

"Прилади та методи вимірювання теплових величин" – Н.М. Васильків – Львів, 2010. – 158 с. 18. Кочан О.В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля / Кочан О.В. // Вісник Тернопільського Державного Технічного університету. – 2008. – № 2. – С. 102–108. 19. Кочан О.В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.04 – прилади і методи вимірювання теплових

величин / О.В. Кочан. – Львів, 2011. – 20 с. 20. Пат. № 97464 Україна, МПК G01K 15/00. Термоелектричний перетворювач / О.В. Кочан, Р.В. Кочан. – Заявл. 22.02.2007. 21. Недужий І.А. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособ. для вузов / И.А. Недужий, А.Н. Алабовский. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 248 с. – (2-е изд., перераб. и доп.). 22. Заявка на патент №a201213268 Україна, G01k. Спосіб корекції похибки головної термопари / О.В. Кочан. – Заявл. 21.11.2012.

УДК 536.532

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕІДЕАЛЬНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ЗРАЗКА НА РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МЕТОДОМ КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА

© Сегеда Олег, Кривенчук Юрій, 2013

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, вул. С. Бандери, 12, Львів-79013, Україна, sehedao@yahoo.com, proffesional@meta.ua

Вплив на вимірювання спектра комбінаційного розсіювання світла нетемпературних чинників – клиноподібності пластини та значення кута між лазером та досліджуванним об'єктом як результату зміни форми поперечного перерізу відбитого снопа світла на еліптичну.

Воздействие на измерение спектра комбинационного рассеяния света нетемпературных факторов – клиновидности пластины и значения угла между лазером и исследуемым объектом как результата изменения формы поперечного сечения отраженного снопа света на эллиптическую.

Impact on measurement of Raman spectroscopy are not factors such as temperature fid plate and the angle between the laser and the object, as a result of changing the shape of the cross section of the reflected light on the elliptic sheaf.

Актуальність дослідження. Можливість зареєструвати сигнал, пов'язаний зі зміною температури досліджуваного зразка, а також правильність інтерпретації результату залежать від застосованих методів вимірювання та від знання геометричних параметрів зразка.

Мета роботи. Дослідження впливу неідеальності геометричної форми досліджуваного зразка на результат вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла.

Виклад основного матеріалу. Пластини (зокрема, тонкі напівпровідникові монокристали) характеризуються, як правило, деякими відхиленнями від ідеальної плоскопаралельної форми, що зумовлено особливостями процесів їх різання, шліфування й полірування, а також складністю контролю геометричних параметрів

у ході технологічного процесу (контроль після закінчення процесу тільки фіксує наявність і ступінь неідеальності, але повторна обробка пластин з метою усунути цю неідеальність практично ніколи не проводиться). Різні відхилення від ідеальної форми поперізного впливають на результат взаємодії світла з пластиною. Наприклад, у разі взаємодії лазерного жмута з пластиною тонкого напівпровідникового монокристала відбувається інтерференція світла, але її прояв у відбитому жмуті може відповідати будь-якому з варіантів, обмежених граничними умовами (від інтерференції в ідеальній пластині до виродженого режиму з багаторазовим перевідбиванням лазерних променів без інтерференції). У межах одного кристала діаметром 75÷150 мм іноді проявляється повний спектр можливостей. Тому правильність інтерпретації результатів

лазерного зондування залежить від знання геометричних властивостей пластини. Неурахування геометричних особливостей пластин іноді призводить до виявлення фіктивних мікро- і макрооб'єктів у монокристалах (наприклад, областей «аномального» поглинання світла, «хвильоподібного» розподілу домішок тощо) [1, 2].

Експериментально розглянемо деякі типові особливості геометричної форми пластин, які вносять істотні зміни в моделі, що описують взаємодію світла з пластиною.

Клиноподібність (непаралельність поверхонь) означає зміну товщини пластинки уздовж довільного напрямку і характеризується кутом φ між поверхнями. Якщо кути малі ($\leq 10^{-3} \text{ рад}$), можна прийняти $\tan \varphi \approx \varphi \approx dh/dx$. Зміна товщини може мати монотонний (невипадковий) і немонотонний (випадковий) характер. У першому випадку вся пластинка клиноподібна, у іншому для опису форми пластини необхідно вимірювати локальну клиноподібність по всій поверхні (або в декількох точках) і знаходити середньоквадратичне значення. Величина dh/dx , що характеризує випадкову клиноподібність пластин (з двома полірованими поверхнями) монокристалічного кремнію та інших напівпровідників, досить мала і лежить в діапазоні 10^{-6} – 10^{-4} . Тому в разі використання методу комбінаційного розсіювання світла це відхилення від паралельності не є серйозною проблемою. Розподіл локального кута між поверхнями по площі пластини є характеристикою, що дає змогу оцінити як ефекти усереднення інтерференції у перерізі жмута, так і геометричне розходження жмутів різних порядків після проходження крізь пластину.

