

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ

На правах рукопису

СУБОТА Юрія Васильович

МЕТОДИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ
ДЕФЕКТНОСТІ ПОВЕРХНІ КРЕМНІЄВИХ ПЛАСТИН

05.27.06- технологія напівпровідників та
матеріалів електронної техніки

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1993

26.26.99

Роботу виконано в Інституті фізики напівпровідників АН України.

Наукові керівники: доктор фізико-математичних наук
Ширшов Ю.М.

кандидат фізико-математичних наук
Стерлігов В.А.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
професор Жарких Ю.С.

доктор технічних наук,
професор Конакова Р.В.

Провідна установа: Київський науково-дослідний інститут
мікроприладів

Захист відбудеться "16" 04 1993 р. о 14³⁰ год. на
засіданні спеціалізованої наукової ради К 016.25.01 при
Інституті фізики напівпровідників АН України за адресою:

252650, Київ-28, проспект Науки, 45.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці інституту.

Автореферат розіслано "16" 03 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради

О.Є.Беляєв

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00814587 (X)

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У зв'язку з підвищенням ступеня інтеграції НВІС на перший план виходить проблема поверхневих дефектів кремнієвих пластин. В умовах, коли характерні розміри мікроелектронних елементів співставимі з розмірами переважаючої більшості різного роду поверхневих дефектів і забруднень, проблема адекватного контролю стану поверхні набуває першорядного значення для забезпечення прийняттого виходу придатних виробів. У той же час у мікроелектронному виробництві найбільш поширеним методом контролю чистоти поверхні напівпровідникових пластин є візуальний огляд у колімованому світлі. Для такого методу контролю, очевидно, характерна необ'єктивність, тобто залежність результатів контролю від досвіду, фізичного стану та суб'єктивних побажань оператора, відсутність достовірних кількісних параметрів, що характеризують дефектність поверхні пластини. Крім того, чутливість такого методу нижча від вимог, сформульованих виходячи із розмірів типових мікроелектронних структур.

На цей час не надруковані відомості про кількісний зв'язок між чистотою приміщення, реактивів та виходом складних виробів, однак відомо, що максимальний розмір сторонніх частинок не повинен перевищувати 0,1 - 0,5 мінімального розміру елемента НВІС для уникнення спотворення фотолітографічного малюнка. При розмірі контактного вікна 2 мкм отримуємо для гранично припустимого розміру мікрочастинок величину 0,2- 1,0 мкм. Частилки таких розмірів непомітні неозброєним оком у колімованому світлі і можуть спостерігатися тільки у темному полі мікроскопу. Такий метод контролю також використовується для визначення ступеня дефектності поверхні. Крім вказаних недоліків, для нього характерні значна трудомісткість і можливість пропускання дефектів на поверхні пластини через те, що контроль, як правило, через малу величину поля зору мікроскопу здійснюється вибірково, в кількох зонах поверхні пластини.

Таким чином, існуючі візуальні методи контролю не забезпечують надійної та об'єктивної кількісної оцінки чистоти кремнієвої пластини, тому останнім часом розробляються прилади

для здійснення такого контролю. Фізичним процесом, на якому базується робота практично всіх таких приладів є розсіювання світла на мікронеоднорідностях дзеркально гладкої поверхні.

Оптичний контроль можливий як при освітленні всієї поверхні широким променем, так і при скануванні її сфокусованим до розміру в кілька десятків мікрометрів лазерного променя. В різних приладах реалізовані обидва методи, однак у даній роботі були проведені дослідження тільки для методу сканування поверхні сфокусованим лазерним променем. Це зумовлено тим, що чутливість приладів пропорційна густині потужності променя в місці локалізації дефекту, і при однаковій потужності лазера і типовому співвідношенні діаметрів контрольованої пластини і сфокусованого лазерного променя ~ 1000 виграв у чутливості для приладів другого типу становить $\sim 10^6$.

На час початку роботи (1983 р.) в літературі існувало лише кілька публікацій про використання скануючого лазерного променя для контролю мікрodefektів на поверхні кремнієвих пластин. Перешкод для широкого застосування скануючих лазерних приладів було кілька:

-Були відсутні систематичні відомості про характер розсіювання світла на мікрочастинці, що лежить на гладкій поверхні. Хоч явище розсіювання світла вільною частинкою вивчається давно, тільки в 1986 році з'явилась перша робота по вивченню впливу сферичної мікрочастинки на поверхні на поляризацію відбитого світла. Систематичні дослідження процесу розсіювання світла частинкою, що знаходиться на гладкій поверхні, не проводились. Не була розв'язана і обернена задача- визначення розміру частинки за інтенсивністю розсіяного нею світла.

