

гона ротора ШД, имеет место стремящийся к бесконечности максимум первой производной от ускорения, что характерно для удара.

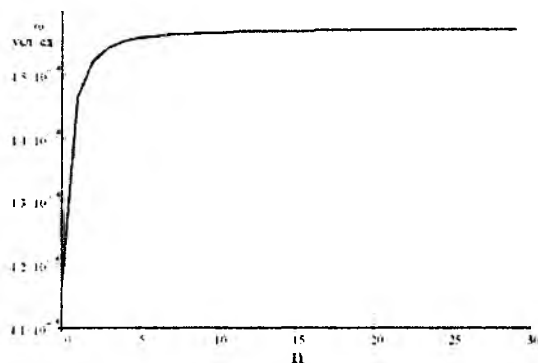


Рисунок 1 – Изменение ускорения ротора ШД (в условных единицах) при использовании аппроксимирующего выражения

Проинтегрировав полученные на первом и втором этапах моделирования зависимости углового ускорения от номера шага, можно получить графики изменения угловой скорости ротора ШД в процессе разгона. Результаты такого интегрирования приведены на рисунке 2. Пунктирной линией показан график изменения угловой скорости при использовании точного выражения (10) для первого шага и аппроксимирующего (9) для остальных, сплошной линией – при использовании только аппроксимирующего выражения (9). Видно, что в первом случае на первых шагах достигаются более высокие угло-

вые скорости, т.е. разгон идет быстрее, однако затем графики сближаются и после 25-го шага оба закона управления обеспечивают одинаковые значения угловой скорости.

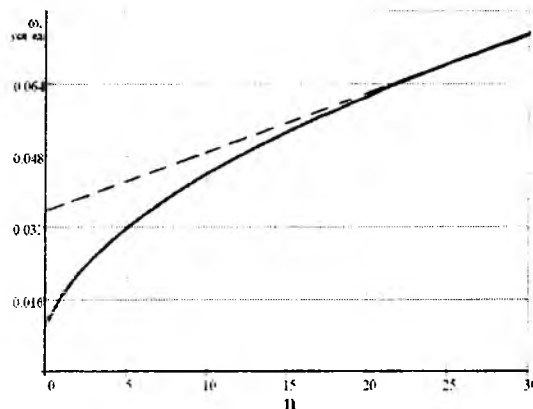


Рисунок 2 – Изменение скорости вращения ротора ШД (в условных единицах) при использовании аппроксимирующего (сплошная линия) и уточненного (пунктирная линия) выражений.

Таким образом, использование уточненного выражения (10) вместо приближенного (9) позволяет сократить время достижения требуемой угловой скорости только при коротком, менее 25 шагов, разгоне ШД, при этом в начале движения будет иметь место удар. Во всех остальных случаях предпочтительным, в том числе и по времени разгона, является использование только аппроксимирующего выражения (9).

УДК 621.382

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРЕЦИЗИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ КРП

Воробей Р.И., Гусев О.К., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Жарин А.Л., Дубаневич А.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Одним из способов контроля качества прецизионных поверхностей, в том числе композитных материалов и микроструктур, поверхностей изделий под защитными диэлектрическими покрытиями, является получение и анализ пространственного распределения электрического потенциала. Однако практическое применение этого метода связано с рядом трудностей. Любые локальные неоднородности и изменения в материале проявляются в виде соответствующих изменений распределения электрического потенциала поверхности. Относительная легкость изменения величины поверхностного потенциала и проявление в этих изменениях практически любых физико-химических процессов на поверхности делает необходимым учет при анализе результатов измерений предыстории ("биографии") исследуемых объектов контроля.

Поверхность объектов контроля всегда пространственно неоднородна, что неизбежно проявляется и в неоднородном распределении электрического потенциала поверхности. Электрическое зарядное покрытие поверхности изделия с защитными диэлектрическими покрытиями приводит к приобретению поверхностью значительного электрического потенциала, что не позволяет использовать измерительный преобразователь с обратной связью и регистрацией компенсирующего напряжения.

