



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 105297

(13) C2

(51) МПК

G01B 9/021 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

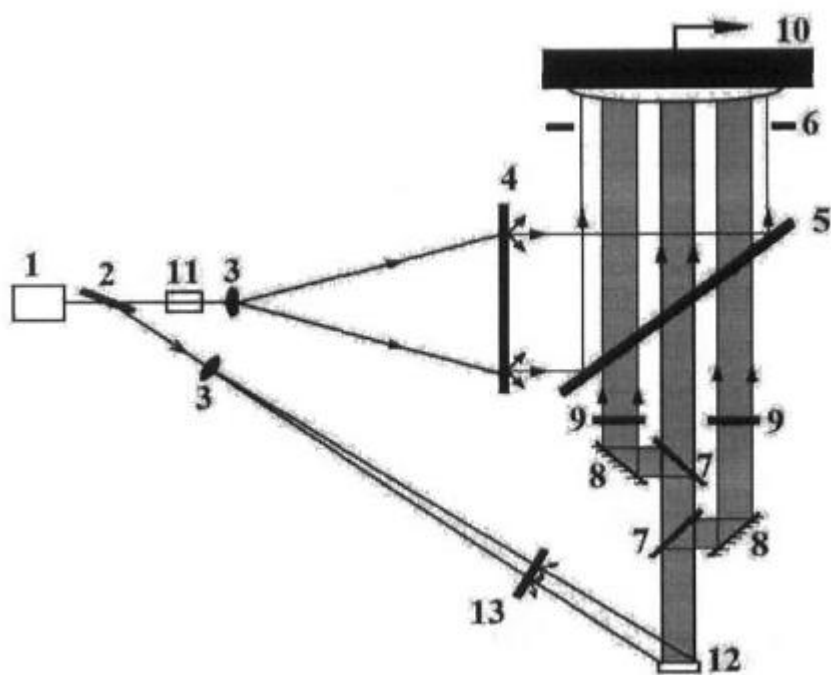
(21) Номер заявки:	а 2012 15004	(72) Винахідник(и):	Попов Андрій Юрійович (UA), Тюрин Олександр Валентинович (UA), Бекшаєв Олександр Янович (UA), Гоцунський Володимир Якович (UA)
(22) Дата подання заявки:	27.12.2012	(73) Власник(и):	ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І. МЕЧНИКОВА, вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65082 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	25.04.2014	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	JP 07198319; 01.08.1995 CN 1587897 A; 02.03.2005 GB 2309777 A; 06.08.1997 CN 2881538 Y; 21.03.2007 UA 7343 U; 15.06.2005 UA 54672 U; 25.11.2010 UA 46059 U; 10.12.2009 RU 2463552 C1; 10.10.2012
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.02.2014, Бюл.№ 4		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.04.2014, Бюл.№ 8		

(54) СПОСІБ ШВИДКІСНОГО ВИМІРЮВАННЯ ЗМІНИ ФАЗИ ОБ'ЄКТНОЇ ХВИЛІ МЕТОДОМ ФАЗОМОДУЛЬОВАНОЇ СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

(57) Реферат:

Винахід належить до вимірювальної техніки, голографічної та спекл-інтерферометрії. Спосіб швидкісного вимірювання зміни фази об'єктної хвилі методом фазомодульованої спекл-інтерферометрії включає освітлювання об'єкта когерентним випромінюванням, здійснення просторового суміщення об'єктної спекл-хвилі та опорної хвилі для формування сумарної хвилі, здійснення просторової фільтрації сумарної хвилі, реєстрування інтенсивності сумарної хвилі. Згідно з винаходом, перед формуванням сумарної хвилі об'єктна хвиля за допомогою оптичної системи мультиплікації зображення ділиться на три або більше хвиль, що відрізняються за фазою, які проектується для реєстрації спеклограм на різні частини кадру приймальної телекамери або фотоапарата. Отримані набори спеклограм реєструють для початкового та зміненого стану об'єкта, порівнюють на двох кадрах та визначають величину зміни фази кожного спекла об'єктної хвилі з визначенням знака зміни фази. Винахід забезпечує високу швидкість вимірювання, дозволяє досліджувати динамічні об'єкти, визначати деформації та переміщення дзеркально або диффузно відбиваючих поверхонь, зміни показника заломлення та товщини прозорих об'єктів.