-У вказаній задачі, на відміну від тривіального випадку однорідного освітлення, необхідно врахувати неоднорідність інтенсивності лазерного променя в поперечному перерізі, що затруднює обробку інформації та отримання відомостей про величину і кількість мікрочастинок.

-Не були розроблені питання атестації скануючих лазерних приладів. Це не дозволяло співставити амплітуду імпульсу розсіяного світла з розмірами досліджуваної частинки.

-У зв'язку з відсутністю інструментальної бази не було досліджено вплив різних технологічних процесів на кількість мікрodefektів на пластинах.

Розв'язання перелічених та інших проблем становить інтерес як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

Метою роботи є розв'язання комплексу науково-технічних проблем по створенню методів лазерного скануючого контролю поверхні напівпровідникових пластин і впровадженню їх у промисловий технологічний процес.

У зв'язку з цим ставилися такі завдання:

-створити установку для дослідження розсіювання світла частинками, що знаходяться на поверхні напівпровідника, і встановити за її допомогою основні закономірності такого розсіювання;

-спираючись на результати вказаних досліджень, визначити шляхи підвищення ефективності оптичних систем і розробити для пристрою контролю поверхні оптичну систему з високими технічними параметрами;

-створити алгоритми обробки отриманої за допомогою оптичної системи інформації та пристрої, що їх реалізують;

-розробити методикку атестації вказаних приладів;

-дослідити вплив деяких технологічних операцій, видів обладнання та технологічних середовищ на досконалість поверхні напівпровідникових пластин; розробити критерії відбраковки пластин у промисловому виробництві.

Наукова новизна проведених досліджень та одержаних результатів:

1. Досліджені індикатриси розсіювання модельних об'єктів у вигляді латексних кульок, що знаходяться на поверхні напівпровідникової пластини; одержана залежність перерізу розсіювання світла частинкою на поверхні від розміру частинки; показано, що вплив поверхні приводить до відмінності індикатриси розсіювання від одержаної за класичною теорією Мі.

2. Показано, що використання двох променів світла з різними довжинами хвиль суттєво збільшує достовірність реєстрації розміру мікрочастинок.

3. Створено новий підхід до збільшення чутливості скануючих приладів контролю поверхні, який базується на використанні часової кореляції інформації про дефекти у різних лініях сканування.

4. Створено математичну модель процесу реєстрації мікродефектів скануючим пристроєм контролю поверхні, яка встановлює залежність між основними параметрами пристрою при реалізації різних алгоритмів його функціонування.

5. Визначено методи кількісної оцінки внесеної технологічними процесами дефектності та створено принципи вибору критеріїв відбраковки.

Практичне значення роботи.

1. На основі результатів досліджень індикатрис розсіювання модельних об'єктів та аналізу факторів, що впливають на чутливість приладів контролю поверхні при виявленні мікрочастинок на шорсткій поверхні, вироблені рекомендації по створенню систем збирання розсіяного світла в таких приладах, які працюють в різних діапазонах розмірів мікродефектів.

2. Розроблені ефективні і відносно прості оптичні системи скануючих приладів контролю поверхні.

3. Розроблені пристрої, що визначають контрольовану зону на поверхні напівпровідникової пластини і виключають можливість реєстрації розсіювання від краю та крайової зони пластини.

4. Розроблені системи обробки інформації, які дозволяють визначати розмір та кількість дефектів на поверхні напівпровідникових пластин.

5. Створено ряд приладів "Аделар", які дозволяють проводити об'єктивну оцінку чистоти поверхні кремнієвих пластин.

6. Розроблена методика атестації приладів контролю поверхні та методика нанесення латексів для її здійснення.

7. Проведено набір статистичних даних по внесеній дефектності на кремнієвих пластинах після різних технологічних операцій. Визначені максимально припустимі значення внесеної дефектності.

Впровадження результатів роботи.

Виходячи з результатів проведених досліджень, спільно з ВО "Квазар" розроблена технічна документація 7003.316.00.00.00

(09/І-89) на "Скануючий лазерний пристрій контролю забруднень кремнієвих пластин".

