

УДК 537.533

Установка для межоперационного контроля за качеством поверхности подложек и тонких пленок микроструктур изделий микроэлектроники в технологическом процессе

Б. Н. Васичев, Е. Е. Чернова-Столярова, Л. Б. Розенфельд
Государственное предприятие "НИИ электронной и неонной оптики", Москва, Россия

Рассмотрены возможности метода фотоэмиссионного и экзоэмиссионного контроля изделий микроэлектроники в производственных условиях. Представлена конструкция оборудования, предназначенного для межоперационного контроля за качеством поверхностей подложек и пленок микроструктур в технологическом процессе изготовления полупроводниковых приборов.

Качество и надежность полупроводниковых приборов существенно зависят от чистоты поверхности, однородности состава поверхностных слоев исходных материалов, а также от качества напыления различных слоев в процессе изготовления полупроводниковых приборов.

Одним из наиболее чувствительных методов контроля состояния поверхности является метод фото- и экзоэмиссионного контроля, основанный на изменении работы выхода фотоэлектронов и, следовательно, квантового выхода фотоэлектронов в зависимости от состояния поверхности. При этом использование методов электронной оптики позволяет с высокой локальностью и чувствительностью контролировать неоднородность эмиссии и выявлять малейшую неоднородность материала и наличие следов неоднородных атомов на поверхности.

Большим достоинством метода фотоэмиссионного контроля является то, что воздействие квантов ультрафиолетового излучения на образец вследствие их малой энергии (5 эВ) значительно слабее, нежели используемых для контроля поверхности квантов рентгеновского излучения или электронных пучков (обычный диапазон энергии 0,1–50 кВ). Небольшая энергия фотонов обеспечивает малый разброс скоростей фотоэлектронов, что снижает хроматическую ошибку электронно-оптической системы, формирующей изображение поверхности в фотоэлектронах, и за счет этого повышает локальность контроля. Кроме того, возбужденные в веществе электроны вследствие малости их энергии имеют реальную вероятность выхода из вещества только в том случае, если они генерируются в непосредственной близости от поверхности.

Новым и весьма чувствительным методом контроля является метод, основанный на регистрации фотостимулированной экзоэлектронной эмиссии. При этом образец облучается квантами видимого света, энергия которых меньше работы выхода исследуемого материала. Вследствие этого эмиссия на основной части поверхности отсутствует и становятся заметными центры экзоэмиссии, связанные с различными локальными дефектами образца, в результате чего образуются дополнительные локальные уровни, обеспечивающие выход экзоэлектронов.

Возможность получения фотоэмиссионного изображения поверхности объекта была показана в конце 60-х гг. Тогда же были изготовлены первые

фотоэмиссионные электронные микроскопы, обеспечивающие только визуальное наблюдение поверхности. Однако из-за ряда недостатков они не нашли широкого спроса, и их производство было прекращено.

В 80-х гг. в СССР и за рубежом велись активные исследования в области методологии исследований поверхности различных объектов методом фотоэмиссии. Только за 1980—1990 гг. было опубликовано более 60 статей. Вопросы фотоэмиссионного исследования образцов довольно подробно рассматривались на Международной конференции в Киото в 1986 г. (Япония).

Результаты проведенных исследований показывают, что метод фотоэмиссионного контроля обладает высокими поперечным (пространственным, 0,1 мкм) и продольным (по глубине, 1—5 нм) разрешениями, его применение позволяет получать важную информацию о поверхности исследуемых объектов.

Для материалов, используемых в микрофотозлектронике, проведены исследования квантового выхода фотоэлектронов после различных технологических операций. Если принять квантовый выход скола исходных материалов за единицу, то фоторезист дает относительный квантовый выход — 0,01, химически обработанных поверхностей до литографии — 0,034, поверхность, отмытую после литографии, — 0,025, поверхность, очищенную после фотолитографии ионной бомбардировкой, — 0,67. Наблюдался также контраст между p - и n -областями (отличие в интенсивности на разных стадиях обработки колеблется от 1,2 до 1,5 раза).

Проводилось исследование эпитаксиальных слоев материалов микрофотозлектроники. Изображение эпитаксиальных слоев демонстрирует резкую неоднородность состава слоя по поверхности, вызванную структурными дефектами. Размеры дефектов 1—10 мкм.