UA 105297 C2



Фиг. 1

Винахід належить до вимірювальної техніки, голографічної та спекл-інтерферометрії та може використовуватись у машинобудуванні, енергетичній промисловості, медицині та ін.

Відомий спосіб двоекспозиційної голографічної інтерферометрії (М. Миллер. Голография. - Ленинград. - "Машиностроение", 1979 г., с. 206), завдяки якому можливо визначати різницю фаз об'єктної хвилі між двома становищами об'єкта. На одну і ту ж голографічну пластинку записують голограму об'єкта у вихідному стані, далі записують голограму об'єкта у змінюваному стані (наприклад, після нагрівання або механічної деформації).

Голограму, яку експонували два рази, освітлюють опорною хвилею, при цьому інтерференційна картина дає інформацію про зміни фази об'єктної хвилі. Недоліком цього способу є необхідність запису голограм, що ускладнює, здорожує та сповільнює проведення вимірювання.

Найближчим до пропонованого є "Спосіб фазомодульованої спекл-інтерферометрії для вимірювання зміни фази об'єктної хвилі" (патент України № 80706 від 25 жовтня 2007 р. "Спосіб фазомодульованої спекл-інтерферометрії для вимірювання зміни фази об'єктної хвилі"). Даний спосіб вибрано прототипом.

Спосіб здійснюють таким чином.

Випромінювання від лазера крізь колімуючу систему спрямовують на об'єкт та дифузно розсіюючу поверхню. Відбита від дифузно розсіюючої поверхні опорна хвиля просторово суміщається 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.

Недоліком відомого способу є необхідність послідовно реєструвати набір з трьох або більше спеклограм з відповідними фазовими зсувами опорної хвилі, що робить спосіб доволі повільним.

Задача, на вирішення якої спрямовано винахід, що пропонується, є спосіб більш швидкісного вимірювання зміни фази об'єктної хвилі методом фазомодульованої спекл-інтерферометрії, у якому потрібний набір спеклограм реєструється на одному кадрі, який дозволить досліджувати динамічні об'єкти, визначати деформації та переміщення дзеркально або дифузно відбиваючих поверхонь (технічні об'єкти), зміни показника заломлення та товщини прозорих об'єктів (газові потоки, полум'я, живі біологічні об'єкти) та ін.

Дана задача вирішується способом швидкісного вимірювання зміни фази об'єктної хвилі методом фазомодульованої спекл-інтерферометрії, що включає освітлювання об'єкта когерентним випромінюванням, здійснення просторового суміщення об'єктної спекл-хвилі та опорної хвилі для формування сумарної хвилі, здійснення просторової фільтрації сумарної хвилі, реєстрування інтенсивності сумарної хвилі, який відрізняється тим, що перед формуванням сумарної хвилі об'єктна хвиля за допомогою оптичної системи мультиплікації зображення ділиться на три або більше хвиль, що відрізняються за фазою, які проектується для реєстрації спеклограм на різні частини кадру (ПЗС матриці) приймальної телекамери або фотоапарата, отримані набори спеклограм реєструють для початкового та зміненого стану об'єкта, порівнюють на двох кадрах та визначають величину зміни фази кожного спекла об'єктної хвилі з визначенням знака зміни фази.

Прототип співпадає з винаходом, що заявляється, в наявності спільних операцій:

- освітлювання об'єкта когерентним випромінюванням;
- здійснення просторового суміщення двох когерентних світлових хвиль;
- просторова фільтрація сумарної хвилі за допомогою діафрагми;
- реєстрація інтенсивності сумарної світлової хвилі у площині суміщення.

Відміною способу, що пропонується, від прототипу є те, що у ньому набори спеклограм фіксуються не послідовно, у вигляді набору кадрів, а на одному кадрі, для чого використовується оптична система мультиплікації зображення, що значно прискорює процес вимірювань.

