

ВПЛИВ ФОРМИ ПАДАЮЧОГО ІМПУЛЬСУ НА ТЕМПЕРАТУРНІ РОЗПОДІЛИ В МАСИВНИХ ЗРАЗКАХ

Дрогобицький Ю.В.

Тернопільський національний педагогічний університет ім. В.Гнатюка,
e-mail: daodrg@gmail.com

Одним із методів дослідження різноманітних властивостей твердотільних матеріалів є збудження у них нестационарних теплових процесів, з подальшим вимірюванням температурних розподілів [1, 2]. Звичайно, для збудження використовують лазерні імпульси.

При поглинанні випромінювання його енергія частково йде на нагрівання носіїв заряду і частково на генерацію електронно-діркових пар (якщо енергія кванта перевищує ширину забороненої зони). Енергетично нерівноважні носії за рахунок електрон-фононної взаємодії передають енергію коливанням кристалічної ґратки, в результаті чого і в підсистемі носіїв струму, і у фононній підсистемі виникають нестационарні теплові потоки. Нерівноважні носії струму, дифундуючи в глибину зразка, рекомбінують, викликаючи появу вторинних джерел нестационарного нагрівання. Детектований сигнал в загальному випадку формується всіма вище названими процесами, причому всі вони проявляють себе одночасно. Через те виділити вклад кожного з них досить важко.

Одним із методів дослідження є вимірювання термоелектричного відгуку на теплове збурення зразка. Вимірювання термо-ЕРС, як вихідного сигналу в фототермічних експериментах у напівпровідниках, є досить перспективним з причини своєї простоти, високої точності вимірювань, відсутності проміжних середовищ для перетворення одного виду сигналу в інший, можливості зондування температури вздовж зразка.

Для спрощення теоретичного розрахунку будемо вважати, що у досліджуваному зразку нерівноважні температури всіх квазічастинок однакові, а поглинання імпульсу енергії відбувається на поверхні. Така модель може бути реалізованою, наприклад, у напівпровідниках з *n*- або *p*-типом провідності з достатньо сильною електрон-фононною енергетичною взаємодією при щільному контакті напівпровідника з металевою плівкою, що поглинає енергію падаючого випромінювання і перетворює її в тепло.

У роботах, присвячених дослідженню температурних відгуків на поглинання імпульсного випромінювання звичайно вважають що форма падаючого теплового імпульсу є прямокутна, що на практиці реалізується дуже рідко, тому у нашій роботі ми поставили за мету дослідити залежність температурного відгуку від форми падаючого імпульсу, оскільки в реальних умовах імпульс не може мати чітко прямокутну форму, а може приймати, в загальному випадку, довільну форму.

Для спрощення аналітичних розрахунків розглядаємо напівбезмежний твердотільний зразок. Нехай на ліву поверхню однорідного зразка падає імпульсний тепловий потік. Будемо вважати, що бічні грані зразка – теплоізовані. Тоді температурне поле всередині зразка визначається з рівняння теплопровідності [3]:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \alpha \cdot \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

де $\alpha = \kappa / (\rho \cdot c)$ – коефіцієнт температуропровідності, κ – коефіцієнт теплопровідності, ρ – густина, c – питома теплоємність. Граничні та початкові умови природно вибираємо у вигляді:

$$\begin{cases} T(x, t)|_{t=0} = T_0 \\ -x \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = f(t) \\ T(x, t) \rightarrow T_0, \text{ при } x \rightarrow \infty, \end{cases} \quad (2)$$

де T_0 – рівноважна температура, $f(t)$ – функція, що описує форму падаючого імпульсу.

Маючи на меті отримати загальний розв’язок рівняння (1) з граничними та початковими умовами (2), використовуємо операційний метод (метод перетворень Лапласа) [4]. Використовуючи звичайну схему розв’язку для операційного методу, отримаємо для зображення розв’язку:

$$u(x, p) = \frac{Q}{\kappa} \sqrt{\alpha} F(p) \cdot \frac{1}{\sqrt{p}} e^{-x \sqrt{\frac{p}{\alpha}}} \quad (3)$$

де $U(x, p)$ – зображення розв’язку, $F(p)$ – зображення функції $f(t)$. Для знаходження $T(x, t)$ потрібно знайти оригінал для функції (3). Для цього, звичайно зручно користуватися різноманітними методами теорії перетворень Лапласа. Таким чином задача розв’язана в загальному вигляді (зведена до квадратур).

У роботі розглянута схема отримання температурного розподілу. Досліджено ряд конкретних випадків (конкретні вирази для функції $f(t)$), зокрема показано, що для прямокутного імпульсу отримуємо добре відомий розв’язок. З отриманих результатів слідує, що форма кривої термоелектричного відгуку суттєво залежить від форми падаючого імпульсу. Отримані результати дозволяють за експериментально отриманим температурним розподілом визначити форму падаючого імпульсу, а також його параметри (тривалість, максимальну інтенсивність).

1. Sasaki M. Pulsed laser-induced transient thermoelectric effects in silicon crystals / M. Sasaki, H. Negishi and M. Inoue // J. Appl. Phys.- 1986.- Vol. 59.- P. 796-802.
2. Kolbachinski V.A. Valence-band changes in $\text{Sb}_{2-x}\text{In}_x\text{Te}_3$ and $\text{Sb}_2\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ by transport and Shubnikov–de Haas effect measurements / V.A. Kolbachinski et al. // Phys. Rev. B.- 1995.- Vol. 52.- P. 10915-10922.
3. Логвинов Г.Н. Разогрев образца лазерным импульсом / Г.Н. Логвинов, Ю.В. Дрогобицкий, L. N. de Rivera, Ю.Г. Гуревич // ФТТ.- 2007.- Т. 49.- с. 785-790. [G. N. Logvinov, Yu. V. Drogobitskiy, L. N. de Rivera and Yu. G. Gurevich. Heating of a Sample with a Laser Pulse // Physics of the Solid State.- 2007.- Vol. 49, No. 5.- P. 824–830.]
4. Мартыненко В.С. Операционное исчисление. – К.: Вища школа,– 1973.–268с.