Існують ознаки, які дають змогу експериментально встановити клиноподібність: а) під час сканування вузьким жмутом світла уздовж поверхні в довільно вибраному напрямку, реєструючи (у відбитому або пройдену світлі) послідовність інтерференційних смуг; б) у разі опромінення пластинки широким жмутом (з діаметром, що перевищує розмір пластинки) монохроматичного світла і реєструвати систему інтерференційних смуг рівної товщини одночасно по всій площі пластинки (така оптична схема називається панорамою інтерферометра); в) контраст інтерференції в спектрах відбивання або пропускання зразка збільшується з довжиною хвилі (інтерференція спостерігається у спектрах, знятих з достатньо високою спектральною точністю) [1–10].

Для спектрів комбінаційного розсіювання вплив клиноподібної форми зразка на результат вимірювання мінімізується за рахунок одночасного зчитування стоксової та антистоксової смуг та зіставлення їх для термометрування.

Для визначення впливу на результати вимірювання клиноподібності зразка експериментально визначено температури методом КР для пластинки кремнію завтовшки 2 мм з клиноподібністю $dh/dx=10^{-5}$ та для пластинки кремнію завтовшки 2 мм з клиноподібністю $dh/dx=10^{-3}$ ($\leq 1 \text{ град}$). Отримані спектри КР (див. рис. 1) використано для експериментального визначення значення похибки вимірювання температури у разі клиноподібності досліджуваного зразка.

Розраховано значення температури для обох зразків за формулою:

$$T = \frac{hcv_0}{k \ln \frac{i_s}{i_{as}} - 3k \ln \frac{v_i - v_0}{v_i + v_0}}$$

за контрольного значення температури 23 °С. Розрахункові значення показали, що вплив клиноподібності пластини на спектр КР не перевищує 0.01 % порівняно з плоскопаралельним зразком.

Геометричні розміри лазера та монтажні компоненти спектрофотометра унеможливають використання оптичного світловода для передавання випромінювання лазера та зчитування відбитого оптичного сигналу через оптичний канал світловоду. Цю задачу для визначення оптимального кута між променем лазера та головкою оптичного світловода розв'язано експериментально. Певною мірою враховує можливі варіанти клиноподібності зразка те, що переріз плями лазера набуває овальної форми, тобто в точці сканування клиноподібність пластини може досягати декількох порядків. Для оцінки числового значення похибки здійснено серію вимірювань спектрів для трьох різних матеріалів (штучний алмаз, кристал кремнію, вуглецеві нанотрубки) див. рис. 2, рис. 3.

З отриманих експериментальних даних неможливо визначити оптимальний кут між лазерним променем та досліджуваним об'єктом. Однак варто зазначити, що він не повинен перевищувати 60 °, оскільки для обох досліджень похибка вимірювання значно збільшувалась для кутів понад 60–65 °.

