



УКРАЇНА

(19) UA (11) 93113 (13) C2
(51) МПК (2011.01)
G01B 9/021МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ОТРИМАННЯ ТОПОГРАМ ПОВЕРХОНЬ ОБ'ЄКТІВ

1

(21) а200905606
(22) 01.06.2009
(24) 10.01.2011
(46) 10.01.2011, Бюл.№ 1, 2011 р.
(72) СМІНТИНА ВАЛЕНТИН АНДРІЙОВИЧ, ТЮРИН ОЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ, ПОПОВ АНДРІЙ ЮРІЙОВИЧ
(73) ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. І.І. МЕЧНИКОВА
(56) UA 80706 C2, G01B9/021, G01B11/16, публ. 25.10.2007.
UA 7343 U, G01B9/021, публ. 15.06.2005.
UA 14206 U, G01B9/021, A61B3/18, публ. 15.05.2006.
US 5293215, G01B11/24, публ. 08.03.1994.
US 5048964, G01B9/02, публ. 17.09.1991.
RU 2155320, G01B9/02, публ. 27.08.2000.
SU 1374042, G01B9/02, публ. 15.02.1988.
SU 554467, G01B9/021, публ. 15.04.1977.
WO 9214115, G01B9/02, G01B11/16, публ. 20.08.1992.
US 4652131, G01B9/02, публ. 24.03.1987.

2

DE 4039972, G01B11/16, G01B9/025, публ. 17.06.1992.

(57) Спосіб отримання топограм поверхонь об'єктів, який проводять методом двочастотної фазомодульованої спекл-інтерферометрії, що включає освітлення об'єкта когерентним випромінюванням, просторове суміщення об'єктної спекл-хвилі та опорної хвилі, реєстрування в площині суміщення інтенсивності сумарної хвилі, просторову фільтрацію перед реєстрацією сумарної хвилі діафрагмою до зникнення регулярних інтерференційних смуг усередині усіх спеклів сумарної хвилі та реєстрування наборів спеклограм при дискретному змінюванні фази опорної хвилі від 0 до 2π, який відрізняється тим, що реєструють два набори спеклограм при двох різних довжинах хвилі (частотах) лазерного випромінювання, порівнюють одержані спеклограми, визначають зсув фази кожного спеклу об'єктної хвилі відносно опорної хвилі з визначенням знака зміни фази та будують лінії рівного фазового зсуву, що є топограмою об'єкта.

Винахід належить до вимірювальної техніки, голографічної та спекл-інтерферометрії та може використовуватися для отримання топограм поверхонь об'єктів складної форми, тобто для безконтактного визначення форми об'єктів з дифузно відбиваючою поверхнею та представлення її у цифровій формі.

Відомий спосіб отримання топограм дифузно відбиваючих поверхонь за допомогою двочастотного метода двоекспозиційної голографічної інтерферометрії, при якому поверхня об'єкта освітлюється когерентним пучком світла, реєструються 2 голограми поверхні об'єкта, кожна за допомогою випромінювання зі своєю довжиною хвилі (частотою) λ_1 та λ_2 , що відрізняються на $\Delta\lambda$. При цьому використовують або лазер зі змінною довжиною хвилі (двочастотний) або два лазери з різними довжинами хвилі випромінювання. При відновленні голографічного зображення використовують джерело випромінювання з однією довжиною хвилі (λ_1 чи λ_2), при цьому на голографічному зображенні об'єкта виникає система інтерференційних пло-

щин, що перпендикулярні напрямку освітлення і являють собою топограму об'єкта. Відстань між найближчими інтерференційними площинами d (у перерахуванні на різницю ходу об'єктної та опорної хвилі) дається виразом $d = \lambda_1 \lambda_2 / 2\Delta\lambda$ (див. Оптическая голография: Практические применения. Под ред. В.М. Гинзбург. Б.М. Степанова. Москва, "Советское радио", 1978 г., 240 с.).

На відміну від інших способів, позитивною якістю даного способу є відсутність оптичного сканування поверхні об'єкта. Недоліком цього способу є необхідність запису голограм, що ускладнює, зрощує та сповільнює проведення вимірювання.

