



УКРАЇНА

(19) UA (11) 24663 (13) U  
(51) МПК (2006)  
G01N 21/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА БРЮСТЕРА ДЛЯ ВЕРХНЬОЇ МЕЖІ ПОДІЛУ БАГАТОШАРОВОЇ ПЛОСКОПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

1

2

(21) u200701914

(22) 23.02.2007

(24) 10.07.2007

(46) 10.07.2007, Бюл. № 10, 2007 р.

(72) Кособуцький Петро Сидорович, Кушнір Олег Павлович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

(57) Спосіб визначення кута Брюстера для верхньої межі поділу багатошарової плоскопаралельної структури, згідно з яким вимірюють кутову за-

лежність енергетичного коефіцієнта відбивання світла при похилому падінні його на поверхню в р-поляризації, який **відрізняється** тим, що вимірюють кутові залежності енергетичного коефіцієнта відбивання світла із заданою довжиною хвилі від багатошарової плоскопаралельної структури при трьох або більше довільних значеннях товщини верхнього шару і визначають кут падіння, при якому всі криві енергетичного коефіцієнта відбивання світла перетинаються в одній точці, за яким встановлюють кут Брюстера.

Корисна модель відноситься до оптики, зокрема до способів визначення параметрів діелектричних плівок.

Відомий спосіб визначення кута Брюстера для верхньої межі розділу багатошарової плоскопаралельної структури за допомогою вимірювання кутової залежності енергетичного коефіцієнта відбивання світла при похилому падінні його на поверхню в р - поляризації [Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.: Наука, 1970. - 855с].

Однак цей спосіб не придатний для визначення кута Брюстера, що відповідає межах розділу багатошарової плоскопаралельної структури, а тільки для одинарної межі розділу двох середовищ.

В основу корисної моделі поставлене завдання створення способу визначення кута Брюстера для верхньої межі розділу багатошарової плоскопаралельної структури, який за рахунок нових дій дозволив би однозначно і з високою точністю визначити цей кут Брюстера.

Поставлене завдання вирішується тим, що в способі визначення кута Брюстера для верхньої межі розділу багатошарової плоскопаралельної структури, згідно якого вимірюють кутову залежність енергетичного коефіцієнта відбивання світла при похилому падінні його на поверхню в р-поляризації, згідно корисної моделі, вимірюють кутові залежності енергетичного коефіцієнта від-

бивання світла із заданою довжиною хвилі від багатошарової плоскопаралельної структури при трьох або більше довільних значеннях товщини верхнього шару і визначають кут падіння, при якому всі криві енергетичного коефіцієнта відбивання світла перетинаються в одній точці, і за яким встановлюють кут Брюстера.

Визначений таким способом кут Брюстера  $\alpha_{Br}$  може бути використаний для визначення інших параметрів багатошарової плоскопаралельної структури, наприклад для визначення відносного показника заломлення  $n_{10}$  верхнього шару відносно зовнішнього середовища з допомогою відомої формули  $n_{10} = \tan \alpha_{Br}$ . Те що точка перетину всіх кривих енергетичного коефіцієнта відбивання світла є кутом Брюстера для верхньої меж розділу між зовнішнім середовищем і верхнім шаром можна довести на основі виразу для розмаху  $\Delta R$  між обвідними з боку мінімумів  $R_{min}$  із боку максимумів  $R_{max}$  енергетичного коефіцієнта відбивання світла в р-поляризації від структури, що складається з  $n$  плоскопаралельних шарів  $\Delta R = R_{max} - R_{min}$ . Коефіцієнт відбивання світла від такої структури визначається через добуток  $n'$  2x2 матриць

(13) U

(11) 24663

(19) UA

$$\begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_{01} \\ r_{01} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{12}e^{-2i\delta_1} & e^{-2i\delta_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & r_{23} \\ r_{23}e^{-2i\delta_2} & e^{-2i\delta_2} \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} 1 & r_{(n-1)n} \\ r_{(n-1)n}e^{-2i\delta_n} & e^{-2i\delta_n} \end{bmatrix}$$

як  $r = \frac{M_{21}}{M_{11}}$ , де  $r_{01}$  - френелівський коефіцієнт відбивання від межі розділу зовнішнє середовище - перший шар,  $r_{(j-1)j}$  - френелівський коефіцієнт відбивання від межі розділу  $(j-1)$  - ий -  $j$  - ий шар, а  $\delta_j$  - фазовий зсув при проходженні світлового променя через  $j$  - шар. Тоді енергетичний коефіцієнт відбивання світла від такої структури  $R = r \times r^*$ ,

