

О.О. Шульженко, член-кор. НАН України¹; **L. Jaworska**, prof.²; **О.М. Соколов**,
В.В. Лисаковський, кандидати технічних наук; **В.В. Гаращенко**, канд. фіз.-мат. наук;
В.Г. Гаргін, канд. техн. наук; **Є.Ф. Кузьменко**¹

¹Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ,
E-mail: kybor@ism.kiev.ua

²AGH University of Science and Technology. Non-Ferrous Metals Faculty, Krakow, Poland;
E-mail: ljaw@agh.edu.pl

ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ПЛАСТИНОК МОНОКРИСТАЛІВ АЛМАЗУ ТИПУ Ib і Pa, ОДЕРЖАНИХ МЕТОДОМ Т-ГРАДІЄНТУ В НРНТ УМОВАХ

За допомогою пристроїв для вимірювання теплопровідності IT-02Ц, принцип дії якого ґрунтується на контактному методі, що включає імпульсне нагрівання зразка з наступним охолодженням його до початкової температури, і LFA-427, який діє на основі методу лазерного спалаху (метод лазерного імпульсу), визначена теплопровідність пластинок монокристалів алмазу типу Ib і Pa, одержаних методом Т-градієнту в НРНТ умовах. Одержані дані добре корелюють з результатами, одержаними раніше іншими дослідниками. Таким чином, використання монокристалу алмазу Ib як еталона поряд із міддю, алюмінієм та іншими матеріалами дозволить зробити калібрувальний графік, що дозволить проводити експрес-вимірювання теплопровідності на приладі IT-02Ц в широкому діапазоні значень теплопровідності.

Ключові слова: алмаз, монокристал, теплопровідність, нестационарний метод

Вступ

Завдяки надзвичайно високій теплопровідності³ алмаз є перспективним матеріалом для використання як тепловідводного матеріалу в силовій електроніці. Зокрема, алмазні тепловідводи знайшли широке застосування в напівпровідникових квантових генераторах і генераторах випромінення в області надвисоких частот (лавино-пролітні діоди, діоди Ганна).

Довгий час придатними для використання в якості тепловідводів були лише монокристали природного алмазу, оскільки синтезовані в умовах високих тисків та температур методом спонтанної кристалізації монокристали мали значно нижчу теплопровідність. Це пов'язано з тим, що в умовах спонтанної кристалізації кристали ростуть з великими швидкостями за непостійних технологічних параметрів, що призводить до одержання кристалів з високим рівнем різних дефектів, наявністю включень металів-розчинників, що у сукупності веде до зниження їх теплопровідності [1, 2]. Однак, розвиток техніки високого тиску, створення нового обладнання та розвиток технології вирощування синтетичних алмазів, зокрема методу Т-градієнта вирощування монокристалу на затравці, дозволили вести процес його вирощування десятки годин за строго контрольованих технологічних параметрів і дуже малих швидкостях росту, що забезпечує переважно бездефектну забудову алмазної ґратки і концентрацію вакансій, набагато меншу за концентрацію домішкового азоту. Це дозволило одержувати монокристали алмазу з теплопровідністю, що не поступається монокристалом природного алмазу.

Надзвичайно важливою проблемою є вимірювання теплопровідності монокристалів алмазу, оскільки алмаз як об'єкт теплофізичних досліджень має ряд особливостей, які

³Див. огляд по теплопровідності алмазу і алмазних матеріалів, с. 153–171 даного збірника

необхідно враховувати. По-перше, це обмежений розмір зразків, і, по-друге, це висока теплопровідність алмазу.

Методи, які використовують для експериментального визначення теплопровідності алмазу, поділяються на стаціонарні і нестаціонарні [3].

Стаціонарні методи вимірювання, в свою чергу, поділяються на прямі та відносні [4]. Прямий метод – це метод стаціонарного поздовжнього теплового потоку, який полягає у вимірюванні різниці температур ΔT в зразку, що має форму паралелепіпеду перерізом S , на певній відстані l під час проходження через нього постійного теплового потоку Q . Теплопровідність визначають за формулою:

$$\lambda = lQ/S\Delta T.$$

Перевага цього методу – можливість проводити дослідження в широкому інтервалі температур. Головна проблема всіх методів стаціонарного поздовжнього потоку – необхідність проходження через зразок всього тепла від нагрівника, що за невеликих розмірів зразка здійснити дуже складно.

