



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42186 (13) A

(51) 7 G01B11/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КЛИНОВИДНОСТІ ДЕТАЛЕЙ З ПРОЗОРИХ МАТЕРІАЛІВ

(21) 2000105600

(22) 02 10 2000

(24) 15 10 2001

(33) UA

(46) 15 10 2001, Бюл. № 9, 2001 р

(72) Кравченко Вілен Йосипович, Соколов Володимир Олександрович

(73) ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНИХ ПРОБЛЕМ ФІЗИКИ І БІОФІЗИКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, UA

(57) 1 Спосіб визначення клиновидності деталей з прозорих матеріалів, в якому здійснюють перетворення кута клиновидності деталі в зміну довжини хвилі випромінювання перестроюваного лазера з дисперсійним резонатором, вимірюють зміну довжини хвилі, по зміні довжини хвилі та дисперсії резонатора розраховують кут клиновидності деталі, який відрізняється тим, що вимірюють довжину хвилі випромінювання при відсутності деталі в резонаторі, вносять деталь в резонатор таким чином, щоб лазерний промінь перетинав обидві грані, кут між якими вимірюється, вимірюють зміни довжин хвилі випромінювання для двох взаємно перпендикулярних положень деталі відносно осі резонатора, розраховують кут клиновидності α за формулою

$$\alpha = (\alpha'^2 + \alpha''^2)^{1/2},$$

де $\alpha' = \delta\lambda' / D_\phi / (n-1)$ і $\alpha'' = \delta\lambda'' / D_\phi / (n-1)$ - кути клиновидності в двох взаємно перпендикулярних напрям-

ках, $\delta\lambda'$ і $\delta\lambda''$ - зміни довжин хвилі випромінювання для двох взаємно перпендикулярних положень деталі відносно осі резонатора, D_ϕ - кутова дисперсія резонатора, n - показник заломлення матеріалу деталі

2 Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що зміну довжини хвилі випромінювання, яка спричинена внесенням деталі до резонатора, компенсують перестроюванням довжини хвилі в зворотний бік, вимірюють величину керуючого сигналу, яку треба прикласти до пристрою перестроювання для повної компенсації, розраховують складову кута клиновидності в площині дисперсії α' , використовуючи функціональну залежність між величинами перестройки довжини хвилі $\delta\lambda'$ і керуючого сигналу Q

3 Спосіб за п. 2, який відрізняється тим, що компенсуюче перестроювання довжини хвилі випромінювання здійснюють зміною частоти збудження акустооптичного дефлектора, а складову кута клиновидності в площині дисперсії α' розраховують за формулою

$$\alpha' = k \cdot \delta f / (n-1),$$

де δf - потрібна для компенсації зміна частоти акустичної хвилі f , k - коефіцієнт пропорційності між кутом відхилення випромінювання дефлектором і зміною частоти акустичної хвилі

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може бути використаний для визначення клиновидності різноманітних прозорих деталей, а саме підкладок (фотографічних пластин, рідкокристалічних екранів, дзеркал, напівпровідникових мікросхем, оптоелектронних приладів тощо), віконців, кристалічних елементів (оптичних модуляторів і дефлекторів, активних елементів твердотільних лазерів), а також інших виробів, заготовок і напівфабрикатів з плоскими гранями

На сьогоднішній день для визначення клиновидності деталей широко застосовуються способи, засновані на вимірюванні кута між пучками світла, відбитого від граней, що утворюють клин, за авто-

колімаційними методиками [1-3]. Вимірювальна установка включає автоколіматор і поворотний стіл, причому оптична вісь автоколіматора і вісь обертання стола зорієнтовані під кутом 90° одна до одної

Деталь встановлюють на поворотному столі таким чином, щоб лінія перетину площин граней, кут між якими визначається, була паралельна осі обертання стола. Обертаючи стіл, при наявності в полі зору автоколіматора бликів відбитого від граней світла, фіксують кутові положення стола, які відповідають збігу оптичної осі автоколіматора з нормаллями до граней, що утворюють клин. Кут