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

При деформації та переміщенні непрозорих та прозорих об'єктів або зміни показника заломлення чи товщини прозорих об'єктів змінюється оптична різниця ходу променів у об'єктній хвилі, що викликає зміну фаз спеклів об'єктної хвилі. Визначивши просторове розподілення змін фази об'єктної хвилі (побудувавши фазограму) можна вирахувати зміни об'єкта, що їх викликали.

Спосіб може здійснюватись у трьох варіантах, для дослідження непрозорих об'єктів з дифузно розсіюючою поверхнею, непрозорих об'єктів з дзеркальною поверхнею та прозорих (напівпрозорих) об'єктів, що відрізняються деталями освітлення об'єкта.

На Фіг. 1 представлено принципову схему установки для реалізації способу, що пропонується, для дослідження непрозорих об'єктів з дифузно розсіюючою поверхнею та об'єктів з дзеркальною поверхнею.

Установка має такі вузли: 1 - лазер з довжиною хвилі λ , 2 - напівпрозоре дзеркало, 3 - об'єктиви для розширення пучків, 4 - дифузор, що формує спекловий характер опорної хвилі, 5 - напівпрозоре дзеркало, 6 - діафрагма, що фільтрує сумарну хвилю, 7 - напівпрозорі дзеркала, 8 - дзеркала системи мультиплікації зображення, 9 - фазозсувні елементи, 10 - телекамера або фотоапарат для реєстрації спеклограм, 11 - фазомодуляційний пристрій для зсуву фази опорної хвилі, 12 - об'єкт що досліджується, з дифузно розсіюючою або дзеркальною поверхнею, 13 - додатковий дифузор, що вводиться у схему при дослідженні об'єктів з дзеркальною поверхнею.

Промінь від лазера 1 поділяється напівпрозорим дзеркалом 2 на опорний та об'єктний пучки, що поширюється лінзами 3. Опорний пучок проходить скрізь дифузор 4, що формує її спекловий характер, та просторово суміщається з об'єктним пучком за допомогою напівпрозорого дзеркала 5. Сумарна хвиля фільтрується діафрагмою 6, розмір якої підбирається таким, щоб зникли регулярні інтерференційні смуги усередині усіх спеклів сумарної хвилі. Просторовий розподіл інтенсивностей у сумарній хвилі (спеклограму) реєструють за допомогою телекамери або фотоапарата 10.

Об'єктний пучок формується після відбивання від поверхні об'єкта, що досліджується. Якщо поверхня є дифузно розсіюючою, то спекловий характер об'єктної хвилі формується автоматично, у випадку дзеркальної поверхні для формування спеклового характеру об'єктної хвилі використовують додатковий дифузор 13. Далі об'єктний пучок за допомогою системи мультиплікації зображення (напівпрозорі дзеркала 7 та дзеркала 8) поділяється на три, основний (центральный) та два допоміжних, фази яких зсунуті відносно фази центрального пучка. У допоміжні пучки можуть вводиться фазозсувні елементи 9 для досягнення оптимальних зсувів їх фаз ($\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2 \sim \pm\pi/2$). Центральний та допоміжні пучки, проектується для реєстрації спеклограм на різні частини кадру (ПЗС матриці) приймальної телекамери або фотоапарата. Такий набір спеклограм реєструються одночасно на одному кадрі для початкового стану об'єктної хвилі до початку вимірювань та характеризується унікальним значенням інтенсивності кожного спекла у всіх трьох спеклограмах, що залежить від різниці фаз у відповідних спеклах об'єктної та опорної хвилі та фазовими зсувами допоміжних пучків $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$.

З урахуванням неідеальності конструкції $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$ можуть бути не однаковими по всій поверхні зображення, а унікальними для кожного спекла. Для їх визначення (створення двох фазових зсувів $\Delta\varphi_1$ та $\Delta\varphi_2$) необхідно до початку вимірювань провести калібрування згідно з методом, що вибрано прототипом. Для цього використовується фазомодуляційний пристрій 11 для дискретного контрольованого зсуву фази опорної хвилі. У процесі вимірювань пристрій 11 не використовується. Таким чином швидкодія способу, що пропонується, визначається швидкістю реєстрації одного кадру телекамерою, тобто щонайменше на порядок перевищує швидкодію способу, що вибрано прототипом.

