



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **74814** (13) **U**
(51) МПК
G01N 21/41 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2012 05269	(72) Винахідник(и): Олійник Остап Олегович (UA), Циганок Борис Архипович (UA), Сердега Борис Кирилович (UA)
(22) Дата подання заявки: 27.04.2012	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", пр. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.11.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.11.2012, Бюл.№ 21	

(54) СПОСІБ ГРАДАЦІЙНОГО ВИМІРЮВАННЯ НАДМАЛИХ ЗМІЩЕНЬ ТВЕРДОТІЛЬНИХ СТРУКТУР ПОЛЯРИЗАЦІЙНО-МОДУЛЯЦІЙНИМ МЕТОДОМ

(57) Реферат:

Спосіб градаційного вимірювання надмалих зміщень твердотілих структур поляризаційно-модуляційним методом належить до галузі оптичної мікроскопії. Спосіб дозволяє забезпечити швидкодіюче, градаційне вимірювання над малих зміщень твердотілих структур.

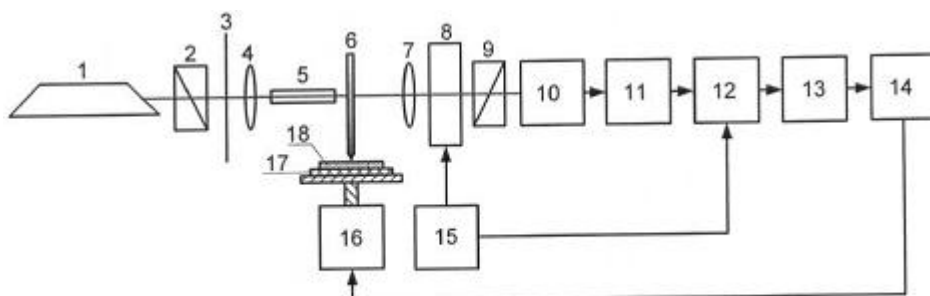


Fig. 1

UA 74814 U

Спосіб належить до галузі оптичної мікроскопії, зокрема до поляризаційно-модуляційної мікроскопії.

Найбільш близьким аналогом є спосіб, що описаний у [1], який полягає в тому, що світло із лінійною або циркулярною поляризацією надходить від джерела на світлоділник, яким розділяється на два світлових потоки. На шляху першого з них розташовано зразок. Світловий потік після відбиття від його задньої поверхні та розповсюдження у зворотньому напрямку спрямовується світлоділником на фотопружний модулятор і фотодетектор. Другий світловий потік розповсюджується до анізотропного відзеркалювача та після відбиття від нього суміщується світлоділником з першим потоком. Суть способу дослідження та вимірювання величини подвійного променезаломлення полягає у тому, що на місце зразка встановлюють еталонний зразок та обертанням фазової пластинки навколо оптичної осі доводять сигнал на фотодетекторі до мінімального сигналу (рівень нульового сигналу). Еталонним зразком може бути відзеркалююча поверхня із ізотропними діелектричними властивостями, або поверхня з такою величиною анізотропії, що набагато менша анізотропії досліджуваного зразка, наприклад металеве дзеркало. Після цього еталонний зразок замінюють досліджуваним зразком, а із величини сигналу на детекторі, що перевищує рівень нульового сигналу, визначають величину подвійного променезаломлення матеріалу.

У другому варіанті задача підвищення виявничої здатності способу вимірювання подвійного променезаломлення вирішується завдяки застосуванню компенсаційної пластинки в оптичній схемі. Поляризоване лінійно чи циркулярно випромінювання із джерела через світлоділник направляють на зразок і після проходження його і відбиття у зворотньому напрямку спрямовують світлоділником на фотопружний модулятор і фотодетектор. На шляху світла розташовують компенсатор, обертанням якого виставляють рівень нульового сигналу на фотодетекторі, коли на місці зразка знаходиться еталон. Після його заміни досліджуваним зразком із величини сигналу на детекторі, що перевищує рівень нульового сигналу, визначають величину подвійного променезаломлення досліджуваного зразка.

