



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2022 00772**

(22) Data de depozit: **28/11/2022**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2024 BOPI nr. **5/2024**

(71) Solicitant:
• **CENTRUL INTERNAȚIONAL DE
BIODINAMICĂ,
INTRAREA PORTOCALELOR, NR.1B,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **GHEORGHIU EUGEN, BD.UNIRII NR.12,
BL.7 C, SC.A, AP.18, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **DAVID MIHAI SORIN, STR.STANISLAV
CIHOSCHI NR.7, AP.4, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **GHEORGHIU MIHAELA, BD.UNIRII
NR. 12, BL.7C, SC.A, AP.18, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **POLONSCHII CRISTINA,
ȘOS. COLENTINA NR. 16, BL. A2, ET. 5,
AP. 38, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO**

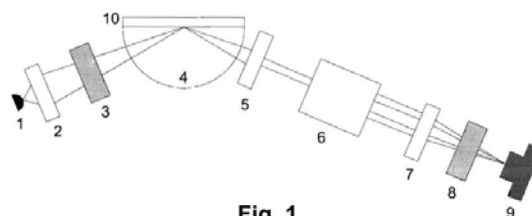
(54) **METODĂ ȘI DISPOZITIV DE MĂSURARE A INTENSITĂȚII
LUMINII ȘI A DIFERENȚEI DE FAZĂ INDUSE ÎNTRE DOUĂ
FASCICULE CU POLARIZĂRI LINIARE, ORTOGONALE,
REFLECTATE DE O PROBĂ ILUMINATĂ LA UNUL SAU,
SIMULTAN, LAMAI MULTE UNGHIURI DE INCIDENȚĂ,
CU UN FASCICUL DE LUMINĂ POLARIZAT**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv de măsurare a intensității luminii și a diferenței de fază induse între două fascicule cu polarizări liniare, ortogonale, reflectate de o probă iluminată la unul sau mai multe unghiuri de incidență cu un fascicul de lumină polarizat. Metoda conform invenției constă în iluminarea probei, simultan, la mai multe unghiuri de incidență, în condiții de reflexie totală internă, cu un fascicul de lumină polarizat liniar, fasciculul reflectat de probă fiind apoi separat în două fascicule cu polarizări ortogonale care sunt apoi aduse la aceeași polarizare și sunt focalizate într-un plan de detecție unde interferă, iar din interferograma rezultată se calculează diferența de fază dintre cele două fascicule și, de asemenea, intensitatea celor două fascicule. Dispozitivul conform invenției cuprinde: o sursă (1) de lumină, un obiectiv (2) de focalizare, un polarizor (3), un element (4) de cuplare

SPR, un alt obiectiv (5) de focalizare, un dispozitiv (6) de deplasare a fasciculului, un alt obiectiv (7) de focalizare, un analizor (8) și un detector (9).

Revendicări: 8
Figuri: 4



| |
|--|
| OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI |
| Cerere de brevet de invenție |
| Nr. a 22 742 |
| Data depozit 28-11-2022 |

RO 138220 A2

21

Metodă și dispozitiv de măsurare a intensității luminii și a diferenței de fază induse între două fascicule cu polarizări liniare, ortogonale, reflectate de o probă iluminată la unul sau, simultan, la mai multe unghiuri de incidență, cu un fascicul de lumină polarizat

DESCRIERE

Invenția se referă la o metodă și un dispozitiv de măsurare a intensității luminii și a diferenței de fază induse între două fascicule cu polarizări liniare, ortogonale, reflectate de o probă iluminată la unul sau, simultan, la mai multe unghiuri de incidență, cu un fascicul de lumină polarizat. Metoda are aplicații practice în studiul materialelor, sau senzorică, pentru determinarea cu precizie a modificărilor intensităților fasciculelor și a defazajelor introduse de diferite componente ale probei de analizat și obținerea parametrilor fizici (ex. optici, electrici) ale unor obiecte/sisteme (microscopice) în timp real și la viteze crescute de achiziție sau microscopie (e.g. de contrast de fază, de rezonanța plasmonilor de suprafață sau de reflexie).