При деформації або зміщенні об'єкта фаза об'єктної хвилі змінюється, що викликає зміну інтенсивностей спеклів у основному та допоміжних пучках. Аналіз цих зміщень дозволяє визначити зміни фази кожного спекла об'єктної хвилі відносно початкового стану, тобто побудувати його фазограму. Аналіз фазограми дозволяє вирахувати профіль деформації поверхні об'єкта. Зміна фази на 2π відповідає зміщенню поверхні на довжину хвилі випромінювання лазера, що використано у схемі.

Приклади конкретного виконання способу.

Приклад 1. Дослідження деформацій поверхні сплаву Ni-Mn-Ga під час фазових переходів.

За допомогою способу, що пропонується, були зафіксовані два кадри з наборами спеклограм, Фіг. 2А - до фазового переходу, Фіг. 2В - під час проходження хвилі фазового переходу, для зразка Ni-Mn-Ga з дифузно розсіюючою поверхнею. Порівняння інтенсивностей спеклів у двох наборах дозволило визначити зміни фази об'єктного пучка (фазограму) при проходженні хвилі фазового переходу, що супроводжується вертикальним мікрозміщенням

поверхні об'єкта (Фіг. 3А). Зміна фаз від 0 до 2π позначається зміною кольору від чорного до білого. На Фіг. 3В представлено вирахований по фазограмі профіль деформації об'єкта при проходженні хвилі фазового переходу. На Фіг. 3С представлено фотографію фрагмента поверхні, що досліджувалась.

5 Приклад 2. Дослідження полум'я пальника Бунзена.

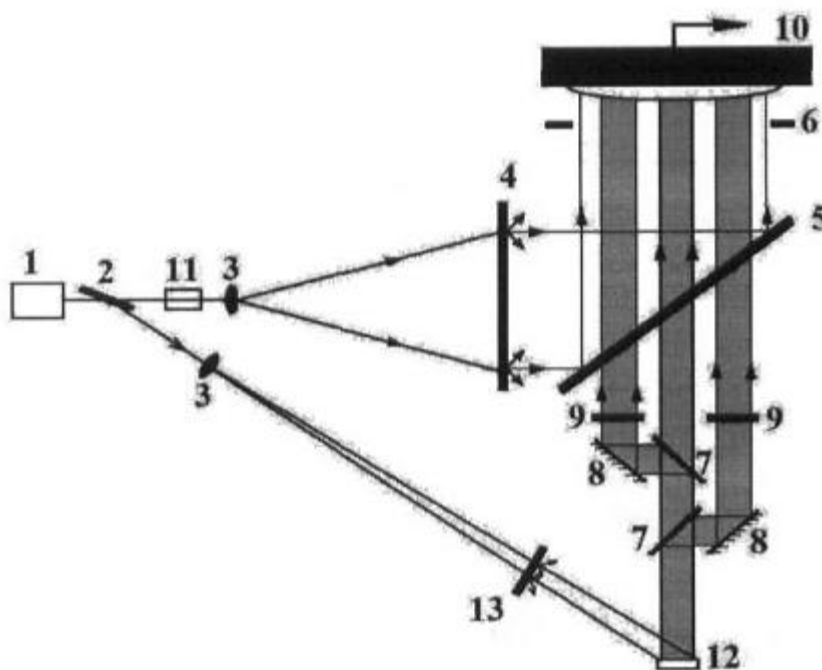
Спосіб здійснювали за прикладом 1, але на установці, схема якої показана на Фіг. 4. Вузли установки співпадають з представленими на Фіг. 1 з 1 по 11, 12 - прозорий або напівпрозорий об'єкт, що досліджується, 13 - дифузний розсіювач. Для дослідження прозорих (напівпрозорих) об'єктів, об'єктна хвиля утворювалась при пропусканні спекл-хвилі, сформованої дифузним розсіювачем 13, крізь прозорий об'єкт 12.

