

## ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРІОДИЧНО СТРУКТУРОВАНОЇ ПОВЕРХНІ

У роботі подані результати першої частини системних досліджень поляризаційних характеристик періодично структурованих поверхонь з різними оптико-геометричними параметрами, наведена оцінка впливу орієнтації структурних елементів поверхні на кутовий розподіл діагональних компонент її матриці розсіяння світла.

The initial results of systematic study of polarization characteristics inherent to periodically structured surfaces are represented. Influence of orientation of structural surface elements on angular distribution of the diagonal components of the corresponding light-scattering matrix is determined.

Періодично структуровані поверхні широко використовуються як диспергуючі елементи у спектральних приладах для видимої і, особливо, інфрачервоної областей спектра, як короткохвильові відрізаючі фільтри, як елементи вводу випромінювання у волоконно-оптичних системах передачі інформації тощо. При цьому результат взаємодії випромінювання з такою поверхнею суттєво залежить від стану його поляризації, співвідношення відповідних характеристик і її оптико-геометричних параметрів.

У ролі моделей періодично структурованої поверхні використана поверхня дзеркальних дифракційних ґраток, що містить 1800 штр/мм, контрольним об'єктом слугувала неструктурована дзеркальна поверхня, отримана в результаті напилення на оптичне скло алюмінію, як і у випадку дифракційних ґраток.

Для оцінки поляризаційних характеристик об'єкта досліджень застосовано матричний метод оптики світлорозсіюючих середовищ, коли опромінюючий і розсіяний світлові пучки представлені відповідними вектор-параметрами Стокса  $S_i$ ,  $S_k$ , а об'єкт описується матрицею розсіяння світла (МРС), яка у загальному випадку містить 16 компонент [1].

При спостереженні у дальній зоні світлового пучка ( $k \gg 1$ ) маємо:

$$S_k(\lambda, \theta, \alpha) = \frac{1}{k^2 \cdot R^2} \sum_{i=1}^4 F_{ik}(\lambda, \theta, \alpha) S_i(\lambda) D(\alpha), \quad (1)$$

де  $i, k=1,2,3,4$ ;  $S_i$ ,  $S_k$  – параметри Стокса падаючого і розсіяного пучків відповідно,  $\lambda$  – довжина хвилі опромінювання,  $\alpha$  – кут розсіяння,  $\theta$  – кут

переважної орієнтації структурних елементів поверхні,  $D(\alpha)$  – площа фотометрованої частини розсіюючої поверхні,  $R$  – віддаль від центра фотометрованої частини до точки спостереження,  $F_{ik}(\lambda, \theta, \alpha)$  – МРС об'єкта, яка містить у собі найбільш повну інформацію про його оптичні властивості. Принципова схема експериментальної установки (на базі He-Ne лазера,  $\lambda=0,633$  мкм) і методика визначення нормованих компонент МРС наведені у працях [1,2]. Дослідження проводились в області кутів розсіяння  $\alpha$  від  $100^\circ$  до  $160^\circ$ , поверхня опромінюється по нормалі ( $\alpha=0^\circ$ ) у напрямку розповсюдження падаючого пучка.

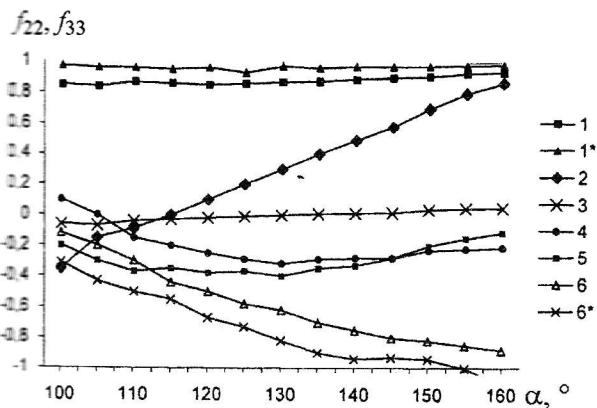
У загальному випадку довільного кута орієнтації  $\theta$  структурних елементів поверхні її матриця розсіяння світла має вигляд, характерний для оптично анізотропних об'єктів:

$$F_{ik}(\lambda, \theta, \alpha) = F_{11}(\lambda, \theta, \alpha) \begin{vmatrix} 1 & f_{12} & f_{13} & f_{14} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & f_{24} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & f_{34} \\ f_{41} & f_{42} & f_{43} & f_{44} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

де  $F_{11}(\lambda, \theta, \alpha)$  при постійному значенні  $\lambda$  і  $\theta$  відіграє роль індикатиси розсіяння світла досліджуваної поверхні (усі вимірювання функціональної залежності  $F_{11}(\lambda, \theta, \alpha) = f(\alpha)$  повинні виконуватись у абсолютних одиницях одного масштабу), а нор-

мовані компоненти  $f_{ik} = \frac{F_{ik}(\lambda, \theta, \alpha)}{F_{11}(\lambda, \theta, \alpha)}$  – коефіцієн-

тами переходу між відповідними параметрами Стокса падаючого  $S_i$  і розсіяного  $S_k$  світлових пучків.