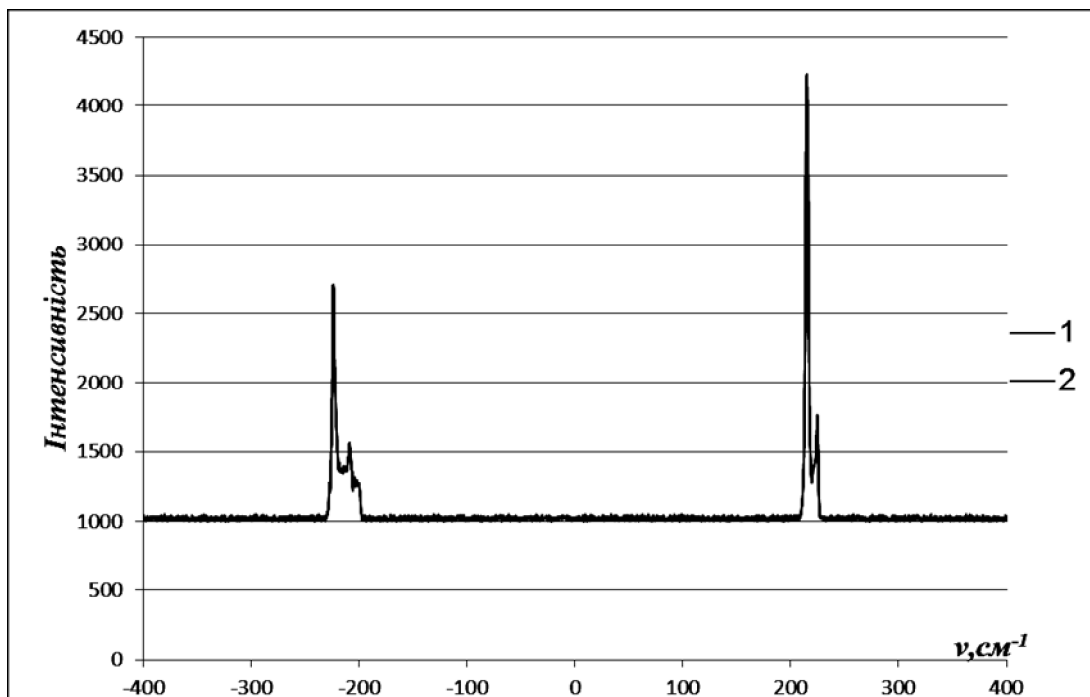


Рис. 1. Спектр комбінаційного розсіювання пластинки кремнію завтовшки 2 мм, 1 – клиноподібність пластини $dh/dx=10^{-5}$; 2 – клиноподібність $dh/dx=10^{-3}$ ($T=23^{\circ}\text{C}$).

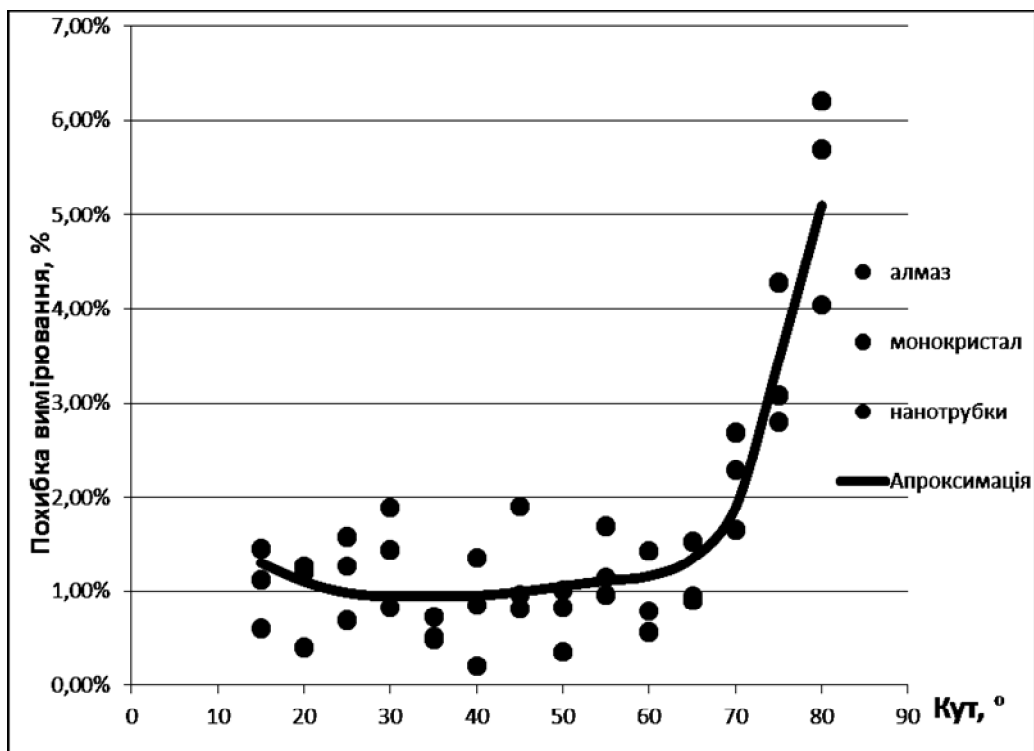


Рис. 2. Залежність точності вимірювання температури від кута між лазером та досліджуваним об'єктом (температура 20°C)

