Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский государственный университет информатики и

радиоэлектроники

кафедра РЭС

РЕФЕРАТ

на тему:

«Электромагнитные и тепловые методы контроля РЭСИ»

МИНСК, 2008

**Электромагнитные методы**

Электромагнитные методы неразрушающего контроля основаны на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в контролируемом объекте. К особенностям вихретокового метода неразрушающего кон­троля относят:

- электрическую природу сигнала и быстродействие, что позволяет легко ав­томатизировать контроль;

- значительную скорость и простоту контроля;

- отсутствие необходимости электрического и даже механического контакта преобразователя с контролируемым объектом;

- возможность контроля слоев металла небольшой толщины, а также быстро движущихся изделий.

Существуют три основных метода возбуждения вихревых токов в объекте:

- помещение изделия в катушку (метод проходной катушки);

- накладывание катушки на изделие (метод накладной катушки);

-помещение изделия между первичной и вторичной катушками (экранный метод).

При пропускании через катушку переменного тока определенной частоты магнитное поле этой катушки изменяет свой знак с той же частотой. Если поме­стить изделие в поле этой катушки, то в нем возбуждаются вихревые токи, поле которых оказывает действие на поле возбуждающей катушки.

Существует несколько методов вихретокового контроля (ГОСТ 18353-79): амплитудный, фазовый, частотный, многочастотный.

Наибольшее применение нашли амплитудный и частотный методы.

Амплитудный метод применяют при наличии двух изменяющихся факторов, например, одновременном изменении зазора и электрической проводимости, один из которых нужно исключить. Такое исключение осуществляется фазовой настройкой.

Частотный метод часто используют, например, при измерении толщины сте­нок труб, когда необходимо отстроишься от измерения наружного диамера или электрической проводимости.

По чувствительности к трещинам вихретоковая дефектоскопия уступает маг­нитной. Выпускаемые отечественные электроиндуктивные дефектоскопы типа ДНМ-500, ДНМ-2000 с динамическим модуляционным методом регистрации, в которых накладная катушка вращается вокруг контролируемого изделия, позво­ляют получить сигнал большой амплитуды и выявить дефект с наименьшим полем рассеяния.

Указанные приборы применяют для выявления трещин протяженностью до 0,8 мм и глубиной > 0,1 мм в поверхностных слоях деталей под слоем краски и эмали, а также изделий из жаропрочных и коррозионностойких сталей.

Широкое распространение получили дефектоскопы многоцелевого назначе­ния типа ЭМИД. Эти приборы комплектуются набором проходных катушек - датчиков с внутренним диаметром от 5 до 100 мм, что позволяет контролировать многие изделия.

Например, для контроля труб, прутков, проволоки на наличие трещин, рако­вин, успешно применяется прибор ЭМИР-2М, в котором дефекты регистриру­ются визуально по изменениям фазы или амплитуды кривой на экране осцил­лографа, а также автоматически при наличии автоматической приставки. Ши­роко используют также дефектоскопы типа АСК-10(12), ИОС-1, ВК-ЗОС, ВД-20П, ИПП-1М, «Магнитоскоп» и др.

**Тепловые методы**

Тепловые методы неразрушающего контроля используют при исследовании теп­ловых процессов в РЭС, причем в большинстве случаев регистрируют поверхнос­тное тепловое или температурное поле объекта контроля, в пространственно-вре­менной структуре которого содержатся «отпечатки» внутренних геометрических или теплофизических аномалий Согласно ГОСТ 23483-79 методы тепло­вого контроля (ТК) основаны на взаимодействии теплового поля объекта с термо­метрическими чувствительными элементами (термопарой, фотоприемником, жид­кокристаллическим термоиндикатором и т.д.), преобразовании параметров поля (интенсивности, температурного градиента, контраста, лучистости и др.) в элект­рический или другой сигнал и передаче его на регистрирующий прибор.

