

УДК: 621.382

ISSN 1729-4428 (Print)
ISSN 2309-8589 (Online)

О.С. Кшевецький

Дещо про плівкові пристрої, керовані електричним полем та електромагнітним випромінюванням

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна, kshevos@gmail.com

У роботі наведена інформація стосовно деяких можливих способів керування властивостями плівкових пристроїв з використанням дій електромагнітного випромінювання, електричного поля та теплової дії. Також наведена інформація стосовно деяких таких відповідних пристроїв та їх можливих застосувань. У цій роботі в першу чергу розглядаються ті вказані способи та пристрої, які можуть бути використані для тих чи інших перетворень теплової та електричної енергії, а також ті властивості від яких залежить ефективність відповідних перетворень теплової та електричної енергії. Зокрема, розглядається комбінований пристрій, який поєднує властивості електрокалоричних та термоелектричних перетворювачів енергії. Також розглядається пристрій з плівками, чутливими до електромагнітного випромінювання, керування властивостями якого здійснюється, зокрема, за допомогою бокового електромагнітного випромінювання. Наведена у цій роботі інформація може бути використана для вивчення впливу електромагнітного випромінювання, електричного поля та температури на властивості плівок, плівкових пристроїв чи елементів, для розробки, створення та використання різних керованих пристроїв чи елементів (зокрема, гнучких), наприклад, фото-термоелектричних позиційно-чутливих датчиків температури, термоелектричних та комбінованих перетворювачів енергії, електронних пристроїв.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, електричне поле, плівкові пристрої, термоелектричні елементи, перетворювачі енергії.

Подано до редакції 12.12.2025; прийнято до друку 11.08.2026, опубліковано 21.02.2026.

Вступ

Добре відомо, що під дією електромагнітного (наприклад, оптичного) випромінювання можуть змінюватися властивості чутливих до цього випромінювання плівок. Також відомо, що при зміні концентрації носіїв заряду (яка може бути зумовлена, зокрема, дією електромагнітного випромінювання) може змінюватися коефіцієнт Зеебека плівки [1 - 4]. І також відомо, що під дією електричного поля можуть змінюватися властивості плівок [5].

Метою цієї роботи є спрощені (оціночні) розгляд та аналіз деяких можливих способів керування властивостями плівкових пристроїв з використанням дій електромагнітного випромінювання, електричного поля та теплової дії. Також метою цієї роботи є спрощені (оціночні) розгляд та аналіз таких

відповідних пристроїв та їх можливих застосувань. У цій роботі в першу чергу розглядаються ті вказані способи та пристрої, які можуть бути використані для тих чи інших перетворень теплової та електричної енергії, а також ті властивості від яких залежить ефективність відповідних перетворень теплової та електричної енергії.

Далі розглянемо відповідні приклади.

I. Дещо про керування властивостями плівок з використанням електромагнітного випромінювання

В літературі є різні вирази для розрахунку коефіцієнта Зеебека. Наприклад, для невідродженого

домішкового напівпровідника зі скалярною ефективною масою і параболічним законом дисперсії та при степеневій залежності часу релаксації від енергії для диференціального коефіцієнта Зеебека α в [4] наведена формула:

$$\alpha = \frac{k}{e} \cdot \left(r + \frac{5}{2} \right) + \ln \frac{2(2\pi m^* kT)^{\frac{3}{2}}}{n \hbar^3}, \quad (1)$$

де e – заряд електрона; T – абсолютна температура; $\hbar$ – стала Планка; r – параметр, що залежить від механізму розсіювання носіїв заряду (наприклад, $r = \frac{1}{2}$ для розсіювання на оптичних фононах, вище температури Дебая; $r = 3/2$ для розсіювання на домішкових іонах); k – стала Больцмана; m^* – ефективна маса носіїв заряду.

Особливістю формули (1) є те, що концентрація носіїв заряду n знаходиться в знаменнику підлогарифмічного виразу. Тому для отримання практично значущої зміни диференціального коефіцієнта Зеебека потрібна досить суттєва зміна концентрації носіїв заряду n . Це корелює з результатами експериментів, які наведені в [1, 2].