Применение метода зонда Кельвина позволяет обнаруживать и измерять параметры пространственного распределения электрического потенциала поверхности объекта контроля, связанные с неоднородностью распределения структурных образований, обнаружения областей с механическими напряжениями, контроля компо-

зитных материалов и структур, обладающих электрической проводимостью. При этом, на величину регистрируемых изменений работы выхода электрона оказывают влияние различные факторы, и измерения носят характер многопараметрических измерений в условиях недостаточности информации о свойствах приповерхностных слоев и природе дефектов с использованием одного измерительного сигнала. Принцип многопараметрических измерений применительно к односигнальной измерительной модели позволяет реализовать контроль изделий в условиях недостаточности информации о свойствах объекта контроля и, например, может быть реализован на основе полунатурной схемы контроля. Схема измерений с использованием компьютерных моделей объекта контроля приведена на рисунке 1. Связь устройства измерения с зашещающей изделие моделью обеспечивается сопрягающими устройствами ввода-вывода и исполнительными подсистемами.

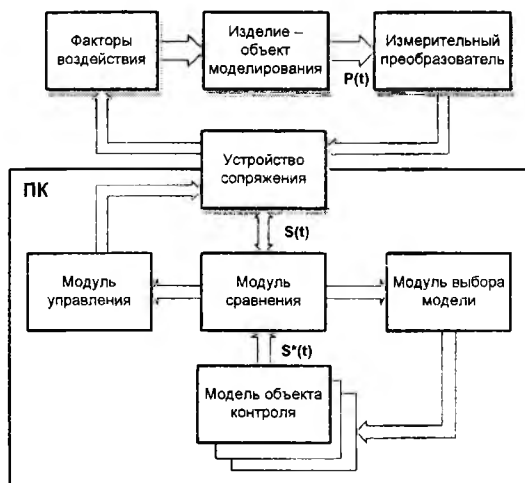


Рисунок 1 – Полунатурная схема измерения.

Модель объекта контроля представлена физико-математической моделью, реализуемой через устройства сопряжения как объект пакета прикладных программ ЭВМ. В процессе контроля изделия его реакция $P(t)$ на входные воздействующие факторы в форме сигнала $S(t)$ сравнивается с образом сигнала $S^*(t)$, сгенерированного моделью. Прикладная программа производит подгонку параметров модели при выбранной совокупности входных воздействий до тех пор, пока разность между сигналом и его образом не станет меньше допустимой погрешности измерения, т.е. параметры, сгенерированные моделью станут соответствовать действительным параметрам изделия. Из-за различий физических свойств приповерхностных слоев различных изделий или их частей, необходимо использовать несколько моделей, соответствующих своим типам поверхности. Важной задачей при разработке методики контроля конкретных типов из-

делий является разработка адекватных моделей поверхности объектов контроля и алгоритма выбора модели. Обобщенный алгоритм измерения с использованием односигнальной модели измерения и полунатурной схемы представлен на рисунке 2. В процессе измерения параметров пространственного распределения электрического потенциала производится двух координатное механическое сканирование отсчетного электрода над рабочей стороной объекта контроля с межэлектродным зазором около 0,1...0,5 мм. Ввод массива данных в персональный компьютер (ПК) и его дальнейшая обработка соответствующими программами позволяют получать восстановленное изображение распределения электрического потенциала или степени электрической заряженности поверхности контролируемого изделия в процессе обработки поверхности коронным разрядом. В качестве основного дополнительного воздействия используется освещение приповерхностной области полупроводниковых структур с различными длинами волн.

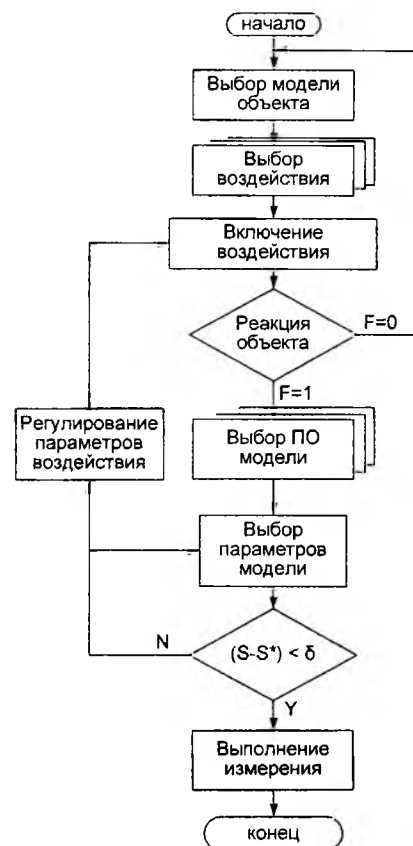


Рисунок 2 – Обобщенный алгоритм измерения.