Розроблені і виготовлені лазерні скануючі прилади контролю поверхні серія "Пылєвизор" і "Аделар" були впроваджені на заводі "Квазар" (Київ) - 5 приладів, НДІ "Мікроприлад" (Київ) - 2, ВО "Родон" (Івано-Франківськ) - 4, заводі ім.Х.Пегельмана (Таллінн) - І, ВО "Протон" (Орел) - І, заводі ім.50-річчя СРСР (Александров) - 2, НДІ "Восток" (Новосибірськ) - І, ВО "Светлана" (Санкт-Петербург) - І прилад.

Основні положення, висунуті на захист:

1.Залежність інтегрального перерізу розсіювання модельних об'єктів у вигляді латексних кульок на поверхні напівпровідникової пластини від діаметра цих кульок являє собою немонотонну криву з мінімумом в області 0,5- 0,7 мкм.

2.Використання співвідношення інтенсивностей розсіяного мікрочастинками світла при освітленні їх двома променями з різними довжинами хвиль дозволяє підвищити достовірність виміру розмірів мікрочастинок.

3.Перспективним способом підвищення чутливості скануючих пристроїв контролю поверхні є обробка інформації в сусідніх лініях сканування з метою виявлення сигналів від мікрodefектів на фоні шумових сигналів.

4.При використанні реєстрації мікрodefектів по комірках умовної сітки на поверхні напівпровідникової пластини - пікселях існує оптимальна з точки зору підвищення точності визначення кількості мікрodefектів величина пікселя, яка визначається конструктивними параметрами пристрою, а попередня однозначна локалізація дефектів дозволяє значно підвищити точність визначення їх кількості за рахунок виключення багаторазової реєстрації їх в межових зонах пікселів.

5.Критерієм оцінки стану технологічного обладнання з точки зору зменшення внесеної дефектності є положення максимуму на кривій статистичного розподілу кількості мікрodefектів на пластинах.

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідались і містяться в матеріалах науково-технічної наради "Состояние и

тенденции развития метрики полупроводников и диэлектрических структур" (Саратов, 1988); XII всесоюзной конференции з фізики напівпровідників (Київ, 1990); VII міжнародної конференції з мікроелектроніки "Microelectronics'90" (Мінськ, 1990); VI республіканської конференції "Физические проблемы МДП-интегральной электроники" (Севастополь, 1990); VI всесоюзної конференції "Аналитические методы исследования материалов и изделий микроэлектроники" (Кишинев, 1991), а також доповідались на Лашкарьовських читаннях та наукових семінарах Інституту фізики напівпровідників АН України.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 16 робіт, з них 6 авторських свідоцтв на винаходи і 1 позитивне рішення по заявці на отримання авторського свідоцтва. Список робіт подано в кінці автореферату.

Структура і об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновків і списку цитованої літератури. Матеріал викладений на 162 сторінках, включаючи 48 малюнків, 9 таблиць і бібліографію із 107 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ.

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи, формулюються мета і задачі досліджень, вказується наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, перелічуються основні положення, висунуті на захист, реферативно викладений зміст дисертації і наводяться відомості щодо апробації роботи.

У першій главі подано огляд наукової літератури, присвяченої теоретичному та експериментальному дослідженню розсіювання світла шорсткими поверхнями та мікроефектами. Як впливає з огляду, незважаючи на велику кількість літератури із зазначеного питання, практично не розглядалося розсіювання світла мікрочастинками на поверхні, що відбиває, які є типовими об'єктами контролю в процесі виробництва ІМС.

Далі у главі описано конструкцію розробленої установки для дослідження індикатрис розсіювання світла частинками на поверхні

і шорсткими поверхнями. Для одержання високої чутливості установки при дослідженні мікрочастинок застосовано просторову модуляцію лазерного випромінювання, яка дозволяє зменшити вплив розсіяного на підкладинці і елементах, установки світла. Застосовані також автоматичний перемикач чутливості та алгоритм вимірювання з накопиченням сигналу, при якому кількість вимірів у одній точці залежить від рівня шуму та заданої точності вимірювання. Установка повністю автоматична і керується ПЕОМ, при створенні програми застосовано технологію об'єктно-орієнтованого програмування. Подаються індикатриса, одержані за допомогою установки, для частинок у діапазоні розмірів 0,3- 2,5 мкм.