клиновидності визначають по кутовій відстані між зафіксованими положеннями стола

Найбільш близьким за технічною суттю до винаходу є спосіб [3], в якому для визначення плоских кутів об'єкта використовують перетворення кута повороту стола в зміну довжини хвилі випромінювання перестроюваного лазера з дисперсійним резонатором. Для такого перетворення дзеркало, що слугує кінцевим відбивачем резонатора, кріпиться до поворотного стола, або ж сам лазер встановлюють так, щоб кінцевими відбивачами резонатора могли слугувати грані деталі, які утворюють вимірюваний кут. Обертаючи стіл, фіксують довжини хвилі лазерного випромінювання, які відповідають збігу оптичної осі автоколіматора з нормаллями до цих граней. Кут клиновидності визначають за різницею між зафіксованими довжинами хвилі і кутовою дисперсією резонатора.

Цей спосіб потребує прецизійного механічного орієнтування контрольованої деталі таким чином, щоб обидві грані, кут між якими вимірюється, з високою точністю були паралельні осі обертання. Така робота вимагає від працівників високої кваліфікації і триває, як правило, кілька хвилин, що в умовах потокового виробництва дозволяє здійснювати тільки вибірковий контроль деталей. Безплатове обертання стола потребує використання складних високоточних механізмів, що суттєво підвищує вартість вимірювальної установки.

Як і інші автоколімаційні способи, прототип не може бути застосований щодо деталей з гранями, які не забезпечують достатньо високого рівня дзеркального відбиття світла (наприклад, внаслідок просвітлення та(або) малих розмірів).

Таким чином, прототип є способом, що добре підходить для високоточних лабораторних вимірювань. Проте через довготривалість вимірювального циклу він мало придатний для експрес-вимірювань в умовах потокового виробництва. До того ж його використання обмежене деталями, грані яких забезпечують достатньо високий рівень дзеркального відбиття світла.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу визначення клиновидності деталей з прозорих матеріалів шляхом використання внутрішньорезонаторних вимірювань для спрощення процесу вимірювання, підвищення його продуктивності, а також зменшення обмежень, пов'язаних з розмірами та станом поверхні відбиваючих граней, при збереженні високої точності вимірювань.

Для визначення кута клиновидності використовують ефект зміни довжини хвилі генерації при внесенні деталі в дисперсійний резонатор перестроюваного лазера внаслідок зміни напрямку розповсюдження випромінювання всередині резонатора. Клиновидну деталь вносять в дисперсійний резонатор перестроюваного лазера таким чином, щоб, по-перше, лазерний промінь перетинав обидві грані, які утворюють вимірюваний кут, і, по-друге, площини граней були зорієнтовані приблизно ортогонально до оптичної осі резонатора. Завдяки відхиленню напрямку розповсюдження променя від первісного довжина хвилі лазерного випромінювання змінюється. Ця зміна вимірюється і використовується для визначення складової кута

клиновидності α' в площині дисперсії згідно з формулою

$$\alpha' = \delta\lambda \cdot D_{\phi} / (n - 1), \quad (1)$$

де $\delta\lambda$ - зміни довжин хвиль випромінювання, D_{ϕ} - кутова дисперсія резонатора, n - показник заломлення матеріалу деталі.

Потім деталь повертають на 90° навколо осі резонатора і вищезгаданим чином визначають складову кута клиновидності α'' в площині, перпендикулярній до попередньої. Повний кут клиновидності α розраховують за формулою

$$\alpha = (\alpha'^2 + \alpha''^2)^{1/2} \quad (2)$$

Спосіб можна зробити більш точним, а також збільшити діапазон вимірюваних кутів клиновидності, якщо вимірювати зміну довжини хвилі методом компенсації. Для вимірювань такого типу використовують дисперсійний резонатор, оснащений пристроєм для перестроювання довжини хвилі випромінювання. Регулюючи керуючий сигнал цього пристрою, відновлюють те значення довжини хвилі лазерного випромінювання, яке мало місце до внесення клиновидної деталі в резонатор. За зміною величини керуючого сигналу визначають зміну довжини хвилі випромінювання, викликану внесенням деталі, і, відповідно, складову клиновидності α' в площині дисперсії резонатора.

