Министерство образования Республики Беларусь

Белорусский государственный университет информатики и

радиоэлектроники

кафедра РЭС

РЕФЕРАТ

на тему:

«Электрические и магнитные методы контроля РЭСИ»

МИНСК, 2008

Электрические методы

Электрические методы неразрушающего контроля (ЭМНК) основаны на созда­нии в контролируемом объекте электрического поля либо непосредственным воздействием на него электрическим возмущением (например, электростати­ческим полем, полем постоянного или переменного тока), либо косвенно с по­мощью воздействия возмущениями неэлектрической природы (например, теп­ловым, механическим и др.). В качестве информативного параметра ис­пользуются электрические параметры объекта контроля (емкость, тангенс угла потерь, проводимость).

Рисунок 1 – Номограмма для определения толщины эпитаксиальной плен­ки (*d*) и концентрации электронов в подложке (*N*) в структуре nn+ GaAs при *л* = 10,6 мкм,

- линии равной концентрации

- линии равной толщины

По назначению ЭМНК делятся по определению исследуемых характери­стик состава и структуры материала на электроемкостные, электропотенциаль­ные и термоэлектрические.

1. *Электроемкостной метод* контроля (ЭМК) предусматривает введение объ­екта контроля или его исследуемого участка в электростатическое поле опре­деление искомых характеристик материала по вызванной им обратной реак­ции на источник этого поля.

Информативность ЭМК определяется зависимостью первичных парамет­ров емкости, тангенса угла потерь от характеристик объекта контроля, (ди­электрической проницаемости и коэффициента диэлектрических потерь (см. рис. 2). Косвенным путем с помощью ЭМК можно определить и другие фи­зические и структурные характеристики материала: плотность, содержание компонентов, механические параметры, радиопрозрачность, толщину, прово­дящие и диэлектрические включения и т.п.

Примеры значений диэлектрической проницаемости и тангенса угла ди­электрических потерь электроизоляционных материалов на высоких частотах 105-108 Гц приведены в приложении.

2. *Электропотенциальные методы*.

Работа электропотенциальных приборов основана на прямом пропускании тока через контролируемый участок и измерении разности потенциалов на определенном участке.

Рисунок 2 – Схема воздействия характеристик объекта

контроля на электриче­ские параметры

При пропускании через электропроводящий объект электрического тока в объекте создается электрическое поле. Геометрическое место точек с одинако­вым потенциалом составляет эквипотенциальные линии (рис. 3). На рисун­ке показано распределение эквипотенциальных линий при отсутствии (рис. 3,а) и наличии дефекта (рис. 3,6). Разность потенциалов зависит от трех факторов: удельной электрической проводимости а, геометрических размеров (например, толщины) и наличия поверхностных трещин. При пропускании переменного тока разность потенциалов будет зависеть и от магнитной про­ницаемости *м*.

Рисунок 3 – Распределение эквипотенциальных линий

В приборах имеется четыре электрода. С помощью двух из них (токопрово-дящих) к контролируемому участку подводится ток, а два других измеритель­ные измеряют разность потенциалов на определенном расстоянии (обычно не более 2 мм), по которой судят о глубине обнаруженной трещины.

Электропотенциальные приборы применяют для измерения толщины сте­нок деталей, для изучения анизотропии электрических и магнитных свойств, обусловленной приложенными к объекту контроля механическими напряже­ниями, но основное назначение этих приборов – измерение глубины трещин, обнаруженных другими методами неразрушающего контроля. Электропотен­циальный метод с использованием четырех электродов, является единствен­ным методом, который позволяет осуществить простое измерение глубины (до 100 - 120 мм ) поверхностных трещин.

В этом смысле характерным представителем таких приборов является при­бор – измеритель глубины трещин типа ИГТ – 10НК позволяющий контроли­ровать глубины трещин от 0,5 до 20 мм в ферромагнитных, аустенитных ста­лях с 10% относительной погрешностью.

Применение измерителей глубины трещин совместно с другими методами, например, магнитопорошковым или капиллярным, позволяет повысить эф­фективность обнаружения трещин.

Помимо контроля трещин электропотенциальные методы используются при контроле удельного сопротивления полупроводниковых структур.

3. *Термоэлектрические методы*.

Приборы неразрушающего контроля, основанные на термоэлектрическом ме­тоде, находят применение при контроле деталей по маркам сталей, при контроле полупроводниковых пластин по типам проводимостей и т.д.

а) Контроль деталей по маркам сталей.

Источником информации о физическом состоянии материала при термо­электрическом методе неразрушающего контроля является термо-ЭДС, возни­кающая в цепи, состоящей из пары электродов (горячего и холодного) и на­личие контролируемого металла или полупроводника.