Із отриманих даних випливає, що при зменшенні діаметра кулі кількість максимумів індикатриса зменшується, а їхня напівширина збільшується; для однакових за розміром куль кількість максимумів для s- поляризації більша, ніж для р- поляризації; при цьому, як правило, інтенсивність розсіювання s- поляризації помітно перевищує інтенсивність розсіювання р- поляризації.

Було зроблено спробу співставити одержані результати із спрощеним розрахунком, при якому сумувались такі типи розсіяних хвиль, одержаних у рамках класичної теорії Мі: інтенсивності світла, розсіяного частинкою сферичної форми назад; розсіяного вперед і відбитого від поверхні кремнію; відбитого від поверхні і розсіяного вперед; відбитого від поверхні, розсіяного назад і знову відбитого від поверхні кремнію.

При співставленні результатів цього розрахунку з експериментальними даними задовільний збіг було отримано тільки для латексних кульок діаметром 0,31 мкм; із збільшенням розміру розбіжності швидко зростали. Таким чином, для коректного опису індикатриса необхідно враховувати взаємодію світла з підкладкою при розсіюванні світла частинкою на поверхні, що відбиває.

Наводяться і обговорюються залежності інтегрального коефіцієнту розсіювання частинкою на поверхні від її розміру для різних діапазонів кутів збирання розсіяного світла. Залежності мають добре помітний мінімум для розмірів частинок 0,4- 0,9 мкм. Введено поняття ефективного розміру дефекту.

Аналізуються фактори, що впливають на чутливість пристроїв

при виявленні мікрочастинок на шорсткій поверхні. На основі одержаних даних вироблені загальні рекомендації щодо конструювання оптичних систем пристроїв контролю поверхні напівпровідникових пластин:

-необхідно максимально збільшувати кут збирання розсіяного світла, в усякому разі, він повинен бути не менший 30 градусів; конкретне значення можна розрахувати з використанням отриманих індикатрис для заданого діапазону розмірів мікрочастинок;

-необхідно проводити фільтрацію фонового світла випромінювання шляхом використання конфокальної діафрагми у системі збирання розсіяного світла;

-для одержання максимальної чутливості при реєстрації мікрочастинок необхідно проводити частотну фільтрацію сигналу фотоприймача і, по можливості, зменшувати шум лазера.

У другій главі систематизуються і аналізуються відомі дані щодо оптичних систем скануючих пристроїв контролю поверхні. Розглядаються проблеми, що виникають при організації сканування та фокусування лазерного променя на поверхні пластини. З урахуванням результатів проведених експериментів для сканування променя по пластині застосовано параболічне (для мінімізації аберацій - позаосьовий параболоїд) дзеркало, у фокусі якого розташовано дефлектор. При цьому всі промені фокусуються у фокальній площині дзеркала і падають майже нормально до пластини, що вирішує проблему виводу відбитого променя. Запропоновано також інше рішення, характерною особливістю якого є розміщення осі дефлектора перпендикулярно до площини пластини; це дозволяє простими засобами отримати рівномірне фокусування лазерного променя по пластині.

Розглядаються також проблеми збирання розсіяного дефектами світла - недостатньо висока чутливість, що виникає внаслідок використання тільки частини розсіяного світла, і значна анізотропія чутливості через неповне усереднення світла. Вказані проблеми вирішуються при застосуванні двох увігнутих дзеркал, розміри яких дозволяють охопити фокальні площини, розташованих співвісно назустріч одне одному таким чином, що пластинка знаходиться близько фокальної площини однієї дзеркальної

поверхні, а фотоприймач - в площині зображення іншої дзеркальної поверхні. Показано також, що перспективним є застосування циліндричної оптики для збору розсіяного світла. Вона дозволяє значно покращити рівномірність чутливості по пластині завдяки тому, що кожний дефект відображується не в точку з деякою світлочутливістю на поверхні фотоприймача (для сферичної оптики), а в лінію.

Із застосуванням наведених рішень і рекомендація попередньої глави розроблена високоефективна оптична система з близькою до максимальної апертурою збирання розсіяного світла. Розроблена також оптична система, яка має високі технічні параметри і відрізняється малими габаритами і простотою виготовлення використуваних компонентів.

Розглядаються проблеми реєстрації розмірів мікрodefektів, пов'язані з неоднорідним розподілом густини потужності по перерізу лазерного променя. Наводиться оригінальний спосіб визначення розміру мікрочастинки, який складається з освітлення її двома променями світла з різними довжинами хвиль, реєстрації розсіяного світла по кожній з двох довжин хвиль і визначення розміру за відношенням інтенсивностей розсіяного світла.