Зокрема, при перестроюванні довжини хвилі за допомогою акустооптичного дефлектора складова кута клиновидності α' визначається за формулою

$$\alpha' = k \cdot \delta f / (n - 1), \quad (3)$$

де δf - потрібна для компенсації зміна акустичної частоти, k - коефіцієнт пропорційності між кутом відхилення променя і зміною акустичної частоти.

Фіг. 1 Блок-схема вимірювального комплексу

1 - дифракційний спектрограф, 2 - приймач зображення спектра на основі лінійної ПЗС-мікросхеми, 3 - аналого-цифровий перетворювач, 4 - персональний комп'ютер, 5 - перестроюваний лазер з дисперсійним резонатором.

Фіг. 2 Схема перестроюваного лазера з дисперсійним резонатором

1 - активний елемент, 2 - джерело накачки, 3, 4 - кінцеві відбивачі, 5 - призмий телескоп, 6 - оптичний елемент з кутовою дисперсією (призма або ґратка), 7 - контрольована деталь.

Фіг. 3 Схема перестроюваного лазера з дисперсійним резонатором, що використовується для вимірювання клиновидності за компенсаційною методикою

1 - активний елемент, 2 - джерело накачки, 3, 4 - кінцеві відбивачі, 5 - призмий телескоп, 6 - оптичний елемент з кутовою дисперсією (призма або ґратка), 7 - акустооптичний дефлектор, 8 - контрольована деталь.

Фіг. 4 Спектри лазерного випромінювання при відсутності (1) і наявності (2) в резонаторі лазера клиновидної деталі з кварцового скла КУ-1

Спосіб реалізується за допомогою вимірювального комплексу, блок-схема якого зображена на

фіг. 1 Комплекс включає дифракційний спектрограф 1 з приймачем зображення спектра 2 на основі лінійної ПЗЗ-мікросхеми, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 3, персональний комп'ютер 4 і перестроюваний лазер з дисперсійним резонатором 5. Комп'ютер запускає лазерну генерацію і одночасно обробляє зображення спектра, що формується в фокальній площині спектрографа. Обробка, в основному, полягає в оцифровці зображення спектра з наступними розрахунками довжини хвилі спектрального максимуму.

Перестроюваний лазер (фіг. 2) складається з активного елементу 1, джерела накачки 2, кінцевих відбивачів 3 і 4, двопризмового телескопу 5, оптичного елементу з кутовою дисперсією (призми або ґратки) 6. Клиновидну деталь 7 вводять до резонатора перестроюваного лазера таким чином, щоб грані, які утворюють вимірюваний кут, були приблизно ортогональні до оптичної осі резонатора.

Довжини хвиль генерації вимірюють спочатку при відсутності, а потім при наявності деталі в резонаторі. При внесенні деталі напрямок розповсюдження випромінювання всередині резонатора відхиляється від первісного на кут θ , який пов'язаний з кутом клиновидності α співвідношенням

$$\theta = \alpha \cdot (n-1),$$

де n - показник заломлення матеріалу. Відхилення пучка викликає зміну довжини хвилі генерації лазера на величину

$$\delta\lambda' = \theta' / D_\phi,$$

де D_ϕ - кутова дисперсія резонатора, θ' - складова відхилення у площині дисперсії, яка вимірюється з допомогою спектрального приладу. Після цього клиновидність α' у площині дисперсії розраховується за формулою (1)

Далі пластину повертають на 90° навколо осі резонатора і, повторюючи всі операції, визначають складову клиновидності α'' у напрямку, перпендикулярному до попереднього. Повний кут клиновидності α розраховується за формулою (2)

На відміну від прототипу, в даному способі немає потреби в прецизійному попередньому орієнтуванні деталі. Кут між нормаллю до її поверхні і віссю резонатора може досягати кількох кутових градусів без суттєвого зниження точності, що означає можливість встановлювати вимірювану деталь в резонаторі "на око".