Для контроля изделий с прецизионными поверхностями различной физической природы в реализации полунатурной схемы измерений разработаны соответствующие физические и математические модели. Выбор одной или последовательно нескольких моделей для caracteriza-

ции объекта контроля производится оператором на основе анализа соответствия реакции объекта контроля и модели. Однако при вычленинии ряда факторов, определяющих выбор модели, оптимальной последовательности формирования внешних факторов, объединения процедур обработки измерительных данных и процедур анализа параметров моделей в одной программе, возможна реализация автоматического режима. В зависимости от реакции объекта контроля на тот или иной фактор подключается соответствующая модель, затем проводятся измерения для выбранной области поверхности изделия. По полученным результатам можно судить о состоянии поверхности изделия.

Например, возможен следующий алгоритм процедуры измерения. При наличии фото-ЭДС на поверхности объекта после воздействия на него подсветки выбирается модель поверхности полупроводника. Анализ разности темнового и светового значений позволяет контролировать тип обработки поверхности (природу загрязнений), определять качество обработки поверхности по степени ее однородности, а также возможна локализация загрязнений и структурных несовершенств. Нанесение заряда коронным электродом дает возможность разделить изделия без диэлектрического покрытия и с покрытием, следовательно выбрать соответствующую модель, и получить дополнительную информацию о поверхностных состояниях объекта контроля. По параметрам стекания заряда можно определить качество диэлектрика структуры окисел-полупроводник, толщину и заряд диэлектрика, его

целостность, а также время рекомбинации и генерации, длину диффузии неосновных носителей, определить концентрацию легирующей примеси в приповерхностных областях полупроводника. При обнаружении зависимости измеряемого значения компенсирующего напряжения от межэлектродного зазора вид дистанционной зависимости позволяет определить наличие неоднородности в распределении поверхностного потенциала под отсчетным электродом и характер микронеоднородности. Крутизна наблюдаемой дистанционной зависимости определяет тип пространственного распределения электрического потенциала на микроучастках и, соответственно, тип пространственного распределения структурных дефектов. Для однородной поверхности измеряемый потенциал при изменении межэлектродного зазора не изменяется.

В процессе развития знаний о процессах в приповерхностных слоях при уточнении моделей соответствующих поверхностей, совершенствовании методик контроля, а также введении новых факторов воздействия на поверхность исследуемого объекта каждую ветвь алгоритма можно дополнительно разбивать на другие ветви.

Таким образом, при контроле изделий с прецизионными поверхностями, характеризующимися близким к совершенному состоянию структуры приповерхностных слоев и ограниченным перечнем измерительных сигналов, возможно применение полунатурной схемы измерения, когда часть информации об объекте контроля заменяется его моделью.

УДК 681

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С РАСШИРЕННЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С ГЛУБОКИМИ ПРИМЕСЯМИ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Тявловский К.Л., Свистун А.И., Шадурская Л.И., Яржембицкая Н.В.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Во многих применениях полупроводниковых фотоприёмников, например, технике формирования изображений с высоким контрастом, спектрофотометрии слабых навигационных звезд, метрологии слабых оптических излучений и т.д., требуется формировать измерительный сигнал в широком диапазоне яркостей в условиях существования высокяркостных помех. Высокий абсолютный контраст изображения характерен для сцен, содержащих темные объекты и встречную (контровую) засветку [1]. Использование обычных фотоприёмников с недостаточно широким динамическим диапазоном чувствительности не позволяет получить корректный отклик фотосигнала при наблюдении объектов с большими контрастами яркостей (освещенностей). Задача расширения динамического диапазона

актуальна также и для фотоприёмников, работающих в режиме накопления заряда, например, в фотоприёмных ПЗС-матрицах.

Воздействие на фотоприемник системы видения высоких уровней освещенностей приводит к выходу его передаточной характеристики на насыщение, таким образом, система видения оказывается неспособной сформировать изображение, адекватное наблюдаемой сцене или выделить сигнал слабой навигационной звезды на фоне засветки от бликов края бленды объектива и отражений от конструкций космического аппарата.

Получение высококачественных изображений объектов с резким отличием по контрасту, наблюдаемых в одном кадре, является актуальной технической задачей, которая решается раз-