Рис. 1. Кутовий хід залежностей  $f_{22}, f_{33}$  МРС.

На основі аналізу результатів проведених досліджень кутового розподілу нормованих діагональних компонент  $f_{ik}$  матриці розсіювання світла дифракційної ґратки можна зробити такі висновки:

1. Найбільш динамічні зміни величини компоненти  $f_{22}$  у залежності від кута орієнтації  $\theta$  структурних елементів поверхні ґратки спостерігаються в області кутів розсіювання  $\alpha \sim 100^\circ$  (рис. 1, криві 1-3). Враховуючи, що мінімальне значення функції  $f_{22}=f(\alpha)$  при  $\theta=\text{const}$  характеризує параметр несферичності  $\Delta$  форми розсіюючих центрів об'єкта [3] ( $\Delta=1-f_{22}^{\min}$ ), маємо у горизонтальній площині спостереження суттєво меншу несферичність форми розсіюючих елементів ґратки при  $\theta=90^\circ$  ( $\Delta \sim 0,07$ ) відносно аналогічної при  $\theta=0^\circ$  ( $\Delta \sim 1$  для  $\alpha \sim 100^\circ$ ). Крім того, можна відзначити, що збільшення значення  $f_{22}$  з ростом  $\alpha$  від  $100^\circ$  до  $160^\circ$  викликане зміною співвідношення інтенсивностей випромінювання відбитого від дзеркальної поверхні ґратки і випромінювання, розсіяного на її структурних елементах (в області кутів розсіювання  $\alpha \sim 100^\circ$  основну роль відіграє розсіяне випромінювання, а при  $\alpha \sim 160^\circ$  – відбите). Отже, в області великих кутів розсіювання ( $\alpha \sim 160^\circ$ ) навіть при  $\theta=0^\circ$  (рис. 1, крива 2) компонента  $f_{22}$  набуває значення, близького до одиниці, що пояснюється наявністю практично 100% орієнтації структурних елементів поверхні. Малі значення параметра несферичності форми розсіюючих елементів поверхні у поєднанні з їх малим еквівалентним розміром для горизонтальної площини спостереження при  $\theta=90^\circ$  зумовлюють величину компоненти  $f_{22}$  на рівні одиниці незалежно від кутів розсіювання  $\alpha$ , що характерно для систем оптично ізотропних часток або поверхонь (рис. 1,

крива 1\*). Відомо [4,5], що для систем орієнтованих часток компонента  $f_{22}$  в області малих ( $\alpha \sim 0^\circ$ ) і великих ( $\alpha \sim 180^\circ$ ) кутів розсіювання набуває значень, близьких до одиниці при кутах орієнтації  $\theta=0^\circ$  і  $\theta=90^\circ$ , і має практично нульове значення при  $\theta=45^\circ$ . У нашому випадку (крива 3, рис. 1) величина компоненти  $f_{22}$  ( $\theta=45^\circ$ ) у всій області кутів розсіювання назад ( $100^\circ < \alpha < 180^\circ$ ) знаходиться у межах похибки експерименту. Тобто, закономірності кутового розподілу компоненти  $f_{22}$  при різних орієнтації  $\theta$  структурних елементів поверхні дзеркальних дифракційних ґраток пояснюються врахуванням таких моментів:

а) вплив орієнтації елементів поверхні на їх ефективні, щодо процесу розсіювання, форму і розмір;

б) залежність співвідношення інтенсивностей відбитого дзеркальною поверхнею і розсіяного елементами поверхні випромінювання від кута розсіювання  $\alpha$ .