Третя глава присвячена розв'язанню проблем, що виникають при реєстрації мікрodefektів, методами, які використовують різні алгоритми обробки отриманої за допомогою оптичних систем інформації. Наводяться алгоритми такої обробки. Розроблено алгоритм і пристрій, що його реалізує, які дають можливість визначити кількість і розподіл за розмірами мікрodefektів на поверхні пластини за допомогою накопичення інформації про максимальні сигнали спочатку аналоговими методами на ділянці рядка сканування у межах пікселя, а потім - цифровими методами у пікселях.

Наведено оригінальний алгоритм, який дозволяє уникнути багаторазової реєстрації дефектів у межових зонах пікселів, а також реєструвати сигнали від мікрodefektів з амплітудою меншою, ніж амплітуда шумових сигналів, і завдяки цьому зменшити мінімальну величину мікрodefektу, що реєструється. Алгоритм базується на запам'ятовуванні кількох послідовних ліній

сканування і обробці інформації у них з метою однозначної локалізації дефекта та отримання сигналу дефекту серед шуму. Розроблено систему обробки інформації, яка використовує наведений алгоритм.

Розглянуто проблему визначення на поверхні напівпровідникової пластини зони, що контролюється. Для окремого випадку сканування світловим променем за синусоїдальним (від часу) законом вздовж одного з двох взаємно перпендикулярних напрямків і круглої форми пластини розроблена гранично проста система, що вирішує вказану задачу. Визначення вказаної зони проводиться шляхом ряду перетворень за допомогою аналогових обчислювальних схем сигналів, які використовуються для керування дефлекторами і несуть інформацію про положення лазерного променя на пластині. Розроблена також система визначення зони, що контролюється, у більш загальному випадку довільної монотонної між крайніми точками розгортки світлового променя (зокрема лінійної) і довільної (за незначними обмеженнями) форми об'єкту. Функціонування системи базується на аналоговій обробці сигналів від допоміжних фотоприймачів, які визначають, знаходиться світловий промінь на пластині чи за її межами.

У четвертій главі наведені результати математичного моделювання процесу реєстрації мікрodefektів лазерними скануючими приладами контролю напівпровідникових пластин. Аналізуються такі відомі і оригінальні алгоритми функціонування приладів:

-безпосереднього підрахунку дефектів за кількістю імпульсів у рядках сканування;

-підрахунку дефектів за кількістю дефектних пікселів;

-аналогічно попередньому, з додатковим застосуванням однозначної локалізації дефектів для запобігання багаторазовій реєстрації у межових зонах пікселів;

-аналогічно попередньому, з додатковою обробкою інформації для виявлення сигналів від дефектів серед шуму.

За формулами, які залежать від обраного алгоритму, з урахуванням неоднорідності розподілу інтенсивності світла по перерізу лазерного променя розраховується ймовірність виявлення дефекту в залежності від його розміру, потужності і діаметру

світлового променя, порогу реєстрації та відстані між лініями сканування. Після цього розраховується вплив на величину ймовірності можливості багаторазової реєстрації у межових зонах пікселя і неоднорідності чутливості оптичної системи по поверхні пластини.

Отримані алгоритми розрахунку та залежності, що пов'язують основні технічні параметри скануючих приладів, такі як похибка визначення розміру і кількості мікрodefektів, діаметр сфокусованого лазерного променя на пластині, міжрядкова відстань при скануванні, час контролю пластини тощо. Наприклад, показано, що при заданій неоднорідності чутливості фотоприймального пристрою зменшення відстані між лініями сканування починаючи з деякої величини яку можна розрахувати, не покращує точності реєстрації, а лише збільшує час контролю пластин. Розраховано перелічені параметри для актуальних діапазонів значень.

Додається програма для розрахунку вказаних вище технічних параметрів за допомогою ПЕОМ.

У п'ятій главі розглядаються результати застосування створених приладів контролю поверхні у промисловому технологічному процесі виробництва ІМС.

Наведено розроблену методику атестації аналізаторів поверхневих дефектів, яка базується на порівнянні залежності кількості зареєстрованих дефектів від порогу реєстрації перед і після нанесення на кремнієву пластину латексних кульок. Для нанесення латексів на пластину застосовується оригінальна методика, яка передбачає зменшення ймовірності їх коагуляції, зокрема, шляхом ультразвукової обробки.