Недоліком описаного способу вимірювання надмалих зміщень твердотільних структур поляризаційно-модуляційним методом є недостатня роздільна здатність, що свідчить про обмеженість методу в субмікронному діапазоні вимірювань зміщень, відсутність градаційного розподілу показника заломлення в еталоні. Необхідність заміни еталону зразком створює додаткові незручності та похибки в процесі вимірювання. Оптичні елементи розташовуються не на одній оптичній осі, що спричиняє значні обмеження в областях застосувань та складає незручності в процесі настройки.

В основу корисної моделі поставлена задача: в поєднанні сучасних та доступних приладів, простих в обслуговуванні, з використанням методики з високою завадостійкістю, швидкістю та виявною здатністю удосконалити відомий спосіб шляхом використання зонда з попередньо заданим градаційним розподілом оптичної анізотропії, який дає змогу градаційно вимірювати структуру поверхні в абсолютних величинах відносно довільної точки відліку з можливістю калібрування, а також зміни фокусувальної оптичної системи.

Поставлена задача вирішується тим, що відомий спосіб градаційного вимірювання надмалих зміщень твердотільних структур поляризаційно-модуляційним методом, що включає спрямування зондувального поляризованого випромінювання на еталонний зразок, модуляцію стану поляризації випромінювання та спрямування його на фотодетектор, стан поляризації випромінювання змінюють регулюванням до рівня нульового сигналу на фотодетекторі за допомогою компенсатора, вимірюють сигнал фотодетектора та із його величини визначають величину подвійного променезаломлення досліджуваного зразка, новим є те, що зондує поляризоване випромінювання пропускають через поляризатор, фокусувальну оптичну систему та пропускають через попередньо задану область зонда з квазілінійним розподілом неоднорідного потенціалу, зміна котрого вздовж зонда прямопропорційна надмалому зміщенню та задає відповідну градаційну роздільну здатність вимірювання.

Неоднорідний потенціал в матеріалі зонда може бути викликаний статичними механічними напруженнями, градієнтом тепла, градієнтом складу, домішок та ін. Важливою особливістю є те, що вибирають таку область зонда з квазілінійним розподілом неоднорідного потенціалу, яка дозволяє проводити вимірювання у всьому необхідному діапазоні, а також попередньо задають порогову роздільну здатність вимірювання в залежності від вимог та умов вимірювання. Вибираючи область зонда з необхідним та відомим розподілом оптичної анізотропії та вимірюючи зміну стану поляризації випромінювання пройденного через цю область, можна розрахувати зміщення зонда відносно початку відліку. Скануючи поверхню у вигляді растру, можна отримати рельєф поверхні на персональному комп'ютері. Перед початком вимірювання

проводять калібрування відомими методами з використанням п'єзоматеріалів, які лінійно змінюють свої розміри в залежності від прикладеної напруги.

Спосіб градаційного вимірювання надмалих зміщень твердотільних структур поляризаційно-модуляційним методом та структура зонда пояснюють креслення.

На Фіг. 1. представлена структурна схема реалізації способу градаційного вимірювання надмалих зміщень твердотільних структур поляризаційно-модуляційним методом.

На Фіг. 2. представлена структурна схема зонда з градаційним квазілінійним неоднорідним потенціалом.

