

ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ім. Ю. ФЕДЬКОВИЧА

На правах рукопису

ЕРМОЛЕНКО СЕРГІЯ БОРИСОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛЯ
КОГЕРЕНТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ, РОЗСІЯНОГО
ОПТИЧНО-НЕОДНОРІДНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ТА СЕРЕДОВИЩАМИ

01.04.05 - Оптика

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Чернівці - 1994

AB 29.915

Дисертація виконана в Чернівецькому державному університеті ім. Ш.Федьковича.

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

кандидат фізико-математичних наук, доцент Ушенко О.Г.

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ:

доктор фізико-математичних наук, професор Сахновський М.В.

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Новіков О.Д.

ПРОВІДНА ОРГАНІЗАЦІЯ: Київський університет.

Захист відбудеться "25" травня 1994 року о 14 годині

на засіданні спеціалізованої ради К 068.16.08 при Чернівецькому держуніверситеті ім. Ш. Федьковича за адресою:

274012, м. Чернівці, вул. Університетська, 1

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Чернівецького держуніверситету ім. Ш. Федьковича.

Автореферат розіслано "20" квітня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради К 068.16.08
кандидат фізико-математичних наук

Мохунь І.І.

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00810460 (J)

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Актуальність теми. При всій різноманітності реальних фізичних об'єктів переважна більшість з них є оптично-неоднорідними. Це робить явище світлорозсіювання цікавим для широкого кола задач, які розв'язують у фізиці. Одним з актуальних є задача створення неруйнівних оптичних методів контролю та діагностики оптико-геометричних параметрів об'єктів.

Розсіювання оптичного випромінювання супроводжується зміною не тільки його амплітудно-фазових характеристик, але й стану поляризації. Перевага методів дослідження з використанням поляризованого випромінювання полягає в тому, що вони дають додаткову інформацію про процеси взаємодії випромінювання з оптично-неоднорідними об'єктами в порівнянні з фотометричними методами.

Відомі до даного часу теоретичні та експериментальні дослідження були присвячені, в цілому, вивченню закономірностей утворення інтегральних, осереднених по великій кількості неоднорідностей, поляризаційних характеристик поля.

Локальний характер взаємодії поля когерентного випромінювання з речовиною неоднорідних об'єктів та структурність поля, яка виникає при цьому, безпосередньо біля границі розділу двох середовищ і в дальній зоні дифракції (спекли) стимулюють дослідження локальних характеристик поляризаційної структури поля розсіяного випромінювання. Внесок в формування структурних характеристик когерентного поля дають чинники, пов'язані як з процесами розсіювання лазерного випромінювання об'єктом дослідження, так і механізмами подальшого його розповсюдження у вільному просторі.

Повне описання властивостей сформованого на поверхні розсіювача об'єкту поля вимагає статистичного підходу, тобто, як мінімум, використання функцій густини ймовірності для опису стану поляризації поля по сукупності його локальних характеристик, а також врахування впливу оптико-геометричних параметрів об'єкту на структуру поля.

Актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена:

- необхідністю знаходження нових інформативних резервів, які містяться в поляризаційних характеристиках поля когерентного випромінювання, розсіяного різними типами об'єктів;

- необхідність розробки нових безконтактних поляризаційних методів діагностики параметрів шорстких поверхонь та оптично-неоднорідних шарів;

- необхідність врахування статистичної поляризаційної структури поля розсіяного когерентного випромінювання в голографічних методах обробки інформації.

МЕТА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ полягала в дослідженні впливу оптико-геометричних параметрів оптично-неоднорідних об'єктів на поляризаційну структуру поля когерентного розсіяного випромінювання та пошук нових можливостей діагностики структурних параметрів об'єктів.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ:

1. Вивчення процесів формування поляризаційної структури поля когерентного випромінювання на шорстких поверхнях, поверхнях об'єктів з підповерхневим оптично-неоднорідним шаром та багато-розсіювачих шарів.

2. Пошук аналітичного взаємозв'язку густини ймовірностей стану поляризації когерентного поля на поверхні об'єктів з випадковими значеннями оптико-геометричних параметрів шорстких поверхонь та оптично-неоднорідних шарів.

3. Розробка методів локальної поляриметрії для визначення:

- функцій розподілу кутів нахилу та висот, просторово-кутових орієнтацій мікронерівностей шорстких поверхонь;
- розподілу густини ймовірностей величин двоприменезаломлення та орієнтації осей найбільшої швидкості оптично-неоднорідних прозорих шарів;
- градієнту показника заломлення прозорих шліфованих об'єктів;
- оптичних параметрів мікрокристалітних утворень на поверхнях сколів оптичного скла.

4. Дослідження нових можливостей в поляризаційно-голографічній селекції інформації при реєстрації об'єктів крізь світлороз-

сішчі середовища.

