

УДК 535.215

М.М. Кравців

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

ДИЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК 4-НІТРО-4'-АМІНОДИФЕНІЛУ

© Кравців М.М., 2002

М.М. Kravtsiv

DIELECTRIC PROPERTIES OF 4-NITRO-4'-AMIDODIPHENYL THIN FILMS

© Kravtsiv M.M., 2002

Досліджено температурно-частотні характеристики ємності, провідності на змінному струмі та тангенса кута діелектричних втрат плівок 4-нітро-4'-амінодіфенілу. Показана суттєва відмінність характеру цих залежностей для низько-частотного та високочастотного діапазонів. Виявлено додатковий механізм поляризації, пов'язаний з піроелектричним ефектом.

Temperature-frequency characteristics of capacitance, alternating current and $\text{tg}\delta$ of 4-nitro-4'-aminodiphenyl films were investigated. Essential distinctions of these dependencies for low- and high-frequency ranges were shown. The additional polarization mechanism connected with pyroelectric effect was revealed.

Вступ. Дослідження процесів діелектричної релаксації є важливими з погляду визначення фундаментальних параметрів матеріалів [1]. Зокрема даний метод може бути застосований для вивчення властивостей поліциклічних органічних речовин. Однією з таких сполук, яка проявляє цікаві з погляду практичного застосування фотоелектричні, піроелектричні та фотоелектретні властивості і недостатньо досліджена на сьогоднішній день, є 4-нітро-4'-амінодіфеніл (НАДФ) [2–4]. Молекула цього матеріалу, окрім бензольних кілець, містить акцепторну NO_2 та донорну NH_2 гетерогрупи. Відомо, що взаємодія між основними структурними фрагментами та гетерогрупами може бути причиною особливої поведінки процесів діелектричної релаксації [5].

Методика експерименту. Зразки “сендвіч”-типу для експериментальних досліджень виготовлялися послідовним термічним напиленням у вакуумі на склокерамічну підкладку нижнього алюмінієвого електрода, тонкої плівки НАДФ і верхнього напівпрозорого алюмінієвого електрода. Електроди наносились в паралельних площинах у взаємно перпендикулярних напрямках, причому площа їх перекриття становила $4 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2$. Товщина плівки дорівнювала 0,2 мкм.

Ємність зразків та їх провідність на змінному струмі вимірювались за допомогою моста Wayne-Kerr B609 та установки General Radio 1621, для якої мультиметр Datron 1065 та комп'ютограф Gould S50000 служили як вихідні термінали. Вимірювання проводились при різних температурах у діапазоні 296–333 К з точністю стабілізації температури $\pm 0,2 \text{ К}$.

Результати та їх обговорення. Типові частотні залежності тангенса кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$, ємності C та провідності на змінному струмі G для зразків НАДФ, зображено на рис. 1 та 2. Наявність екстремуму на графіку $\text{tg}\delta(\nu)$ при частоті ν_c , а також зміна частотної поведінки провідності G та ємності C при ν_c свідчать про існування низькочастотної ($\nu < \nu_c$) та високочастотної ($\nu > \nu_c$) областей дисперсії для даних величин. Слід також відмітити, що зі зростанням температури значення ν_c зміщується в більш високочастотну область. Природа таких явища може бути проаналізована за допомогою температурно-частотних залежностей згаданих вище параметрів. Вимірювання проводились при температурах, які дозволяють проводити дослідження в низькочастотній області дисперсії.

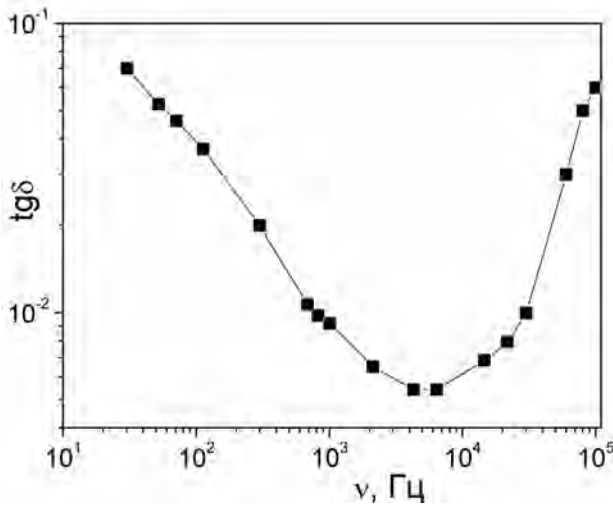


Рис. 1. Типова частотна залежність тангенса кута діелектричних втрат для 4-нітро-4'-амінодифенілу при $T = 296\text{ K}$

