



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 92487

(13) U

(51) МПК

G01N 25/18 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 14236**

(22) Дата подання заявки: **06.12.2013**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **26.08.2014**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **26.08.2014, Бюл.№ 16**

(72) Винахідник(и):

**Мінайлова Ірина Анатоліївна (UA)**

(73) Власник(и):

**Мінайлова Ірина Анатоліївна,**  
вул. Нижньокорківська, 13, кв. 7, м. Київ,  
04080 (UA)

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕМПЕРАТУРОПРОВІДНОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ

### (57) Реферат:

Спосіб визначення коефіцієнта температуропровідності твердих тіл, включає нерівномірний нагрів матеріалу, лазерне зондування матеріалу, реєстрацію багатопроменевої інтерференції поляризованого випромінювання та розрахунок за формулами для визначення коефіцієнта температуропровідності. Циркулярно поляризований стан поляризації випромінювання змінюють регулюванням до рівня нульового сигналу на детекторі за допомогою додаткового елемента оптичної схеми, нагріванням або охолодженням здійснюють спрямований потік тепла, вимірюють циркулярну компоненту поляризованого світла, яка виникла внаслідок розповсюдження теплового потоку, вимірюють часову залежність температури в певній координаті та за рівнянням теплопровідності визначають коефіцієнт температуропровідності.

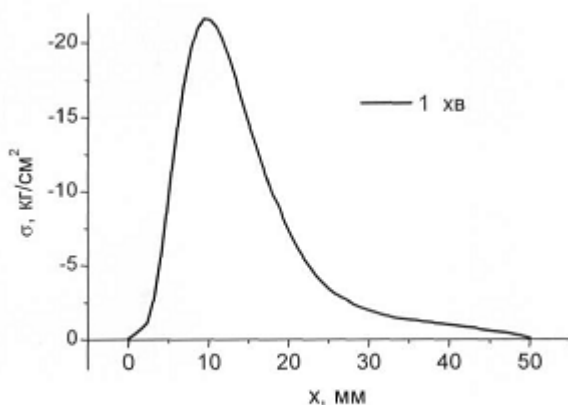


Рис. 1

UA 92487 U



Запропонована корисна модель належить до нестационарних способів визначення однієї з найважливіших теплофізичних властивостей твердих тіл - коефіцієнта температуропровідності в режимі їх охолодження при незмінних параметрах навколишнього середовища. Розроблена корисна модель може бути використана при дослідженні, визначенні і контролі коефіцієнта температуропровідності в напівпровідникових кристалах та взагалі у твердих тілах при виробництві електронних приладів.

За аналог взято винахід, в якому нагрів твердого тіла здійснюють безконтактним неруйнівним тепловим впливом на тверде тіло за допомогою джерела інфрачервоного випромінювання [1]. Температурне поле твердого тіла і термічний стан навколишнього середовища реєструє система термоперетворювачів. Тепловий потік, що є наслідком градієнту у твердому тілі, фіксується перетворювачем енергії теплового потоку, встановленим на поверхні досліджуваного твердого тіла. Експериментально-розрахункове визначення теплопровідності і температуропровідності твердого тіла проводять після встановлення стаціонарного температурного поля в умовах охолодження твердого тіла та постійних параметрах навколишнього середовища.

Переваги даного способу полягають у тому що:

процес визначення коефіцієнтів теплопровідності і температуропровідності твердого тіла не вимагає наявності еталонів з відомими тепловими властивостями;

використовується простий вигляд аналітичних виразів для обробки експериментальних даних;

відпадає необхідність в теплоізоляції поверхні досліджуваного твердого тіла.

Недоліками даного способу є те, що визначення коефіцієнта температуропровідності здійснюється контактним способом, при якому додатково вносяться похибки в результати вимірювань.

Найбільш близьким технічним рішенням, прийнятим за прототип, є спосіб неруйнівного та безконтактного визначення коефіцієнта температуропровідності [2], який полягає в тому, що матеріал нагрівають променем, модульованим по інтенсивності певної частоти і зондуванням матеріалу лазерним променем з боку, протилежного точці нагріву, здійснюють реєстрацію зміщення фази температурної хвилі. Для цього на поверхню матеріалу, протилежну до нагрітої, прикріплюють плівку з дзеркальною поверхнею і зондуючий лазерний промінь, відбитий від цієї поверхні плівки, ділять на два, формують за допомогою інтерферометра Майкельсона інтерференційну картину, і, по зсуву інтерференційних смуг відносно точки спостереження, визначають зрушення по фазі температурної хвилі.

Перевагою прототипу є те, що даний спосіб дозволяє підвищити точність вимірювання і розширити клас вимірюваних матеріалів.

Недоліком прототипу є використання тонкої плівки, як додаткового елемента, який, реагуючи на теплові зміни в матеріалі, призводить до збільшення похибки подібних вимірів.

Задачею запропонованої корисної моделі є розробка способу визначення коефіцієнта температуропровідності напівпровідникових кристалів і твердих тіл при нестационарному тепловому режимі, підвищення точності визначення коефіцієнта температуропровідності і спрощення способу проведення вимірів.