Також запропонований спосіб забезпечує високу чутливість вимірювання. Згідно з формулою (1) найменший кут клиновидності, що може бути виміряний, визначається міжмодовим проміжком $\delta\lambda_{\min}$ і кутовою дисперсією резонатора D_ϕ . Наприклад, при $\delta\lambda_{\min} \approx 0,6 \cdot 10^{-3}$ нм (довжина резонатора дорівнює 30 см, а діапазон довжин хвиль - близько 600 нм) і $D_\phi \approx 10^4$ рад/нм (дисперсійним елементом резонатора є скляна призма) мінімальний вимірюваний кут α_{\min} становить менше, ніж 10^{-7} рад. Така чутливість може бути реально досягнута при звуженні спектру генерації завдяки конкуренції мод у спектрально однорідному активному середовищі лазера.

Максимальний кут клиновидності α_{\max} , що може бути виміряний таким способом, визначається шириною контуру підсилення активного середовища і дисперсією резонатора ($\alpha_{\max} = \delta\lambda_{\max} D_\phi$). Наприклад, при діапазоні перестроювання $\delta\lambda_{\max} \approx 50$ нм (характерному для лазерів на органічних барвниках) ця величина становить, приблизно $5 \cdot 10^{-3}$ рад.

Другий варіант запропонованого способу відрізняється від вищенаведеного тим, що використовують дисперсійний резонатор, оснащений пристроєм для перестроювання довжини хвилі випромінювання, а зміну довжини хвилі, що спричинена внесенням в резонатор контрольованої деталі, вимірюють методом компенсації. При такому вимірюванні зміна довжини хвилі визначається за величиною керуючого сигналу, яку необхідно прикласти до пристрою перестроювання для того, щоб відновити те значення довжини хвилі, що мало місце до внесення деталі в резонатор.

Наприклад, довжину хвилі можна перестроювати, обертаючи кінцевий відбивач 4 (фіг. 2) за допомогою крокового електродвигуна або прикладаючи постійну електричну напругу до призми 6, виготовленої з електрооптичного матеріалу [4]. В цих окремих випадках величина компенсуючого керуючого сигналу буде дорівнювати, відповідно, кількості імпульсів електричного струму або величині електричної напруги, при яких відновлюється первісне значення довжини хвилі випромінювання.

Найбільш висока точність вимірювань досягається при перестроюванні довжини хвилі за допомогою акустооптичного дефлектора (фіг. 3). В даному випадку лазер складається з активного елементу 1, джерела накачки 2, кінцевих відбивачів 3 і 4, двопризмового телескопу 5, оптичного елементу з кутовою дисперсією (призми або ґратки) 6 і акустооптичного дефлектора 7 [5]. Акустична хвиля збуджується високочастотним електричним сигналом з синтезатора, що змонтований на окремій платі, яка стикується з материнською платою персонального комп'ютера.

Клиновидну деталь 8 вносять в резонатор перестроюваного лазера так, як і в попередньому варіанті. Вимірюють зміну акустичної частоти, яка потрібна для компенсації зміни довжини хвилі лазерного випромінювання, спричиненого внесенням деталі в резонатор. Складову клиновидності α' в площині дисперсії розраховують за формулою (3).

Оскільки коефіцієнт пропорційності між кутовим відхиленням і зміною акустичної частоти лежить у межах 10^{-10} – 10^{-9} рад/Гц (для дефлектора на парателурті), а нестабільність акустичної частоти може не перевищувати 10^{-1} Гц, компенсація дозволяє вимірювати клиновидність з похибкою 10^{-11} – 10^{-10} рад. Крім того, цей метод дозволяє збільшити діапазон вимірюваних кутів клиновидності, оскільки в даному випадку не обов'язково, щоб довжина хвилі генерації лазера після внесення клиновидної деталі залишалася в межах контуру підсилення активною середовища. Наприклад, використання акустооптичного дефлектора на парателурті [5] дозволяє досягнути діапазону вимірюваних кутів близько $3,5 \cdot 10^{-2}$ рад (або 2 кутових градуси).

Зареєстровані комп'ютером спектри лазерної генерації, що наведені на фіг. 4, ілюструють процес вимірювання клиновидності скляної пластини.