Задача спрощується, якщо використовувати відносні методи. В цьому випадку з'являється можливість вимірювати теплопровідність зразків невеликих розмірів. Під час використання цих методів використовують спеціальний вимірювач – тепломір, який містить термостат, а вимірювання виконують або за допомогою термопар, або по тепловому випромінюванню [4]. В цьому випадку більшого поширення отримав метод порівняння коефіцієнта теплопровідності досліджуваного матеріалу з коефіцієнтом еталона. При цьому в розрахункову формулу входить теплопровідність еталона.

Для вимірювання теплопровідності застосовують також метод стягування теплового потоку [5, 6]. Цей метод також є стаціонарним. Вимірювання припускають наявність у зразка двох плоскопаралельних поверхонь. Головні переваги методу – можливість вимірювання теплопровідності зразків малих розмірів (~1 мм), а також найменші у порівнянні з іншими методами вимоги до форми зразка. Головний недолік – необхідність калібрування та дотримання умов, що забезпечують стабільний за теплофізичними властивостями контакт між алмазним наконечником термозонду і зразком.

Нестаціонарні методи визначення теплопровідності засновані на вимірі різниці температур в функції часу за несталого теплового потоку. Перевагою нестаціонарних методів є швидкість визначення – всього кілька хвилин, в той час як вимірювання питомої теплопровідності стаціонарним способом може потребувати багатьох годин.

Якщо розглядати нестаціонарні методи вимірювання теплофізичних властивостей і теплового потоку з точки зору вибору математичного опису моделі об'єкта дослідження, можна виділити два підходи до їх проектування [7].

Перший підхід заснований на використанні математичної моделі у вигляді крайової задачі теплопровідності. Тоді для розв'язання оберненої задачі теплопровідності параметри моделі підбираються таким чином, щоб забезпечити ідентичність температурних полів об'єкта і моделі, отриманих шляхом вирішення крайової задачі. Для оцінки ступеня близькості даних полів використовується рівність нулю функції помилки між температурами в потрібних точках об'єкта і моделі, що дозволяє отримати більш прості розрахункові формули визначення шуканих величин. У другому підході використовується модель у вигляді рівняння, що описує інтегральний закон збереження тепла на заданому інтервалі часу і обраної координати. В цьому випадку шляхом підбору його параметрів забезпечується рівність нулю функції помилки даного рівняння в заданій області. Принципова відмінність цих підходів полягає в

тому, що в першому випадку забезпечується адекватність температурних полів, одне з яких є рішенням крайової задачі; у другому підході адекватність досягається для однієї з форм представлення рівняння теплопровідності.

Метою даної роботи є визначення теплопровідності двох зразків пластинок синтетичних монокристалів алмазу.

Зразки монокристалів синтетичного алмазу

Для проведення вимірювання значень теплопровідності алмазу були виготовлені два вихідні зразки монокристалів алмазу Ib і IIa типів, вагою 7,43 і 8,14 карат відповідно (рис. 1).