Поставлена задача вирішується тим, що пропонується спосіб визначення коефіцієнта температуропровідності твердих тіл, що включає нерівномірний нагрів матеріалу, лазерне зондування матеріалу, реєстрацію багатопроменевої інтерференції поляризованого випромінювання та розрахунок за формулами для визначення коефіцієнта температуропровідності, який відрізняється тим, що циркулярно поляризований стан поляризації випромінювання змінюють регулюванням до рівня нульового сигналу на детекторі за допомогою додаткового елемента оптичної схеми, нагріванням або охолодженням здійснюють спрямований потік тепла, вимірюють циркулярну компоненту поляризованого світла, яка виникла внаслідок розповсюдження теплового потоку, вимірюють часову залежність температури в певній координаті та за рівнянням теплопровідності визначають коефіцієнт температуропровідності.

Позитивний ефект запропонованої корисної моделі полягає в тому, що спосіб дозволяє визначати коефіцієнт температуропровідності напівпровідникових кристалів і твердих тіл безконтактним методом за величиною зміни циркулярної компоненти поляризованого випромінювання під впливом зовнішніх чинників. Висока чутливість методу з використанням методу модуляції поляризації електромагнітного випромінювання дозволяє реєструвати різницю фаз лінійних ортогональних компонент  $\Delta \cong 2\pi \cdot 10^{-6}$  рад, що становить приблизно  $1''$ , а достатньо простий вид аналітичних виразів дозволяє швидко обробляти експериментальні дані.

Приклад. Для реалізації способу, було розроблено макет, в якому джерелом випромінювання є лазерний світлодіод з довжиною хвилі  $\lambda=650$  нм. Лінійний поляризатор "очищує" випромінювання від циркулярної і неполяризованої компоненти. Вісь поляризатора і, відповідно, поля хвилі  $\vec{E}$  повинні складати певний кут щодо осей оптичної індикатрис (поверхні Ферми) зразка, що досліджується, при якому лінійно поляризоване випромінювання оптимальним чином перетвориться в циркулярне. Зважаючи на це, азимут електричного поля  $\vec{E}$  хвилі в початковому стані доречно встановлювати під кутом  $45^\circ$  відносно оптичної осі зразка так, що  $E_x = E_y$ . За зразок було взято пластину із кварцового скла з геометричними розмірами (мм)  $10 \times 50 \times 20$ . Зразок встановлювався на ситалову підкладку з нікелевою плівкою-резистором на її поверхні, що грала роль джерела тепла потужністю 1 Вт.

Стан поляризації випромінювання, що пройшло крізь зразок, змінювався завдяки механічному напруженню від теплового потоку та аналізувався методом модуляційної поляриметрії. Це обумовлено тим, що хоча стан поляризації випромінювання має велику інформаційну здатність щодо анізотропних властивостей досліджуваних об'єктів, проте завжди присутня неполяризована компонента, що грає обмежуючу роль в їх виявленні технікою модуляції поляризації. За цією методикою відбувається періодична зміна стану поляризації при незмінній інтенсивності випромінювання. Внаслідок цього з'являється змінний у часі сигнал, пов'язаний з поляризованою компонентою, який відділяється від загального сигналу фотодетектора селективним lock-in-нанольтметром. На частоті модуляції реєструвався сигнал фотодетектора, що визначався величиною і знаком циркулярної компоненти випромінювання  $V$ , зв'язок якого з величиною оптичної анізотропії зразка (в лінійному випадку з механічним напруженням, який має місце при  $\varphi \ll 1$ ) має вигляд  $I_V = I_0 \sin(\varphi) \sin(\omega t)$ , де

$\varphi = \varphi_x - \varphi_y = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_x - n_y)$ . Тут  $\varphi$  - різниця фаз ортогональних лінійних компонент випромінювання на виході із зразка товщиною  $d$ ,  $a(n_x - n_y)$  - показники заломлення матеріалу зразка, залежні від величини і знака деформації у напрямку відповідних осей,  $\lambda$  - довжина хвилі випромінювання.

Вимірювалася величина подвійного променезаломлення як функція координати зразка уздовж напрямку теплового потоку в характерні моменти часу його розповсюдження та розподіл функції температури у часі в певній точці зразка. Використовуючи відоме рівняння теплопровідності, визначимо коефіцієнт теплопровідності:

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

де  $T$  - потенціал, пов'язаний з координатною функцією температури,  $x$  - координата,  $a$  - коефіцієнт теплопровідності,  $t$  - координата часу.

З іншого боку цю ж саму компоненту залежності  $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$  містить рівняння Пуассона, яке описує індуквану неоднорідним градієнтом температури стаціонарну деформацію пружного твердого тіла

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = -\frac{\sigma(x)}{\tau}, \quad (2)$$

де  $\sigma$  - нормальна компонента механічної напруги,  $1/\tau$  - коефіцієнт пропорційності.