ПОЛОЖЕННЯ, ЯКІ ВИНОСЯТЬСЯ НА ЗАХИСТ :

1. Поле когерентного випромінювання на поверхні оптично-неоднорідних об'єктів характеризується статистичним розподілом азимутів та еліптичностей поляризації, інтервал зміни яких визначається френелівськими механізмами розсіяння випромінювання різними типами об'єктів, їх оптико-геометричними параметрами, кратністю розсіяння і прямує до рівноймовірного.

Спостереження та діагностика структурних поляризаційних просторових неоднорідностей поля випромінювання на поверхні об'єктів вимагає вибору таких апертурних параметрів оптичної системи проектування, які забезпечують мінімальні спотворення структури поля, викликані зрушенням просторово-частотного спектру поля розсіяного випромінювання.

2. Знайдений взаємозв'язок між густини ймовірностей стану поляризації поля когерентного випромінювання на шорстких поверхнях і однократно-розсіюючих прозорих шарах з їх випадковими оптико-геометричними параметрами дозволив створити нові методи локальної поляриметрії.

3. Керування поляризаційними характеристиками зондувального та опорного когерентних полів дозволило досягти додаткового підвищення відношення сигнал-шум на один порядок в голографічному зображенні оптично-неоднорідних об'єктів, які реєструються через каламутне середовище, з одночасним варіюванням яскравісної тонопередачі окремих фрагментів об'єктної сцени.

Новизна наукових результатів, отриманих в дисертаційній роботі, полягає у тому, що:

- запропоновано підхід, у відповідності з яким проводиться пошук залежностей між ймовірнісним розподілом стану поляризації поля лазерного випромінювання на поверхні оптично-неоднорідних об'єктів та їх оптико-геометричними параметрами;

- вперше експериментально досліджені густини ймовірностей азимутів та еліптичностей поляризації поля лазерного випромінювання на поверхні шорстких об'єктів, об'єктів з підповерхневим тришаровим шаром та об'ємно розсіюючих шарів;

- знайдений взаємозв'язок станів поляризації поля когерентного випромінювання на поверхні розсіючого об'єкту з його оптико-геометричними параметрами дозволив створити ряд нових методів локальної поляриметрії структурних параметрів об'єктів;

- експериментально досліджені поляризаційні прояви мікрокристалітної структури поверхонь оптичного скла і запропоновано метод визначення параметрів анізотропії мікрокристалітних утворень;

- виявлена та досліджена тонка поляризаційна структура поля на поверхні шліфованого скла та спеклів поля розсіяного ним випромінювання, яка обумовлена проявом мікрогеометрії поверхні об'єкту та дифракційно-інтерференційними механізмами розповсюдження випромінювання в просторі;

- досягнуто додаткове підвищення відношення сигнал-шум на один порядок в голографічному зображенні дифузних об'єктів, які спостерігаються через каламутне середовище, за допомогою керування станом поляризації зондувального та опорного полів.

Практичне значення роботи визначається розробкою ряду поляриметричних та кореляційних способів діагностики параметрів рельєфу шорстких поверхонь та анізотропії прозорих оптично-неоднорідних шарів. Дані способи захищені авторськими свідоцтвами і можуть використовуватися для визначення:

- функцій розподілу кутів нахилу, просторово-кутових орієнтацій та висот мікронерівностей шорстких поверхонь;

- ймовірнісних розподілів величин двопронезаломлення та орієнтації осей найбільшої швидкості оптично-неоднорідних прозорих шарів;

- градієнту показника заломлення прозорих шліфованих об'єктів.

Розроблений метод підвищення відношення сигнал-шум в голографічному зображенні поляризаційно-неоднорідних об'єктів, які реєструються через каламутне середовище, може використовуватися в системах голографічної інтроскопії та оптичній обробці інформації.

Апробація роботи. Результати досліджень доповідалися на:

- Всесоюзних нарадах "Розповсюдження лазерного випромінювання в дисперсних середовищах", м.Обнінськ, 1985; м.Барнауд, 1988;
- Всесоюзній науково-технічній конференції "Перуїнські фізичні методи контролю", м.Москва, 1987;
- науковій конференції "Голографічний кореляційний аналіз та реєструючі середовища", м.Чернівці, 1988;
- Всесоюзних науково-технічних конференціях "Фотометрія та її метрологічне забезпечення", м.Москва, 1980, 1990;
- III Міжнародному симпозиумі з сучасної оптики, Угорщина, м.Будапешт, 1988;
- Всесоюзній науково-технічній конференції "Оптичний, радіохвильовий методи контролю", м.Могилів, 1989;
- IV Міжнародній конференції з оптики та лазерної техніки, Болгарія, м.Варна, 1989;
- I Міжнародному семінарі з автоматизованої обробки інтерферограм, Німеччина, м.Берлін, 1989;
- Міжнародній конференції "Газовий та інтерференційний контраст", Польща, к.Варшава, 1992;
- 16 конгресі Міжнародної комісії по оптиці "Оптика як ключ до високої технології", Угорщина, м.Будапешт, 1993.

Публікації.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 20 печатних робіт, отримано 6 авторських свідоцтв та одне позитивне рішення по заявці. Список літератури наведено у кінці автореферату.