за першим варіантом запропонованого способу. Активне середовище лазера являє собою розчин органічного барвника родамін 6Ж, що накачується випромінюванням другої гармоніки імпульсного лазера на гранаті з неодимом. Як дисперсійний елемент використовується призма із скла СТФ-5, що забезпечує (дисперсію резонатора $D_\varphi = 3,116 \times 10^{-4}$ рад/нм). Коефіцієнт лінійного збільшення розширювача пучка дорівнює 10.

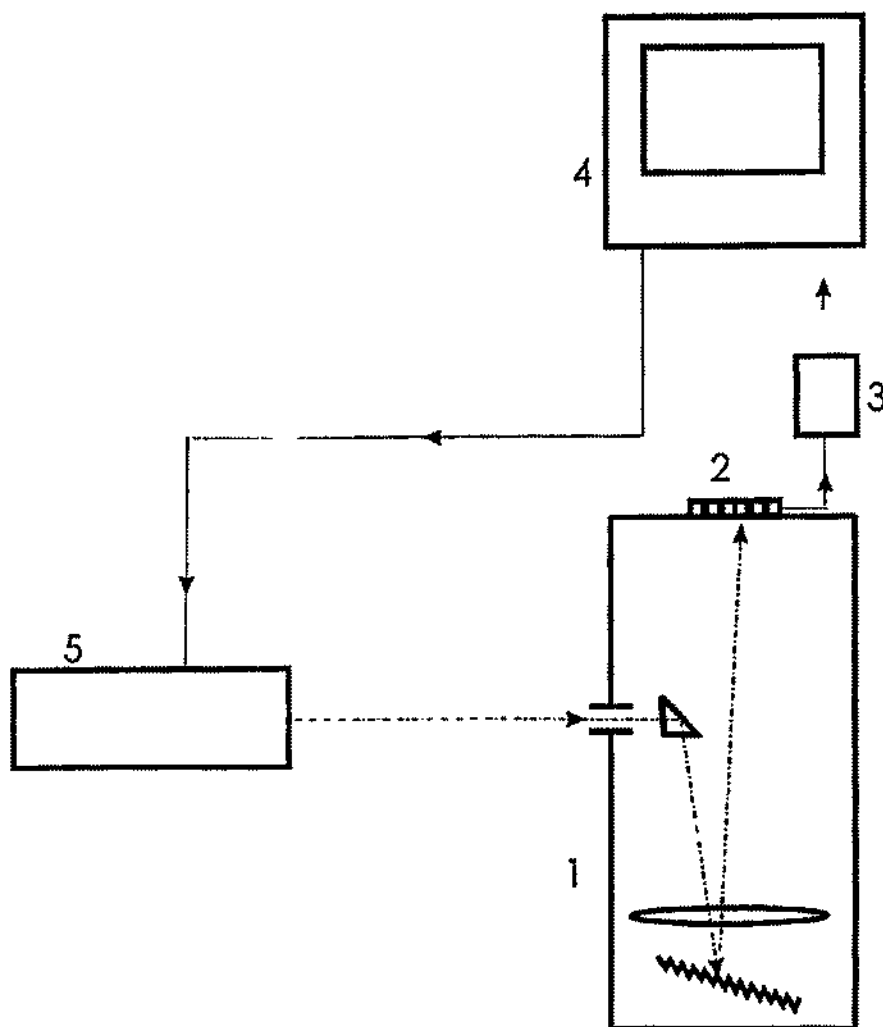
Визначення клиновидності проводять шляхом виконання наступних операцій:

- 1 - реєструють спектр випромінювання при відсутності контрольованої деталі в резонаторі,
- 2 - вставляють контрольовану деталь в резонатор лазера,
- 3 - реєструють спектр лазерного випромінювання при наявності деталі в резонаторі,
- 4 - розраховують зміну довжини хвилі спектрального максимуму $\delta\lambda'$,
- 5 - розраховують складову кута клиновидності пластини α' у площині дисперсії за формулою (1),
- 6 - повертають пластину на 90° навколо осі резонатора,
- 7 - повторюють операції 3-5,
- 8 - розраховують повний кут клиновидності за формулою (2).