В ходе работы, проведенной на различных материалах, показана возможность обнаружения дефектов материала (включений и структурных дефектов) размером до 1 мкм; качественного и полукачественного анализа состава твердых растворов на основе A^3B^5 и A^2B^6 ; определения областей однородного состава. Показана возможность визуализации и объективного контроля результатов ионной очистки; оптимизации режима очистки, предотвращения возникновения текстуры. Достигнута четкая визуализация гетерограниц в эпитаксиальных гетероструктурах. Разработан метод диагностики поверхности полупроводниковых материалов и промежуточных структур, предел обнаружения адсорбированных слоев 0,01 монослоя.

Результаты проведенных работ по созданию физических основ метода фотоэмиссионной диагностики по изменению квантового выхода фотолэктронов и разработка методик его применения для контроля поверхности полупроводниковых материалов и чувствительных структур были использованы при обработке технологии различных полупроводниковых приборов.

Опыт применения метода фотоэмиссионного контроля показал, что указанный метод позволяет обнаруживать адсорбированные и окисные слои с эффективной толщиной до 0,01 мкм монослоя и обеспечивает пространственное разрешение до 0,1 мкм.

Метод фотоэмиссионного контроля является неразрушающим, что дает возможность производить технологический контроль структур на различных стадиях процесса их изготовления.

Известная аппаратура для наблюдения объектов с помощью фотоэкзоэмиссии предназначалась исключительно для исследовательских целей, что не позволило использовать ее в качестве контрольного технологического оборудования, пригодного для пооперационного контроля реальных приборов на различных стадиях технологического процесса. Например, комбинированный

экзоэлектронный растровый электронный микроскоп [1] вследствие использования для формирования изображения колонны растрового электронного микроскопа не обеспечивает достаточного поля зрения. Фотоэлектронный микроскоп с освещением образца синхротронным излучением [2] является чисто лабораторным прибором и из-за большой энергии фотонов (9—160 эВ), не позволяет реализовать пространственное разрешение лучше нескольких микрон.

Нельзя признать удачной и конструкцию прибора, в котором образец механически фиксируется относительно тонкого светового зонда с регистрацией возникающих при этом фотоэлектронов [3]. Достигнутое в этом приборе разрешение составило 5 мкм, а время регистрации одного кадра — 10 мин.

Промышленные установки для решения задач прецизионного контроля состояния поверхности в технологическом цикле в настоящее время отсутствуют.

Все это стимулировало разработку установки для контроля за качеством технологических процессов на промежуточных стадиях изготовления изделий микроэлектроники без разрушения контролируемого изделия.

Назначение и область применения

Разработанная установка предназначена для обнаружения наличия на поверхности подложек следов различного рода загрязнений чужеродными атомами, групп чужеродных атомов в подложках (в приповерхностном слое), структурных неоднородностей, механических напряжений в подложках; выявления дефектов (микротрещин, неоднородности легирования, нарушения сплошности слоев и т. д.) в микроструктурах микрофотоприемников; выявления дефектов (проколов, включений, обнаружения несплошности пленок) в нанесенных слоях.

В числе основных технологических операций метода фотоэкзоэмиссионного контроля входит контроль: исходных материалов на наличие дефектов и включений: определение областей однородности материалов на основе твердых растворов; качества химико-динамической полировки; качества отмывки; качества вскрытия окон в резисте методом ионно-плазменного и химического травления; однородности тонких диэлектрических слоев и анодных окислов.

Состав оборудования

В состав оборудования входят: стенд с технологической камерой и электронно-оптической системой (ЭОС), система общего электропитания установки, источник стабилизированного высокого напряжения, унифицированные источники метастабильного питания линз, устройство управления приводами координатного стола, вакуумная система откачки.

Разработана рабочая конструкторская документация на опытный образец установки МБТИ.433335.009, в том числе: на камеру объектов и внутрикамерную оснастку МБТИ.203339.001; на электронно-оптическую систему МБТИ.201135.001; блок линз МБТИ.203517.001; линзу МБТИ.203517.004; диафрагму МБТИ.203415.001; камеру наблюдения изображения (тубус) МБТИ.201214.001; систему вакуумной откачки (схема вакуумная принципиальная) МБТИ.201135.001.В3; систему питания (стойка питания) МБТИ.436614.002.