Необходимое условие применения ТК - отличие интегральной или локальной температуры изделий от температуры окружающей среды, которое создается либо искусственно с помощью внешних источников теплового нагружения (ИТН), либо в силу естественных причин при изготовлении или функционировании изделий.

Таблица 1

Основные объекты ТК в радиоэлектронике.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Объекты ТК | Дефекты | Примечание |
| Полупроводниковые изделия (транзисто­ры, диоды, тиристо­ры) | Дефекты p-n-перехода (по­верхностная деградация, электромиграция, межме­таллические соединения); неравномерная плотность тока; трещины, газовые пузыри между кристаллом и основанием, неоднород­ность состава исходного материала; дефекты тепло-отвода, диффузионной сварки; повреждения кри­сталла; обрыв проводов и короткие замыкания. | При интегральном спосо­бе ТК измеряют тепловое сопротивление. Наиболее перспективно импульсное питание, при котором определяют время тепло­вой устойчивости и пере­ходную тепловую харак­теристику. Исследование температурных рельефов и двухмерных теплограмм позволяет локализовать дефекты. |
| Интегральные схемы | Дефект теплоотвода; обрыв выводов; короткие замыка­ния; некачественная метал­лизация; сколы резистив-ной пленки; плохие адгезия и термокомпрессия; про­бой конденсаторов; объем­ные дефекты полупровод­ника. | Разрешение по площади составляет 20..50 мкм. Контроль проводят с по­мощью автоматизирован­ных систем, измеряя температуру в 50.. 10 точ­ках интегральной схемы при снятой крышке. |
| Многослойные пе­чатные платы | Утонение и коррозионный износ проводников; нека­чественная металлизация; отслоение проводников. | Используют импульсный нагрев электрическим током. Температурное поле имеет сложный вид и требует наличие этало­нов. |
| Резисторы | Локальное уплотнение; непроводящие включения; трещины. | Размер обнаруживаемого дефекта 15x15 мкм. |
| Конденсаторы | Пробой электролитических конденсаторов; замыкание слоев конденсаторов в микросхемах. | ТК осложнен небольшим излучением энергии и низким коэффициентом излучения. |
| Сборочные единицы и блоки радиоэлек­тронных средств | Неправильное включение элемента в схему; некаче­ствен-ный монтаж; неудач­ное размещение элементов на плате. | ТК рекомендуется при проектировании, изго­товлении и функциони­ровании узлов. Наиболее эффективен ТК при мас­совом производстве од­нотипных узлов. Разре­шение по площади - от долей миллиметра до не­скольких сантиметров. В основе отбраковки операторное или автома­тическое сравнение те­кущей термограммы с эталонной. Оптимизацию проводят путем выбора контрольных точек и тес­тового воздействия. |
| Проволока | Утонение; трещины | Используют контактный электронагрев и бескон­тактный СВЧ-нагрев. Скорость контроля до 4 м/мин. Способ чувстви­тельности к изменению проволоки от 20 до 30 мкм. |
| Катодные узлы | Неравномерность покрытия | Повышение температуры на 50..60 К уменьшает долговечность катода на порядок. Используют градуированные кривые. |
| Высокотемпературные и пленочные покры­тия | Отслоение от подложки, неравномерность покрытия | Наиболее чувствителен нестационарный ТК. |
| Контроль сварки вы­водов интегральной схемы с контактными площадками микро-плат. | Непроваривание выводов. | При стандартном точеч­ном воздействии темпе­ратурный отклик безде­фектного соединения лежит в определенном интервале. |

С помощью методов ТК можно проводить анализ теплового режима элект­ронных схем, контроль измерения параметров цепей, качества элементов, авто­матический поиск неисправностей в РЭС.

Терминология ТК определена ГОСТ 18353-79, а классификация методов ус­тановлена ГОСТ 23483-79. Для ТК применяют пассивные и активные методы.