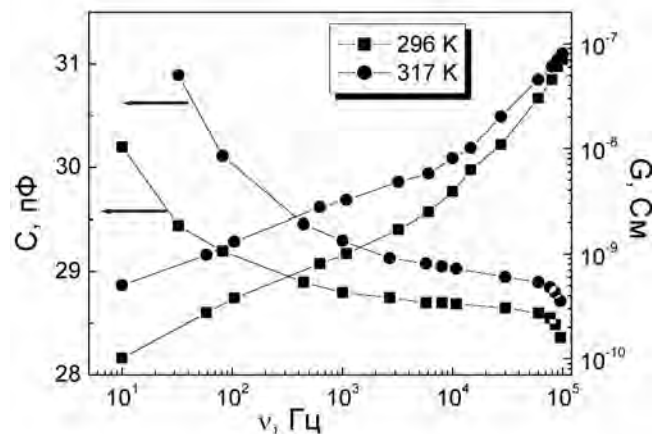


Рис. 2. Типові частотні залежності ємності C та провідності на змінному струмі G для 4-нітро-4'-амінодифенілу при різних T

З рис. 2 видно, що при $\nu > \nu_c$ значення ємності C практично не залежить від частоти, проявляючи при цьому тенденцію до зростання зі збільшенням температури (рис. 3). З іншого боку, в низькочастотному діапазоні залежність ємності від температури має більш виражений характер (рис. 3).

У низькочастотній області провідність на змінному струмі G збільшується з температурою за експоненціальним законом (рис. 4). Якщо подати залежність $G = G(T)$ в цьому частотному діапазоні у вигляді рівняння Ареніуса, то одержимо термічну енергію активації $\Delta E_G = (0,62 \pm 0,05)$ eВ, яка не залежить від частоти у випадку якщо $G(\nu) \sim \nu^{0,4}$. Дане співвідношення не виконується в області високих частот, де $G(T)$ змінюється за лінійним законом.

Оскільки відомо [6], що характер температурно-частотних залежностей C та G відповідає характеру аналогічних кривих для дійсної ϵ' та уявної ϵ'' частин комплексної діелектричної сталої, відповідно, то для аналізу їх особливостей можна використати також метод рівняння асиметричного дугового сегмента [1, 7]. Застосування його для зразків НАДФ показало, що неможливо підібрати такі параметри для даного рівняння, які б збігалися з отриманими експериментальними даними для залежностей $\epsilon'(\nu)$ та $\epsilon''(\nu)$. Це свідчить про наявність в цих матеріалах додаткового механізму поляризації. Таким механізмом, на наш погляд, є піроелектричний ефект, про присутність якого в НАДФ повідомлялося нами раніше [2]. Застосовуючи динамічний метод, в цій роботі було визначено піроелектричний коефіцієнт $\gamma = (2-5) \cdot 10^{-10}$ Кл/см²·К, незалежний від температури. Враховуючи, що $\gamma = dP_{\text{pyro}}/dT$

(P_{pyro} – пірополяризація) [8], можна переконатися, що P_{pyro} може давати суттєвий внесок в дипольну поляризацію. Слід зазначити, що молекула НАДФ є полярною та має дипольний момент 6,4Д навіть в основному стані [9].

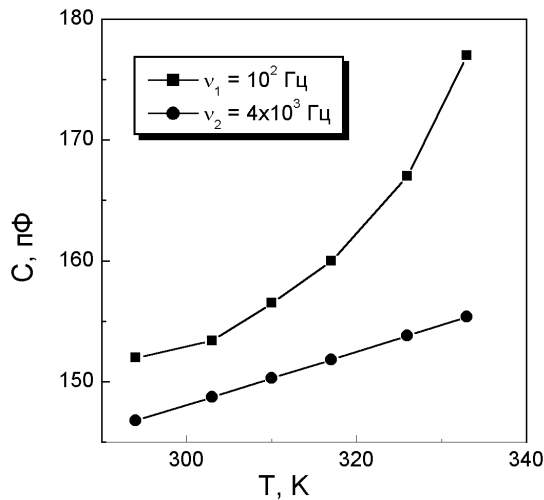


Рис. 3. Температурна залежність ємності при різних частотах для 4-нітро-4'-амінодифенілу

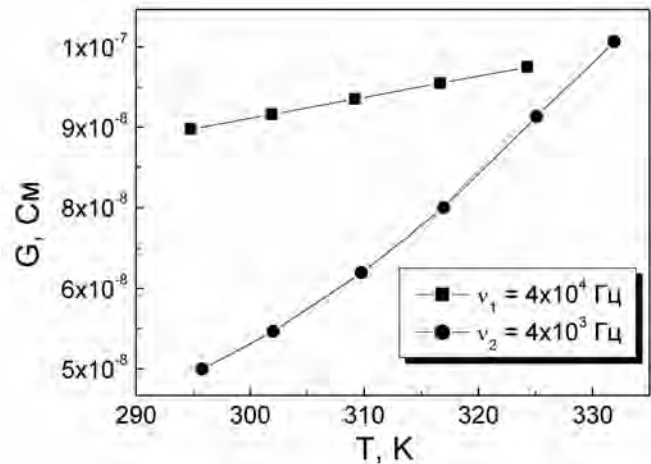


Рис. 4. Температурна залежність провідності на змінному струмі при різних частотах для 4-нітро-4'-амінодифенілу