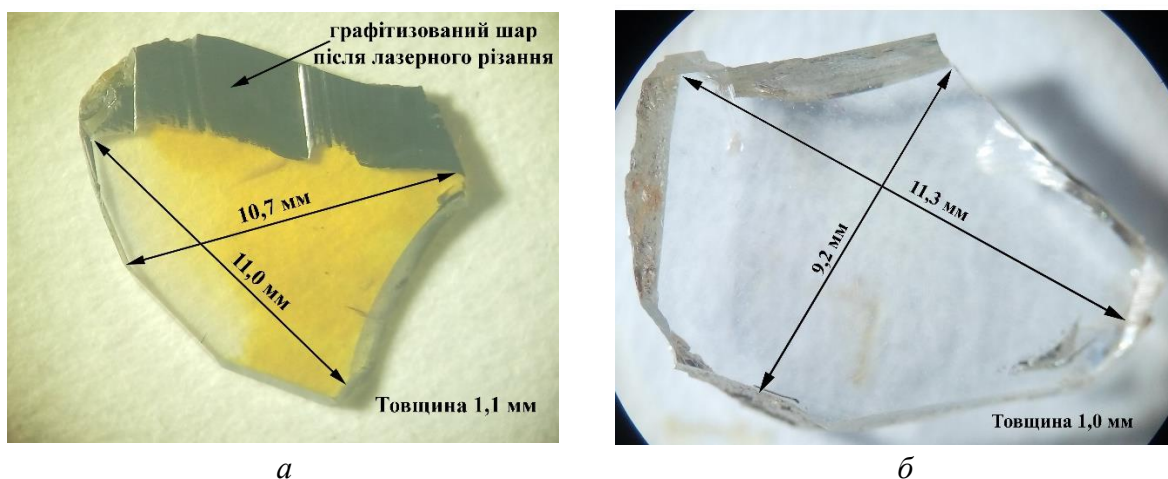
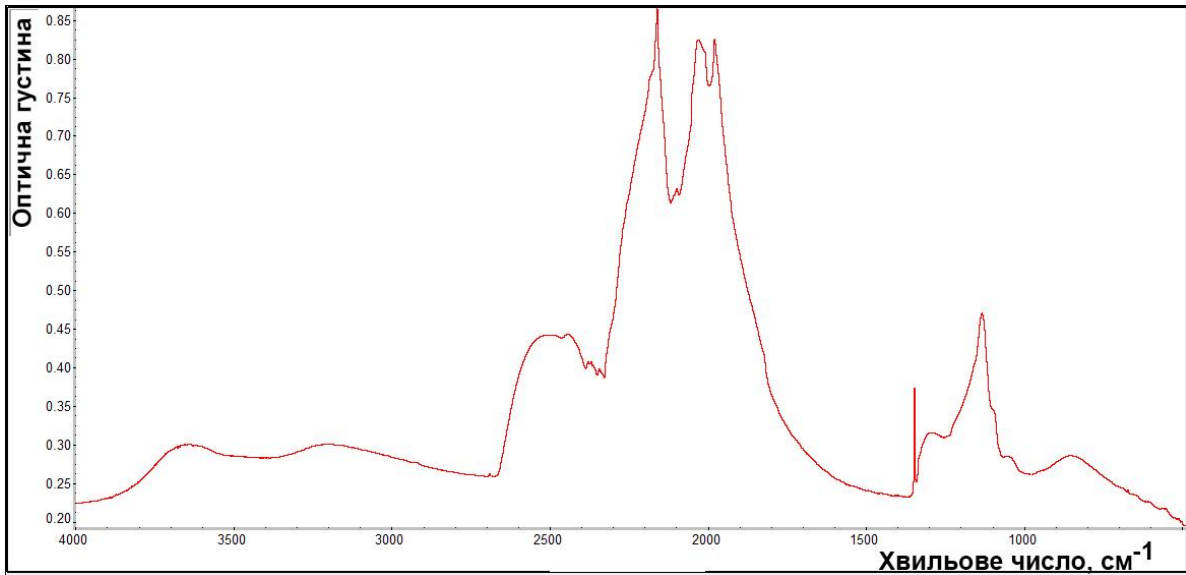


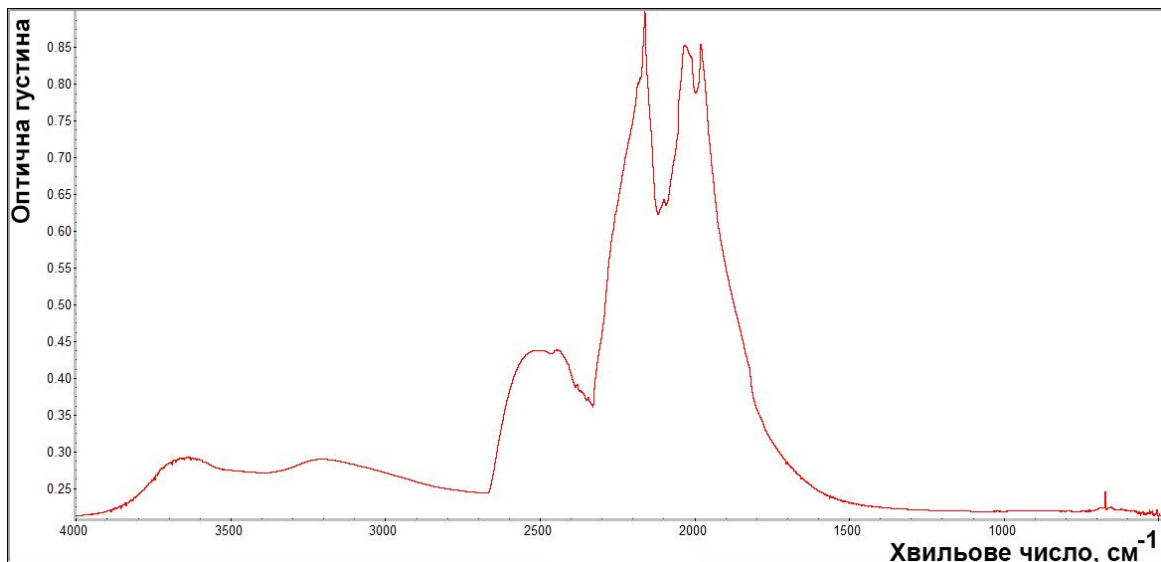
Рис. 1. Зразки монокристалів синтетичного алмазу: а – типу Ib; б – типу IIa