Найближчим до заявленого є "Спосіб фазомодульованої спекл-інтерферометрії для вимірювання зміни фази об'єктної хвилі" (див. патент України "Спосіб фазомодульованої спекл-інтерферометрії для вимірювання зміни фази об'єктної хвилі", № 80706, МПК 7 G 01 B 9/021, 25 жовтня 2007 р., заявитель - Одеський національний університет імені І.І. Мечникова).

Відомий спосіб здійснюють таким чином.

(13) C2

(11) 93113

(19) UA

Випромінювання від лазера крізь колімуючу систему спрямовують на об'єкт та дифузно розсіюючу поверхню. Відбита від дифузно розсіюючої поверхні опорна хвиля просторово суміщується з об'єктною спекл-хвилею, що сформована об'єктом, за допомогою напівпрозорого дзеркала. Діафрагма фільтрує сумарну хвилю, при цьому розмір діафрагми підбирається таким, щоб зникли регулярні інтерференційні смуги усередині усіх спеклів сумарної хвилі.

Просторовий розподіл інтенсивностей у спеклограмі реєструють за допомогою телекамери або фотоапарата. Для початкового стану об'єкта реєструють декілька спеклограм при різних значеннях фази опорної хвилі, яка змінюється від 0 до 2π за допомогою фазозсувного пристрою, наприклад п'єзокераміки. Порівнюючи між собою отримані спеклограми, визначають фазу кожного спекла об'єктної хвилі відносно опорної хвилі. Цю операцію повторюють для зміненого стану об'єкта.

Порівнюючи між собою фази кожного із спеклів для початкового та зміненого стану об'єкта, визначають змінювання фази об'єктної хвилі, по яких визначають деформації та переміщення дзеркально або дифузно відбиваючих поверхонь.

Даний спосіб обрано прототипом.

Прототип співпадає з пропонуємим способом в наявності спільних операцій:

- освітлюють об'єкт когерентним випромінюванням;
- здійснюють просторове суміщення двох когерентних світлових хвиль;
- здійснюють просторову фільтрацію сумарної хвилі за допомогою діафрагми;
- реєструють просторовий розподіл інтенсивностей сумарної світлової хвилі у площині суміщення.

Але відомий спосіб дає змогу вимірювати лише деформацію або переміщення поверхні об'єкта, але не визначити його форму, отримати топограму.

В основу винаходу поставлено задачу розробити спосіб отримання топограм поверхонь об'єктів з одержанням технічного ефекту: безконтактний вимір форми об'єктів та представлення її у цифровій формі.

Поставлена задача отримання топограм дифузно відбиваючих поверхонь вирішена методом двочастотної фазомодульованої спекл-інтерферометри, що включає операції: освітлюють об'єкт когерентним випромінюванням, здійснюють просторове суміщення об'єктної спекл-хвилі та опорної хвилі, в площині суміщення реєструють інтенсивність сумарної хвилі, перед реєстрацією сумарної хвилі здійснюють просторову фільтрацію діафрагмою до зникнення регулярних інтерференційних смуг усередині усіх спеклів сумарної хвилі, реєструють набори спеклограм при дискретному змінюванні фази опорної хвилі від 0 до 2π , який відрізняється тим, що реєструють два набори спеклограм при двох різних довжинах хвилі (частотах) лазерного випромінювання, порівнюють одержані спеклограми, визначають зсув фази кожного спекла об'єктної хвилі відносно опорної хвилі з визна-

ченням знаку зміни фази та будують лінії рівного фазового зсуву, що є топограмою об'єкта.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю заявлених ознак та технічним результатом, що досягається, є таким.

При зміні частоти лазерного випромінювання змінюються фази спеклів опорної та об'єктної хвиль. Використовуючи метод послідовних фазових кроків, визначають просторовий розподіл різниці фаз об'єктної та опорної хвиль. Для цього реєструють спеклограми при дискретній зміні опорної хвилі від 0 до 2π та, порівнюючи отримані спеклограми визначають фазу кожного спекла об'єктної хвилі відносно опорної.