2. Особливістю функціональної залежності компоненти  $f_{33}$  від  $\alpha$  при різних значеннях  $\theta$  (рис. 1, криві 4-6) є той факт, що в області кутів розсіювання  $\alpha \sim 120^\circ$   $f_{33}$  для  $\theta=0^\circ$  і  $\theta=90^\circ$  (рис. 1, криві 4 і 5, відповідно) набуває екстремальних (максимальних за абсолютною величиною) значень, зменшуючись при  $\alpha \sim 100^\circ$  і  $\alpha \sim 160^\circ$ . Різниця значень  $f_{33}$  в області кутів розсіювання  $\alpha \sim 100^\circ$  (криві 4-6) пояснюється залежністю величини еквівалентного розміру  $M$  розсіюючих елементів поверхні від  $\theta$  (при  $\theta=90^\circ$  цей розмір оцінюється періодом ґратки  $d \sim 0,55 \text{ мкм}$ , при  $\theta=0^\circ$  – довжиною фотометруючої частини штрихів ґратки –  $d \rightarrow \infty$ ). Для малих значень  $M \sim \lambda$  ( $\theta=90^\circ$ ) кут  $\alpha$ , при якому компонента  $f_{33}$  дорівнює нулю, знаходиться в околі  $90^\circ$  (рис. 1, криві 5, 6\*), зі збільшенням  $M$  указаний кут  $\alpha$  зміщується у бік більших кутів (рис. 1, криві 6, 4) [3]. В області великих значень  $\alpha$  для систем ізотропно розсіюючих часток компонента  $f_{33}$  збільшує своє абсолютне значення, прямує до одиниці при  $\alpha \sim 180^\circ$ . Для нашого випадку періодично структурованої поверхні вказана закономірність функціональної залежності  $f_{33}$  від  $\alpha$  виконується лише у випадку  $\theta=45^\circ$  (рис. 1, крива 6), при  $\theta=0^\circ$  і  $\theta=90^\circ$  (рис. 1, криві 4, 5) компонента  $f_{33}$  в області  $\alpha \sim 160^\circ$  набуває значення менше 0,2. Цей результат частково узгоджується з висновками роботи [4], коли для системи орієнтованих часток компонента  $f_{33}$  в області кутів



розсіяння  $\alpha \sim 0^\circ$  при  $\theta = 0^\circ$  і  $\theta = 90^\circ$  набуває нульового значення, а орієнтація часток під кутом  $\theta = 45^\circ$  приводить до одиничного значення  $f_{33}$ .

При відбиванні від дзеркальних дифракційних ґраток в області  $\alpha \sim 160^\circ$  складова випромінювання з азимутом поляризації, паралельним штрихам ґраток має більшу інтенсивність відносно складової, перпендикулярної по азимуту, що й зумовлює малі значення компоненти  $f_{33}$  при  $\alpha \sim 160^\circ$  для обох орієнтацій ґраток ( $\theta = 0^\circ$  і  $\theta = 90^\circ$ ). При орієнтації ґратки під кутом  $\theta = 45^\circ$  і опроміненні світловим пучком з азимутом поляризації  $45^\circ$  у відбитому промені ( $\alpha \sim 160^\circ$ ) цей азимут становитиме вже  $135^\circ$ , що є причиною близького до одиниці і від'ємного значення компоненти  $f_{33}$  у даній ситуації (рис. 1, крива 6).

3. Для системи ізотропно розсіюючих орієнтованих часток компонента  $f_{44}$  в області кутів  $\alpha \sim 0^\circ$  і  $\alpha \sim 180^\circ$  незалежно від кута орієнтації  $\theta$  дорівнює нулю [4,5]. Внаслідок великої різниці значень складових світлового пучка, відбитої від дзеркальної поверхні ґратки (область кутів  $\alpha \sim 160^\circ$ ) і розсіяної на її структурних елементах ( $\alpha \sim 100^\circ$ ) для компоненти  $f_{44}$  МРС дифракційних ґраток реалізуються незначні (менші 0,2), але чітко фіксовані значення у межах кутів розсіяння  $\alpha$  від  $110^\circ$  до  $140^\circ$ . Зі збільшенням  $\alpha$  до  $160^\circ$  компонента  $f_{44}$  при довільних орієнтаціях структурних елементів ґраток набуває значень, близьких до нуля.

Отже, проведені дослідження кутового розподілу діагональних компонент МРС дзеркальних дифракційних ґраток указують на суттєву залежність їх поляризаційних характеристик як від кута розсіяння  $\alpha$ , так і від кута орієнтації структурних елементів поверхні  $\theta$ .

Подальші дослідження функціональних закономірностей недиагональних компонент  $f_{ik} = f(\alpha)$  при різних  $\theta$  розширяють можливості більш детальної оцінки поляризаційних характеристик періодично структурованих поверхонь.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. - М.: Мир, 1986.
2. Приезжаев А.В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине. - М.: Наука, 1989.
3. Сидько Ф.Я., Лопатин В.Н., Парамонов Л.Е. Поляризационные характеристики взвесей биологических частиц. - Новосибирск: Наука, 1990.
4. Подкамень Л.И., Гуминецкий С.Г. Матрица преобразования светового пучка, прошедшего слой ориентированных частиц // Оптика и спектроскопия. - 1982. - 53, №6. - С.1053.
5. Подкамень Л.И., Гуминецкий С.Г., Архелюк А.Д. Влияние ориентации на характеристики рассеянного или поляризованного излучения // Изв.АН СССР: Физика атмосферы и океана. - 1986. - 22, №12. - С.1287.