

Проаналізувавши основні напрями розвитку пірометрії, виокремлено кілька проблем, вирішення яких дасть чималу користь у сфері використання безконтактних засобів вимірювання. Наїстотніша з них – усунення впливу на результат вимірювання спектральної залежності $\varepsilon = f(\lambda)$ та інших впливних чинників, що підвищить точність вимірювання температури пірометрами спектрального відношення. Як варіант вирішення цієї проблеми запропоновано розрахувати оптимальну кількість довжин хвиль, на яких має здійснюватись вимірювання.

1. Температурные измерения: справочник / под ред. О.А. Герасенко. – К.: Наукова думка, 1989.
2. Dr. Alexander Dmitriyev. Laser pyrometry offers

practical temperature measurement. Heat treating progress, may/june 2005. 3. Куинн Т. Температура / пер. с англ. – М.: Мир, 1985. 4. Michalski, L., Eckersdorf, K., Kucharski, J., & McGhee, J. (2001). Temperature Measurement Second Edition. West Sussex: John Wiley & Son Ltd. 5. Рибо Г. Оптическая пирометрия. – М.–Л.: ГТТИ, 1934. 6. Брамсон М.А. Справочные таблицы по инфракрасному излучению нагретых тел. Т.1. – М.: Наука, 1964. 7. Магунов А.Н. Спектральная пирометрия (обзор) // Приборы и техника эксперимента, 2009. – № 4. 8. Фрунзе А. Пирометры спектрального отношения. Преимущества, недостатки, пути их устранения // Фотоника. – 4/2009. 9. Излучательные свойства твердых материалов: справочник / под ред. А.Е. Шейндлина. – М.: Энергия, 1974.

УДК 004.652

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕТЕМПЕРАТУРНИХ ЧИННИКІВ НА ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОБ'ЄКТА МЕТОДОМ КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА

© Юрій Кривенчук, Олег Сегеда, Ігор Микитин, Дмитро Ковальчук, 2014

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, Львів-79013, Україна

Досліджено залежність похибки вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла від відстані між досліджуваним об'єктом та приймачем відбитого випромінювання, а також від інтенсивності фонового випромінювання.

Проведено исследование зависимости погрешности измерения температуры методом комбинационного рассеяния света от расстояния между исследуемым объектом и приемником отраженного излучения, а также от интенсивности фонового излучения.

In the article research of temperature dependence error of measurement by Raman on the distance between the investigated object and the receiver of the reflected radiation, and the intensity of the background radiation..

Вступ. Відстань між об'єктом дослідження та приймачем випромінювання спектрофотометра впливає на результати вимірювання спектра. Мінімально можливою є відстань, яка, з одного боку, дає змогу безперешкодно подати лазерне випромінювання на досліджуваний зразок, а з іншого – подати на детектор відбите від об'єкта випромінювання. У багатьох випадках під час наукових досліджень та у промисловості не завжди вдається працювати на оптимальній відстані між сенсором та об'єктом дослідження. Тому важливо провести дослідження впливу відстані між досліджуваним зразком та приймачем випромінювання

на похибку вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла.

Аналіз проблеми. Сучасний розвиток мікропроцесорної техніки та технологій ставить високі вимоги до засобів термометрії, що приводить до потреби підвищення метрологічних характеристик наявних засобів, а також пошуку нових методів вимірювання температури. Одним з таких є метод комбінаційного розсіювання світла, що базується на температурній залежності інтенсивностей стоксової i_s та антистоксової i_{as} компонент розсіяного випромінювання,

що визначаються через відповідні струми фотоперетворювача:

$$T = \frac{hcv_0}{k \ln \frac{i_s}{i_{as}} - 3k \ln \frac{v_i - v_0}{v_i + v_0}}, \quad (1)$$

де v_i ; v_0 – хвильові числа відбитих фотонів і тих, що падають; cm^{-1} ; h – стала Планка; k – стала Больцмана; наприклад, розсіювання випромінювання аргонного лазера ($\lambda=514.5$ нм) поверхнею кремнію ($v_0=525$ cm^{-1}) отримаємо $i_s/i_{as} \approx 10$ за температури 300 К і 3,6 за 500 К.

Мета роботи. Дослідження впливу нетемпературних чинників на вимірювання температури об'єкта методом комбінаційного розсіювання світла.