Конструкция установки

На рисунке представлена схема установки для контроля за качеством поверхности подложек и тонких пленок микроструктур изделий микроэлектроники в технологическом процессе.

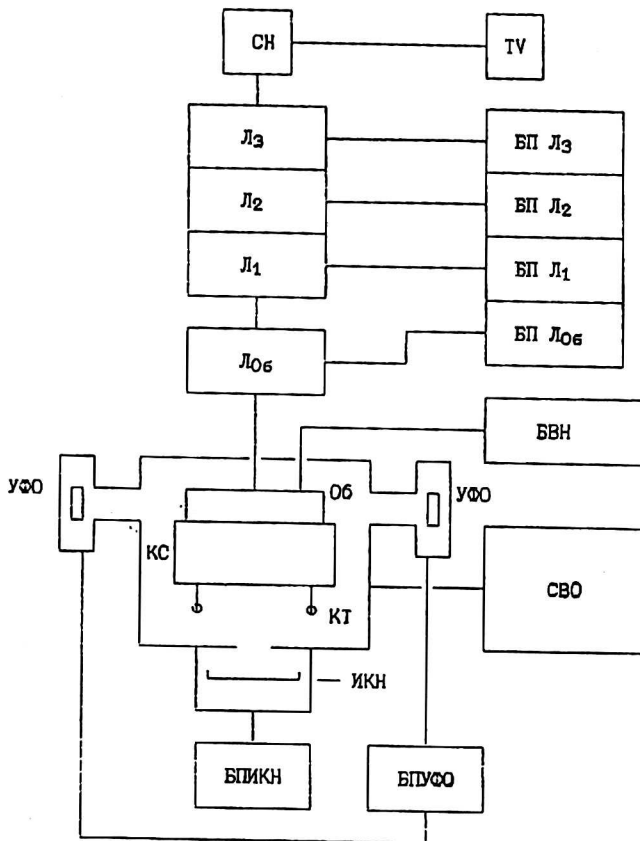


Схема установки для межоперационного контроля за качеством подложек и тонких пленок микроструктур изделий микроэлектроники в технологическом процессе:

TV — телевизионная система; СН — система наблюдения; Л₁, Л₂, Л₃ — электронные линзы; Л_{об} — объектив; БП Л₃, БП Л₂, БП Л₁ — блоки питания линз; Об — образец; КС — координатный стол; КТ — камера технологическая; УФО — УФ-осветители; ИКН — ИК-нагреватель; БВН — блок высокого напряжения; СВО — система вакуумной откачки; БПИКН — блок питания ИК-нагревателя; БПУФО — блок питания УФ-осветителя

В связи с большим размером образцов, размещением образцов в специальных кассетах, необходимостью их шлюзования, габаритные размеры и масса систем, включающих камеру, источники УФ-излучения, стол объектов, шлюзовое устройство и т. д., оказываются настолько велики, что традиционная система компоновки с размещением камеры объекта наверху, обычно используемой в фотоэмиссионных электронных микроскопах, оказывается неприемлемой с точки зрения как виброустойчивости электронно-оптической схемы, так и эргономики.

В связи с этим была принята обращенная система компоновки. т. е. камера объектов со всеми установленными на ней устройствами и внутренней оснасткой размещается на стенде, а электронно-оптическая колонна с системой наблюдения — в верхней части устройства. В состав установки фотоэмиссионного и экзоэмиссионного контроля входят электронно-оптическая система; камера наблюдения изображения; камера объектов и внутрикамерная оснастка; система питания; вакуумная система.

Электронно-оптическая система включает в себя объективную линзу с магнитопроводом конической формы для обеспечения возможности освещения объекта УФ-излучением. Линза снабжена сменным конусным наконечником, в немагнитном зазоре которого размещается магнитный стигматор с электрическим поворотом плоскости коррекции астигматизма. В нижний башмак линзы ввинчивается конический анод, регулируемый по высоте. Мощность, выделяемая в обмотке возбуждения, — порядка 30 Вт, что может привести к значительному дрейфу фокусного расстояния во времени. Для обеспечения температурной стабильности установки в объективной линзе предусмотрена термоизолированная от корпуса обмотка возбуждения, закрепленная на поверхности на охлаждаемом водой каркасе.

