

Системы оптической оцифровки находят следующее применение: оцифровка и измерение объектов, контроль качества в процессе изготовления деталей, контроль оснастки. Также система позволяет обмениваться данными напрямую со станками с ЧПУ и выполнять обратный инжиниринг в соответствии с полученными данными. Это позволяет существенно ускорить и удешевить производство изделий с частой сменяемостью формы.

Рассматриваемые автоматизированные средства контроля позволяют получить с высокой точностью информацию о проверяемых параметрах объекта, тем не менее, система оптического сканирования ATOS дает наиболее полные и к тому же легко воспринимаемые результаты измерения.

Технологические измерения являются существенной частью информационных технологий, используемых в машиностроении и приборостроении. Связь технологии и информатики и их влияние на проектирование процедур контроля особенно ярко проявляется в отношении измерения геометрических параметров деталей в связи с тем, что:

– методика проведения измерений любых геометрических параметров позволяет использовать общую информационную базу об интересующем нас объекте – координатах отдельных точек поверхностей деталей, на основе которых создаются метрологические модели размерных элементов поверхностей;

– в качестве средства измерения используются координатно-измерительные системы различной конфигурации, производительности, точности и степени автоматизации;

– универсальность использования, родство используемых метрологических моделей для контроля деталей с информационно-программными пакетами, применяемых в CAD/CAM технологиях, способствуют развитию и распространению измерительно-вычислительных систем.

УДК 621.382

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ЕГО СТРУКТУРЫ

Студентка гр. 11305122 Лужинская А. И.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Бумай Ю. А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Метод основан на исследовании переходных электрических процессов при пропускании через мощный полупроводниковый прибор прямоугольных импульсов тока, обеспечивающих его разогрев. Измеряется прямое напряжение смещения на переходе (металл–полупроводник, полупроводник–полупроводник). Затем напряжение с помощью заранее определенного температурного коэффициента напряжения пересчитывается в зависимость температуры от времени. Данная зависимость определяется прохождением теплового потока через всю структуру прибора, поэтому дает возможность получения информации о тепловых сопротивлениях составляющих прибор слоев. Из зависимости температуры перехода времени предварительно находится дифференциальный спектр теплового сопротивления  $R_{th}$  прибора, значения тепловой емкости  $C_{th}$  и постоянной времени тепловой релаксации  $\tau$  для элементов структуры прибора. Дифференциальный спектр определяется на основе производных высшего порядка динамического (зависящего от времени) теплового импеданса и соответствует модели Фостера. Затем он перестраивается в дискретный спектр, соответствующий модели Кауера. Непрерывный спектр используется для уточнения компонентов теплового сопротивления и остальных параметров рамках электротепловой модели Фостера и дискретный – более физически точной модели Кауера. Метод также позволяет оценить также сечение теплового потока при прохождении через элементы структуры прибора. Метод наиболее эффективен при анализе слоя посадки полупроводникового кристалла (с помощью эвтектики, припоя, с термокомпенсатором или без) на теплоотводящее основание, а также всего термодизайна, включая радиатор. Изменение теплового сопротивления связано с развитием дефектов пайки – пустот и неприпаянных областей, которые анализируются при помощи термоударов (циклических изменений температуры от высоких до низких) при которых происходит развитие дефектов посадки.

Существует аналогичный метод, основанный на переходных процессах и разработанный фирмой MicRed. В основе этого метода также лежит измерение временной зависимости теплового импеданса прибора (рассчитанного из изменения его прямого смещения) и построение кумулятивной и дифференциальной структурных функций (зависимостей теплоемкости и производной от нее от теплового сопротивления по структуре, соответственно). Зависимость релаксации динамического теплового импеданса представляет спектр постоянных времени, соответствующих элементам структуры приборов, по которым распространяется тепловой поток. Структурные функции такой зависимости рассчитываются посредством алгоритма деконволюции спектра постоянной времени в частотную область с фильтрацией на основе алгоритма Ферми-Дирака (стандарт JESD51-140). Затем из их анализа определяется эквивалентная электротепловая модель прибора в рамках схемы Кауера. Данный метод основан на сложных многоступенчатых преобразованиях, что приводит к накоплению систематических ошибок и, как следствие, потере точности.

Разработанный в БНТУ метод обладает рядом преимуществ перед другими методами измерения тепловых характеристик приборов, в частности стационарных, а также MicRed:

- является неразрушающим, а также экспрессным (быстрым);
- является более точным;
- позволяет определить внутреннее (зависящее от путей прохождения теплового потока по элементам прибора) и внешнее тепловое сопротивление приборов (переход–внешняя среда);
- позволяет оценить сечение теплового потока в разных слоях устройства и внешнего теплопровода;
- использование больших импульсных токов, близких к предельно допустимым, позволяет выявлять ненадежные приборы, т.е., например, обнаружить области шнурования тока;
- метод также позволяет на основе разности температурных зависимостей определить эволюцию малых изменений тепловых параметров при термоиспытаниях.

УДК 531.756

### ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПИКНОМЕТРА

Студенты гр. 11305122 Лужинская А. И., Грибкова В. К., Новикова М. В.

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Романчук В. М.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Цель данной работы – разработать методику расчета неопределенности измерений с помощью пикнометра. Плотность является одним из основных показателей, с помощью которого определяют качество жидких веществ на предприятиях самых разных отраслей промышленности. Пикнометрический метод используется в нефтегазовой промышленности, в пищевой промышленности, в электрохимии, в химической промышленности, в фармацевтике [1]. Определение плотности жидкостей пикнометром основано на измерении отношения массы определенного объема исследуемого вещества к массе дистиллированной воды, взятой в таком же объеме. Формула для расчета относительной плотности имеет вид:

$$d = \frac{m_3 - m_2}{m_2 - m_1}, \quad (1)$$

где  $d$  – относительная плотность;  $m_1$  – масса пикнометра;  $m_2$  – масса пикнометра с водой;  $m_3$  – масса пикнометра с жидкостью.

Для вычисления неопределенности измерений относительной плотности с помощью пикнометра воспользуемся формулой [2]:

$$u_d = \sqrt{\left(\frac{dd}{dm_3}\right)^2 u_{m_3}^2 + \left(\frac{dd}{dm_2}\right)^2 u_{m_2}^2 + \left(\frac{dd}{dm_1}\right)^2 u_{m_1}^2}. \quad (2)$$

Чистый сухой пикнометр взвешивают на аналитических весах. Затем заполняют его дистиллированной водой немного выше метки, закрывают пробкой и помещают в термостат. После 20-минутной выдержки в термостате при температуре  $20 \pm 0,1$  с уровень воды в