Структура і обсяг дисертації.

Дисертація складається із вступу, чотирьох глав, висновку, а також списку основних цитованих літературних джерел. Робота містить 130 сторінок друкованого тексту, включно з 51 малюнком, 2 таблицями та списком основної цитованої літератури з 107 назв.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету роботи, задачі досліджень, приведено основні положення, що виносяться на захист, обговорюється новизна та практичне значення роботи.

У першій главі міститься огляд літературних даних, присвячених дослідженням інтегральних і локальних характеристик поля випромінювання, розсіяного оптично-неоднорідними поверхнями та шарами.

На перших порах переважно розвивались дослідження фотометричних та поляризаційних характеристик випромінювання, осереднених по великій кількості реалізацій поля, методами оптики розсіювачих середовищ. Запропонована Бугером модель світлорозсіяння шорсткими поверхнями (сукупність "мікродзеркал", які відбивають світло за законами променевої оптики) була суттєво розвинута і узагальнена іншими дослідниками з урахуванням функції розподілу мікронерівностей за напрямками, френелівських коефіцієнтів відбивання і пропускання, дифракційно-інтерференційних явищ. Матричні методи дослідження, які містять вичерпно повну інформацію про інтегральні фотометричні та поляризаційні характеристики оптичних проявів розсіючого об'єкту, дозволили розширити уявлення про механізми некогерентного світлорозсіяння об'єктами із зовнішньою і внутрішньою складовою, провести їх класифікацію та діагностику їх параметрів.

Виявлена нова властивість поля розсіяного лазерного випромінювання – його плямковість, – обумовила необхідність вивчення властивостей випадкових спекл-полів. Подання поверхні об'єкту у вигляді набору різних розсіювачих точок (чи площадок), або оптичних ретрансляторів дозволило узагальнити та розширити уявлення про формування структури поля когерентного розсіяного випромінювання, про знаходження розподілів його амплітудно-фазових характеристик. Методи оптики спеклів успішно використовуються при визначенні параметрів рельєфу шорстких поверхонь.

Вивчення поляризаційного (векторного) характеру структури розсіяних когерентних полів стало додатковим резервом у вирішен-

ні ряду прямих і зворотніх задач оптики спеклів. Дослідниками було відмічено, що поляризаційна структура поля обумовлена як механізмами взаємодії випромінювання зі структурними елементами об'єкту, так і з процесами розповсюдження випромінювання. Проте, до теперішнього часу не накопичений достатній експериментальний матеріал, який охоплює явища розсіяння поляризованого випромінювання. При вивченні процесів когерентного розсіяння враховуються, переважно, геометричні умови експерименту і не береться до уваги вплив оптико-геометричних параметрів розсіювачів об'єктів на поляризаційну структуру поля.

Дисертаційна робота ґрунтується на підходах, які включають:

- пошук нових інформативних можливостей при вивченні поляризаційних характеристик поля в залежності від оптико-геометричних параметрів розсіювачів об'єктів різних типів;
- використання в якості аналітичного апарату ймовірнісних розподілів типів та форм поляризації поля когерентного розсіяного випромінювання.

Вивчення векторних характеристик структури розсіяних когерентних полів стимулюють як дослідження в галузі оптичної діагностики, так і знаходження нових інформативних резервів в методах інтерферометрії і голографічній обробці інформації.

У другій главі розглядаються питання формування поляризаційної структури поля когерентного випромінювання, розсіяного шорсткими поверхнями, об'єктами із підповерхневим оптично-неоднорідним шаром і об'ємно-розсіювачами шарами.

Структурне поле, сформоване когерентним випромінюванням на поверхні розсіювачів об'єктів, подаємо сукупність областей однорідної поляризації (або зон локальної поляризації). Поле в межах кожної із зон локальної поляризації (ЗЛП) може формуватися за участю різних механізмів взаємодії збудованого пучка з оптично-неоднорідним об'єктом і характеризується певною амплітудно-фазовою і поляризаційною структурою випромінювання.

Розгляд процесів утворення локальної поляризаційної структури поля на поверхні шорстких об'єктів (діелектричних та металічних) проводився в межах відомої моделі шорсткої поверхні у вигляді квазіплоских мікроплощадок з розмірами $\ll \lambda$ і в наближенні гаусової статистики розподілу їх висот. Показано, що вели-

чина випадкового повороту азимуту поляризації Ψ в межах ЗЛП визначається френелівськими механізмами розсіяння і залежить від випадкового кута нахилу мікронерівності \mathcal{R} і оптичних констант речовини поверхні (n, \mathcal{E}). Знайдено закон ймовірнісного розподілу азимутів поляризації граничного поля шорсткої поверхні діелектрика:

$$P(\Psi) = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{2N+1}{N+1}} \left| \frac{dN}{d\Psi} \right| \exp \left\{ - \frac{N[N(\bar{\Psi})+1]}{(N+1)N(\bar{\Psi})} \right\}, \quad (1)$$

де

$$N = \frac{a_1 \operatorname{tg}^2 \Psi + a_2 \operatorname{tg} \Psi}{a_3 \operatorname{tg}^2 \Psi + a_4 \operatorname{tg} \Psi + a_5};$$

$$\bar{\Psi} = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \Psi_0 \{1 - \cos[\mathcal{R} - a_2 \operatorname{arcsin}(\frac{1}{n} \sin \mathcal{R})]\}}{\operatorname{tg}^2 \Psi_0 + \cos[\mathcal{R} - a_2 \operatorname{arcsin}(\frac{1}{n} \sin \mathcal{R})]};$$

Ψ_0 - азимут поляризації освітлюючого пучка, n - показник заломлення речовини шорсткої поверхні, a_i - константи, які залежать від (n, Ψ) .