Вплив відстані між досліджуваним об'єктом та сенсором. Розроблено устаткування для вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла, структурна схема якої зображена на рис. 1. Як джерело монохроматичного світла використовувався He-Ne лазер SL03 неперервної дії, з довжиною хвилі $532,92 \pm \pm 0,01$ нм, діаметр променя $d = 0.55$ мм. Промінь лазера спрямовується на досліджуваний об'єкт. Відбите випромінювання потрапляє на оптичний світлопровід, конструкція якого дає змогу змінювати відстань між входом світловода та досліджуваним об'єктом. Відстань змінювалась у межах від 3 до 500 мм. Для вимірювання спектра використовується спектрофотометр MS35001i з класом точності 0.5. Відбите випромінювання через низку дзеркал та рухомих дифракційну решітку потрапляє на цифрову камеру HS102H – 2048/14 із зарядовим зв'язком. Температура досліджуваного об'єкта паралельно вимірювалась

високоточним цифровим термометром ТО – ЦО24-10 із граничним значенням абсолютної похибки ± 0.02 К та платиновим термометром опору класу А.

Дослідження впливу відстані на спектр комбінаційного розсіювання проводилось для монокристала кремнію за температури 30 °С за різної відстані (зразок – сенсор). Під час вимірювання оцінювалась похибка вимірювання температури методом комбінаційного вимірювання світла залежно від відстані (рис. 2). Оптимальне значення відстані, для якої значення похибки вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла було мінімальним, становило 10 мм. Збільшення та зменшення відстані порівняно з оптимальною призводить до зростання похибки (рис. 2, б). Варто зазначити, що геометричне розташування лазера практично не впливає на результати вимірювання, через високу точність встановлення фазової стабільності променя.

Результати вимірювання спектра інтенсивності відбитого випромінювання передаються на персональний комп'ютер, де проводиться подальше опрацювання отриманої інформації. Вимірювання спектра інтенсивності відбитого випромінювання проводилося з часовим інтервалом між вимірюваннями 2 хв. Це дає змогу мінімізувати вплив на результат вимірювання нагрівання об'єкта променем лазера. Опрацювання результатів вимірювання проходило в декілька етапів:

- багаторазове вимірювання спектра комбінаційного розсіювання світла для кожного значення відстані між об'єктом вимірювання та сенсором;
- фільтрація шуму із використанням перетворення Фур'є;
- усереднення отриманих результатів;
- розрахунок температури за виразом (1).

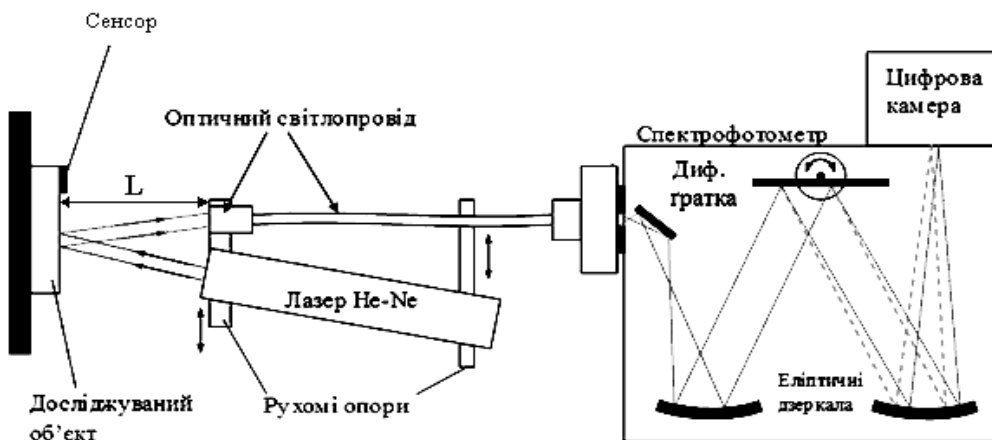


Рис. 1. Структурна схема устаткування для вимірювання методом комбінаційного розсіювання світла