Параметр  $\sigma(x)$  залежності (2) є вимірюваною величиною, яка зображена на рис. 1. Тут зображено розподіл уздовж  $x$ -координати механічної напруги, що має місце через 1 хв після включення нагрівача. Зауважимо, що в точці  $j_s=10$  мм величина механічної напруги приймає значення  $\sigma=21,55$  кг/см<sup>2</sup>. На рис. 2 зображено часову залежність температури на відстані 1 см від торця, що нагрівається. Із першої похідної функції температурної залежності, зображеної на

рис. 3, визначимо величину градієнта температури  $\frac{\partial T}{\partial t}$  в координаті 1 хв, який дорівнює 2,374 °C/с. Температуропровідність визначаємо із рівняння (1):

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}; \quad a = \frac{\partial T / \partial t}{\partial^2 T / \partial x^2}; \quad a = 11 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Експериментально із застосуванням поляризаційної модуляції в оптико-поляризаційному методі виміряні механічні напруги, індуковані в часі і в просторі тепловим потоком. Модифікування традиційного способу модуляцією поляризації додало йому підвищеної чутливості щодо величини термопружності, високої просторової роздільної здатності, а також практично температурної незалежності всіх коефіцієнтів завдяки реєстрації параметрів термопружності в умовах незначного перепаду температури ( $\Delta T \approx 1\text{K}$ ).

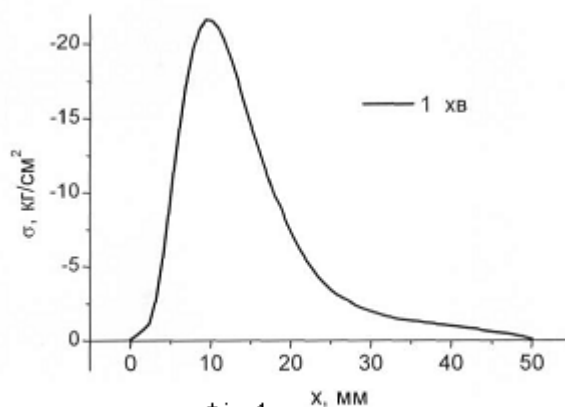
Джерела інформації:

1. Игонин В.И., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Способ определения теплопроводности и температуропроводности твёрдого тела при нестационарном тепловом режиме. Российский патент № 2460063, опуб. 13.04.2011.

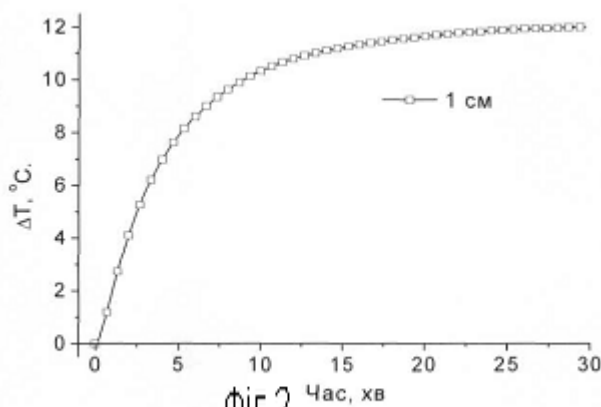
2. Зиновьев В.Е., Коршунов И.Г., Докучаев В.В., Шихов Ю.А., Баиров А.С. Способ измерения коэффициента температуропроводности. Госпатент СССР № 4835526/25, Бюл. № 23 от 23.06.93.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

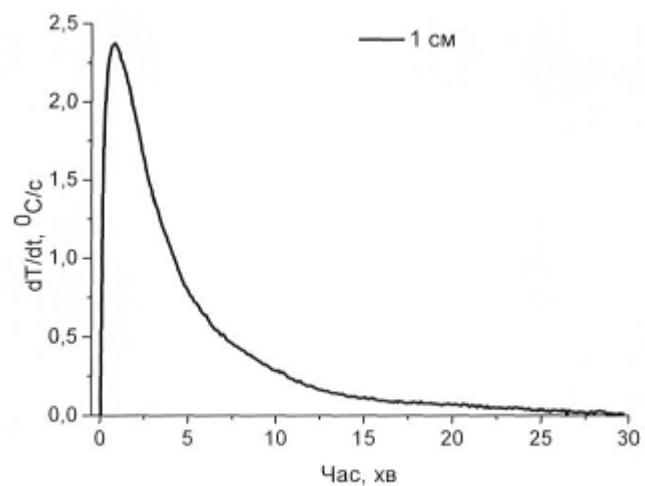
Спосіб визначення коефіцієнта температуропровідності твердих тіл, що включає нерівномірний нагрів матеріалу, лазерне зондування матеріалу, реєстрацію багатопроменевої інтерференції поляризованого випромінювання та розрахунок за формулами для визначення коефіцієнта температуропровідності, який **відрізняється** тим, що циркулярно поляризований стан поляризації випромінювання змінюють регулюванням до рівня нульового сигналу на детекторі за допомогою додаткового елемента оптичної схеми, нагріванням або охолодженням здійснюють спрямований потік тепла, вимірюють циркулярну компоненту поляризованого світла, яка виникла внаслідок розповсюдження теплового потоку, вимірюють часову залежність температури в певній координаті та за рівнянням теплопроводності визначають коефіцієнт температуропровідності.



Фіг.1



Фіг.2



Фіг.3

---

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601