Спостереження і результати вимірювань характеристик структурного когерентного поля, сформованого на діелектричній шорсткій поверхні, підтвердили припущення про наявність ймовірно розподілених азимутів поляризації в зо.ах локальної поляризації граничного поля. Експериментальні дані (для реплік шліфованого скла і шорстких поверхонь кремнію) отримувались скануванням зображення граничного поля, вимірюванням випадкових азимутів поляризації в межах ЗЛП і наступною статистичною обробкою масиву даних ($10^3 - 10^6$ вимірювань). В експериментальних вимірах необхідно правильно вибрати апертуру проєкційного об'єктиву (яка забезпечує мінімальні спотворення структури зображуваного ансамблю ЗЛП), а також розмір скануючої діафрагми в площині зображення (який складає при-

близно десяту частину ділянки зображення поля і виключає осереднення характеристик поля по декількох ділянках однорідної поляризації).

Дослідження поляризаційних проявів металічних властивостей шорстких поверхонь показали наявність структурності значень еліптичності, яка обумовлена різницею фаз між ортогональними компонентами поляризації відбитого пучка.

В роботі розглянуті особливості формування поляризаційної структури об'єктних полів когерентного випромінювання на шліфованому склі, яке має як поверхневе так і підповерхневе розсіяння. В цьому випадку локальний стан поляризації граничного поля може описуватися як результат амплітудного додавання різнополяризованих парціальних хвиль, відбитих мікротріщинами і мікроплощадками шліфованої поверхні скла.

В припущенні подібності статистики куткових характеристик рельєфної і підповерхневої складових об'єктів отримано вираз для густини ймовірностей азимутів та еліптичностей поляризації ЗЛП граничного поля. Результати експериментальних вимірювань, проведених для шліфованого скла, підтвердили припущення про структурність типів та форм поляризації в зонах локальної поляризації і виявили збільшення густини ймовірностей станів поляризації у порівнянні із ситуацією поверхнево-розсіюваних об'єктів.

Описані дослідження дозволили поєднати цей факт із ростом кратності розсіяння. Експериментальні дослідження поляризаційної структури когерентних полів, розсіяних молочним склом різної оптичної товщини, показали, що зростання кратності розсіяння в товщі мутного шару супроводжується значним збільшенням інтервалів випадкових значень азимутів та еліптичностей поляризації спеклів. При цьому, граничній ситуації ідеального (100%) деполаризатора відповідають рівномірні розподіли типів та форм поляризації локальних спеклів, які повністю поляризовані.

На рис.1 показані ймовірнісні розподіли азимутів та еліптичностей зон локальної поляризації граничного поля шорстких поверхонь діелектрика (а), металу (б), шліфованого скла (в) та зразків молочного скла різної оптичної товщини (г).

У третій главі описані діагностичні можливості аналізу поляризаційної структури поля когерентного випромінювання, розсія-