За допомогою розробленого пристрою контролю поверхні напівпровідникових пластин "Аделар" проведений набір статистичних даних щодо кількості мікрodefektів на кремнієвих пластинках після фінішної відмивки. Показано, що частина пластин містить суттєво збільшену кількість мікрodefektів. Вироблені критерії відбраковки пластин.

Проведена оцінка рівня чистоти, що забезпечується хімічною обробкою поверхні, та рівнів дефектності, внесеної різними технологічними обладнанням, розроблена методика атестації

обладнання. Показано, що велике додаткове забруднення створюється технологічним обладнанням, яке містить у собі елементи, що рухаються або обертаються. За результатами досліджень джерел забруднень кремнієвих пластин в заводську технологічну інструкцію були внесені зміни.

Продемонстрована інформативність приладу "Аделар" у режимі реєстрації областей з підвищеною величиною дифузного розсіювання для оцінки якості діелектричних покриттів, зокрема шарів нітриду кремнію та фосфоро-сілікатного скла. Наведені дані про зміну дефектності пластини після проведення операції окислення.

Основні результати роботи.

1. Розроблена і виготовлена установка для дослідження індикатрис розсіювання світла мікрочастинками на поверхні і шорсткими поверхнями. Індикатрис, отримані для частинок у діапазоні розмірів 0,3- 2,5 мкм, дозволяють зробити висновок, що із зменшенням розмірів частинок кількість піків індикатрис зменшується, а їхня напівширина збільшується.

2. На основі експериментальних даних отримана залежність інтегрального коефіцієнта розсіювання частинок на поверхні від її розміра, яка має вигляд немонотонної кривої з мінімумом в області 0,5-0,7 мкм.

3. Розроблена високоефективна оптична схема з близькою до максимально можливої апертурою збирання розсіяного світла. Розроблена також оптична схема, яка має високі технічні параметри і відрізняється малими габаритами і простотою виготовлення використовуваних компонентів.

4. Запропоновано оригінальний спосіб визначення розмірів мікрочастинок, який складається з освітлення її двома променями світла з різними довжинами хвиль, реєстрації розсіяного світла по кожній з двох довжин хвиль і визначення розміру за відношенням інтенсивностей розсіяного світла.

5. Розроблена система обробки інформації, яка дозволяє реєструвати кількість і розподіл за розмірами мікрочастинок на поверхні пластини. Розроблені також оригінальний алгоритм, який дозволяє реєструвати сигнали від мікрodefektів, менші за шумові,

і система обробки інформації, яка реалізує цей алгоритм.

6. Для окремого випадку сканування світловим променем за синусоїдальним (від часу) законом вздовж одного з двох взаємно перпендикулярних напрямків розроблена гранично проста система, що вирішує вказану задачу. Розроблена також система визначення зони, що контролюється, у більш загальному випадку довільної монотонної між крайніми точками розгортки світлового променя (зокрема лінійної).

7. Створена математична модель процесу реєстрації мікродефектів скануючим пристроєм. Отримані алгоритми розрахунку і формули, що пов'язують основні технічні параметри скануючих приладів, такі як похибка визначення розміру і кількості мікродефектів, діаметр офокусованого лазерного променя на пластині, міжрядкова відстань при скануванні, час контролю пластини тощо.

8. Розроблені методика атестації аналізаторів поверхневих дефектів і методика нанесення латексів, призначена для її реалізації.

9. Проведено набір статистичних даних щодо кількості мікродефектів на кремнієвих пластинах, які використовуються у виробництві. Показано, що частина пластин містить суттєво більшу кількість мікродефектів, ніж та, що відповідає максимуму статистичного розподілу. Проведено оцінку рівнів дефектності, внесеної різними технологічним обладнанням, описано методика атестації обладнання. Продемонстрована інформативність приладу "Аделар" у режимі реєстрації областей з підвищеною величиною дифузного розсіювання для оцінки якості діелектричних покриттів.