Зразки були вирощені методом температурного градієнту в кубічних апаратах високого тиску китайського виробництва з діаметром плунжера 750 мм [8]. Вирощування проводили в сплаві на основі Fe–Co, для вирощування зразку типу IIa в сплав основу додавали Ti. Обидва зразки були кубоктаєдричного габітусу з добре розвинутими гранями октаєдру, при цьому зразок IIa типу мав досить добре розвинуті грані ромбододекаєдра і тетрагонтриоктаєдра. Дослідну пластину із монокристала алмазу Ib типу вирізали в напрямку 110. Кристал типу IIa розрізали в напрямку 111 паралельно найбільшій грані октаєдра. Різали вихідні зразки за допомогою лазера «Quazer 3» фірми Sarine, оснащеного системою зеленого лазерного розпилювання, яка пропонує комбіновані переваги високої продуктивності та економічності, низького ризику поломки та гнучкості профілів різання. Завдяки системі двостороннього різання втрати ваги монокристалів були мінімальні. Після різання виготовлені пластини шліфували на алмазних кругах для огранювання алмазів.

Тип монокристалів був підтверджений на підставі аналізу їх інфрачервоних (ІЧ) спектрів оптичного поглинання, які одержували за допомогою інфрачервоного Фур'є-спектрометра Nicolet 6700, ThermoScientific, в середньому ІЧ діапазоні електромагнітного випромінювання від 600 до 4000 cm^{-1} із роздільною здатністю 0,9 cm^{-1} (рис. 2). Дослідження в цій області дозволяє однозначно визначити, до якого типу належить зразок алмазної пластини та з'ясувати, які домішкові центри присутні.



a



б

Рис. 2. ІЧ-спектри поглинання зразків синтетичного алмазу типу Ib (а) і IIa (б)

Чіткі смуги в діапазоні 1800–3800 cm^{-1} відповідають гратковому (мультифононному) коливанню в кристалі. Наявність лише цих широких смуг поглинання в зразку (рис. 2 б) вказує на належність його до алмазів типу IIa. В іншому ж зразку (рис. 2 а) додатково присутні смуги при 850, 1135, 1290 та 1345 cm^{-1} , що вказує на наявність домішкових центрів у вигляді атомів азоту та належність зразка до алмазів типу Ib.

Визначення теплопровідності пластинок монокристалів синтетичного алмазу

Визначення теплопровідності зразків проводили за допомогою двох пристроїв для вимірювання теплопровідності. Принципи дії обох ґрунтуються на нестационарних методах дослідження.

Перший пристрій – це вимірювач теплопровідності ІТ-02Ц, призначений для експериментального визначення питомої теплопровідності матеріалів контактним методом [9]. Схема вимірювальної комірки датчика показана на рис. 3.

Принцип дії пристрою ґрунтується на імпульсному (10–30 с) нагріванні зразка з наступним охолодженням його до початкової температури. Під час вимірювання досліджуваний зразок у вигляді пластинки (диска)

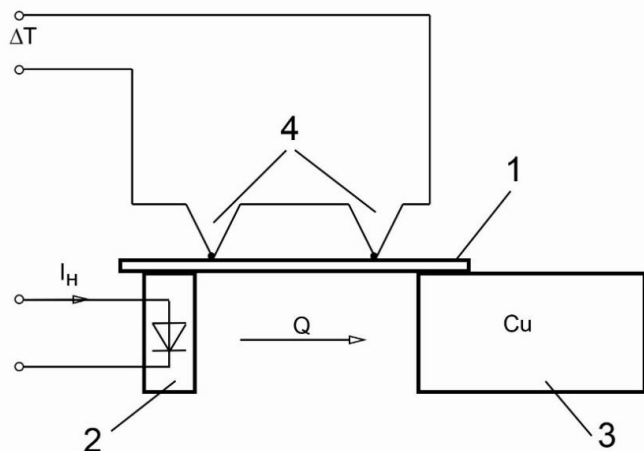


Рис. 3. Елементи вимірювальної комірки: 1 – зразок; 2 – нагрівач; 3 – охолоджувач; 4 – термопари (Q – напрямок теплового потоку, I_n – струм нагрівача)