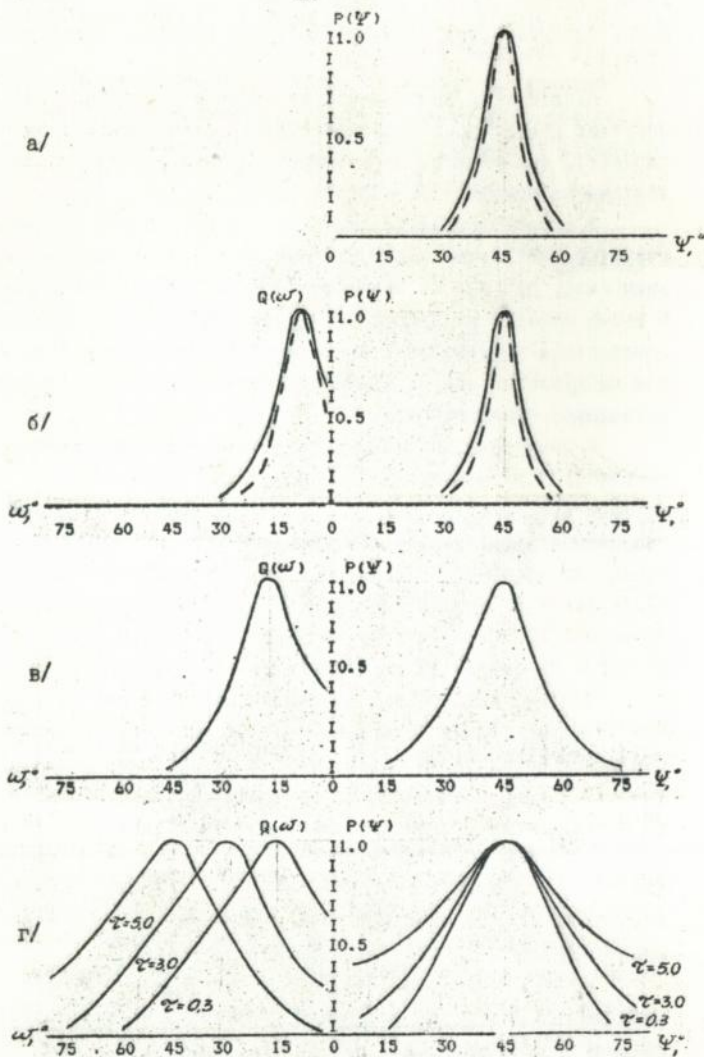


Рис.1. Функції густини ймовірностей значень азимутів (права колонка) і еліптичностей (ліва) поляризації зон локальної поляризації граничного поля шорстких поверхонь діелектрика (а) і металу (б), шліфованого скла (в) (обробка вільним абразивом із середнім розміром зерна 60 мкм) та спеклів поля, розсіяного молочним склом МС20 різної оптичної товщини (γ). Суцільні лінії - експериментальні дані, пунктирні - розрахункові.

ного шорсткими поверхнями та шарами з оптично-неоднорідною складовою.

Проведений в другій главі розгляд процесів формування поляризаційної структури когерентного поля дозволив знайти однозначний зв'язок параметрів рельєфу поверхні та оптичних констант речовини об'єкту з характеристиками зон локальної поляризації граничного поля. Так, для випадку діелектричної шорсткої поверхні у наближенні орнократного розсіяння знайдений зв'язок кута повороту азимуту поляризації Ψ_i ЗЛП з кутом нахилу \mathcal{N}_i локальної мікроплощинки у вигляді співвідношення:

$$\mathcal{N}_i = \arcsin \left[\frac{v_1 \operatorname{tg} \Psi_i + v_2 \operatorname{tg} \Psi_i \sqrt{v_3 \operatorname{tg}^2 \Psi_i + v_4 \operatorname{tg} \Psi_i + v_5}}{v_6 \operatorname{tg}^2 \Psi + v_7 \operatorname{tg} \Psi + v_8} \right]^{1/2} \quad (2)$$

де v_k - константи, які залежать від (n, Ψ_0) .

Значення Ψ , які вимірюються, дозволяють розрахувати функції розподілу мікроплощадок шорсткої поверхні по кутам нахилу. Розроблений спосіб та пристрій його реалізації дозволяють вимірювати кути нахилу мікронерівностей шорсткої поверхні з точністю до 30°, оскільки така точність досягається при вимірюваннях азимуту поляризації світлових коливань за допомогою магніто-оптичного модулятора.

Вказаний спосіб був доповнений способом вимірювання просторово-кутової орієнтації мікронерівностей, яка визначається меридіональним та сагітальним кутами. В експериментах використовується сканування зображення граничного поля об'єкту і вимірювання масиву даних про значення азимутів поляризації в межах зон локальної поляризації.

Приведено опис способу поляризаційного перетину профіля шорсткої поверхні, який дозволяє отримати функції розподілу мікронерівностей по кутам нахилу та висотам (точність вимірювання крокового параметру при цьому складає 0,1 мкм).

Апробація створених способів локальної поляриметрії проводилась на сколах оптичного скла, зразках травленого скла, шліфо-

ваних діелектрику та склі. Проведено порівняння отриманих функцій розподілу по кутах нахилу та висотам мікронерівностей з даними профілометричних вимірювань. Розбіжність між ними не перевищує 15–20% для різних зразків, що свідчить про добру відповідність результатів безконтактних вимірювань та профілометричних даних.

Розглянуто і проведено оцінку факторів, які обмежують можливості розроблених схем поляризаційної рельефометрії. Це, з однієї сторони, фільтрувальний вплив апертури оптичної системи, яка проектує зображення досліджуваної поверхні в площину вимірювання. Вплив інтерференційних перенакладень хвильових фронтів, відбитих близькими мікроплощадками, які спостерігаються в межах глибини різкості зображення, з іншої сторони, обумовляє неоднозначність у визначенні Ψ і висуває вимоги до вибору розміру сканувачої діафрагми, рівного $1/10$ розміру зображення локальної ділянки поля.

Описано метод виявлення локальних оптичних напруг, хаотично розподілених в товщі прозорого шару, а також вимірювання їх параметрів, – величини двопронезаломлення (точність досягає 10^{-5}), орієнтації осей найбільшої швидкості (з точністю до 30°) і відповідних ймовірнісних розподілів.