Порівнюючи фази спеклів об'єктної хвилі для двох довжин хвилі лазерного випромінювання λ_1 та λ_2 , визначають зміни фаз (фазовий зсув). Відстань d між сусідніми січними площинами з однаковим фазовим зсувом вираховується за формулою $d = \lambda_1 \lambda_2 / 2\Delta\lambda$. Ця відстань є різницею між формою об'єкта та опорною поверхнею. Якщо опорна поверхня є рівною площиною (що найбільш зручно у більшості випадків) то лінії рівного фазового зсуву являють собою топограму об'єкта.

На Фіг. 1 представлено принципову схему установки для реалізації способу, що пропонується. Установка має такі вузли: 1 - лазер з змінною довжиною хвилі або два лазери з довжинами хвилі λ_1 та λ_2 , 2 - лінза, що поширює пучок світла, 3 - лінза, що колімує пучок світла, 4 - напівпрозоре дзеркало, 5 - дифузно розсіююча опорна поверхня, що формує опорну хвилю, 6 - пристрій для зсуву фази опорної хвилі (наприклад, п'єзокераміка, що зміщує опорну поверхню 5), 7 - об'єкт, що вимірюється, 8 - діафрагма, що фільтрує сумарну хвилю, 9 - телекамера або фотоапарат для реєстрації спеклограм.

На Фіг. 2 представлено картина фазового зсуву (топограма) напівсферичного об'єкта, яка отримана за прикладом 1 (білий колір - фазовий зсув 0, чорний колір - π , кількість фазових кроків 1). Перепад висот поверхні об'єкта для сусідніх чорних або білих ліній d вираховується по формулі $d = \lambda_1 \lambda_2 / 2\Delta\lambda$ і складає у даному випадку 0,1 мм.

На Фіг. 3 представлено розраховану по фіг. 2 форму об'єкта, що може бути збережена у цифровому вигляді.

На Фіг. 4 представлено топограми поверхні тестового об'єкта у формі дифузно відбиваючого клина для двох різних $\Delta\lambda$. Перепад висот поверхні об'єкта для сусідніх чорних або білих ліній d вираховується по формулі $d = \lambda_1 \lambda_2 / 2$ і складає у даному випадку 1 мм для $\Delta\lambda_1$ та 0,1 мм для $\Delta\lambda_2$.

Спосіб здійснюють таким чином.

Випромінювання від лазера крізь лінзу спрямовують на об'єкт та дифузно розсіюючу опорну поверхню. Відбита від опорної поверхні опорна хвиля просторово суміщується з об'єктною спекл-хвилею, що сформована об'єктом, за допомогою напівпрозорого дзеркала. Діафрагма фільтрує сумарну хвилю, при цьому розмір діафрагми підбирається таким, щоб зникли регулярні інтерференційні смуги усередині усіх спеклів сумарної хвилі.

Просторовий розподіл інтенсивностей у спеклограмі реєструють за допомогою телекамери або фотоапарата. Для першої довжини хвилі лазерного випромінювання λ_1 реєструють декілька спеклограм при різних значеннях фази опорної хвилі, яка змінюється від 0 до 2π за допомогою фазозсувального пристрою, наприклад п'єзокераміки. Порівнюючи між собою отримані спеклограми, визначають фазу кожного спекла об'єктної хвилі відносно опорної хвилі. Цю операцію повторюють для другої довжини хвилі лазерного випромінювання λ_2 .

Порівнюючи між собою фази кожного зі спеклів для першої і другої довжини хвилі, визначають фазовий зсув об'єктної хвилі відносно опорної хвилі та визначають лінії однакового фазового зсуву. Якщо опорна поверхня є рівною площиною, ці лінії є топографією об'єкта.

Приклади конкретного виконання способу.

Приклад 1. Отримання топограм поверхні тестового об'єкта у формі дифузно відбиваючої світло напівсфери.

Промінь від лазера 1 з змінною довжиною хвилі або двох лазерів з довжинами хвилі λ_1 та λ_2 (див. фіг. 1) поширюється лінзою 2, колімується лінзою 3 та спрямовується на напівпрозоре дзеркало 4, що ділить пучок на два: той, що іде до дифузно розсіюючої опорної поверхні 5, що формує опорну хвилю, та той, що іде до об'єкта 7 і, відбиваючись від нього, формує об'єктну хвилю. Ці хвилі просторово суміщуються за допомогою напівпрозорого дзеркала 4. Сумарна хвиля фільтрується діафрагмою 8, розмір якої підбирається таким, щоб зникли регулярні інтерференційні смуги у середині усіх спеклів сумарної хвилі. Просторовий розподіл інтенсивностей у спеклограмі реєструють за допомогою телекамери або фотоапарата 9. Далі зображення вводять до комп'ютера. Завдяки пристрою 6 здійснюють зсув фази опорної хвилі.