Обработка информации может проводиться или путем прямого преобразо­вания или дифференцированным методом (рис. 4,а и рис. 4,б).

Сущность работы приборов по схеме прямого преобразования заключается в следующем. Контролируемый образец 1 помещают на площадку холодного электрода 3. К контролируемой поверхности прикасаются горячим электро­дом 2, нагреваемым элементом 4. В месте контакта горячего электрода возникает термо-ЭДС, и ток начинает протекать в цепи, в которую включен индикаторный прибор V.

При работе прибора по дифференцированной схеме к холодным электро­дам, на которых размещены: образец 5 из известной марки стали и контроли­руемая деталь 1, подключен индикаторный прибор V. К этим деталям одно­временно прикасаются горячим электродом - щупом 2 и, наблюдая за показа­ниями индикаторного прибора V, судят о принадлежности контролируемой детали к марке стали образца.

Регистрация результатов контроля возможна тремя способами: по углу от­клонения стрелки индикаторного прибора, по измерению знака термо-ЭДС и по индикации нулевого показания.

В таблице 1. приведены значения термо-ЭДС для некоторых сталей.

Контроль типа проводимости монокристаллических слитков и пластин

Для (кремния или арсенида галлия) *n* – типа горячий токоподвод имеет положительную полярность, а холодный – отрицательную. При нагреве токоподвода скорость электронов в нем становится больше, чем в холодном, по­этому они диффундируют от горячего токоподвода к холодному до тех пор, пока горячий токоподвод, отдавший электроны, не окажется заряженным по­ложительно а холодный токоподвод получивший избыток, зарядится отрица­тельно (рис.5,а) (в кремнии или арсениде галлия), дырки диффундируют от горячего токоподвода к холодному и горячий токоподвод заряжается отрица­тельно (рис.5,б).

Таблица 1

 Значения термо-ЭДС для марок сталей.

|  |  |
| --- | --- |
| Марка стали | Значение термо-ЭДС, мВ |
| 40Х14Н14В2М | 0,30 – 0,38 |
| 10Х18Н10Т | 0,27 – 0,36 |
| ЗОХГСНА | 0,16 – 0,28 |
| 18ХНВА | 0,15 – 0,27 |
| ЗОХГСА | 0,12 – 0,18 |
| ЭИ868 | 0,13 – 0,19 |
| 12ХНЗА | 0,02 – 0,06 |
| 10 | -0,07 – +0,09 |
| 20 | -0,09 – +0,11 |
| 25 | -0,09 – +0,11 |
| 45 | -0,11 – +0,11 |
| 15ХА | -0,17 – +0,11 |
| ЭИ617 | -0,21 – +0,14 |
| 16ХГТА | -0,27 – +0,20 |
| ЭИ617 | -0,28 – +0,23 |
| 16ХГТА | -0,27 – +0,30 |
| ЭИ347 | -0,28 – +0,23 |
| 10X18 | -0,27 – +0,30 |
| Р18 | -0,30 – +0,32 |
| 20X23 | -0,31 – +0,33 |
| 10Х12М | -0,37 – +0,41 |
| 10X12Ф1 | -0,40 – +0,46 |

Рисунок 4 – Схемы контроля путем прямого преобразования (а) и диф-ферен­цированным методом(б)

Рисунок 5 – Контроль типа проводимости полупроводников по знаку термо-ЭДС: а) n-тип; б) р-тип.

Магнитные методы

Методы основаны на взаимодействии магнитного поля с контролируемым объектом.

Контролируемый объект помещается в магнитное поле. Встретив на своем пути препятствия в виде дефектов - (трещин, расслоений, газовых пузырей, раковин и др.) с меньшей магнитной проницаемостью, часть магнитных сило­вых линий выходит на поверхность объекта, образуя вокруг этого дефекта по­ля рассеяния (рис.6). Для регистрации полей рассеяния над дефектами применяют несколько методов: магнитопорошковый; магнитографический и магнитоферрозондовый.

Возможность применения магнитных методов и конкретные параметры контроля изделий зависят от магнитных свойств материала. Если в магнитное поле поместить тело из ферромагнитного материала, то после удаления источ­ника намагничивания тело сохранит некоторую остаточную намагниченность.