На Фіг. 5 показані: А - фотографія полум'я пальника Бунзена, В - його фазограма. Початковий кадр з набором спеклограм було зафіксовано, коли полум'я не горіло.

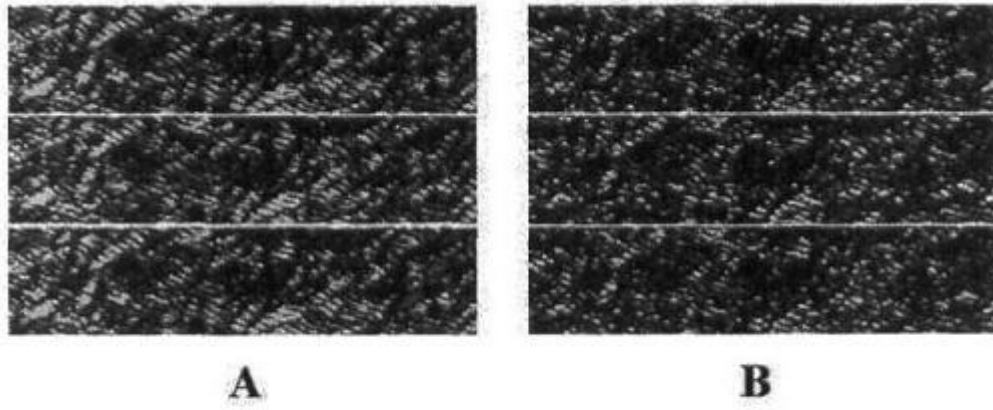
Як видно з наведених прикладів, даний спосіб дозволяє дослідити процеси з характерним часом перебігу близько $1/20$ секунди, що є дуже добрим для інтерферометричних досліджень.

15 ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

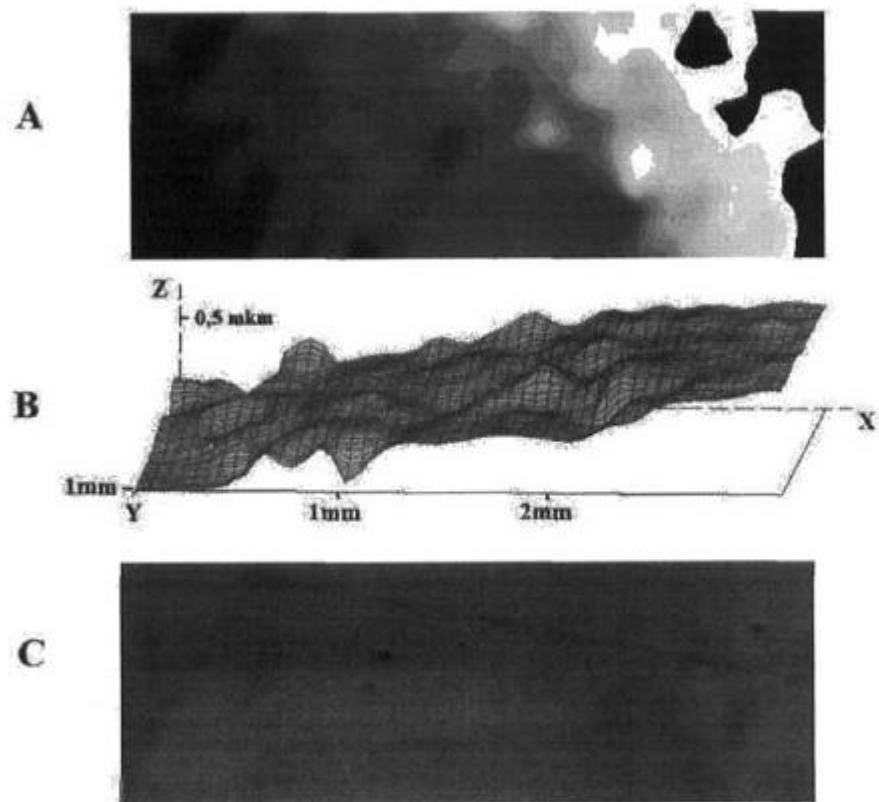
Спосіб швидкісного вимірювання зміни фази об'єктної хвилі методом фазомодульованої спекл-інтерферометрії, що включає освітлювання об'єкта когерентним випромінюванням, здійснення просторового суміщення об'єктної спекл-хвилі та опорної хвилі для формування сумарної хвилі, здійснення просторової фільтрації сумарної хвилі, реєстрування інтенсивності сумарної хвилі, який **відрізняється** тим, що перед формуванням сумарної хвилі об'єктна хвиля за допомогою оптичної системи мультиплікації зображення ділиться на три або більше хвиль, що відрізняються за фазою, які проєктуються для реєстрації спеклограм на різні частини кадру приймальної телекамери або фотоапарата, отримані набори спеклограм реєструють для початкового та зміненого стану об'єкта, порівнюють на двох кадрах та визначають величину зміни фази кожного спекла об'єктної хвилі з визначенням знака зміни фази.