розташований горизонтально, нагрівач і охолоджувач торкаються нижньої, а дві диференційно включені термопари – верхньої його поверхні, і вимірюють градієнт температур ΔT . Тепловий потік поширюється горизонтально, і, якщо довжина пластинки на порядок більше товщини, то в першому наближенні його можна вважати рівномірним. Якщо товщина пластинки порівнянна з довжиною, розподіл теплового потоку за об'ємом зразка буде нерівномірним. В цьому випадку тепловий потік і, відповідно, градієнт на верхній поверхні зразка буде меншим, що приведе до похибки вимірювань. В конструкції і схемі приладу реалізована можливість вводити поправки, що враховують товщину зразка.

Тестові вимірювання теплопровідності зразків з алюмінію діаметром 10 і товщиною 1–3 мм показали, що за товщини зразка до 2 мм отримані значення теплопровідності збігаються з довідковими даними. Проте, з огляду на нерівномірність теплового потоку, що виникає в зразках зі збільшенням їх товщини, вимірювання теплопровідності проводили методом порівняння з еталонним зразком того ж розміру з матеріалу, теплопровідність якого відома. У наших експериментах використовували еталонний диск з хімічно чистої міді (99,9%), теплопровідність якої згідно табличних даних становила 400 Вт/(м×К).



Рис. 4. Прилад LFA 427 NetzschCompany

Другий пристрій – це прилад LFA 427 NetzschCompany (рис. 4) для вимірювання теплопровідності методом лазерного спалаху (LFA-метод). Для визначення величини температуропровідності використовували розрахункову модель «Кейп-Леман + імпульсна корекція».

Метод лазерного спалаху (метод лазерного імпульсу) належить до групи нестационарних методів, які, на відміну від стаціонарних, не потребують тривалого часу для встановлення теплової рівноваги.

Метод лазерного спалаху (метод лазерного імпульсу) належить до групи нестационарних методів, які, на відміну від стаціонарних, не потребують тривалого часу для встановлення теплової рівноваги.

Сутність методу лазерного спалаху полягає в тому, що короткий імпульс променевої енергії поглинається в тонкому шарі фронтальної поверхні плоского зразка – «таблетки». Викликане цим збурення температури (рис. 5) реєструється на тильній поверхні зразка.

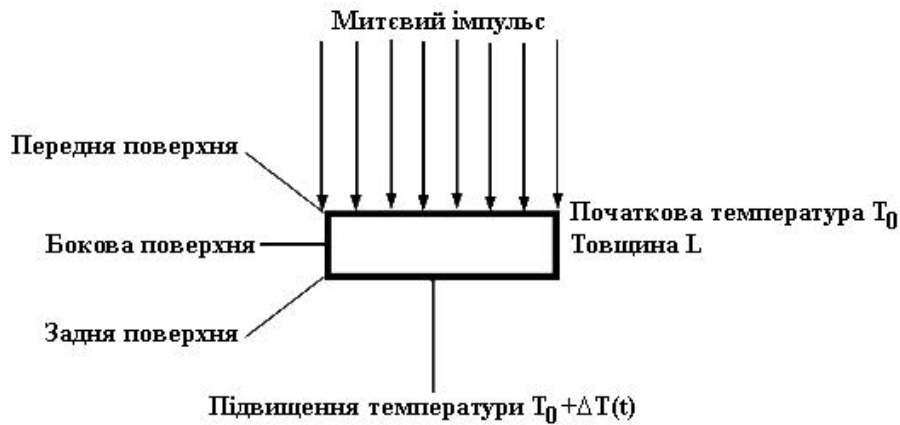


Рис. 5. Схема методу лазерного спалаху [10]

Отримана в цьому випадку інформація містить дані, пов'язані з коефіцієнтом теплопровідності (термічної дифузії), теплоємністю і теплопровідністю зразка.