Апертурная диафрагма объективной линзы имеет механизм для перемещения по трем координатам и может без нарушения вакуума удаляться с оптической оси.

В установке предусмотрена возможность получения больших увеличений путем монтажа блока из трех дополнительных линз.

Стабильность работы электронно-оптической системы обеспечивается поддержанием стабильного температурного режима с помощью оригинальной системы охлаждения линз, путем оптимизации геометрии магнитопроводов электронных линз, стабилизацией токов и напряжений (до $1 \cdot 10^{-5}$) питающих элементы электронно-оптической системы.

Формируемое электронно-оптической системой изображение наблюдается на люминесцентном экране. Конструкция камеры наблюдения предусматривает возможность переноса оптического изображения с экрана на фоточувствительный элемент передающей телевизионной трубки, что дает возможность усиливать яркость изображения на телевизионной трубке, а также передавать информацию на компьютер для ее дальнейшей обработки.

Минимальное увеличение с большим полем зрения, которое требуется для высокоэффективной работы установки, может быть реализовано при работе только одной линзы (иммерсионного объектива), которая является относительно длиннофокусной. При этом необходимо, чтобы обеспечивалось прохождение без ограничения пучка через полюсные наконечники остальных линз. Дополнительные электронные линзы необходимы для реализации максимального увеличения.

Таким образом, диаметр каналов в электронных линзах, через которые осуществляется транспортировка электронного пучка, должен увеличиваться по мере удаления от объектива. Увеличение диаметров полюсных наконечников снижает оптическую силу каждой последующей линзы по отношению к предыдущей при прочих равных условиях. В связи с этим при численном моделировании ЭОС необходимо оптимизировать положение всех линз системы при заданной длине системы и конструктивных ограничениях, накладываемых геометрическими размерами линз. При этом необходимо было минимизировать aberrации системы и, в первую очередь, дисторсию (так как установка предназначена для контроля качества микроструктур) [4—8].

Численное моделирование распределения электрического и магнитного потенциала производилось по стандартной программе "Лаплас". При расчете траекторий система дифференциальных уравнений траекторий решалась методом Мерсона. Подбор возбуждения линз и расчет aberrаций производили для восьми режимов увеличения, в том числе для режима наименьшего увеличения, когда включена только объективная линза. Для расширения возможностей установки была заложена возможность максимального увеличения.

Согласно расчетам, апертурный угол в области мнимого изображения, создаваемого ускоряющим промежутком иммерсионного объектива, равен $6 \cdot 10^{-3}$ рад. Расчет аббераций производился с учетом расположения апертурной диафрагмы в задней фокальной плоскости иммерсионного объектива.

Расчет вариантов ЭОС производился с использованием специально разработанного программного обеспечения в два этапа: на первом — рассчитывались электронно-оптические свойства иммерсионного участка оптики и оценивались абберации формируемого и мнимого изображений в зависимости от геометрии этого участка, на втором — рассчитывались оптические свойства системы магнитных линз, формирующих увеличение изображения объекта при различных режимах возбуждения линз, различных параметрах формы полюсных наконечников и различных расстояниях между линзами. На основании проведенных расчетов была выбрана геометрия ЭОС. Расстояние объект — анод выбрано равным 4 мм. Расчетное разрешение ЭОС не хуже 50 нм (табл. 1).

Таблица 1

Номер линзы	D , мм	S , мм	Z , мм
L_1	10	20	38
L_2	15	7,5	188
L_3	25	12,5	268
L_4	35	17,5	398

Примечание. D — диаметр канала в полюсном наконечнике; S — зазор между башмаками полюсного наконечника; Z — расстояние центра линзы от объекта

Для выбранной конфигурации ЭОС при фиксированных увеличениях моделировались различные режимы возбуждения линз в целях снижения дисторсии увеличивающей системы. В табл. 2 приведены режимы, обеспечивающие достаточно малую дисторсию.