2. Дещо про керування властивостями плівок з використанням електромагнітного випромінювання, електричного поля та теплового впливу

У роботах [2, 3, 6 - 8] описано керування оптичним випромінюванням властивостями фоточутливих елементів. У цій роботі пропонується використовувати електромагнітне (наприклад, оптичне) випромінювання, електричне поле [9] та теплову дію [10] для керування властивостями плівкових пристроїв. Таке керування може бути використане для вивчення впливу електромагнітного випромінювання, електричного поля та температури на властивості плівок, плівкових пристроїв чи елементів. Також зазначене керування може бути використане для розробки, створення та використання різних керованих пристроїв чи елементів (зокрема, гнучких), наприклад, фото-термоелектричних позиційно-чутливих датчиків температури, термоелектричних та комбінованих перетворювачів енергії, електронних пристроїв.

2.1. Керування властивостями пристрою з плівкою, чутливою до електромагнітного випромінювання, з використанням електромагнітного випромінювання, електричного поля та теплового впливу

Розглянемо приклад реалізації зазначеного керування, який проілюстровано на рисунку 1. На рисунку 1: 1 та 2 – різні електромагнітні випромінювання; 3 – фоточутлива електропровідна плівка (чутлива до дії вказаних електромагнітних випромінювань); $T_1 - T_4$ – температури пристрою у відповідних положеннях. До контактів 4 – 7 можуть бути підключені джерела електричної енергії та електричні навантаження, вимірювальні прилади, комутаційні елементи тощо. Електропровідний електрод та діелектрик призначені для створення електричного поля. У цьому прикладі можуть бути

використані короточасні процеси (імпульсні режими роботи пристрою).

Якщо через електропровідний електрод буде протікати електричний струм, тоді буде виділятися тепло Джоуля. Цю теплову дію можна використовувати для керування властивостями плівки 3. Також з використанням електричного струму через електропровідний електрод можна створювати різні значення напруги вздовж електрода та відповідно різні значення електричного поля вздовж плівки 3. При потребі електропровідний електрод та плівка 3 можуть мати іншу кількість виводів, ніж це відображено на рис. 1.

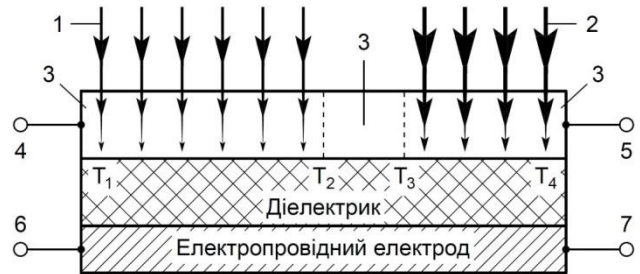


Рис. 1. Спрощена схема прикладу реалізації керування властивостями пристрою з чутливою до електромагнітного випромінювання плівкою з використанням електромагнітного випромінювання, електричного поля та теплової дії.

2.2. Пристрій з плівками з різними коефіцієнтами Зеебека

Розглянемо наступний приклад, який проілюстрований на рисунку 2. На рисунку 2: 1 – електропровідна плівка з коефіцієнтом Зеебека α_1 ; 2 – електропровідна плівка з коефіцієнтом Зеебека α_2 (плівки 1 та 2 можуть бути гілками термоелектричного елемента); виводи від плівок 1 та 2 мають коефіцієнт Зеебека α_0 ; 3 – той чи інший діелектрик (наприклад, електрокалоричний, п'єзоелектричний чи інший); $T_1 - T_4$ – температури у відповідних положеннях пристрою, зображеного на рис. 2 (далі – пристрій 2). До контактів 4 – 7 можуть бути підключені джерела електричної енергії та електричні навантаження, вимірювальні прилади, комутаційні елементи тощо. З використанням плівок 1, 2 та діелектрика (які утворюють конденсатор [10]) можна створювати електричне поле. У цьому прикладі можуть бути використані короточасні процеси (імпульсні режими роботи пристрою 2).