Слід зазначити, що перш за все прилади серії LFA призначені для прямого вимірювання теплопровідності і теплоємності і непрямого – теплопровідності, яка визначається за формулою:

$$\lambda(T) = a(T) \cdot c_p(T) \cdot \rho(T),$$

$a(T)$ – коефіцієнт теплопровідності ($\text{мм}^2/\text{с}$), отриманий методом лазерного імпульсного аналізу; $c_p(T)$ – питома теплоємність ($\text{Дж}/\text{гК}$), отримана методом лазерного імпульсного аналізу; $\rho(T)$ – густина матеріалу ($\text{г}/\text{см}^3$), отримана в результаті дилатометричних вимірювань з допомогою дилатометру DIL 402C NetzschCompany⁴.

Результати вимірювань наведено в таблиці.

Теплопровідність пластинок синтетичного монокристала алмазу

Зразок	Прилад	Теплопровідність, Вт/(м×К)
Алмаз типу Ib	IT-02Ц	948 ± 47
—«—	LFA 427	681 ± 16
Алмаз типу IIa	IT-02Ц	1804 ± 36

Як впливає з одержаних результатів вимірів теплопровідності, одержані значення теплопровідності пластинок синтетичних монокристалів типів Ib і IIa корелюють з результатами, одержаними раніше іншими дослідниками [11–13].

Більш низьке значення теплопровідності пластинки монокристалу алмазу типу Ib, виміряне за допомогою приладу LFA 427, пояснюється тим, що, по-перше, зразок мав неправильну форму. По-друге, сигнал знаходився на межі виявлення вимірювання для утримувача зразка, яким оснащений прилад, на якому проводили вимірювання.

Отже, використання пластинки монокристалу алмазу Ib як еталона поряд із міддю, алюмінієм та іншими матеріалами дозволить створити калібрувальний графік, що дозволить

⁴Вимірювання були виконані в лабораторії теплофізичних досліджень в м. Краков (Department of Ceramics and Refractories, Faculty of Materials Science and Ceramics, AGH University of Science and Technology in Krakow, Poland)

проводити експрес-вимірювання теплопровідності на приладі ІТ-02Ц в широкому діапазоні значень теплопровідності.

**A.A. Shulzhenko¹, L. Jaworska², A.N. Sokolov, V.V. Lysakovskii,
V.V. Garashchenko, V.G. Gargin, E.F. Kuzmenko¹**

¹*V. N. Bakul Institute for superhard materials of NAS of Ukraine, Kyiv*

²*AGH University of Science and Technology. Non-Ferrous Metals Faculty, Krakow*

THERMAL CONDUCTIVITY OF SINGLE CRYSTAL PLATES OF TYPES Ib AND IIa, OBTAINED BY THE T-GRADIENT METHOD AT HPHT CONDITIONS

With the help of devices for measuring thermal conductivity IT-02Ts, the principle of which is based on the contact method, including pulsed heating of the sample followed by its cooling to the initial temperature, and LFA-427, which operates on the basis of the laser flash method (laser pulse method), the thermal conductivity plates of type Ib and IIa diamond single crystals obtained by the T-gradient method under HPHT conditions, was determined. The data obtained correlate well with the results obtained earlier by other researchers. Thus, the use of a single crystal of diamond Ib as a standard alongside to copper, aluminum and other materials will make it possible to make a calibration graph, which will make it possible to carry out express measurements of thermal conductivity on the IT-02Ts device in a wide range of thermal conductivity values.

Key words: *diamond, single crystal, thermal conductivity, non-stationary method*

**A.A. Шульженко¹, L. Jaworska², A.N. Соколов, В.В. Лысаковский, В.В. Гаращенко, В.Г. Гаргин,
Е.Ф. Кузьменко**

¹*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

²*AGH University of Science and Technology. Non-Ferrous Metals Faculty*

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПЛАСТИНОК МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА ТИПА Ib и IIa, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ Т-ГРАДИЕНТА В НРПТ УСЛОВИЯХ

С помощью устройств для измерения теплопроводности ИТ-02Ц, принцип действия которого основан на контактном методе, включая импульсный нагрев образца с последующим охлаждением его до начальной температуры, и LFA-427, который действует на основе метода лазерного вспышки (метод лазерного импульса), определена теплопроводность пластинок монокристаллов алмаза типа Ib и IIa, полученных методом Т-градиента в НРПТ условиях. Полученные данные хорошо коррелируют с результатами, полученными ранее другими исследователями. Таким образом, использование монокристалла алмаза Ib как эталона наряду с медью, алюминием и другими материалами позволит сделать калибровочный график, что позволит проводить экспресс-измерения теплопроводности на приборе ИТ-02Ц в широком диапазоне значений теплопроводности.