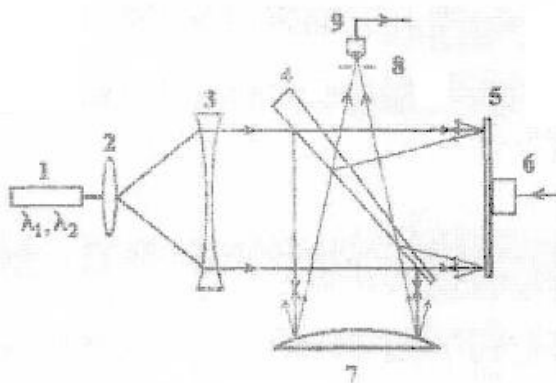
Для першої довжини хвилі лазерного випромінювання λ_1 реєструють декілька (дві або більше) спеклограм з різним зсувом фази опорної хвилі. Порівнюючи між собою отримані спеклограми визначають фазу кожного спекла об'єктної хвилі.

Потім змінюють довжину хвилі лазерного випромінювання на λ_2 , та визначають таким же чином нову фазу кожного спекла об'єктної хвилі.

Порівнюючи фази кожного зі спеклів для довжин хвиль λ_1 та λ_2 , формують картини фазового зсуву об'єктної світлової хвилі при зміні довжини хвилі, з визначенням як абсолютного значення так і знаку фазового зсуву. Визначають лінії однакового фазового зсуву. Якщо опорна поверхня є рівною площиною, ці лінії є топографією об'єкта. Перепад висот поверхні об'єкта для сусідніх ліній з однаковим фазовим зсувом d вираховується по формулі $d = \lambda_2 / 2\Delta\lambda$, що дає змогу представити результати вимірів у вигляді тривимірної картини та зберігати їх у цифровій формі. Отримана голограма об'єкту представлена на Фіг. 2, а вирахована по ній тривимірна картина форми об'єкта - на Фіг. 3. Прямими вимірами доказано, що вирахована форма поверхні співпадає з реальною.

Приклад 2. Отримання топограм поверхні тестового об'єкта у формі дифузно відбиваючого клина для двох різних $\Delta\lambda$. Здійснюється аналогічно прикладу 1. Як видно з топограм, представлених на фіг 4, при використанні різних змін частоти (довжини хвилі) лазерного випромінювання можна змінювати у широкому діапазоні чутливість методу та величину перепаду висот, що може бути виміряна. Він може складати від сотих долей міліметра до декількох метрів, або більше.

Запропонований спосіб дозволяє отримати топограму об'єктів та представлення її у цифровій формі.



Фіг. 1

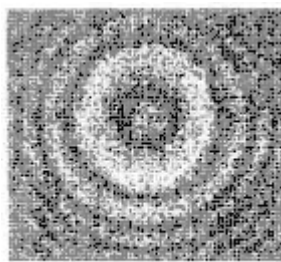


Fig. 2

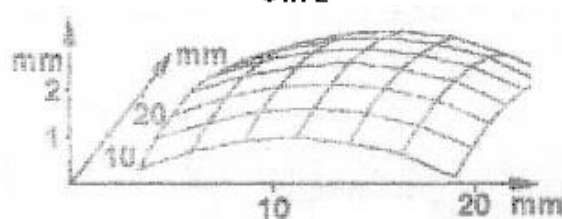


Fig. 3

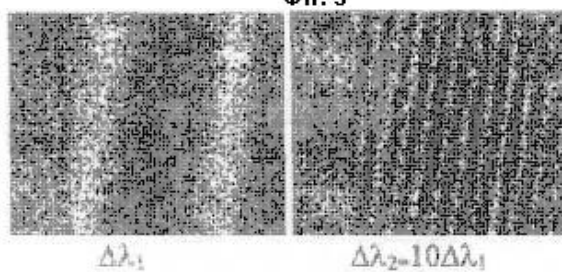


Fig. 4