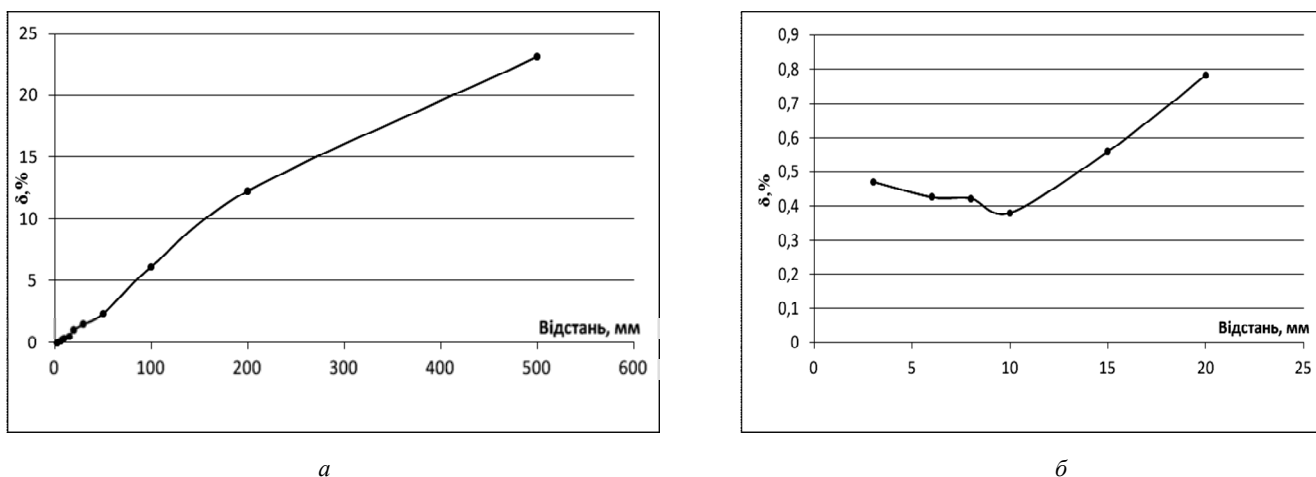


Рис. 2. Залежність похибки вимірювання температури від відстані між зразком та входом в оптичний канал спектрофотометра

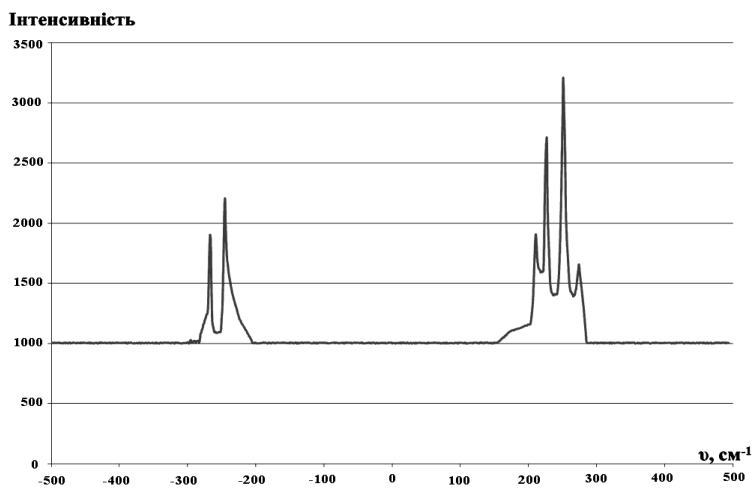


Рис. 3. Спектр комбінаційного розсіювання світла вуглецевих нанотрубок (за температури 30 °С) без фонового випромінювання