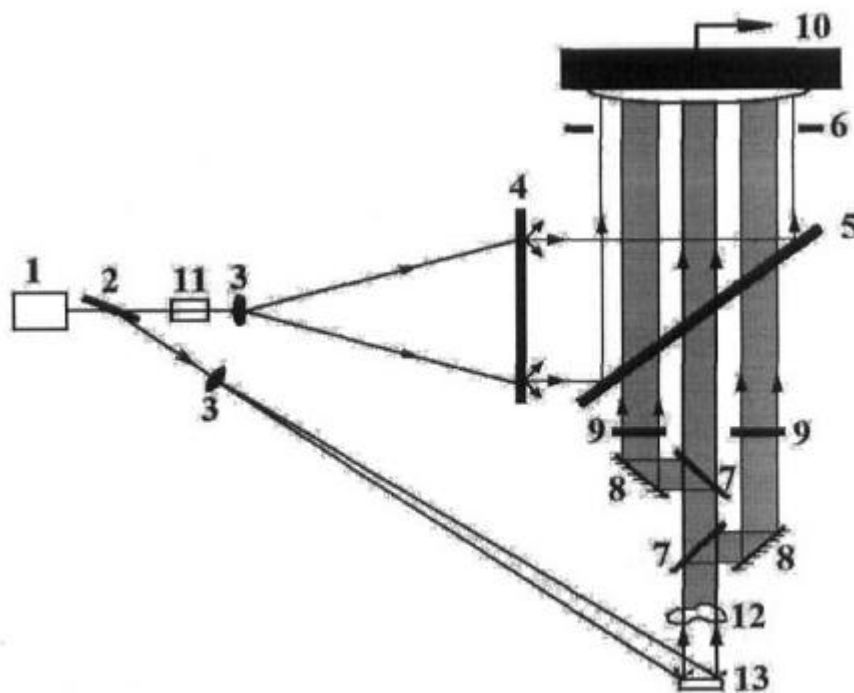
Фіг. 1



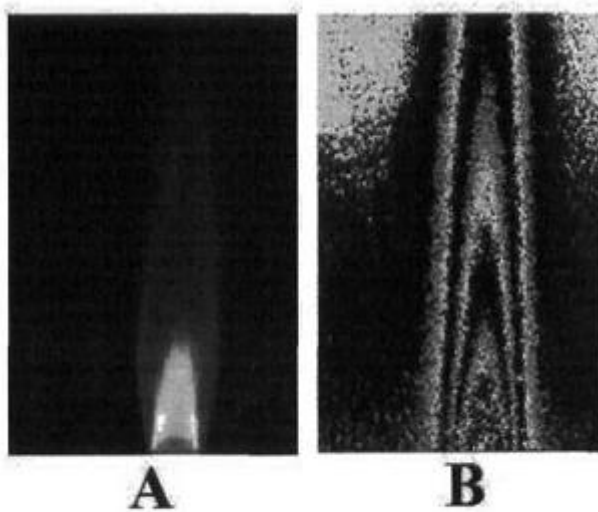
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

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