Рисунок 6 – Схема магнитного контроля при расположении дефекта поперек (а) и вдоль (б) магнитных силовых линий

1. *Магнитопорошковый метод.*

Магнитопорошковый метод регистрации полей рассеивания при неразрушающем контроле основан на явлении притяжения частиц магнитного порошка в местах вы­хода на поверхность контролируемого изделия магнитного потока, связанного с на­личием нарушений сплошности. В намагниченных изделиях из ферромагнитных материалов нарушения сплошности (дефекты) вызывают перераспределение магнит­ного потока и выход части его на поверхность (магнитный поток дефекта). На по­верхности изделия создаются локальные магнитные полюсы, притягивающие части­цы магнитного порошка, в результате чего место дефекта становится видимым.

Метод служит для выявления дефектов типа тонких поверхностных и под­поверхностных нарушений сплошности: трещин, расслоений, непроваров сварных соединений и т. п.

Метод позволяет контролировать изделия любых размеров и форм если их магнитные свойства дают возможность намагничивания до степени, достаточ­ной для создания магнитного поля дефекта необходимого для притяжения частиц магнитного порошка.

Чувствительность метода определяется магнитными характеристиками ма­териала контролируемого изделия, его формой и размерами, чистотой обра­ботки поверхности, напряженностью намагничивающего поля, способом кон­троля, взаимным направлением намагничивающего поля дефекта, свойствами применяемого магнитного или магнитно- люминесцентного порошка спосо­бом нанесения суспензии (или сухого порошка), а также освещенностью ос­матриваемого участка изделия.

В зависимости от размеров выявляемых поверхностных дефектов устанавли­ваются три условных уровня чувствительности указанные в таблице 2

Таблица 2

Уровни чувствительности магнитопорошковых методов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Условный уровень чувствительности | Ширина выявляемого дефекта, мкм | Минимальная протяженность вы­являемой части дефекта, мкм |
| А | 2,5  | Свыше 0,5 |
| Б | 10,0 | Свыше 0,5 |
| В | 25,0 | Свыше 0,5 |

Магнитопорошковый метод контроля предусматривает следующие техноло­гические операции:

- подготовку изделия к контролю;

- намагничивание изделия;

- нанесение на изделие магнитного порошка или суспензии;

- осмотр изделия;

- разбраковку;

- размагничивание.

Изделия, подаваемые на намагничивающие устройства, должны быть очи­щены от покрытий, мешающих их смачиванию или их намагничиванию (мас­ла, грязь, иногда изоляционные покрытия и т. п.).

В зависимости от магнитных свойств материала, размеров и формы кон­тролируемого изделия, а также оборудования, используемого для намагничи­вания, применяют два способа контроля:

- способ приложенного магнитного поля СПМП;

- способ остаточной намагниченности (СОН).

Контроль СПМП характеризуется образованием валика порошка над дефектом за время действия на контролируемое изделие внешнего магнитного поля. При контроле СПМП намагничивание должно начинаться раньше или одновременно с моментом прекращения полива суспензией или нанесения сухого порошка на контролируемое изделие. Окончание намагничивания должно происходить после прекращения стекания основной массы суспензии с контролируемого участка.

Во избежание перегрева изделия после прекращения нанесения суспензии при длительном времени стекания последней, намагничивающий ток может периодически выключаться. Время действия тока 0,1 - 0,5 с с перерывами между включениями 1 - 2 с.

Осмотр изделия производят по окончании стекания суспензии. В отдель­ных случаях, оговариваемых технической документацией, осмотр изделия мо­жет производиться во время действия намагничивающего тока (поля).

Контроль СОН заключается в предварительном намагничивании контроли­руемого изделия и последующем нанесении на него суспензии или сухого магнитного порошка. Промежуток времени между намагничиванием и ука­занной выше обработкой должен быть не менее 1 ч. При этом оседание по­рошка в зоне дефекта образуется в отсутствии внешнего намагничивающего поля. Наибольшая чувствительность СОН имеет место, когда величина оста­точной индукции в изделии соответствует предельному гистерезисному циклу.

При магнитопорошковом методе контроля применяют три вида намагничи­вания: циркулярное, продольное (полюсное) и комбинированное; Комбинированное намагничивание может быть выполнено только СПМП. Основные способы на­магничивания и схемы их осуществления приведены в табл. 3.

Таблица 3

Способы и схемы намагничивания изделий.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид намагничива­ния (по форме маг­нитного потока) | Способ намагничивания | Схема намагничивания |
|  | Пропосканием тока по всему изделию |  |
|  | Пропускнием тока по контролируемой части изделия |  |
| Циркулярное | С помощью провода с током, помещаемого в отверстие изделия |  |
|  | Путем индуцирования тока в изделии |  |
| Продольное | Постоянным магнитом |  |
| (полюсное) | Электромагнитом |  |
| Продольное (полюсное) | Намагничивающим соленоидом |  |
|  | Пропусканием через изделие электрическо­го и магнитного пото­ка от электромагнита |  |
|  | Пропусканием по из­делию двух (или бо­лее) независимых то­ков во взаимно пер­пендикулярных на­правлениях |  |
| Комбинированное | Путем индуцирования тока в изделии и то­ком, проходящим по проводнику, поме­щенному в отверстии изделия |  |
|  | Пропусканием тока по изделию и при помощи соленоида |  |

В зависимости от ориентации дефектов, подлежащих обнаружению, приме­няют намагничивание в одном, двух или в трех взаимно перпендикулярных на­правлениях (или применяют комбинированное намагничивание).