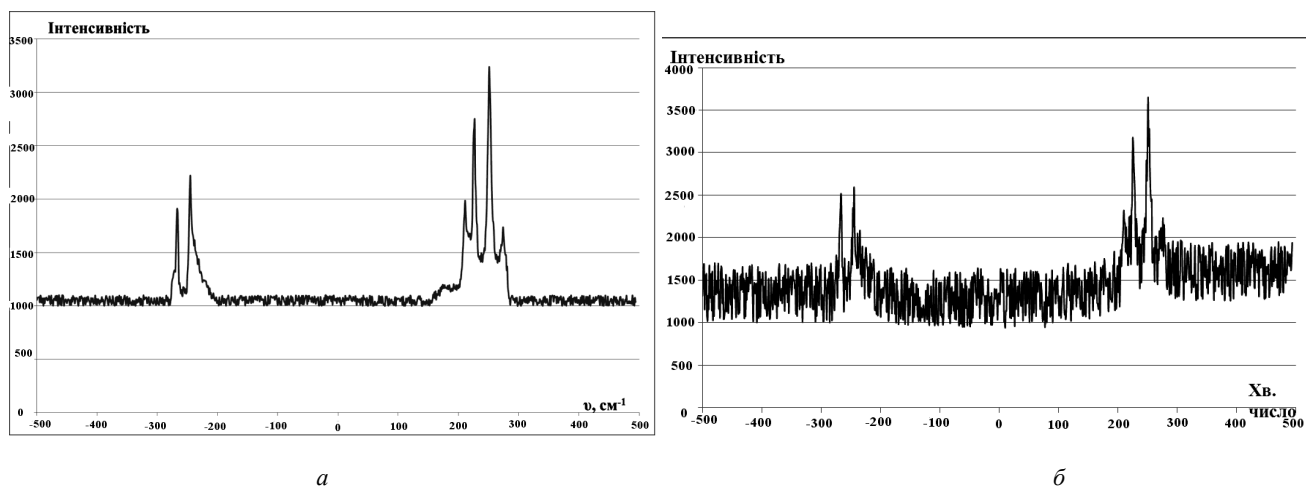


Рис. 4. Спектр комбінаційного розсіювання світла вуглецевих нанотрубок (за температури 30 °С) за опромінення зразка природним освітленням (а); за опромінення зразка 100 Вт ртутною лампою (б)

Похибку вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла залежно від відстані між досліджуванним об'єктом та сенсором визначали за формулою:

$$d_L = \frac{T_{MKP} - T_{ZT}}{T_{MKP}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де T_{MKP} – значення температури, виміряне методом комбінаційного розсіювання світла для певного значення відстані, T_{ZT} – значення температури, виміряне зразковим термометром.

Вплив фонового випромінювання. Дослідження впливу фонового випромінювання на похибку вимірювання температури вуглецевих нанотрубок проведено для трьох різних варіантів:

- вимірювання в ізолюваному приміщенні, без фонового випромінювання (рис. 3);
- вимірювання під час опромінення зразка природним освітленням (рис. 4, а);
- вимірювання під час опромінення зразка 100 Вт ртутною лампою (рис. 4, б)

Зі збільшенням інтенсивності фонового випромінювання, а також у разі опромінення досліджуваного об'єкта світлом 100-ватної ртутної лампи суттєво зростає шум у спектрі комбінаційного розсіювання світла, змінюється й форма інформативного сигналу (рис. 4, б).

Висновки. Результати проведених експериментальних досліджень показали, що існує певне оптимальне значення відстані ($L = 10$ мм), за якого похибка набуває мінімального значення $d_L = 0,4\%$

($\Delta_L = 0,12$ °C). Збільшення відстані L призводить до значного зростання похибки вимірювання температури. Так, за $L = 500$ мм похибка перевищує 23 % ($\Delta_L = 6,9$ °C). Це зумовлено частковою дифракцією відбитого випромінювання та впливом фонового випромінювання на результат вимірювання температури. У разі зменшення відстані L порівняно з оптимальною похибка d_L неістотно зростає – за 3 мм $d_L \approx 0,5\%$ (рис. 2, б).

Інтенсивність фонового освітлення значно знижує можливість визначення площі стоксової та антистоксової компонент відбитого випромінювання, що пов'язано зі зростанням шуму в спектрі комбінаційного розсіювання світла. Тому для покращення точності вимірювання температури потрібно мінімізувати вплив фонового випромінювання та проводити фільтрування отриманого спектра, зокрема, із використанням перетворення Фур'є.

1. *The Role of Metal-Nanotube Contact in the Performance of Carbon Nanotube Field-Effect Transistors* / [Chen Z., Appenzeller J., Knoch J., Lin Y., Avouris P.] // *Nano Letters*. – 2005. – Vol. 5. – 1497–1502 p. 2. *Seheda O. Research in Nanothermometry. Part 6. Metrology of Raman Thermometer with Universal Calibration Artifacts* / Stadnyk B., Yatsyshyn S., Seheda O. // *Sensors & Transducer*. – 2012. – № 7/12. – Vol. 142. P. 1–9.
3. *Seheda O. Метод комбінаційного розсіювання світла у термометруванні поверхні* / Seheda O., Стадник Б., Яцишин С. // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2010. – № 71. – С. 63–66.