Отримані експериментальні дані дозволяють зробити деякі припущення щодо явища провідності на змінному струмі в НАДФ. У ряді попередніх робіт [2, 10] зазначено, що діелектричні фотоелектричні явища, провідність на постійному та змінному струмі тісно пов'язані в органічних діелектриках. Ці явища можна інтерпретувати як наслідок активованих стрибків заряджених носіїв між локалізованими станами, які супроводжуються інтенсивним їх захопленням центрами прилипання. Тобто перенос носіїв пов'язаний з ефектом поляризації. У випадку поліциклічних органічних сполук, таких, як НАДФ, роль цих локалізованих станів можуть відігравати міжмолекулярні зв'язки. Степенева залежність провідності на змінному струмі G від частоти разом з експоненціальною залежністю ΔE_G від температури в низькочастотному діапазоні можуть бути інтерпретовані з цієї точки зору. Збігання значення ΔE_G з термічною енергією активації, отриманою з вимірювань фотосенсності, служить додатковим стимулом для такої інтерпретації. Однак, зрозуміло, що отримані дані не є повними і необхідним є проведення досліджень в ширших температурних та частотних діапазонах.

Висновки. Дослідження діелектричних властивостей плівок 4-нітро-4'-амінодифенілу засвідчило існування низькочастотної та високочастотної областей дисперсії для температурно-частотних характеристик ємності, провідності на змінному струмі та тангенса кута діелектричних втрат. Застосовуючи метод рівняння асиметричного дугового сегмента зроблено висновок, що в даних матеріалах існує додатковий механізм поляризації, пов'язаний з піроелектричним ефектом. Отримано підтвердження для інтерпретації явища провідності на змінному струмі в НАДФ як наслідку активованих стрибків заряджених носіїв між локалізованими станами, роль яких можуть відігравати міжмолекулярні зв'язки.

Автор висловлює щире подяку співробітника кафедри твердотільної електроніки Вільнюського університету імені Капусіса за допомогу у проведенні експериментальних досліджень.

1. Havriliak S., Negami S. // *Polymer*. – 1967. – 8. – P. 161–165.
2. Kovalskij P.N., Kravciv N.M., Mackus P., Lipskis K. // *J. Non-Cryst. Solids*. – 1987. – 90. – P. 657–660.
3. Ковальський П.М., Кравців М.М., Станько М.Г., Шпотюк О.Й. // *Укр. фіз. журн.* – 1993. – 38. – С. 1728–1732.
4. Ковальський П.Н., Кравців Н.М., Манжара В.С., Станько Н.Г., Юрківська Л.И. // *Укр. фіз. журн.* – 1990. – 35. – С. 532–535.
5. Chudacek I., Slavinska D., Krisciunas V., Kuliesius F., Mackus P. // *Progr. Colloid Polym. Sci.* – 1988. – 78. – P. 21–26.
6. Saha K., Abbi S.C., Pohl H.A. // *J. Non-Cryst. Solids*. – 1976. – 22. – P. 291–297.
7. Negami S., Ruch R.J., Myers R.R. // *J. Colloid. Interf. Sci.* – 1982. – 90. – P. 117–123.
8. Рез И.С., Поплавко Ю.М. *Диэлектрики*. – М., 1989.
9. Свердлова О.В. *Электронные спектры в органической химии*. – Л., 1973.
10. Halpern V. // *Physica B*. – 1975. – 79. – P. 323–335.

УДК 621.315.592

О.П. Малик, Г.В. Кеньо

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра напівпровідникової електроніки

НЕПРУЖНЕ РОЗСІЮВАННЯ ДІРОК НА ОПТИЧНИХ КОЛИВАННЯХ КРИСТАЛІЧНОЇ ГРАТКИ В HgTe

© Малик О.П., Кеньо Г.В., 2002

O.P. Malyk, G.V. Kenyo

NONELASTIC HOLE SCATTERING ON THE OPTICAL VIBRATIONS OF CRYSTALL LATTICE IN HgTe

© Malyk O.P., Kenyo G.V., 2002

Точним розв’язком стаціонарного рівняння Больцмана отримано нерівноважну функцію розподілу носіїв заряду. В інтервалі температур 4,2–300 К розглянуто основні механізми розсіювання дірок з врахуванням непружної взаємодії дірок з оптичними коливаннями кристалічної ґратки.

By means of exact solution of stationary Boltzman equation the nonequilibrium charge carrier distribution function is obtained. In the temperature range 4,2–300 K the main hole scattering mechanism are considered taking into account the nonelastic hole interaction with optical vibrations of the crystall lattice.

Вступ. Механізми розсіювання та рухливість дірок у HgTe досліджувалися в широкому інтервалі температур [1–6]. В цих роботах дослідження базувалися на наближенні часу релаксації, яке можна застосовувати при пружних механізмах розсіювання. Однак у