У наведеному прикладі зміна довжини хвилі випромінювання становить 2,345 нм, що при показнику заломлення $n=1,4613$ (кварцове скло КУ-1) відповідає куту $\alpha=1,584 \cdot 10^{-3}$ рад (або $5'27''$). Час вимірювання, що визначається тривалістю повороту пластини, становить кілька десятків долей секунди.

Джерела інформації

- 1 Оптический производственный контроль / Под ред. Д. Малакары - М: Машиностроение, 1985 - С. 368.
- 2 В. И. Кравченко, Е. Г. Левченко, В. Л. Ткаченко. Способ измерения плоских углов объекта. Авторское свидетельство СССР № 1422792 А1.
- 3 В. И. Кравченко, А. И. Ванюрихин, Е. Г. Шевченко. Способ измерения плоских углов объекта и способ его осуществления. Авторское свидетельство СССР № 1431461 А1.
- 4 С. П. Анохов, Т. Я. Марусий, М. С. Соскин. Переключаемые лазеры - М: Радио и связь, 1982 - С. 60.
- 5 В. И. Кравченко, Ю. Н. Пархоменко. Электронно переключаемые лазеры на конденсированных средах // Известия Академии Наук СССР, серия физическая - 1990 - 54(8) - С. 1543-1551.



Фіг. 1

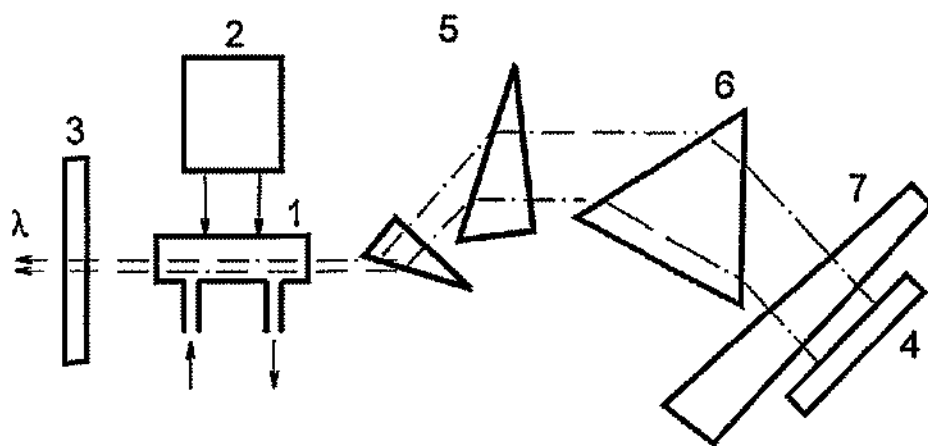


Fig. 2

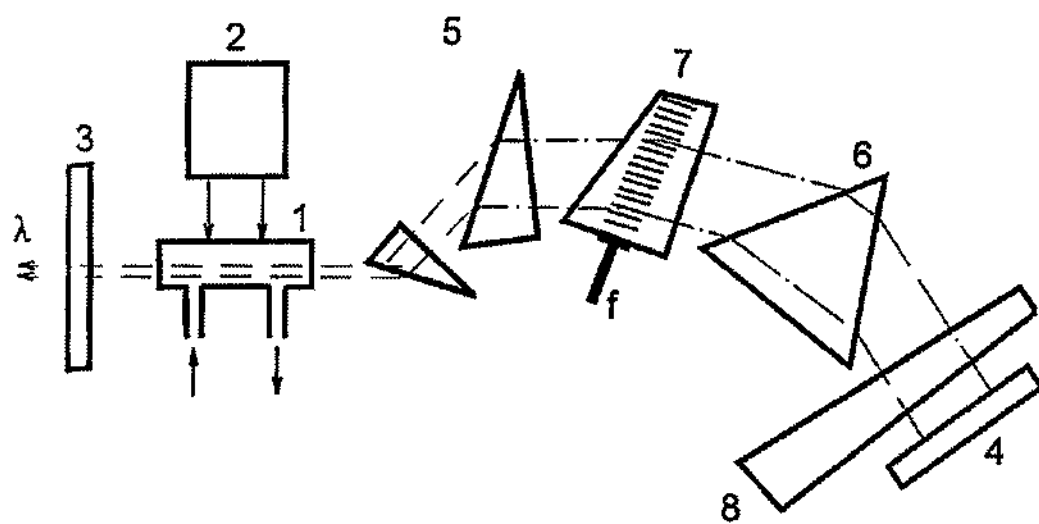
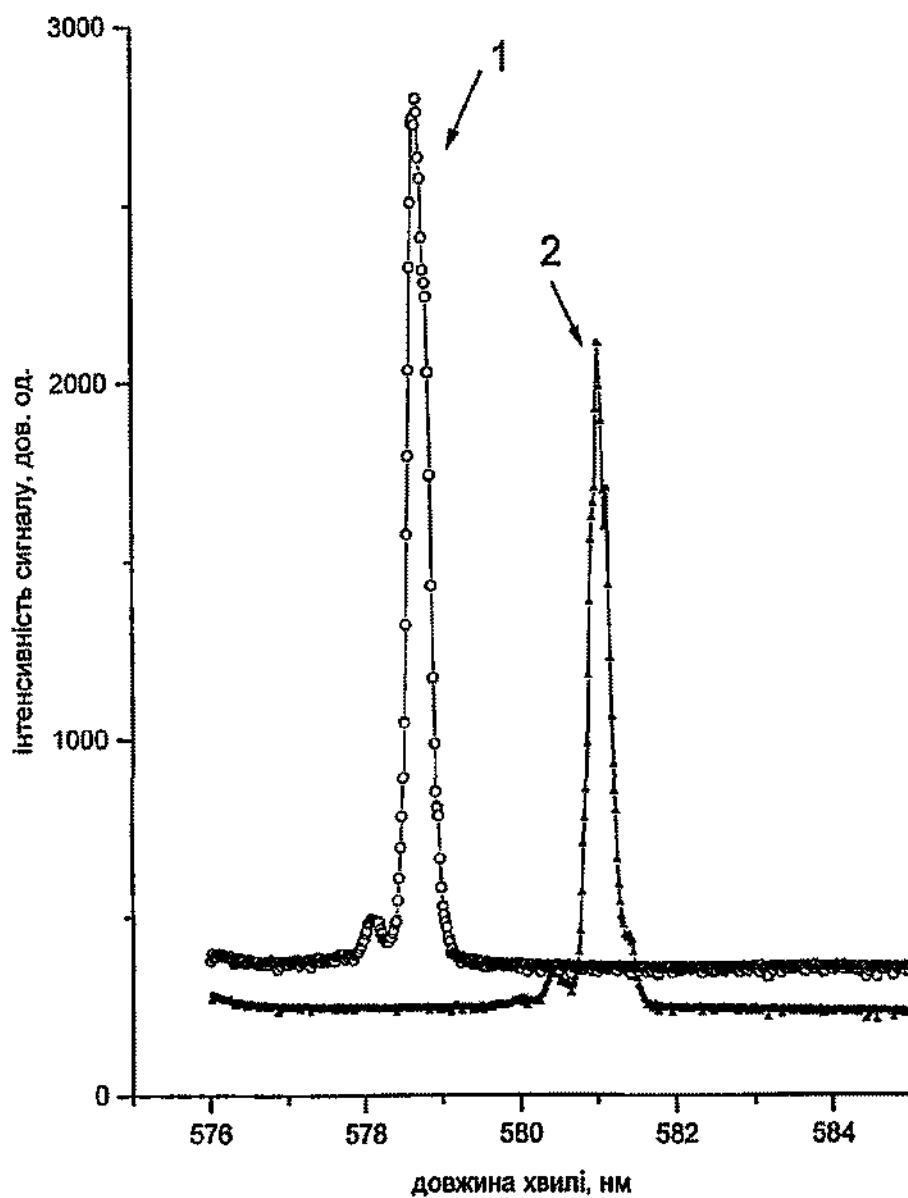


Fig. 3



Фіг. 5

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, б-ль Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8
 Обсяг _____ обл.-вид арк. Тираж 50 прим. Зам _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180
 (044) 268-25-22