшенням амплітуди електричного поля довга вісь еліпса нахилиється до вісі струмів, що свідчить про зменшення опору плівки із ростом амплітуди

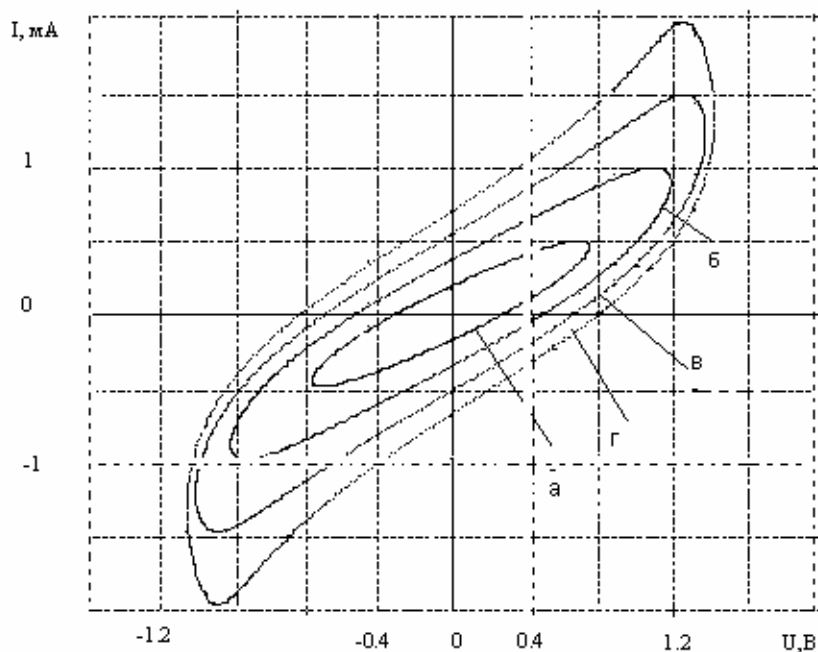


Рис. 1. Вольт-амперна характеристика системи метал-плівка-метал у змінному електричному полі частотою 50 Гц для 4-х значень амплітуди I_a змінного струму: а. $I_a=0,5$ мА; б. $I_a=1$ мА; в. $I_a=1,5$ мА; г. $I_a=2$ мА.

електричного поля. Це зумовлено в основному стискуванням плівки із-за притягання різнойменно заряджених пластин. Це підтверджується збільшенням ємності між металевими пластинами, яке проявляється у збільшенні площі еліпса. При малих амплітудах електричного поля, коли зміною кута нахилу великої вісі еліпса можна знехтувати, одержуються такі розрахункові значення ємності C та опору R : $C = 0,714$ мкФ; $R = 1784$ Ом, які практично співпадають із даними, які одержані за допомогою вимірювання цифровим мультиметром Ф-4800. Для більших амплітуд електричного поля теоретичні розрахунки ємності C та провідності $1/R$ мають наступний вигляд: $C = 0,714 \cdot (1 + 0,357 \cdot U_a)$ мкФ, де U_a – амплітудне значення різниці потенціалів між пластинами, виражене у Вольтах; $1/R = (1 + 0,348 \cdot U_a)/1784$ Ом $^{-1}$.

2. При подальшому збільшенні амплітуди електричного поля, крім видовження та поступового нахилу еліпсу до вісі струмів, спостерігається його деформація, про що свідчить рис. 1, а залежність струму від напруги стає виражено нелінійною. Ця нелінійність суттєво залежить від хімічної природи металу пластин. Якщо реактивною складовою електричного опору можна було б знехтувати, то вигляд кривих на вольт-амперній характеристиці нагадував би дві симетричні зворотні гілки тунельного діода. На рис. 2 наведена залежність амплітудних значень струму та напруги для пунктів (а і б). Нелінійність цієї характеристики свідчить про утворення областей просторового заряду на межі плівка-метал. У квадратичному наближенні залежність провідності $1/R$ від миттєвого значення напруги U між пластинами має наступний вигляд:

$$1/R = (1 + 0,6187 \cdot U^2)(1 + 0,6348 \cdot U_a)/1784 \text{ Ом}^{-1}.$$

3. Починаючи з деякого значення амплітуди прикладеної електричної напруги фігура знову наближається до еліпсу, площа якого різко зменшується. Кут нахилу довгої осі еліпсу до вісі струмів також зменшується, аж до перетворення у пряму лінію (рис. 2). Виникає електричний пробій. Про це свідчить відсутність реактивної складової електричного опору (ємність конденсатора закорочена). Утворюється електричний контакт між двома найменш віддаленими точками двох неідеальних поверхонь пластин, де плівка стискується і зазнає пошкоджень. Якщо припинити подальше підвищення амплітуди електричного поля і поступово зменшити його амплітуду до величини, яка знаходиться в межах пункту (б), то через деякий час плівка спонтанно відновиться і пробій зникне (рис. 1). Наступне збільшення амплітуди електричного поля системи метал-плівка-метал веде до різкого зменшення опору і незворотного електричного пробую, і пряма на вольт-амперній характеристиці має такий же вигляд, як і для системи метал-метал (рис. 2). Крива практично зливається з віссю струмів.

Найбільш цікавим є випадок (б), де із зростанням амплітуди електричного поля плавно зменшувався електричний опір у досить широкому діапазоні. Аналогічну зміну електричного опору можна спостерігати і при фіксованій амплітуді електричного поля, коли плавно змінювати механічний тиск між пластинами. У цьому діапазоні при певних значеннях тиску зміна опору зворотна. Висока чутливість активного електричного опору до зміни амплітуди електричного поля чи тиску обумовлена

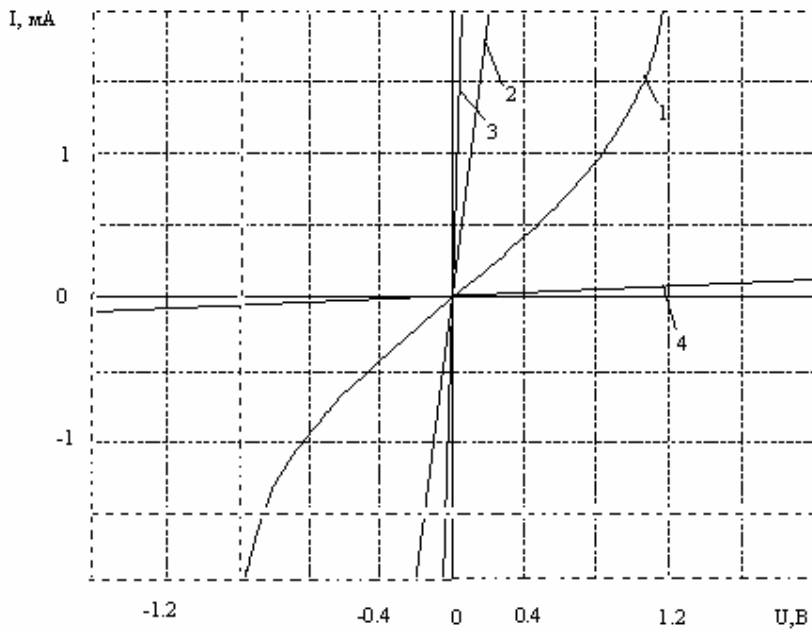


Рис. 2. Вольт-амперна характеристика системи метал-плівка у змінному електричному полі частотою 50 Гц: 1 – теоретична залежність $I=f(U)$ для активної складової опору (зсув фаз $\varphi=0$); 2 – вольт-амперна характеристика зворотнього пробію; 3 – вольт-амперна характеристика незворотнього пробію; 4 – вольт-амперна характеристика у момент розриву системи метал-плівка-метал.

просторовою орієнтацією вуглеводневих ланцюгів із шарніроподібними зв'язками в ланцюгу вздовж напрямку електричного поля, перпендикулярного металевим пластинам. При подальшому збільшенні тиску також виникає електричний пробій. Це знову підтверджує те, що зміна електричного опору системи метал-плівка-метал із ростом амплітуди електричного поля пов'язана із стискуванням плівки. У першому випадку внаслідок взаємного притягання протилежно заряджених металевих пластин, у другому притягуванням пластин під дією зовнішнього тиску. При перпендикулярному розтягуванні пластин в системі метал-плівка-метал опір системи зростає, а після розриву системи стає дуже великим (рис. 2). Крива практично зливається з віссю напруги.