Таблица 2

Показатели	Увеличение M						
	20	50	100	200	500	1000	2000
$\Delta r/r$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$9,7 \cdot 10^{-3}$
IW1	775	840	840	840	840	840	840
IW2	—	700	1000	1500	1050	2300	924
IW3	—	—	—	—	2300	1500	2300
IW4	—	—	—	—	—	—	2300

Примечание. IW — ампер-витки соответствующей линзы; $\Delta r/r$ — относительная величина дисторсии.

В целях минимизации аббераций выбрана седлообразная конструкция системы отклонения пучка с учетом раскрытия $\mu_0 = 60^\circ$.

Для коррекции астигматизма объектива был рассчитан стигматор с электрическим разворотом в плоскости коррекции астигматизма. Стигматор выполнен в виде двух независимо питаемых квадрупольных линз, развернутых на угол 45° .

Двухкоординатная юстирующая система установки должна обеспечивать электрическую юстировку линз при смещении их осей до 0,2 мм. По кон-

структивным соображениям расстояние между этапами равно 22 мм. Возбуждение катушек рассчитывалось по формуле и равно 6,3 А·В на две катушки.

В установке предусмотрена возможность получения больших увеличений путем монтажа блока из трех дополнительных линз. Результаты расчета геометрических параметров полюсных наконечников линз, входящих в увеличивающую систему, и режимы работы этих линз приведены в табл. 1 и 2. Стабильность ЭОС в первую очередь определяется стабильностью фокусных расстояний линз. Последние зависят от формы и величины магнитного поля, которые определяются стабильностью тока возбуждения, стабильностью геометрии полюсного наконечника линзы и стабильностью характеристик материала магнитопровода.

Влияние нестабильности возбуждения достаточно просто снижается за счет использования высокостабильного электропитания. Нестабильность геометрии полюсного наконечника возникает из-за изменения температуры линзы и теплового расширения деталей полюсного наконечника. Для обычно используемых конструкций полюсных наконечников относительные изменения фокусного расстояния линзы $\Delta f/f$ при изменении температуры на 1 °С могут варьироваться в пределах $1 \cdot 10^{-5} \div 5 \cdot 10^{-5}$ в зависимости от конструкции полюсного наконечника и режима возбуждения линзы [9].

Нестабильность магнитных свойств материала магнитопровода может возникать вследствие переменных механических нагрузок на магнитопровод (было учтено при конструировании) и из-за изменения температуры магнитопровода, что приводит к изменению магнитной проницаемости материала. Оценка нестабильности фокусного расстояния осесимметричной электромагнитной линзы, выполненной из железа, с воздушным зазором 3 мм, показала, что при изменении температуры магнитопровода на 1 °С нестабильность фокусного расстояния составляет

$$\Delta f/f = 2\Delta B/B = 7,7 \cdot 10^{-5},$$

т. е. не превышает допустимую величину.

Следует отметить, что нестабильность магнитных линз особенно существенна для технологических установок, где длительное время (в течение смены) требуется сохранение стабильных характеристик.

В разработанной конструкции объективной линзы в целях обеспечения температурной стабильности фокусного расстояния она снабжена термоизолированной от корпуса обмоткой возбуждения. Для отвода выделяемого тепла обмотка выполнена на охлаждаемом водой каркасе (авторское свидетельство № 1353216).

Технологическая камера выполнена в виде цилиндрического стакана, снабженного четырьмя симметрично расположенными окнами для ввода УФ-освещения. Окна выполнены из лейкосапфира, прозрачного для ультрафиолета. Симметрично расположенные осветители обеспечивают бестеневое освещение объектов. Для освещения объекта используются два однотипных осветителя, которые могут размещаться на любой паре окон. Источником излучения является кварцевая ртутная лампа сверхвысокого давления. Достоинства лампы: относительно малая энергия фотонов, но вполне достаточная для возбуждения значительного фототока с различных загрязняющих покрытий; малый размер светящейся области и, в связи с этим, высокая яркость свечения.