При пассивном ТК объекты испытаний не подвергают воздействию от внеш­него источника, и в местах потенциальных дефектов механических соединений токоведущих элементов путем опрессовки, скрутки, пайки и сварки возникает дополнительное электрическое сопротивление, которое обуславливает нагрев этого участка в соответствии с законом Джоуля - Ленца (рис. 1,а). Пассив­ным способом ТК объекта испытаний, характеризующимся аномальным выде­лением теплоты в месте потенциального дефекта, контролируют сборочные еди­ницы и компоненты радиоэлектронных средств (рис. 1,б).

При активном контроле объект подвергают воздействию от внешнего источ­ника энергии (1) (рис. 1, в). До проведения контроля температура изделия во всех точках одинакова (чаще всего равна температуре окружающей среды). При нагреве изделия, тепловой поток распространяется в глубь изделия, в месте га­зового дефекта испытывает дополнительное тепловое сопротивление. В резуль­тате этого наблюдается локальное повышение температуры на нагреваемой по­верхности, а на противоположной поверхности изделия, в силу закона сохране­ния энергии, знак температурного сигнала инвертируется.

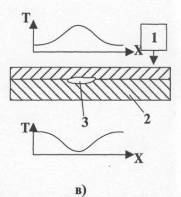
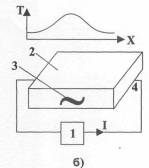
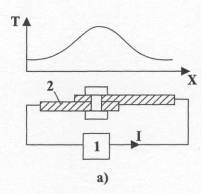


Рисунок 1 – Пассивные (а,б) и активные (в) ТК.

1 - ИТН; 2 - изделие; 3 - дефект.

Пассивный контроль в общем случае предназначен:

- для контроля теплового режима объектов контроля;

- для обнаружения отклонений от заданной формы и геометрических разме­ ров объектов контроля.

Активный контроль в общем случае предназначен:

- для обнаружения дефектов типа нарушения сплошности в объектах конт­ роля (трещин, пористости, расслоений, инородных включений);

- для обнаружения изменений в структуре и физико-химических свойствах объектов контроля (неоднородность, теплопроводность структуры, теплоемкость и коэффициент излучения).

Схемы основных методов теплового контроля приведены в таблице 2.

Основные методы пассивного теплового контроля и области их применения приведены в таблице 3.

Основные методы активного теплового контроля и области их применения приведены в таблице 4.

Таблица 2

Основные методы ТК.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Метод контроля | Схема контроля | |
|  | Активного Пассивного | |
| Односторонний |  |  |
| Двухсторонний |  |  |
| Комбинированный |  |  |
| Синхронный |  |  |
| Несинхронный |  |  |

Обозначения: 1 – источникнагрева; 2 – объект контроля; 3 – термочувствительный элемент.

Дефекты вызывают значительные перегревы отдельных областей ИМС или всего изделия в целом, что приводит к последующему его отказу. Поэтому контроль реальной картины теплового поля в изделии необходим для успеш­ного конструирования высоконадежных изделий. По времени действия разли­чают непрерывные и импульсные ИТН. Температурные поля регистрируют с помощью контактных (индикаторы на жидких кристаллах, термолюминофо­ры, термометры, термосопротивления и т. д.) и бесконтактных дистанционных ИК( радиометры, тепловизоры).

Критерии дефектности (КД), т.е. измеряемые или рассчитываемые физиче­ские величины, по которым оценивают качество изделий, подразделяют на амплитудные и временные (табл.3.14). В течении долгого времени на практике использовали абсолютную температуру изделия, разность температур дефект­ного и бездефектного участка или эталонного и контролируемого изделий, названную температурным перепадом AT, а также температурный контраст *А*=ДТ/Т. Ввиду того, что указанные амплитудные критерии существенно зави­сят от специфических для ТК помех, в последние годы интенсивно разраба­тывают временные критерии, которые представляют собой некоторое харак­терное время процесса теплопередачи.