Ключевые слова: *алмаз, монокристалл, теплопроводность, нестационарный метод*

Література

1. Оситинская Т.Д., Вишневецкий А.С., Цендровский В.А., Житнецкий В.И. Теплопроводность синтетических алмазов // Синтетические алмазы. – 1976. – № 4. – С. 7–9.
2. Ositinskaya T.D., Podoba A.P., Shmegeera S. V. Influence of point defects on the thermal conductivity of diamond single crystals: state of the art // Diamond and Related Materials. – 1993. – Vol. 2 – P. 1500–1504.
3. Теплопровідність надтвердих матеріалів / І.П. Фесенко, Ю.М. Туз, Г.П. Кисла та ін. – Корсунь-Шевченківський: ФОП Майданченко І.В., 2019, 3-є видання. – 78 с.

4. Бокий Г.Б., Безруков Г.Н., Ключев Е.А., Налетов А.М., Непша В.И. Природные и синтетические алмазы. М.: Наука, 1986. – 222 с.
5. Оситинская Т.Д., Цендровский В.А., Вишневецкий А.С. Устройство для измерения теплопроводности монокристаллов алмаза // ИФЖ. – 1977. – Т. 32, № 4. – С. 620–624.
6. Оситинская Т.Д., Подоба А.П. Применение метода стягивания теплового потока для определения коэффициента теплопроводности твердых тел // Пром. теплотехника. – 1981. – Т. 3, № 1. – С. 43–48.
7. Азима Ю.И. Два подхода к проектированию нестационарных методов измерения теплофизических свойств и теплового потока // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 134–143.
8. Лысаковский В.В. Проблемы выращивания монокристаллов алмаза на затравках с использованием шестипуансонных аппаратов высокого давления большого объема // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения. Вып. 17. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2014. – С. 204–208.
9. Азима Ю.И., Беляев Ю.И., Кулакова М.В. Устройство для измерения теплопроводности высокотеплопроводных материалов // Приборы и техника эксперимента. – 1985. – № 4. – С. 248.
10. Метод лазерной вспышки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spectrosystems.ru/methods/laserflash.shtml>.
11. Berman R., Hudson P. R. W., Martinez M. Nitrogen in diamond: evidence from thermal conductivity // Journal of Physics C: Solid State Physics. – 1975. – Vol. 8, N 21. – P. L430–L434.
12. Slack G. A. Nonmetallic crystals with high thermal conductivity // J. Phys. Chem. Solids. – 1973. – Vol. 34. – P. 321–335.
13. Оситинская Т.Д. Теплопроводность монокристаллов природных и синтетических алмазов // Сверхтвердые материалы. – 1980. – № 4. – С. 13–16.

Надійшла 20.07.20

References

1. Ositinskaia, T.D., Vishnevskii, A.S., Tsendrovskii, V.A., & Zhitnetskii, V.I. (1976). Teploprovodnost sinteticheskikhalmazov [Thermal conductivity of synthetic diamonds]. *Sinteticheskie almayı – Synthetic diamonds*, 4, 7–9.
2. Ositinskaya, T.D., Podoba, A.P., & Shmegeera, S. V. (1993). Influence of point defects on the thermal conductivity of diamond single crystals: state of the art. *Diamond and Related Materials*, Vol. 2, 1500–1504 (in Russian).
3. Fesenko, I.P., Tuz, Yu.M., Kysla, H.P., et al. (2019). *Teploprovodnist nadtverdykh materialiv [Thermal conductivity of superhard materials]*. Korsun-Shevchenkiskii: FOP Maidanchenko I.V. (in Ukrainian).
4. Bokii, H.B., Bezrukov, H.N., Kliuev, E.A., et al. (1986). *Prirodnye I sinteticheskie almayı [Natural and synthetic diamonds]*. Moskva: Nauka (in Russian).
5. Ositinskaia, T.D., Tsendrovskii, V.A., & Vishnevskii, A.S. (1977). Ustroistvo dlia izmereniia teploprovodnosti [A device for measuring the thermal conductivity of diamond single crystals]. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal – Engineering Physics Journal*. Vol. 32, 4, 620–624 (in Russian).
6. Ositinskaia, T.D., & Podoba, A.P. (1981). Primenenie metoda stiahivaniia teplovoho potoka dlia opredeleniia koeffitsienta teploprovodnosti tverdykh tel [Application of the method of contraction of heat flow to determine the thermal conductivity of solids]. *Promyshlennaia teplotekhnika – Industrial heating technology*, Vol. 3, 1, C. 43–48 (in Russian).