Это позволяет с помощью линзовой системы (конденсора 2) перенести изображение светящейся области через лейкосапфировое окно на поверхность размещенного в камере образца. Конденсор 2 выполнен из двух плос-

ковыпуклых кварцевых линз, размещенных в тубусе и имеющих возможность перемещаться вдоль оси системы. Моделирование ЭОС установки выполнено по программе "Спектр".

Радиусы кривизны линз равны 72,44 мм, фокусное расстояние системы 88,44 мм, задний отрезок — 83,45 мм. Лампа УФ-осветителя размещена на подвижном основании, позволяющем юстировать ее относительно электронно-оптической системы по координатам. Лампа укрепляется в цанговых зажимах для подвода тока, причем на верхнем зажиме для увеличения светового потока укреплено регулируемое сферическое зеркало, центр которого совпадает с центром разрядного промежутка.

Как показали проведенные нами исследования, размещение УФ-лампы в аксиально осесимметричном магнитном поле существенно улучшает стабильность горения разряда, а также повышает светоотдачу лампы до 1,5 раз при сохранении режима ее эксплуатации. Для создания магнитного поля в осветителе катушка рассчитана на возбуждение 2400 А·В.

Катушка окружена кожухом из магнитомягкого материала, концентрирующим магнитное поле вблизи разрядного промежутка лампы. Для обеспечения нормального температурного режима работы осветителя и, в первую очередь, для охлаждения магнитной катушки каркас катушки и примыкающий к нему кожух охлаждаются проточной водой.

На корпусе камеры укреплен охранный электрод, размещенный вблизи исследуемого объекта и находящийся под тем же потенциалом, что и объект. Охранный электрод должен обеспечивать аксиальную симметрию электрического поля вблизи объекта.

Для повышения производительности установки камера снабжается шлюзовым устройством, рассчитанным на две кассеты с испытуемыми полупроводниковыми пластинами. Шлюзовое устройство представляет собой самостоятельный блок, укрепленный на боковой стенке камеры и соединяемый с камерой окном для подачи кассеты. Окно перекрывается вакуумно-плотным затвором, управляемым вручную. Рукоятка управления затвором снабжена переключателем, блокирующим включение высокого напряжения при открытом затворе. Это исключает возможность поражения оператора высоким напряжением. В шлюзовом устройстве размещается магазин с двумя кассетами, который может перемещаться в вертикальном направлении, что позволяет обеспечить подачу на стол любую из кассет. Подача кассеты осуществляется с помощью штока, который выталкивает кассету из магазина на стол или вытаскивает ее со стола в магазин. Шлюзовое устройство снабжено самостоятельной системой откачки.

Для подачи высокого напряжения на объект в стенке камеры выполнено специальное отверстие для высоковольтного ввода.

Двухкоординатный стол, на котором размещается испытуемое полупроводниковое изделие, приводится в движение двумя шаговыми двигателями ДШИ-200. Пределы перемещения стола по оси X : $-20 \div +60$ мм, по оси Y : $-20 \div +20$ мм. Увеличенный предел перемещения по оси X позволяет вывести стол в положение шлюзования. Подвижные части стола перемещаются по цилиндрическим направляющим, представляющим собой металлические стержни, покрытые фторопластом. Положение одной из направляющих по каждой координате регулируется, что обеспечивает плавное перемещение стола без люфта. На координатном столе размещается цилиндрический высоковольтный изолятор, рассчитанный на напряжение 30 кВ, на котором укреплен держатель кассеты, электрически соединенный с укрепленным на

стенке камеры высоковольтным вводом; устройство для наклона стола объекта в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, обеспечивающее ортогональность плоскости объекта по отношению к оптической оси электронно-оптической системы (ЭОС).

Устройство для наклона выполнено в виде двух сферических сопряженных деталей, причем центр сферы совпадает с точкой пересечения плоскости объекта с осью ЭОС. Наклон осуществляется без нарушения вакуума. Устройство для наклона размещено на независимом от дна камеры основании, что должно повысить стабильность работы прибора и исключить деастировку прибора при изменении атмосферного давления.

Фотодатчики, которые должны выдавать информацию о положении стола в камере: четыре фотодатчика дают информацию о выходе стола за пределы диапазона рабочего перемещения (по координатам $\pm x$, $\pm y$), а пятый — информацию о совмещении направляющих кассетодержателя с направляющими шлюзового устройства, что позволит перемещать кассету с объектом из шлюза на стол и обратно.