În caracterizarea materialelor din punct de vedere al proprietăților optice sunt utilizate cu succes metodele elipsometrice, bazate pe studiul polarizării fasciculelor, sau interferometrice, bazate pe analiza diferențelor de drum optic introduse de probe. Determinarea proprietăților optice ale probelor din defazajul introdus de acestea în fasciculele de iluminare se face mult mai precis întrucât diferența de fază indusă de probă asupra fasciculelor este mult mai sensibilă la modificări ale proprietăților optice ale probelor ceea ce conduce la o mai bună acuratețe a măsurătorilor iar

În brevetul US 7812963 B2 se descrie o metodă de elipsometrie, interferometrie și măsurare a împrăstierii luminii de către un obiect în scopul determinării proprietăților optice ale acestuia. Măsurarea se face introducând controlat o diferență de drum optic între două fascicule provenite din aceeași sursă

În brevetul US 7623246 B2 se descrie o metodă și un dispozitiv de măsurare diferențială a fazei rezonanței plasmonilor de suprafață cu ajutorul a două fascicule polarizate P și respectiv S în raport cu planul de reflexie. Măsurătoarea se face din analiza franjelor produse de interferența celor două fascicule dintre care unul este utilizat ca referință.

În brevetul US 8436995 B2 se descrie un dispozitiv și o metodă elipsometrică de măsurare a plasmonilor de suprafață în care într-un aranjament de tip reflexie totală internă se modulează electro-optic polarizarea fasciculului de iluminare iar din analiza (prin metoda de tip lock-in) a modulației se extrag informațiile despre intensitatea și defazajul fasciculelor reflectate.

Dezavantajul principal al metodelor și sistemelor descrise mai sus constă în faptul că drumul optic al celor două fascicule care interferă pentru a putea măsura diferența de fază introdusă de probă este diferit. Acest lucru afectează precizia măsurătorilor datorită neomogenităților inerent diferite introduse de diferite componente în calea fasciculelor. Vibrații de amplitudini diferite ale componentelor pot de asemenea să introducă artefacte sau erori în măsurătorile de fază.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este aceea că permite măsurarea simultană a intensităților și a diferenței de fază a unor fascicule de lumină reflectate de probă, prin iluminarea probei la unul sau, simultan, la mai multe unghiuri de incidență, cu fascicule care au riguros același drum optic, într-un dispozitiv compact și fără elemente în mișcare. La ieșirea din probă se utilizează un element birefringent care desparte fasciculul în două fascicule cu drumuri optice diferite. Apoi fasciculele sunt focalizate pe un detector, iar polarizarea este corectată cu un analizor pentru ca fasciculele să poată interfera. Din interferograma formată se calculează diferența de fază dintre cele două fascicule și intensitatea celor două fascicule, mărimi dependente de proprietățile optice ale probei.

Invenția se referă la o metodă și un dispozitiv de măsurare a diferenței de fază și a modificărilor intensității unor fascicule de lumină polarizate cu care este iluminată o probă la unul sau simultan, la mai multe unghiuri de incidență în condiții de reflexie totală internă.

Avantajele invenției sunt reprezentate de măsurarea simultană a intensităților și a diferenței de fază a unor fascicule de lumină reflectate de probă, prin iluminarea probei cu fascicule care au riguros același drum optic, într-un dispozitiv compact și fără elemente în mișcare precum și măsurarea acestor parametri la mai multe unghiuri de incidență ceea ce conduce la posibilitatea obținerii cu mai bună sensibilitate a parametrilor derivați (e. g. indice de refracție, grosimea straturilor componente ale probei)

În cele ce urmează se prezintă un exemplu nelimitativ de realizare a invenției, în legătură cu figurile 1-4 care reprezintă:

Figura 1 schema metodei și a dispozitivului de iluminare

Figura 2 Interferograme obținute pe un senzor SPR de aur în apa (A) și aer (B)

Figura 3 Imaginea de defazajului rezultată în urma prelucrării interferogramelor

Figura 4 Curbele reflectivității și defazajului în funcție de unghiul de incidență obținute prin medierea coloanelor imaginii reflectivității (A) și respectiv a defazajului (B)