Спосіб передбачає роботу за такою схемою. Лазерний промінь з джерела випромінювання 1 проходить через поляризатор 2 для повної поляризації випромінювання, далі промінь проходить через чвертьхвильову фазову пластинку 3 та фокусується оптичною системою, що містить лінзу 4, яка фокусує промінь в торець оптичного волокна 5 для максимального фокусування лазерного променя та його фільтрації від непотрібних мод - таким чином отримують зондуючий промінь. При його пропусканні через оптично анізотропну область зонда 6, яка викликана неоднорідним потенціалом з попередньо заданою градацією, стан поляризації змінюють з лінійної в частково циркулярну. Далі промінь розфокусовують лінзою 7 та пропускають через фотопружний модулятор 8 та аналізатор 9, та направляють на фотоприймач 10, який сприймає інформаційний сигнал, що пропорційний циркулярному стану поляризації. Залежність зміни інтенсивності лазерного променя та стану поляризації при проходженні через кожен оптичний елемент схеми докладно описаний в [2]. Сигнал з виходу фотоприймача подають на вхід селективного підсилювача 11, настроєного на резонансну частоту блока живлення фотопружного модулятора 15, що живить фотопружний модулятор та підключений до входу опорного сигналу синхронно-фазового детектора 12. Сигнал з виходу селективного підсилювача подають на вхід синхронно-фазового детектора для реєстрації та контролю зміни фази зондуючого лазерного випромінювання. Сигнал з виходу синхронно-фазового детектора через аналогово-цифровий перетворювач 13 подають на персональний комп'ютер 14 для фіксування даних вимірювання. Персональний комп'ютер в свою чергу керує роботою трикоординатної позиційної системи 16, яка здійснює переміщення зразка 18 растровим способом. Перед початком вимірювань проводять калібрування за допомогою кварцової пластини 17, розміщеної між зразком та опорою трикоординатної позиційної системи шляхом подачі на неї потенціалу, який викликає чітко визначену зміну товщини кварцової пластини, а отже, змістить зразок та зонд на аналогічну відстань, що повинна співпадати з отриманим вимірним результатом. Після зняття потенціалу з кварцової пластини, за допомогою чвертьхвильової фазової пластинки встановлюють мінімальний рівень сигналу, що відповідає умові максимальної чутливості вимірювання. Таким чином установка здатна вимірювати надмалі зміщення. При зміні геометричних розмірів зразка з різних фізичних, хімічних, біологічних причин чи його саме зміщення призведе до зміщення зонда, а отже, зондуючий промінь буде проходити через область з відмінним від початкового значення неоднорідного потенціалу і буде набувати іншого стану циркулярної поляризації, що відображається на зміні інтенсивності лазерного випромінювання, що попадає на фотоприймач.

Окрім цього є можливим переміщення зразку растровим способом з фіксацією рельєфу відсканованої поверхні на персональному комп'ютері у вигляді растрового зображення з градацією, що задається просторовим розподілом неоднорідного потенціалу зонда або структурованим фотонним кристалом з градаційними оптичними характеристиками, ідентичними за впливом до неоднорідного потенціалу.

Чутливість та швидкодія вимірювання залежить від просторової зміни показника заломлення та апертури лазерного променя, чутливості та поляризаційних властивостей фотоприймача та часу інтегрування синхронно-фазового детектора, а також від фотопружних та термопружних ефектів в оптичній системі описаних в [3].

Роздільна здатність Δ градаційного способу вимірювання надмалих зміщень твердотільних структур поляризаційно-модуляційним методом складає мікро- та нанометри на мікр вольт в залежності від діапазону вимірювань та вимог, потенційна роздільна здатність може сягати ангстрем [4]. Отже, в залежності від умов та вимог до точності та діапазонів вимірювання є можливість оптимального підбору матеріалу зонда.

Розрахунок зміщення проводиться за формулою:

$$\Delta h = \frac{2\pi\epsilon\xi}{\lambda} d(\sigma_1 - \sigma_2) \pm \gamma = \frac{2\pi\epsilon\xi}{\lambda} d(n_1 - n_2) M \pm \gamma \approx k\Delta U \pm \gamma$$

Де Δh - величина зміщення, ϵ - тензор діелектричної проникності, ξ - тензор механічних напружень, λ - довжина хвилі лазерного випромінювання, d - товщина зонда, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ - зміна вимірних механічних напружень, M - коефіцієнт зв'язку розподілу механічних напружень або

зміни показника заломлення від просторових координат (встановлюється експериментально), $(n_1 - n_2)$ - зміна показника заломлення, k - тангенс кута розподілу стаціонарної оптичної анізотропії, ΔU - сигнал, пропорційний зміні інтенсивності лазерного випромінювання, $\pm \gamma$ - похибка вимірювань, що розраховується з похибок вимірювальних приладів та враховує методологічні особливості процесу вимірювання та нестационарний вплив навколишнього середовища, радіус заокруглення кантилевера r зонduючого торця вибирається з умови $r < 0,1 \Delta$.

Пропонований спосіб дозволяє забезпечити швидкодіюче, з достатньою точністю градаційне вимірювання надмалих зміщень твердотільних структур поляризаційно-модуляційним методом в залежності від конкретних вимог та умов його застосування у MEMS технологіях; технологіях наноструктурування поверхонь; дослідженнях процесів формування та експлуатації ізотропних та композитних функціональних матеріалів, фотонних кристалів, біологічних об'єктів, тощо.