7. Azima, Yu.I. (2014). Dva podkhoda k proektirovaniu nestatsionarnykh metodov izmereniia teplofisesicheskikh svoistv I teplovoho potoka [Two approaches to the design of non-stationary methods for measuring thermophysical properties and heat flux]. *Izvestiia Tul'NU. Tekhnicheskie nauki. – Bulletin of the Tula State University. Technical science*, 2, 134–143 (in Russian).
8. Lysakovskii, V.V. (2014). Problemy vyrashchivaniia monokristallov almaza na zatravkakh s ispolzovaniem shestipuansonykh apparatov vysokoho davleniia bolshoho obema [Problems of growing diamond single crystals on seeds using large-volume six-punch high-pressure apparatuses] *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 17, 204–208 [in Russian].
9. Azima, Yu.A., Beliaev, Yu. I., & Kulakova, M.V. (1985). Ustroistvo dlia izmereniia teploprovodnosti vysokoteploprovodnykh materialov [A device for measuring the thermal conductivity of highly heat-conducting materials]. *Pribory i tekhnika eksperimenta – Instruments and experimental technique*, 4, 248 [in Russian].
10. Metod lazernoї vspyshki [Laser flash method]. (n.d.). *spectrosystems.ru*. Retrieved from <http://www.spectrosystems.ru/methods/laserflash.shtml> [in Russian].
11. Berman, R., Hudson, P. R. W., & Martinez, M. (1975). Nitrogen in diamond: evidence from thermal conductivity. *Journal of Physics C: Solid State Physics*, Vol. 8, 21, L430–L434.
12. Slack, G. A. (1973). Nonmetallic crystals with high thermal conductivity. *J. Phys. Chem. Solids*, Vol. 34, 321–335.
13. Ositinskaia, T.D. (1980). Teploprovodnost monokristallov prirodnykh I sinteticheskikh almazov [Thermal conductivity of single crystals of natural and synthetic diamonds]. *Sverkhтвердые материалы – Superhard materials*, 4, 13–16 [in Russian].

УДК 620.3; 66.08

DOI: 10.33839/2708-731X-23-1-269-276

О. І. Чернієнко, канд. техн. наук; **О. В. Куц**; **В. В. Гаращенко**, канд. фіз.-мат. наук;
Т. О. Куриляк, канд. техн. наук; **С. О. Лисовенко**, канд. хім. наук;
О. О. Бочечка, д-р техн. наук; **Е. М. Луцак**

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ,
вул. Автозаводська 2. e-mail: o.cherniyenko@gmail.com, olyakushh@gmail.com,
garashchenko@gmail.com, tetiana.sh@ukr.net, lisovenko.s@gmail.com, bochechka@ism.kiev.ua,
wehr@ukr.net*

МОДИФІКАЦІЯ НАНОРОЗМІРНИХ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ ВЗАЄМОДІЄЮ З ТРИОКСИДОМ ВОЛЬФРАМУ В ГАЗОВІЙ ФАЗІ

В роботі змінювали функціональний стан поверхні нанорозмірних алмазних порошків (НАП) шляхом відпалювання в атмосфері, що містить триоксид вольфраму. Встановлено, що взаємодія з триоксидом вольфраму модифікує поверхню частинок алмазних порошків, а також запобігає небажаним процесам на поверхні алмазу, які відбуваються за температур до 900 °С. Якщо атмосфера об'єму печі містить повітря та пару WO₃, то процес модифікації поверхні нанорозмірного алмазного порошку не відбувається, але швидкість його окиснення сповільнюється за температури 900 °С у порівнянні з окисненням в атмосфері повітря без пари WO₃.

Ключові слова: нанорозмірний алмазний порошок, ІЧ-спектроскопія, функціональні групи, триоксид вольфраму.