În conformitate cu figura 1 un fascicul provenit de la sursa 1 de lumină este focalizat cu obiectivul 2 de focalizare, polarizat la 45° față de planul de incidență cu polarizorul 3 și este transmis prin elementul 4 de cuplare SPR la nivelul probei 10, de unde este reflectat și focalizat cu un obiectiv 5 pe fața unui dispozitiv 6 de deplasare a fasciculului din care rezulta doua fascicule paralele polarizate ortogonal, situate la o distanță de 1.2 mm între ele. Dispozitivul 6 de deplasare a fasciculului este un element optic care transformă un fascicul nepolarizat în două fascicule paralele polarizate ortogonal. Fasciculele emergente sunt preluate de un alt obiectiv 7 de focalizare, trec printr-un analizor 8 și apoi ajung pe detector 9. În continuare se prezintă modul de calcul al reflectivității fasciculelor emergente și al defazajului dintre fasciculele emergente. Se aplică transformata Fourier spațială asupra imaginii înregistrată de detector; din spectrul Fourier rezultat se selectează o zonă de frecvențe ce include frecvența spațială corespunzătoare franjelor de interferență formate; se aplică transformata Fourier inversă pentru reconstituirea imaginii. Se face diferența dintre imaginea reconstruită pentru un indice de refracție necunoscut și imaginea reconstruită pentru un indice de refracție de referință, rezultând o imagine a defazajului corectată (cu zgomot redus). Se face raportul dintre imaginea reconstruită pentru un indice de refracție necunoscut și imaginea reconstruită pentru un indice de refracție de referință, rezultând o imagine a reflectivității corectată (cu zgomot redus). Prin calculul mediei pe coloane efectuată pe imaginea reflectivității se obține curba reflectivității în funcție de unghiul de incidență, iar prin calculul mediei pe coloane efectuată pe imaginea defazajului se obține curba defazajului dintre fasciculele emergente în funcție de unghiul de incidență.

În cele ce urmează se prezintă un posibil exemplu de aplicare ale acestei metode, care nu este limitativ, după cum urmează:

Dispozitivul se compune în conformitate cu figura 1 din:

O sursă de lumină 1, un obiectiv 2 de focalizare, un polarizor 3, element 4 de cuplare SPR, un obiectiv 5 de focalizare, un dispozitiv 6 de deplasare a fasciculului, un obiectiv 7 de focalizare, un analizor 8 și un detector 9. Deasupra elementului 4 de cuplare SPR este plasată proba 10 cu proprietăți plasmonice. Dispozitivul 6 de deplasare a fasciculului din care rezulta doua fascicule paralele polarizate ortogonal este un element optic care poate fi un cristal de calcit birefringente de înaltă calitate. Datorită naturii birefringente a calcitului, undele polarizate în direcția axei optice

se propagă cu un indice de refracție diferit față de undele polarizate ortogonal pe axa optică. În dispozitivul 6 de deplasare a fasciculului, această birefrință separă lateral cele două stări de polarizare ortogonală ale unui fascicul incident. Când un fascicul luminos care conține polarizări ortogonale este incident în mod normal pe fața cristalului, razele ordinare trec direct prin cristal, în timp ce razele extraordinare ies din cristal deplasate cu o distanță care depinde de lungimea de undă a luminii și de lungimea cristalului. Un astfel de dispozitiv de deplasare a fasciculului de calcit este utilizat pentru a separa componentele polarizate ortogonal ale unui fascicul.

Modul de funcționare al dispozitivului conform invenției.

Radiația de la sursa 1 laser este dirijată printr-un obiectiv 2 de focalizare, către un polarizor 3 polarizează fasciculul la 45° față de planul de incidență. Apoi fasciculul intră în este elementul 4 de cuplare SPR și ajunge la proba 10. Interfața dintre proba 10 și elementul 4 de cuplare SPR se afla în focarul obiectivului 2 de focalizare. De la probă 10 fasciculul este reflectat, iese din elementul 4 de cuplare SPR și este trecut printr-un obiectiv 5 de focalizare și ajunge la dispozitiv 6 de deplasare a fasciculului. Aici fasciculul este împărțit în două fascicule polarizate ortogonal cu polarizările în plan, și respectiv perpendicular pe planul de incidență. Cele două fascicule polarizate ortogonal ies din dispozitivul 6 de deplasare a fasciculului paralele și distanțate la 1,2 mm și sunt trecute prin obiectivul 7 de focalizare și prin analizorul 8. Analizorul 8 este un element de polarizare cu care ambele fascicule sunt aduse la aceeași polarizare respectiv 45° față de planul de incidență. Apoi fasciculele ajung pe detector 9 (care poate fi un senzor de tip CMOS) unde interferează. Detectorul este așezat în focarul obiectivului 7 de focalizare.

Un exemplu de utilizare a dispozitivului conform invenției pentru obținerea unei imagini este prezentat mai jos.