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{12} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & r_{23} \\ r_{23}e^{-2i\delta_2} & e^{-2i\delta_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & r_{34} \\ r_{34}e^{-2i\delta_3} & e^{-2i\delta_3} \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} 1 & r_{(n-1)n} \\ r_{(n-1)n}e^{-2i\delta_n} & e^{-2i\delta_n} \end{bmatrix},$$

як  $r_x = \frac{K_{21}}{K_{11}}$ . Розмах  $\Delta R$  між обвідними мінімуму  $R_{\min}$  і максимуму  $R_{\max}$  енергетичного коефіцієнта відбивання можна записати, як:

$$\Delta R = R_{\max} - R_{\min} = 4\sigma_{01}\sigma_x \frac{(1-\sigma_{01}^2)(1-\sigma_x^2)}{(1-\sigma_{01}^2\sigma_x^2)^2}.$$

Оскільки точці, в якій перетинаються всі криві енергетичного коефіцієнта відбивання в  $p$  - поляризації для довільних довжин хвиль відповідає умова  $\Delta R = 0$ , то звідси  $\sigma_{01} = 0$  або  $\sigma_x = 0$ . Розв'язок останнього рівняння є можливий лише при певних співвідношеннях між показниками заломлення шарів, їх товщинами, довжиною світлової хвилі та кутом падіння. Тому при наявності лише одної точки перетину буде виконуватися умова  $\sigma_{01} = 0$ , яка реалізується в  $p$ -поляризації при куті падіння рівному куту Брюстера для верхньої межі розділу (зовнішнє середовище - перший шар).

На Фіг.1 зображені кутові залежності енергетичних коефіцієнтів відбивання світла в  $p$ -поляризації з довжиною хвилі  $0.4\mu\text{м}$  від плівки селеніду цинку, напленої на скляну підкладку для трьох різних товщин плівки (криві  $R_{p1}$ ,  $R_{p2}$ ,  $R_{p3}$ ).

Спосіб визначення кута Брюстера для верхньої межі розділу багатшарової плоскопаралельної структури здійснюють так. Вимірюють кутові залежності енергетичного коефіцієнта відбивання світла із заданою довжиною хвилі при похилому його падінні на поверхню багатшарової плоскопаралельної структури для трьох або більше довільних значень товщини верхнього шару і визначають кут падіння, при якому всі криві

а обвідні функції  $R_{\max}$  і  $R_{\min}$  для прозорої структури визначаються як

$$R_{\max} = \left( \frac{\sigma_{01} + \sigma_x}{1 + \sigma_{01}\sigma_x} \right)^2, R_{\min} = \left( \frac{\sigma_{01} - \sigma_x}{1 - \sigma_{01}\sigma_x} \right)^2,$$

де  $\sigma_{01}$  - модуль від  $r_{01}$ ,  $\sigma_x$  - модуль від  $r_x$ , а  $r_x$  виражається через добуток  $(n-1) 2 \times 2$  матриць

енергетичного коефіцієнта відбивання світла перетинаються в одній точці, і за яким встановлюють кут Брюстера.

Приклад конкретного виконання

Використовували три плівки селеніду цинку з різними товщинами в інтервалі від  $1.5\mu\text{м}$  до  $2.5\mu\text{м}$ , наплені на однакові скляні підкладки. Для кожної із цих двошарових структур експериментально вимірювали кутові залежності енергетичного коефіцієнта відбивання світла ( $R_{p1}$ ,  $R_{p2}$  і  $R_{p3}$ ) в  $p$ -поляризації при його похилому падінні з довжиною хвилі  $0.4\mu\text{м}$ , які є приведені на Фіг.1. Експериментальні залежності  $R_{p1}$ ,  $R_{p2}$  і  $R_{p3}$  відповідають досліджуваній двошаровій структурі з різними товщинами плівки. Кут Брюстера для верхньої межі розділу (повітря - плівка) визначили як кутову координату точки перетину кривих  $R_{p1}$ ,  $R_{p2}$ ,  $R_{p3}$  і його значення виявилось рівним  $\alpha_{\text{Бр}} \cong 55.4^\circ$ . З допомогою цього кута визначили відносний показник заломлення плівки відносно повітря за формулою  $n_{1,0} = \tan \alpha_{\text{Бр}}$ , який становив  $n_{1,0} \cong 1.44$ .

Аналогічні дослідження можна провести і для багатшарової структури з довільним числом шарів. При цьому експериментальні залежності  $R_{p1}$ ,  $R_{p2}$  і  $R_{p3}$  повинні відповідати досліджуваній багатшаровій структурі з різними товщинами верхнього шару.