Таблица 3 - Методы пассивного ТК.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Название метода | Область применения | Контролируемые параметры | Факторы, ограничивающие область применения | Чувст­витель­ность | Диапазоны контролируе­мых параметров | Быс­тродей­ствие, с | Отно-си-тель-ная пог­реш­ность, % | Примечание |
| Контакт­ные | Контроль температуры твердых, жидких | Температура | Температура объекта, превышающая | 0,001 С | От - 270 до 1500 °С | 0,1 - 1,0 | 0,1 | Для термоэлектри­ческих датчиков |
|  | и газообразных сред, размеров тепловыделяю­щих элементов объектов, дефектов нарушения сплошности | Геометрические размеры и форма объектов | допустимую температуру нагрева датчика; сложная конфигурация изделия; плохой контакт датчика с объектом | 0,02 °С | От-40 до 400 °С | 0,1-1,0 | 1,0 - 5,0 | Для термоиндикаторов |
|  |  | Величина и форма дефектов |  | 0,01 мм | 0,1 – 500,0 мм | 0,1-1,0 | 0,1-1,0 |  |
|  |  |  |  | 0,01 мм | От 0,1 до 100,0 мм и более | 0,1-1,0 |  |  |
| Собст­венного | Контроль температуры, | Коэффициент излучения; | Нестабильность коэффициента | 0,01 °С | -260 °С - 4000 °С | 10-6 | 1,0 – 5,0 | Для фотоэлектрических датчиков |
| излуче­ния | измерение излучательной способности, размерный контроль тепловыделяю­щих элементов, контроль | лучистый поток | излучения во времени и пространстве и наличие подсветки объекта посторонними источниками |  |  | 10-6 | 5,0 | Для тепловых датчиков |

*Продолжение таблицы 3.12*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Название метода | Область применения | Контролируемые параметры | Факторы, ограничивающие область применения | Чувст­витель­ность | Диапазоны контролируе­мых параметров | Быс­тродей­ствие, с | Отно-си-тель-ная пог­реш­ность, % | Примечание |
|  |  | Геометрические размеры и формы объекта |  | 0,01 мм | От 0,01 мм | 10-6 | 0,01 - 1,0 | Для фотоэлектрических датчиков |
|  |  |  |  |  |  | 10-2 |  | Для тепловых датчиков |
|  | дефектов типа нарушения | Величина и форма дефектов |  | 0,01 мм | От 0,1 мм до 100,0 мм и более | 10-6 | 1,0 - 5,0 | Для фотоэлектрических датчиков |

Таблица 4 **–**

Методы активного ТК.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Название метода | Область применения | Контролируемые параметры | Факторы, ограничивающие область применения | Чувстви­тельность | Быстродействие (с) | Погреш­ность,  (%) | | | Примечание |
| Стационарный | Контроль теплофизических свойств изделий с анизотропией теплопроводно-сти; | Теплопроводность теплоемкость | Допустимая температура нагрева объекта, | + 5% | 0,1 - 1,0 | 5,0- 10,0 | | | Для контактных датчиков |
|  |  |  |  |  | 10 - 106 |  | | | Для неконтактных датчиков |
|  | контроль пористости, излучательной | Коэффициент | временная и пространственная | *Amin* = 0,02 | 0,1 - 1,0 | |  | Для контактных датчиков | |
|  | способности объектов | излучения | нестабильность излучения объекта |  | 10-4 – 10-6 | |  | Для неконтактных датчиков | |
| Нестационарный | Контроль теплофизических | Теплопроводность | (при неконтактных методах контроля) |  | 0,1 - 1,0 | |  | Для контактных датчиков | |
|  | свойств материалов |  |  |  | 104 -106 | |  | Для неконтактных датчиков | |
|  | с большой теплопроводностью, динамики нагрева (охлаждения) объектов; контроль дефектов типа нарушения сполшности | Тепловая постоянная времени |  |  | 0,1 - 1,0 | | 5,0- 10,0 | Для контактных датчиков | |
|  | в сотовых и композитных материалах, полимерах; контроль тепловых деформаций | Размер дефектов |  | Порядка М=1-3 | Время задержки 0,1 - 1,0  ДЛЯ  металлов и 10-100  для неметаллов | |  | При несинхронном контроле | |
|  |  | Температурная деформация |  | Порядка ОДА, |  | |  | При интерферрационном голографическом методе регистрации | |

Примечание: *h* – глубина залегания; / - раскрыв дефекта; *Amin* – минимальное изменение коэффициента излучения.