Операція сканування поля розсіяного випромінювання і наступна статистична обробка великого масиву даних децю знижують швидкодій створених систем локальної поляриметрії. З метою створення оптичних схем, які забезпечують одночасний (в оптичному каналі) аналіз всієї зображуваної поляризаційної структури граничного поля, були проведені дослідження автокореляційних функцій станів поляризації поля розсіяного випромінювання.

В основу експериментального вимірювання функції автокореляції станів поляризації граничного поля об'єкту покладений метод, який базується на кореляційному порівнянні поля, пропущеного через аналізатор, який обертається, з його фотографічним зображенням. Отримані аналітичні співвідношення дозволили по функції автокореляції знаходити функції розподілу кутів нахилу мікроплощадок шорсткої поверхні та визначати градієнт показника заломлення прозорого неоднорідного зразка.

В роботі досліджено оптичні прояви виявлених мікрокристалітних структур на поверхнях сколів оптичного скла різних марок

і експериментально отримано ймовірнісні розподіли випадкових значень азимутів та еліптичностей поляризації випромінювання, відбитого такими утвореннями. Показано, що хімічна природа скла призводить до різниці в оптичних проявах мікрокристалітних структур. Запропоновано метод визначення фазовозвусвної здатності анізотропних утворень та розподілів орієнтацій їх оптичних осей; проведено експериментальні вимірвання зазначених параметрів мікрокристалітів.

Останній параграф третьої глави присвячений дослідженню поляризаційної структури в межах локальних ділянок поля випромінювання (в зонах на поверхні та спеклах), розсіяного шліфованими поверхнями скла. Виявлена тонка поляризаційна структура в межах локальних ділянок поля та проведено модельний аналіз її формування в граничній зоні, в зонах дифракції Френеля та Фраунгофера. Експериментально підтверджена наявність мікроструктури типів та форм поляризації в межах локальних зон граничного поля та в спеклах, яка обумовлена проявами мікрогеометрії поверхні об'єкту і дифракційно-інтерференційними механізмами розповсюдження різнополяризованих хвильових фронтів.

Дослідженням впливу поляризаційної структури статистичних полів на можливості методів оптичної діагностики з використанням опорної хвилі присвячена четверта глава.

Розглянуто діагностичні можливості в дослідженнях взаємнокореляційної функції (ВКФ) поляризаційно-структурних полів, розсіяних оптично-неоднорідними об'єктами. Знайдено ймовірнісні розподіли контрасту інтерференційних розподілів в зонах локальної поляризації і спеклах об'єктного поля в залежності від зони реєстрації в ситуації суперпозиції поляризаційно-структурного об'єктного і опорного полів. Експериментальні дослідження ймовірнісних розподілів контрасту локальних інтерференційних картин були проведені в розміщенні інтерферометру Маха-Цендера. Підтверджена ефективність вивчення ВКФ статистичних полів в поглибленні уявлень про формування інтерференційних розподілів локальних ділянок поля при накладенні референтної хвилі на поляризаційно-структурне поле і при визначенні параметрів оптичної анізотропії фазово-неоднорідних шарів.

Проведено експериментальні дослідження можливостей вектор-

ної голографічної селекції інформації та діагностики світлорозсіюваних об'єктів, які знаходяться у фазово-нестационарному середовищі. В якості модельного об'єкту використовувався двокомпонентний зразок, складений із матеріалів (метал-діелектрик), які мають різні властивості до перетворення поляризованого випромінювання. Запропоновано новий метод поляризаційно-голографічного підвищення відношення сигнал-шум (ВСШ) в зображенні поляризаційно-неоднорідних об'єктних сцен крізь каламутне середовище. Додаткове підвищення ВСШ на один порядок досягнуто формуванням подібних станів поляризації об'єктного та опорного полів. Показано, що розраховані та задані стани поляризації зондувального та опорного пучків дозволяють керувати якскравісною тонопередачею в голографічному зображенні різних фрагментів об'єктної сцени в межах 100% при досягнутому стиранні фазово-нестационарного фону.

У висновках коротко сформульовано основні результати дисертаційних досліджень:

1. Дослідження процесів формування поляризаційної структури поля когерентного випромінювання, розсіяного різними типами об'єктів (поверхнево-розсіювачі, з підповерхневим та об'ємним розсіюванням), показали, що поле має не тільки амплітудно-фазову структуру, але і ймовірно розподілені типи та форми поляризації світлових коливань граничного і спекл-полів.

2. У результаті локальних актів відбивання чи заломлення випадково орієнтованими мікроплощадками діелектричних шорстких поверхонь формуються лінійно-поляризовані області граничного поля зі статистично розподіленими азимутами.

Граничне поле при наявності поглинання розсіювачою шорсткої поверхні має структурність еліптичностей поляризації, значення яких визначаються як геометричними параметрами (k, γ), так і оптичними константами (n, κ) речовини поверхні.

Подання шорсткої поверхні у вигляді ансамблю статистично орієнтованих мікроплощадок з гаусовою статистикою розподілу висот і в наближенні однократного розсіяння дозволило отримати алгоритм описання функцій густини ймовірності азимутів та еліптичностей зон локальної поляризації граничного поля.