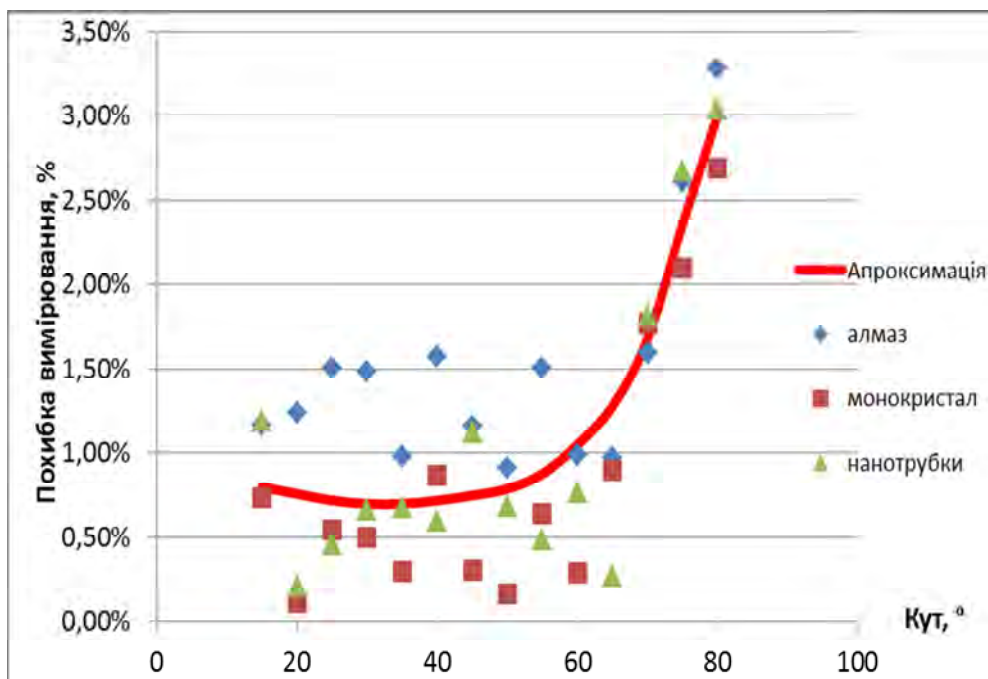


Рис. 3. Залежність точності вимірювання температури від кута між лазером та досліджуваним об'єктом (температура 70 °C)

Висновок. Отримані результати дають підстави стверджувати, що неідеальність геометричних розмірів (клиноподібність) зразка практично не впливає на похибку вимірювання температури (за рахунок усереднення інтегральних площ стоксової та антистоксової компоненти спектрального сигналу). Крім того, результати експериментальних досліджень дають змогу встановити оптимальне значення кута між лазером та досліджуваним об'єктом: це значення міститься у діапазоні від 20° до 60°.

1. Горелик Г.С. Колебания и волны / Г.С. Горелик. – М.: ГИФМЛ, 1959. – 572 с. 2. Оптические материалы инфракрасной техники / [Е.М. Воронкова, Б.Н. Гречушников, Г.И. Дистлер, И.П. Петров]. – М.: Наука, 1965 – 346 с. 3. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. – Т. 1 / И. В. Лебедев. – М.: Высшая школа, 1970. – 440 с. 4. Thermal conductivity and microwave dielectric properties of AlN-based ceramics containing conductive particles / [I. P. Fesenko, V. I. Chasnyk, N. V. Sverdun] // Сверхтв. материалы. – 2004. – № 3. – С. 12–17. 5. Фесенко И. П. Механические свойства AlN в полукри-

сталі / И. П. Фесенко, С. М. Дуб // Сверхтв. материалы – 2004. – № 4. – С. 42–49. 6. Kingery W. D. Introduction to ceramics / W. D. Kingery, H. R. Bowen, D. R. Uhlmann. – New York: Wiley, 1976. – 636 p. 7. Calame J. P. Applications of advanced materials technologies to vacuum electronic devices / J. P. Calame, D. K. Abe // Proc. IEEE. – 1999. – 87, N 5. – P. 840–864. 8. Ichard J.-C. Ceramic matrix composites with increased thermal conductivity / J.-C. Ichard, R. Pailler, J. Lamon // Adv. Sci. Technol. – 2006. – 45. – P. 1405–1410. 9. Jiang L. Densified multiwalled carbon nanotubes-titanium nitride composites with enhanced thermal properties / L. Jiang, L. Gao // Ceram. Int. – 2008. – 34, N 1. – P. 231–235. 10. Thermal transport measurements of individual multiwalled nanotubes / [P. Kim, L. Shi, A. Majumdar, P. L. McEuen] // Phys. Rev. Letters. – 2001. – 74, N 22. – P. 215502–215505. 11. Ковнеристый Ю. К. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения / Ковнеристый Ю. К., Лазарева И. Ю., Раваев А. А. – М.: Наука. 1982. – 163 с. 12. Бухарин Е. Н. Новые высокотеплопроводные объемные СВЧ поглотители / Е. Н. Бухарин, А. С. Власов, А. А. Алексеев // Электронная техника. – 1988. – 6(235). – С. 66–70.