O suprafață SPR este pregătită prin depunerea unui material cu proprietăți plasmonice (de exemplu Au cu grosimea între 20 și 50 nm) compatibil cu proba de analizat, pe un suport transparent de sticlă tip BK7 ($n_{BK7}=1,518$). Suprafața se așază pe elementul de cuplare SPR. Deasupra suprafeței se pune aer și ulterior apă. Interferogramele obținute sunt prezentate în **figura 2A** și **2B**. Din aceste interferograme se utilizează mai departe în calcul. Se aplică transformata Fourier spațială asupra imaginii înregistrată de detector; din spectrul Fourier rezultat se selectează o zonă de frecvențe ce include frecvența spațială corespunzătoare franjelor de interferență formate; se aplică transformata Fourier inversă pentru reconstituirea imaginii. Se face diferența dintre imaginea reconstruită pentru un indice de refracție necunoscut și imaginea reconstruită pentru un indice de refracție de referință, rezultând o imagine a defazajului corectată (cu zgomot redus) – **figura 3**. Se face raportul dintre imaginea reconstruită pentru un indice de refracție necunoscut și imaginea reconstruită pentru un indice de refracție de referință, rezultând o imagine a reflectivității corectată (cu zgomot redus). Prin calculul mediei pe coloane efectuată pe imaginea reflectivității se obține curba reflectivității în funcție de unghiul de incidență **figura 4A**, iar prin calculul mediei pe coloane efectuată pe imaginea defazajului se obține curba defazajului dintre fasciculele emergente în funcție de unghiul de incidență **figura 4B**.

A

Revendicări

1. Metodă de măsurare a intensității luminii și a diferenței de fază induse între două fascicule cu polarizări liniare ortogonale reflectate de o probă iluminată simultan la mai multe unghiuri de incidență, cu un fascicul de lumină polarizat, **caracterizată prin aceea că cuprinde următoarele etape** 1) se iluminează proba simultan la mai multe unghiuri de incidență, în condiții de reflexie totală internă, cu un fascicul de lumină polarizat liniar, 2) fasciculul reflectat de probă este separat în două fascicule cu polarizări ortogonale, 3) cele două fascicule cu polarizări ortogonale sunt aduse la aceeași polarizare, 4) cele două fascicule cu polarizări ortogonale sunt focalizate în planul de detecție unde interferă, 5) din interferogramă se calculează diferența de fază dintre cele două fascicule, 6) din interferogramă se calculează intensitatea celor două fascicule.
2. Metodă conform revendicării 1 **caracterizată prin aceea că** cele două fascicule cu polarizări ortogonale au drumuri optice de lungimi diferite.
3. Dispozitiv de măsurare a intensității luminii și a diferenței de fază induse între două fascicule cu polarizări ortogonale reflectate de o probă iluminată cu un fascicul de lumină polarizat alcătuit din o sursă de lumină 1, un obiectiv 2 de focalizare, un polarizor 3, element 4 de cuplare SPR, un obiectiv 5 de focalizare, un dispozitiv 6 de deplasare a fasciculului, un obiectiv 7 de focalizare, un analizor 8 și un detector 9 **caracterizat prin aceea că** proba 10 este așezată pe elementul 4 de cuplare SPR, fasciculul de iluminare este polarizat liniar, iar fasciculul reflectat de probă 10 este separat în două fascicule cu polarizări ortogonale de către dispozitivul 6 de deplasare a fasciculului.
4. Dispozitiv conform revendicării 4 **caracterizat prin aceea că** cele două fascicule cu polarizări ortogonale sunt focalizate cu un obiectiv 7 de focalizare, pe detector 9.
5. Dispozitiv conform revendicării 5 **caracterizat prin aceea că** cele două fascicule cu polarizări ortogonale sunt aduse la aceeași polarizare de către analizorul 8.
6. Dispozitiv conform revendicării 6 **caracterizat prin aceea că** cele două fascicule interferă la nivelul detectorului 9.
7. Dispozitiv conform revendicării 7 **caracterizat prin aceea că** din interferogramă se calculează diferența de fază dintre cele două fascicule.
8. Dispozitiv conform revendicării 7 **caracterizat prin aceea că** din interferogramă se calculează intensitatea celor două fascicule.