3. Проведені дослідження когерентного розсіяння зразками шліфованого скла показали:

- граничне поле шліфованої скляної поверхні являє собою сукупність ЗЛП із випадковими значеннями азимутів та еліптичності поляризації;

- стан поляризації в межах ЗЛП описується як результат амплітудного складання різнополяризованих парціальних хвиль, відбитих (заломлених) елементами підповерхневої (мікротріщини) та поверхневої (мікроплощинки) складовими об'єкту.

Об'єктне поле когерентного випромінювання об'єкту розсіює шарів характеризується широким інтервалом азимутів та еліптичностей поляризації спеклів. З ростом оптичної товщини поляризаційна структура багатократно розсіяного когерентного випромінювання прагне до рівномірного розподілу типів та форм повноти поляризованих локальних елементів поля (спеклів).

4. Дослідження поляризаційної структури поля розсіяного когерентного випромінювання дозволили знайти в наближенні однократного розсіяння взаємозв'язок станів поляризації (азимуту та еліптичності) ЗЛП граничного поля з оптико-геометричними параметрами (кути нахилу, висоти мікронерівностей, величини двопронезаломлення і орієнтації осей оптичних напруг) шерстких поверхонь та оптично напружених шарів і розробити ряд нових способів локальної поляриметрії.

5. Виявлені та експериментально досліджені поляризаційні прояви мікрокристалітних структур на поверхні сколів оптичного скла різної хімічної структури. Запропоновано метод визначення розподілу орієнтацій осей оптичних напруг в мікрокристалітних утвореннях та величин фазового зсуву, який вони вносять.

6. Виявлена та досліджена тонка поляризаційна мікроструктура стану поляризації ЗЛП граничного поля шерстких поверхонь та спеклів поля розсіяного випромінювання, яка обумовлена як проявами мікрогеометрії поверхні об'єкту, так і механізмами розповсюдження хвильових фронтів. Показано, що процес розповсюдження когерентних полів в умовах фільтрувчих властивостей простору супроводжується зменшенням кількості вкладів хвильових фронтів в поляризаційну структуру локальних спеклів.

7. Аналітично описані та експериментально визначені взаємно-кореляційні функції поляризаційно-структурних полів по виміря-

ванні контрасту локальних інтерференційних розподілів розсіяних когерентних полів в різних зонах реєстрації при накладенні опорної хвилі.

Розроблено новий метод поляризаційної селекції інформації в системах голографічної інтроскопії. Оптимальне задання стану поляризації в зондувочому та опорному пучках і вибір необхідного часу експонування об'єктної сцени при наявності фазово-нестационарного середовища дозволили досягти:

- додаткового збільшення відношення сигнал-шум на один порядок в голографічному зображенні дифузних об'єктів в каламутних середовищах;

- варіювання яскравості відновленого голографічного зображення різних фрагментів об'єктної сцени в межах 100%.

Список літератури по темі дисертаційної роботи:

1. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. О взаимосвязи флуктуаций состояния поляризации когерентного поля со статистическими параметрами шероховатых объектов // Тез. докл. Респ. конф. "Голографический анализ объектов и сред", г.Черновцы, 1988, С.14.
Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Поляризационно-фазовая структурность лазерного излучения, прошедшего сквозь шероховатую поверхность // ФФЖ.- 1989.- т.34.- № 7.- С.1013-1019.
2. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. и др. Исследование процессов распространения когерентного пучка в микро неоднородных средах с шероховатой поверхностью // Тез. Всесоюз. совещания "Распространение лазерного излучения в дисперсных средах", г.Барнаул. - 1988.- С.85.
Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Исследование поляризационных характеристик когерентного излучения, рассеянного диффузными поверхностями и слоями // Оптика и спектроскопия.- 1991.- т.70.- В. 6.- С.1270-1275.
3. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Исследование спектров состояния поляризации в процессе когерентного рассеяния шлифованными стеклами // ЖПС.- 1990.- т.50.- № 5.- С.748-754.
4. Ushenko A.G., Yermolenko S.B. Correlation between polariza-

tion state of coherent light and anizotropy parameters of rough sample layer// Proceeding of OPTICA'88.- III Int. symp. on modern optics.- Budapest, Hungary, 1988.- V.2.- P.332-336.

Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Метод поляризационно-интерференционной диагностики внутренних напряжений прозрачных слоев// Тез. докл. Всесоюз. н.-т. конф. "Оптический, радиоволновой методы контроля", г.Могилев, 1989, С.87-88.

Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Исследование параметров дефектного слоя шлифованных стекол бесконтактным поляризационным методом// Дефектоскопия.- 1990.- № 4.- С.55-58.

5. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. и др. Новый оптический метод измерения крутизны неровностей поверхности//Тез.докл. VIII Всесоюз. конф. "Фотометрия и ее метрологическое обеспечение", Москва.- 1988.- С.45.

Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. О поляризационной метрологии спекл-полей в процессах когерентного рассеяния// Тез. докл. VIII Всесоюз. конф. "Фотометрия и ее метрологическое обеспечение", Москва.- 1990.- С.254.

6. А.С. N 1456778 (СССР) Способ измерения функции распределения углов наклона микронеровностей шероховатой поверхности. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б.- Оpubл. в БИ, 1989, N 5.
7. А.С. N 1567882 (СССР) Способ определения функции распределения высот и углов наклона шероховатой поверхности. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б.- Оpubл. в БИ, 1990, N 20.
8. А.С. N 1635000 (СССР) Способ определения функции распределения углов наклона микронеровностей шероховатой поверхности. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б.- Оpubл. в БИ, 1991, N 10.
9. А.С. N 1671005 (СССР) Способ обнаружения дефектов плоской поверхности. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. и др.- 1991, ДСП.
10. Ushenko A.G., Yermolenko S.B. Speckle metrology of properties of roughness and inhomogeneous phase sample// Proc. of I Int. Workshop on Automatic Processing of Fringe Patterns.- Berlin.- 1989.- V. 9.- P.145-149.
- Ushenko A.G., Yermolenko S.B. Polarization superresolution in surface microscopy// ICO-15: "Optics in Complex Systems". - Garwisch-Partenkirchen, Germany.- 1990.- P.77.
- Ushenko A.G., Yermolenko S.B. Measurement of composite sur-

- face by polarized light// Symp. on Measurement and Inspection in Industry by Computer Aided Laser Metrology.- Balatonfured, Hungary.- 1990.- P.57.
11. Заявка на изобретение N 4770452/28. Способ измерения рельефа объектов с шероховатой поверхностью. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. и др. Положит. решение от 24.10.89.
 12. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Диагностика оптической анизотропии подповерхностного напущенного слоя шлифованных поверхностей// Тез. докл. Всесоюзн. конф. "Неразрушающие физические методы контроля", Москва.- 1987.- С.17.
Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. и др. Поляризационно-интерференционная диагностика внутренних напряжений прозрачных слоев// Дефектоскопия.- 1991.- N 2.- С. 80-85.
 13. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Метод поляризационной фильтрации в задаче диагностики состояния плоских слоев// Тез. докл. IV конф. по оптике и лазерной технике "Оптика-89", Варна, Болгария.- 1989.- С. 34-36.
Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Метод поляризационно-корреляционной фильтрации в анализе поверхностных и подповерхностных параметров прозрачных слоев// Ред. УФЖ.- Киев: 1990.- 11 с. Деп. в ВНИИТИ N 3193-В90.
А.С. N 1582005 (СССР) Способ определения распределения крутизны неровностей плоского шероховатого объекта.
Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б.- Оpubл. в БИ, 1990, N 28.
 14. А.С. N 1608507 (СССР) Способ измерения градиента показателя преломления прозрачных объектов. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б.- Оpubл. в БИ, 1990, N 43.
 15. Usenko A.G., Yermolenko S.B. and others. High resolution polarization interferometry in surface and layer diagnostics// Int. Journ. of Optoelectronics.- 1989.-V. 4.-N 6.-P. 563-574.
Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Об оптических проявлениях микрокристаллитной структуры поверхности стекол// Поверхность. Физика, химия, механика.- 1991.-N 12.- С.29-35.
 16. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. О тонкой поляризационной структуре спеклов лазерного излучения// УФЖ.- 1990.- N 10.- С. 1393-1397.
 17. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. и др. О корреляционной микроструктурности матриц рассеяния света шероховатыми поверхностями//

- Оптика и спектроскопия. - 1990. - т.69. - В. 5. - С 1099-1105.
18. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. О поляризационно-интерференционной структурности когерентного излучения, рассеянного диффузным слоем// УФН.- 1990.- Т. 35.- № 6.- С. 850-855.
19. Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. и др. Исследование процессов распространения лазерного излучения в дисперсной среде голографическим методом// Тез. докл. Всесоюзного совещ. "Распространение лазерного излучения в дисперсных средах", Обнинск.- 1985.- С.37.
- Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Эффект поляризационно-голографического выделения оптического сигнала на фоне помех// Ред. УФН.- Киев.: 1987.- 9 с.- Чеп. в ВИНТИ N 7849-887.
- Ушенко А.Г., Ермоленко С.Б. Когерентно-поляризационный метод управления яркостными характеристиками изображения объектов, расположенных в рассеивающей среде// УФН.- 1989.- 34.- № 2.- С. 200-202.
20. Ushenko A.G., Vermolenko S.B. Polarization effects during spatial stochastization of optical fields// Proc. Int. Conf. "Phase contrast and differential interference contrast", Warsaw, Poland, 1992.- P. 52.
- Ushenko A.G., Vermolenko S.B. Polarization statistics of speckle fields scattering rough surface// ICO-16: "Optics as a key to High Technology".- Budapest, Hungary.- 1993. - SPIE.- V. 1983.- P. 300.

462785

Ab 29.915

AB 29.915