Джерела інформації:

[1] Сердега Борис Кирилович. Спосіб вимірювання величини подвійного променезаломлення. Деклараційний патент України № 19983 А від 25.12.1997. Бюл. № 6, 1997р.

[2] Б.К. Сердега. Модуляційна поляриметрія // К.: Наук. Думка, 2011. - С. 238.

[3] Oliinyk, O., Tsyganok B., Serdega B., Matiash I., "Investigation of nonstationary thermo-photo-elastic effect using the polarization modulation of radiation", 34th International Spring Seminar on Electronics Technogy // IEEE Xplore.-2011, - P. 294-298.

[4] С.А. Дарзбек, Ж.Е. Желкобаев, В.В. Календин, Ю.А. Новиков. Лазерный интерферометрический измеритель наноперемещений // Труды института общей физики им. А. М. Прохорова, 2006. - Т. 62. - С. 14-37.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб градаційного вимірювання надмалих зміщень твердотільних структур поляризаційно-модуляційним методом, що включає спрямування зонduючого поляризованого випромінювання на еталонний зразок, модуляцію стану поляризації випромінювання та спрямування його на фотодетектор, стан поляризації випромінювання змінюють регулюванням до рівня нульового сигналу на фотодетекторі за допомогою компенсатора, вимірюють сигнал фотодетектора та із його величини визначають величину подвійного променезаломлення досліджуваного зразка, який **відрізняється** тим, що зонduє поляризоване випромінювання пропускають через поляризатор, фокусуючу оптичну систему та пропускають через попередньо задану область зонда з квазілінійним розподілом неоднорідного потенціалу, зміна котрого вздовж зонда прямопропорційна надмалому зміщенню та задає відповідну градаційну роздільну здатність вимірювання.

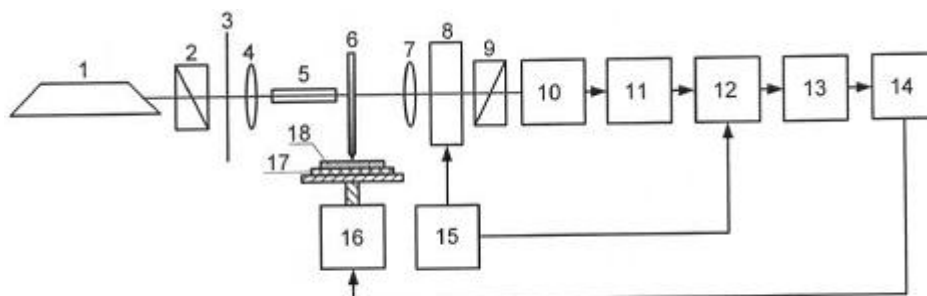


Fig. 1

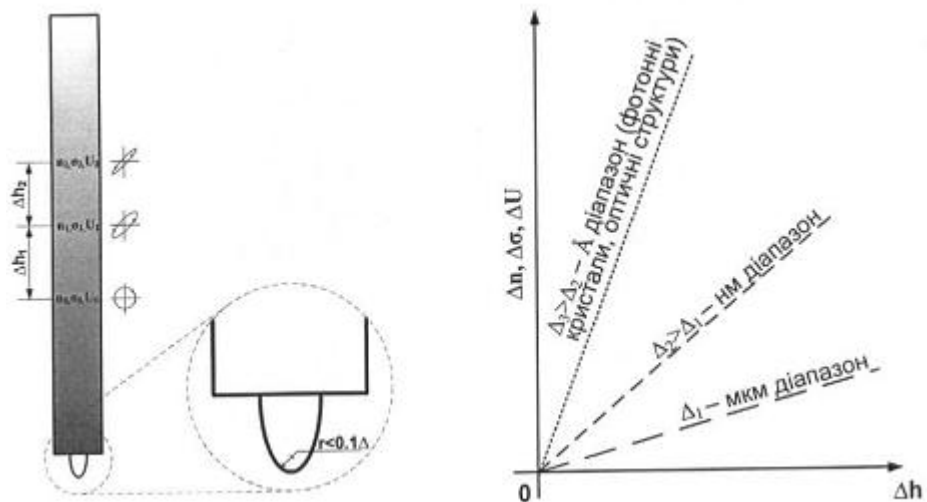


Fig. 2

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

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