Нанесение магнитного порошка на контролируемое изделие может произво­диться двумя способами: сухим и мокрым. В первом случае для обнаружения дефектов применяют сухой магнитный порошок, во втором – магнитную сус­пензию (взвесь магнитного порошка в дисперсионной среде). В качестве дис­персионной среды могут применяться вода, масло, керосин, смесь масла с керо­сином и др.

Разбраковка изделий проводится путем визуального осмотра поверхности изделия на наличие отложений магнитного порошка в местах дефектов. При необходимости расшифровка результатов контроля может проводиться с приме­нением оптических средств, тип и увеличение которых устанавливаются техни­ческой документацией на контроль конкретных изделий.

2. *Магнитографический метод*.

Этот метод основан на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами с применением в качестве индикатора ферро­магнитной пленки. В этом методе контролируемый участок объекта намагничи­вают, затем плотно прижимают к нему магнитную ленту аналогичную лентам, применяемым для магнитной звуко- и видеозаписи. Намагниченность ферро­магнитных частиц ленты определяется напряженностью основного магнитного поля и магнитными полями рассеяния над дефектами. Информация о дефекте считывается при помощи магнитографического дефектоскопа, имеющего лен­топротяжное устройство, чувствительную головку типа магнитофонной и осциллографический индикатор. Для воспроизведения записи взаимно перемеща­ют ленту или головку с постоянной скоростью. Возникающий в головке элект­рический сигнал пропорционален величине остаточного магнитного потока от­печатков полей рассеяния дефектов, зафиксированных на ленте.

Отечественные серийные магнитографические дефектоскопы МД-9, МД-11, МКГ имеют электродвигатель, приводящий во вращение барабан с несколь­кими магнитными головками. Головки перемешаются поперек магнитной лен­ты. Электрический сигнал с головки усиливается и подается на электроннолуче­вую трубку. Горизонтальная развертка трубки синхронизирована с вращением магнитных .головок.

Чувствительность магнитографического метода сравнительно высока - на изделиях с ровной поверхностью выявляются дефекты глубиной 0,3 мм при шероховатости поверхности 0,15 мм. Преимущество данного метода - докумен­тальность контроля и возможность количественной оценки. Магнитографичес­кий метод дефектоскопии получил широкое распространение для контроля ка­чества сварного шва, соединений трубопроводов и листовых конструкций.

Магнитоферрозондовый метод. Этот метод основан на выявлении феррозон-довым преобразователем магнитных полей рассеяния над дефектами в намагни­ченном изделии и преобразовании их в электрические сигналы. Содержание метода устанавливается ГОСТ 21104-75.

Феррозонд представляет собой ферритовый или пермаллоевый сердечник длиной не более 2-6 мм с двумя обмотками, из которых первая - возбуждающая, питаемая переменным током от генератора, а вторая - измерительная, дающая информацию о наличии и изменениях внешних магнитных полей. Фер­розондовые преобразователи имеют очень высокую чувствительность (до 10-6 эВ), что позволяет обнаруживать мельчайшие дефекты, способные создать поле рассеяния. Обеспечив перемещение преобразователя по поверхности объекта, осуществляют автоматический или полуавтоматический контроль наличия де­фектов.

В зависимости от магнитных свойств, размеров и формы контролируемого изделия применяют два способа контроля:

- приложенного магнитного поля;

- остаточной намагниченности.

Контроль первым способом осуществляют намагничиванием изделия и од­новременной регистрацией напряженности магнитных полей рассеяния дефек­тов феррозондовым преобразователем в присутствии намагничивающего поля, вторым - после снятия намагничивающего поля.

Для неразрушающего контроля при помощи феррозондов созданы и по­лучают все больше промышленное применение различные дефектоскопы. Используются, например, переносной импульсный феррозондовый дефек­тоскоп ДИФ-1К, позволяющей обнаружить в сталях различные дефекты. При помощи установок ФДУ-1, УФКТ-1, УФСТ-61, МД-10Ф производится авто­матизированный скоростной контроль цилиндрических труб, прутков и дру­гих изделий.

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 2003
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.