Desene

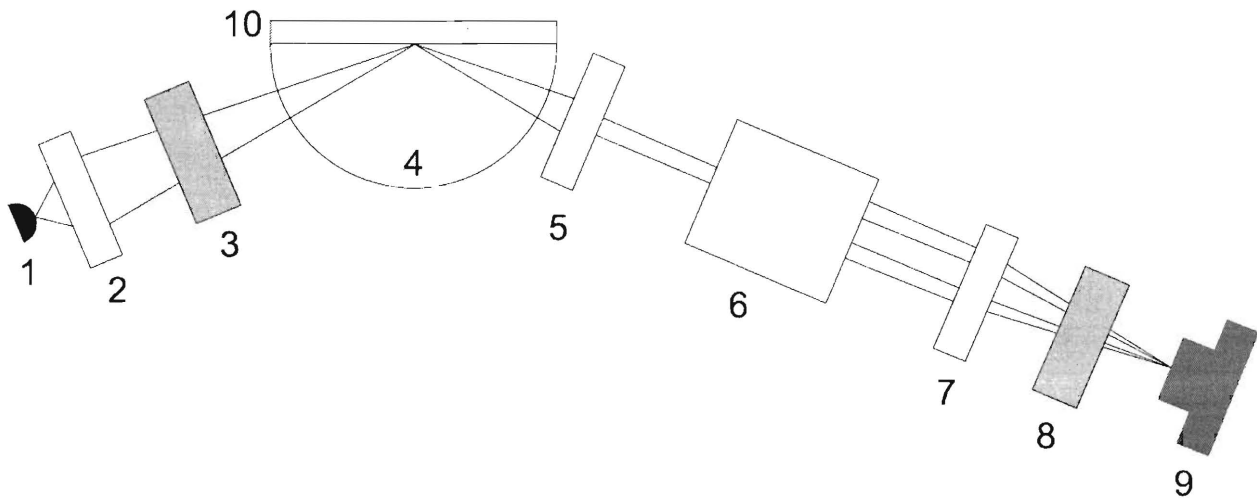


Figura 1 Schema dispozitivului de măsurare a intensităților și a diferenței de fază introduse de o probă între componentele ortogonale ale polarizării unui fascicul de lumină

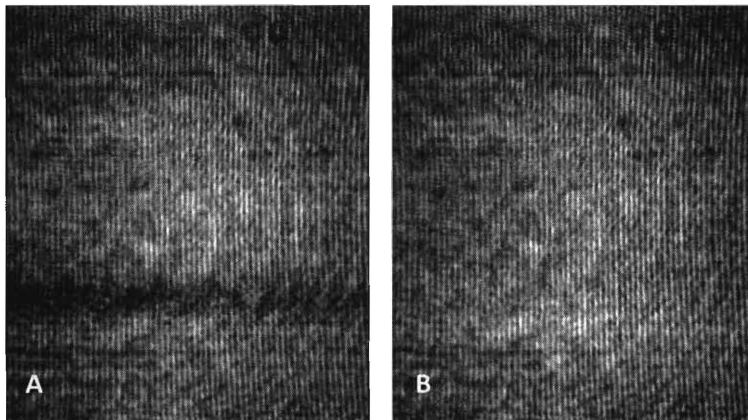


Figura 2 Interferograme obținute pe un senzor SPR de aur în apă (A) și aer (B)



Figura 3 Imaginea de defazajului rezultată în urma prelucrării interferogramelor

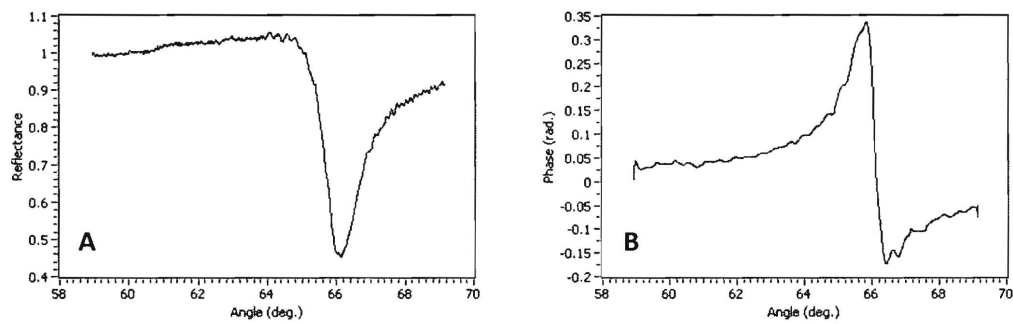


Figura 4 Curbele reflectivității și defazajului în funcție de unghiul de incidență obținute prin medierea coloanelor imaginii reflectivității (A) și respectiv a defazajului (B)