Основні результати дисертації опубліковані в роботах:

1. Г. Е. Домашев, Б. А. Нестеренко, О. В. Снитко, В. А. Стерлигов, Ю. В. Суббота, Ю. М. Ширшов. Рассеяние света сферой на поверхности полупроводника // Докл. АН УССР. Сер. А. Физ.-мат. и техн. науки. - 1988. - №2. - С. 40-42.
2. Г. Е. Домашев, Б. А. Нестеренко, О. В. Снитко, В. А. Стерлигов, Ю. В. Суббота, Ю. М. Ширшов. Рассеяние света сферой на поверхности полупроводника // Электронная техника. Серия 8. Управление

- качеством, стандартизация, метрология, испытания. Вып. I (274). Материалы научно-технического совещания "Состояние и тенденции развития метрики полупроводников и диэлектрических структур", 1988, Саратов, С.62-63. Москва, ЦНИИ "Электроника", 1988.
3. Горба В.А., Карплюк А.И., Примаченко И.А., Стерлигов В.А., Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М. Сканирующие лазерные устройства контроля поверхности кремниевых пластин//Электронная промышленность.- 1989.- №.- С.32-33.
4. Суббота Ю.В., Примаченко И.А., Ширшов Ю.М., Стерлигов В.А., Карплюк А.И. Сканирующее лазерное устройство контроля загрязнений кремниевых пластин// Информ. листок ВИМИ о научно-техн. достижении.- №9-2879.
5. Суббота Ю.В. Моделирование лазерных сканирующих устройств контроля дефектов полупроводниковых пластин// VI республиканская конференция "Физические проблемы МДП-интегральной электроники" (Севастополь, июнь 1990 г.). - Киев, 1990. - С.160.
6. Домашев Г.Е., Стерлигов В.А., Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М. Контроль поверхностных и приповерхностных дефектов кремниевых пластин лазерным сканирующим лучом// XII всесоюзная конференция по физике полупроводников (Киев, 1990 г.). Тезисы докладов, часть II.-Киев:, Наукова думка, 1990.
7. Artischook N.V., Gorba V.A., Domashev G.E., Karpljuk A.I., Primachenko I.A., Sterligov V.A., Subbota Yu.V., Shirshov Yu.M. Testing of silicon plate surface by scanning laser beam// VII международная конференция по микроэлектронике "Microelectronics'90" (16- 18 октября 1990 г.). Материалы конференции. Том I.- Минск, 1990.-- С.221-223.
8. Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М. Выбор алгоритма функционирования лазерного сканирующего устройства контроля дефектов полупроводниковых пластин// VI всесоюзная конференция "Аналитические методы исследования материалов и изделий микроэлектроники". Тезисы докладов. -Кишинев,1991.-С.169.
9. Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М. Моделирование лазерных сканирующих устройств контроля дефектов полупроводниковых

пластин//Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. - 1992. -
Вып. 24. - С. II-16.

10. А. с. №1326004 СССР, МКИ* G01N 21/88. Устройство для контроля дефектов оптических поверхностей/Стерлигов В.А., Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М.
11. А. с. №1402853 СССР, МКИ* G01N 15/02. Способ определения размеров микрочастиц/Стерлигов В.А., Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М.
12. А. с. №1448876 СССР, МКИ* G01N 21/88. Устройство для контроля дефектов на полированной поверхности/ Б.А.Нестеренко, О.В.Снитко, В.А.Стерлигов, Ю.В.Суббота, Ю.М.Ширшов.
13. А. с. №1509694 СССР, МКИ* G01N 21/88. Устройство для регистрации дефектов на поверхности объектов круглой формы/ Стерлигов В.А., Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М.
14. А. с. №1662233 СССР, МКИ* G01N 21/00. Устройство контроля дефектов на плоских полированных поверхностях/ Горба В.А., Карплюк А.И., Примаченко И.А., Соколенко И.А., Стерлигов В.А., Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М.
15. А. с. №1662234 СССР, МКИ* G01N 21/88. Устройство для регистрации дефектов/ В.А.Стерлигов, Ю.В.Суббота, Ю.М.Ширшов.
16. Положительное решение по заявке №4837177/25. Устройство регистрации дефектов полированной поверхности/ Горба В.А., Карплюк А.И., Примаченко И.А., Соколенко И.А., Стерлигов В.А., Суббота Ю.В., Ширшов Ю.М.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підп. до друку. 2 3 93. Формат 60 × 24 $\frac{1}{2}$ Папір офс
Друк. офс. Умовн. друк. арк. 293 Обл.-вид. арк. 166 тир. 100
Зам. з 33/3

Київська книжкова друкарня наукової книги. Київ, Репіна, 4.

112060

112060

AB 26.990

AB 26.990