Проведено дослідження проходження струму в системі катод-плівка-електроліт-плівка-анод. Опис структури розчинів електролітів детально досліджено в роботі [5]. Виявлено і зареєстровано за допомогою комп'ютеризованого цифрового самописця явище релаксації струму в системі, при витягуванні і зануренні електроду з плівкою в електроліт. Якщо опір електроліту в даній системі значно менший електричного опору плівки, нанесеної із водного розчину стеарату натрію, а товщина електроліту між пластинами значно перевищує товщину плівки, то вольт-амперні характеристики системи аналогічні вольт-амперним характеристикам системи метал-плівка-метал пункти (а, б). Однак, при всіх досліджуваних амплітудах електричного поля, пункт (в) не спостерігався, тобто електричний пробій плівки при даних напругах не виникав. Це пояснюється значно більшою відстанню між металевими пластинами в системі метал-плівка-

електроліт-плівка-метал. Крім того, довга вісь еліпсу практично не змінювала свій нахил до вісі напруг при зростанні амплітуди електричного поля, що свідчить про відсутність стискування плівки в електричному полі, оскільки відстань між металевими пластинами в системі значно більша, ніж в системі метал-плівка-метал. По цій же причині реактивна складова електричного опору практично не змінюється зі зміною напруги в системі, тобто ємність між пластинами практично не змінюється зі зміною напруги між пластинами.

Підсумовуючи проведені дослідження можна побачити, що плівки стеарату натрію можна використовувати для дослідження досконалостей поверхонь металів і напівпровідників, спостерігаючи на осцилографі залежність вольт-амперної характеристики від амплітуди змінного електричного поля в системах метал-плівка-метал, метал-плівка-напівпровідник. Висока чутливість електричного опору плівки від тиску дає можливість використовувати систему метал-плівка-метал в якості тензометричного датчика механічної напруженості.

Динаміка реактивної складової опору може свідчити про поляризаційну орієнтацію молекул стеарату за вектором електричного поля, а спонтанне відтворення плівки вказує на граничні параметри енергетичної спроможності гідрофобних зв'язків у аліфатичних паралелях та поріг окислення (руйнування) плівки.

Є всі підстави вважати, що висвітлена схема експерименту є перспективною в аспекті вивчення електронних ефектів в макромолекулах біологічної природи.

Слободян О.В. – асистент, здобувач;
Шаплавський М.В. – завідувач кафедри медичної
біологічної фізики, д.мед.н., професор.

- [1] O.V. Angelsky, P.P. Maksimyak. Coherent-optical diagnostics of the thin polymer films // *Proc. SPIE*, **4242**, pp. 40-52 (2001).
- [2] P.P. Maksimyak. Dynamics of the refraction index in a water-lecsthin mixture // *Proc. SPIE*, **3317**, pp. 364-366 (1997).
- [3] П. Эткинс. *Молекулы*. Мир, М. 216 с. (1991).
- [4] О.В. Слободян. Вплив фіксованих зарядів біопокриття на кінематичні властивості рідин // *Тези доповідей конференції молодих учених та аспірантів „ІЕФ-2003”*, с. 22, Ужгород (2003).
- [5] И.Р. Юхновский, И.И. Курьяк. *Электролиты*. Наукова думка, К. 167 с. (1988).

O.V. Slobodyan, M.V. Shaplavskiy

Electrophysics Properties of Films C₁₇H₃₅COONa

*Bukovinian State Medical Academy, 2, Theatre sq., Chernivtsy, 58000,
tel. (0372) 2-45-44, e-mail: oksana.v.s@mail.ru*

The influence of variable electrical field on properties of stearate sodium films in a system metal-film-metal is investigated. In a large interval of amplitude values of variable-current the non-linearity of fissile components of a volt-ampere characteristic is watched, and the active resistance decreases with growth of amplitude value of an electric current. It is rotined, that the change of fissile component of electric resistance is conditioned by compression of hinge-derivate connections in hydrocarbon circuits owing to pulling of inverse charged metallicity laminas among themselves. Last is confirmed by similar changes of fissile electric resistance at mechanical compression of laminas.

At increase of electrical field amplitude in a system the metal-film-metal appears inverse voltage breakdown. The critical value of electrical field amplitude essentially depends on a degree irregularities of metal laminas.