Якщо у пристрої 2 буде використаний електрокалоричний діелектрик, то такий пристрій буде мати властивості, які є у електрокалоричного, та термоелектричного елементів. При роботі такого пристрою в електрокалоричному діелектрику буде виділятися або поглинатися теплова енергія внаслідок електрокалоричного ефекту. Також на відповідних контактах буде виділятися або поглинатися енергія Пельтье (як варіант, розділено у часі). Цю енергію Пельтье E можна розрахувати з використанням відомих формул:

$$E = P I \Delta \tau = P \frac{q}{\Delta \tau} \Delta \tau = P q, \quad (2)$$

де Π – коефіцієнт Пельтьє контакту; I – сила струму; Δt – інтервал часу; q – заряд.

Типові термоелектричні елементи для підтримання постійного за знаком градієнта температур потребують використання постійного за напрямом струму. На відміну від цього пристрій 2 може підтримувати постійний за знаком градієнт температур з використанням як постійного за напрямом струму, так і змінного за напрямом струму. Також для роботи пристрою 2 можуть бути використані (одночасно) постійний за напрямом струм та змінний за напрямом струм. З використанням електрокалоричного ефекту можна змінювати температуру пристрою 2 і таким чином керувати його властивостями. Також керувати властивостями пристрою 2 можна електричним полем. Пристрій 2 поєднує в собі конструкційні особливості електрокалоричного перетворювача, конденсатора та типового термоелектричного елемента. Якщо ж пристрій 2 буде мати чутливі до дії електромагнітного випромінювання елементи, то тоді його властивостями можна буде керувати і відповідним електромагнітним випромінюванням (на рисунку 2 це не проілюстровано). Пристрій 2 також може мати прозорі елементи (на рисунку 2 це не проілюстровано) [13, 14]. Пристрій 2 може мати більше двох електропровідних плівок.

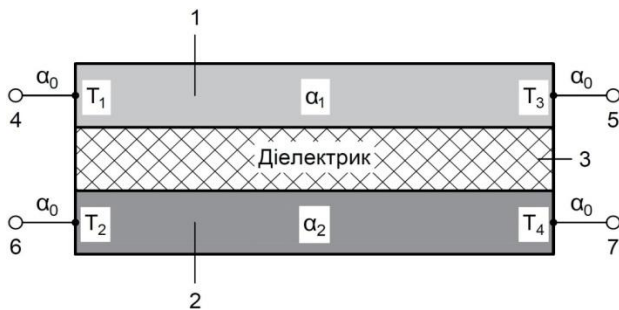


Рис. 2. Спрощена схема прикладу пристрою з плівками з різними коефіцієнтами Зеебека.

Як варіант можуть бути використані також суперконденсатори [13 - 15] з декількома виводами від окремо взятого електрода (наприклад, плівкового). При цьому вказані виводи та окремо взятий електрод можуть мати різні коефіцієнти Зеебека (Пельтьє). Могуть бути використані також суперконденсатори, які мають більше як два електрода, принаймні один із яких може бути використаний для керування властивостями вказаних суперконденсаторів. Суперконденсатори також можуть мати елементи, які чутливі до дії того чи іншого електромагнітного випромінювання, що дозволить керувати їх властивостями з допомогою вказаного випромінювання. При цьому суперконденсатори можуть мати прозорі елементи для реалізації вказаного керування [13, 14].

Також можуть бути використані комбіновані пристрої, які поєднують у собі властивості термоелектричних перетворювачів енергії, електрокалоричних елементів, суперконденсаторів, можливо інших конденсаторів та чутливих до дії електромагнітного випромінювання елементів.

2.3. Керування властивостями пристрою з плівками, чутливими до електромагнітного випромінювання, з використанням бічного електромагнітного випромінювання, електричного поля та теплового впливу

Розглянемо наступний приклад, який проілюстрований на рисунку 3. На рисунку 3: 1 – електропровідна плівка з коефіцієнтом Зеебека α_1 ; 2 – електропровідна плівка з коефіцієнтом Зеебека α_2 ; 3 – електропровідна плівка з коефіцієнтом Зеебека α_3 (плівки 1, 2 та 3 можуть бути гілками термоелектричного елемента); виводи від плівок 1, 2 та 3 мають коефіцієнт Зеебека α_0 ; 4 – електроізоляційна плівка для керування електромагнітним випромінюванням; 5 – електромагнітне випромінювання (наприклад, оптичне); $T_1 - T_6$ – температури пристрою, який відображений на рис. 3 (далі – пристрій 3), у відповідних положеннях. До контактів 6 – 11 можуть бути підключені джерела електричної енергії, електричні навантаження, вимірні прилади, комутаційні елементи тощо. У цій роботі під електроізоляційною плівкою для керування електромагнітним випромінюванням розуміється плівка, яка забезпечує проведення, керування напрямком поширення та формування необхідного розподілу електромагнітного випромінювання і водночас виконує функцію діелектрика. До таких плівок належать, зокрема, діелектричні світловодні плівки, що використовуються в дисплеях із торцевим підсвічуванням. З використанням плівок 1, 2, 3 та діелектриків (які утворюють конденсатор [10]) можна створювати електричне поле. У цьому прикладі можуть бути використані короткочасні процеси (імпульсні режими роботи пристрою 3).