Устройство управления обеспечивает электронную редукцию, соответствующую 1/4 шага двигателя ДШИ-200. В результате электронной редукции двигатель должен делать за один оборот не 200 шагов, как предусмотрено техническими характеристиками на двигатель, а 800 шагов. При этом единственный шаг двигателя составляет 27 угл. мин. Так как механический привод стола состоит из винтовой пары, связанной с осью двигателя (шаг винтовой пары 0,8 мм), то стол за один шаг двигателя будет линейно передвигаться на 10^{-3} мм.

Дополнительная статическая погрешность уменьшенного шага двигателя будет зависеть от точности и стабильности отношений управляющих напряжений, подаваемых на соответствующие фазные обмотки двигателя, и сможет достигать в наихудшем случае $\pm 13,5$ угл. мин, что соответствует линейному перемещению стола $\pm 0,5 \cdot 10^{-3}$ мм.

При работе устройства управления в ручном режиме предусмотрены два диапазона скоростей и их плавная регулировка внутри каждого диапазона (один диапазон — 1—20 мкм/с, другой — 20—800 мкм/с), направление движения стола будет определяться кнопками $\rightarrow X$ и $\leftarrow X$, соответственно, $\rightarrow Y$ или $\leftarrow Y$.

Предусматривается возможность перехода к работе в автоматическом режиме.

Основные технические характеристики установки

Основными техническими характеристиками установки фотоэмиссионного и экзоэмиссионного контроля поверхности подложек и качества микроструктур микрофотоприемников являются: чувствительность к обнаружению чужеродных атомов на подложке, 1 монослой; мощность УФ-осветителя — 100 Вт; диаметр объекта исследования — до 40 мм; предельное остаточное давление в рабочей камере — $8 \cdot 10^{-4}$ Па; ускоряющее напряжение электронного пучка — 30 кВ; потребляемая мощность — 5 кВт; габаритные размеры 2,5x2x1,8 м; зона обслуживания — 30 м².

Литература

1. Ямamoto С., Июкогава Г. Комбинированный экзоэлектронно-растровый электронный микроскоп//Приборы для научных исследований, 1985. № 10. С. 84.
2. Tonner В. Р., Harp G. R.//Photoelectron microscopy with synchrotron radiation, 1988. V. 59. № 6. P. 853—858.

3. Rotemund H. H. Ertg W.//Sesselmann, Scanning photoelectron microscopy, Surface Sci. 1989. V. 217, № 3. P. 283—390.
4. Численные методы оптимизации эмиссионных электронно-оптических систем//Изд. АН СССР. Сиб. отд./Под ред. Ю. А. Березина, 1987. — 190 с.
5. Глазер В. Основы электронной оптики. — М.: ТТЛ, 1957. — 764 с.
6. Васичев Б. Н., Розенфельд Л. Б., Михальцов Е. П. Методика аппроксимации осесимметричных электрических и магнитных полей и их производных при электронно-оптических расчетах//Изв. АН СССР. Сер. физич. 1988. V. 52. № 7. С. 1269—1272.
7. Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. — М.: Наука, 1987. С. 240.
8. Hawkes P. W. Magnetic electron lenses, Topics in current physics. Berlin — Heidelberg — New-York. Springer Verlag, 1982. 18.
9. Васичев Б. Н., Розенфельд Л. Б., Оникшенко А. О., Левкина С. И. Исследование параметров термостабилизированной магнитной линзы//Изв. АН СССР. 1988. № 52. С. 1411—1416.

Device for the in-process checks behind surface quality of substructures and thin films of microstructures of microelectronic wares in manufacturing process

B. N. Vasichev, E. E. Chernova-Stoljarova, L. B. Rozenfeld

Moscow State Institute of Electronics and Mathematicians (Technical university), Moscow, Russia

The opportunities of a method of the photoemissive and exoemissive check of microelectronic wares under production conditions are surveyed. The construction of equipment intended for in-process quality control of surfaces of substructures and films of microstructures in industrial semiconductor engineerings is submitted.