Можно отметить следующие основные преимущества теплового контроля:

- дистанционность (для ИК систем);

- высокая скорость обработки информации;

- высокая производительность испытаний, ограниченная скоростью нагре­ ва в активном режиме и скоростью сканирования в пассивном режиме;

- высокое линейное разрешение (до 10 мкм в ИК микроскопии);

- возможность контроля при одно- и двухстороннем подходе к изделию;

- теоретическая возможность контроля практически любых материалов, если теплофизические или спектральные свойства дефектов и материалов раз­личаются;

- практическая целесообразность методов контроля материалов с высокой и низкой теплопроводностью, а также контроля при обилии внешних тепло­вых помех;

- многопараметрический характер испытаний;

- малая зависимость результатов контроля от шероховатости поверхности по сравнению с некоторыми другими видами МНК;

- возможность взаимодополняющего сочетания ТК с другими методиками МНК, особенно радиационными, капиллярными и ультразвуковыми;

- возможность исследования динамических и статистических тепловых процессов, процессов производства, преобразования, передачи, потребления и консервации энергии различных видов;

- возможность прогнозирования тепловой деградации изделий; исследова­ния усталостных и коррозионных процессов;

- совместимость со стандартными системами обработки информации;

- возможность поточного контроля и создания автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами.

Таблица 5

Критерии дефектности и их зависимость от различных факторов.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Критерии дефектности | Влияние темпера­туры нагре­ва (мощно­сти ИТН) | | | Влияние помехи | | |
|  |  | | | Аддитивной | Мультипликативной | |
| Амплитудные | + | | | + |  | |
| 1. Абсолютная температура *Т* или температурный перепад *AT* |  | | |  | + | |
| 2. Температурный контраст *АТ*/*Т* | \_ | | | + |  | |
| Критерии дефектности | | Влияние температуры | Влияние помехи | | | | |
|  | |  | Аддитивной | | | Мультипликативной | |
| 3. Первая производная от температуры на поверхности по толщине изделия | | + | + | | | + | |
| 4. Положение экстремумов первой производной от тем­пературы по поверхностной координате | |  | + | | |  | |
| 5.Форма температурных пе­репадов | | - | + | | | + | |
| Временные | | - | - | | | - | |
| 6.Время достижения относи­тельных уровней температуры | |  |  | | |  | |
| 7. Наличие и время достиже­ния экстремумов первой производной от температур­ного контраста по времени | | - | - | | | - | |
| 8. Время распространения поверхностной изотермы | | - | - | | | - | |

Примечание:

Знак + (-) означает, что помеха оказывает (не оказывает) существенное влияние на КД; принято, что локальное изменение оптических свойств не влияет на темпе­ратуру.

Знак \* свидетельствует об отсутствии исследований.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Глудкин О.П. Методы и устройства испытания РЭС и ЭВС. – М.: Высш. школа., 2001 – 335 с
2. Испытания радиоэлектронной, электронно-вычислительной аппаратуры и испытательное оборудование/ под ред. А.И.Коробова М.: Радио и связь, 2002 – 272 с.
3. Млицкий В.Д., Беглария В.Х., Дубицкий Л.Г. Испытание аппаратуры и средства измерений на воздействие внешних факторов. М.: Машиностроение, 2003 – 567 с
4. Национальная система сертификации Республики Беларусь. Мн.: Госстандарт, 200
5. Федоров В., Сергеев Н., Кондрашин А. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств – Техносфера, 2005. – 504с.