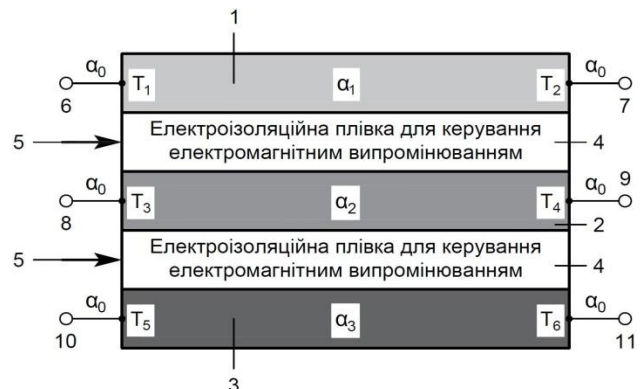


Рис. 3. Спрощена схема прикладу реалізації керування властивостями пристрою з плівками, чутливими до електромагнітного випромінювання, з використанням бічного електромагнітного випромінювання, електричного поля та теплового впливу.

Пристрій 3 можна розглядати як багатошаровий плівковий термоелектричний перетворювач енергії, властивостями якого можна керувати електромагнітним випромінюванням, та який має властивості конденсатора.

Пристрої, які відображені на рис. 1, 2 та 3 можуть бути використані для дослідження процесів, які в них відбуваються, для перетворень енергії та для

отримання інформації стосовно деяких запитань, наприклад, наступних. Чи буде супроводжуватися тепловим ефектом вихід (переміщення) індукованих електричних зарядів на поверхню електропровідної плівки? Як будуть впливати індуковані електричні заряди на ефективний коефіцієнт Зеебека, ефективний коефіцієнт Пельтьє та електропровідність плівки?

Як варіант, для подальших досліджень може бути доцільним виготовити (та дослідити) керований ємнісний термоелектричний пристрій (термоелемент) з трьома електропровідними електродами (плівками, пластинами), розділеними діелектриками таким чином, щоб утворювалися конденсатори [10]. У цьому випадку можна використовувати діелектрики, прозорі для оптичного випромінювання або електрокалоричні діелектрики. Окремі електроди можуть мати більше одного електричного виводу (контакту). Як варіант, принаймні один електрод може змінювати тип провідності під впливом того чи іншого фактора (наприклад, під впливом поперечного електричного поля змінювати провідність n-типу на провідність р-типу [5]).

Висновок

Використання дій електромагнітного випромінювання, електричного поля та теплової дії у порівнянні з використанням лише однієї із вказаних дій розширює можливості керування властивостями плівок та плівкових пристроїв. При цьому вказані пристрої можуть мати властивості, яких немає у пристроїв, які використовують у своїй роботі лише одну з вказаних дій. Інформація, яка наведена у цій роботі може бути використана для дослідження процесів, які відбуваються у вказаних плівках та плівкових пристроях, здійснення перетворень енергії, вимірювань, а також для розробки, створення та використання нових пристроїв з необхідними властивостями.

Кшевецький О.С. – кандидат фізико-математичних наук, доцент.

- [1] Ch. Azuma, T. Kawano, H. Kakemoto, H. Irie, *Photo-controllable thermoelectric properties with reversibility and photo-thermoelectric effects of tungsten trioxide accompanied by its photochromic phenomenon*, Journal of Applied Physics, 116, 173502 (2014); <https://doi.org/10.1063/1.4900852>.
- [2] Oleg S. Kshevetsky, *About the feasibilities of controlling the properties of thermoelectric energy converters using optical radiation*, Proc. SPIE 10612, Thirteenth International Conference on Correlation Optics, 106120X (2018); <https://doi.org/10.1117/12.2303611>.
- [3] O. S. Kshevetsky, *Estimation of the properties of a position-sensitive photo-thermoelectric temperature sensor*, Proc. SPIE 11369, Fourteenth International Conference on Correlation Optics, 113690Y (2020); <https://doi.org/10.1117/12.2553981>.
- [4] Anatychuk, [L. I., Thermoelectricity, Vol. 1. Physics of Thermoelectricity], Institute of Thermoelectricity, Kyiv, Chernivtri, (1998)
- [5] Mona Abdi, Bandar Astinchap, Farhad Khoeini, *Thermoelectric properties of MoS₂-MoTe₂ and MoS₂-MoSe₂ lateral hetero-structures: The effects of external magnetic, transverse electric fields and nanoribbon width*, Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, 165, 116119, (2025); <https://doi.org/10.1016/j.physe.2024.116119>.
- [6] Kshevetskyi, O. S., UA Patent № 103829, bul. 24, (2015)
- [7] Kshevetskyi, O. S., UA Patent № 118613, bul. 15, (2017)
- [8] Kshevetskyi, O. S., UA Patent № 139375, bul. 1, (2020)
- [9] Kshevetskyi, O. S., UA Patent № 105160, bul. 5, (2016)
- [10] Kshevetskyi, O. S., UA Patent № 156435, bul. 25, (2024)
- [11] A. Torelló, E. Defay, *Electrocaloric Coolers: A Review*. Adv. Electron. Mater. 8, 2101031 (2022); <https://doi.org/10.1002/aelm.202101031>.
- [12] S. Mönch et al., *A 99.74% Efficient Capacitor-Charging Converter Using Partial Power Processing for Electrocalorics*, in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 11(4), 4491(2023), <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2023.3270375>.
- [13] Kiruthika, S. Sneha, Namuni Gupta, *Ritu Visibly transparent supercapacitors*. J. Mater. Chem. A, 11, 4907 (2023); <https://doi.org/10.1039/D2TA07836H>.
- [14] Xuan Zhang, Yijie Zhang, Le Yao, Xiang Zou, Yunshuo Zhang, Yihang Cao, Junde Zhao, Shujuan Liu, Weiwei Zhao, Qiang Zhao; *β -ketoenamine-linked covalent organic frameworks ultrathin film for transparent supercapacitors with enhanced charge storage capability*. Appl. Phys. Lett. 125 (5): 053902 (2024); <https://doi.org/10.1063/5.0211024>.
- [15] Giovanni Landi, Carlo Barone, Luca La Notte, Guerino Avallone, Veronica Granata, Giovanni Carapella, Alessandro Lorenzo Palma, Paolo Sdringola, Giovanni Puglisi and Sergio Pagano. *Temperature-dependent performance of sustainable supercapacitors with hydrogel electrolyte*. Nano Express, 6(1), 015023 (2025); <https://doi.org/10.1088/2632-959X/adc025>.

O.S. Kshevetskyi

Something about film devices controlled by an electric field and electromagnetic radiation

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, kshevos@gmail.com

The paper provides information on some possible methods of controlling the properties of film devices using the actions of electromagnetic radiation, electric field and thermal action. Information is also provided on some such relevant devices and their possible applications. In this paper, first of all, those specified methods and devices that can be used for those or other transformations of thermal and electrical energy, as well as those properties on which the efficiency of the corresponding transformations of thermal and electrical energy depends, are considered. In particular, a combined device is considered, which combines the properties of electrocaloric and thermoelectric energy converters. A device with films sensitive to electromagnetic radiation, the control of the properties of which is carried out, in particular, by means of lateral electromagnetic radiation, is also considered. The information presented in this work can be used to study the influence of electromagnetic radiation, electric field and temperature on the properties of films, film devices or elements, to develop, create and use various controlled devices or elements (in particular, flexible ones), for example, photo-thermoelectric position-sensitive temperature sensors, thermoelectric and combined energy converters, electronic devices.

Keywords: electromagnetic radiation, electric field, film devices, thermoelectric elements, energy converters.