© Т.Б. Теплова, А.С. Самерханова 2007

УДК 658.562

Т.Б. Теплова, А.С. Самерханова

ОБЗОР МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ДЕФЕКТНОСТИ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Семинар № 23

Интегральная и функциональная микроэлектроника являются фундаментальной базой развития всех современных систем радиоэлектронной аппаратуры. Они позволяют создавать новый вид аппаратуры - интегральные радиоэлектронные устройства. Микроэлектроника - одно из магистральных направлений в радиоэлектронике, и уровень ее развития в значительной степени определяет уровень научно-технического прогресса страны.

Применяют два основных метода изготовления ИМС - полупроводниковый и пленочный. Первый метод заключается в локальной обработке микроучастков полупроводникового кристалла и придании им свойств, присущих функциям отдельных элементов и их соединений (полупроводниковые интегральные микросхемы). Второй метод основан на использовании послойного нанесения тонких пленок различных материалов на общее основание (подложку) при одновременном формировании на них схемных элементов и их соединений (пленочные интегральные микросхемы). В обоих случаях значение имеет качество обработки поверхности полупроводниковых пластин и подложек.

Подложка (рисунок) - заготовка, предназначенная для нанесения на нее элементов гибридных и пленочных ИМС, межэлементных и (или) межкомпонентных соединений, а также контактных площадок.

В технике ИМС подложки выполняют две функции: 1) являются основанием, на поверхности или в приповерхностном слое которого по заданному топологическому рисунку формируют структуры ИМС; 2) являются элементом конструкции, обеспечивающим практическое применение ИМС в корпусном или бес корпусном исполнении. Размеры подложек выбираются в соответствии со степенью интеграции ИС, их материалы — в соответствии с требованиями, предъявляемыми к электрическим, механическим и термическим свойствам

Лейкосапфировая подложка

подложек.

Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с разработкой и освоением новых материалов и прорывных технологий. Именно материалы стали ключевым звеном, определяющим успех многих инженерных решений при создании сложнейшей электронной аппаратуры.

Для производства подложек интегральных микросхем в нынешнее время наиболее часто применяют следующие материалы:

- боросиликатное стекло;
- алюмооксидная керамика типа «Поликор»;
- кварцевое стекло;
- ситаллы;
- лейкосапфир.

Сравнительный анализ этих материалов позволяет сделать следующие выводы: наиболее перспективным монокристаллическим материалом, идеально отвечающим требованиям, предъявляемым к плоским подложкам является лейкосапфир. Он характеризуется хорошими диэлектрическими свойствами. Комбинация благоприятных химических, электрических, механических, оптических, поверхностных, тепловых свойств и свойства долговечности делает лейкосапфир, предпочтительным материалом для точных систем и составляющих проектов. Но проблема его использования в качестве подложек заключатся в трудности его обработки, связанной с большой твёрдостью монокристаллов лейкосапфира [1].

Качество поверхностного слоя подложек существенно влияет на структурное совершенство эпитаксиального слоя. Наличие дислокаций, микротрещин приводит к образованию дефектов в этих слоях, причем их плотность, как правило, выше, чем в подложках. Дислокации и дефекты упаковки прорастают с подложки и наследуют её отрицательные свойства, ухудшая эксплуатационные свойства микросхем.

Как известно, нарушенный приповерхностный слой полупроводниковых пластин является следствием их механической обработки. Используемые при подготовке пластин методы шлифования, полирования и травления позволяют удалить нарушенный слой.

Наиболее трудно обрабатываемыми для обеспечения геометрической и размерной точности являются поверхности расположенные перпендикулярно к оси кристаллизации при выращивании монокристалла лейкосапфира, обладающие анизотропией в связи с тригональной структурой кристаллической решетки. В указанной плоскости расположены осесимметричные между собой и противоположно направленные друг относительно друга соответственно три оси с «твердым» и три оси с «мягким» направлениями в структуре кристаллической решетки монокристалла.

Традиционными способами обработки лейкосапфира как материла подложек, является:

- шлифование и полирование;
- абразивное полирование;
- химико-механическое полирование;
- ультразвуковой (УЗ) способ обработки.

Традиционные методы обработки поверхностей предусматривают предварительную размерно-регулируемую обработку на двухсторонних торцешлифовальных станках свободным абразивом с получением размерной и геометрической точности в пределах 1–3 мкм.

Последующая доводочная обработка таких поверхностей со съемом припуска до 50 мкм на одну сторону основана на методе безразмерного «истирания кристаллической решетки» в условиях при-

менения «агрессивных» поверхностно-активных веществ для удаления слоев нарушенных предшествующими механическими процессами обработки.

Принципиально новый способ обработки твердых минералов и кристаллов, таких как лейкосапфир, является шлифование в режиме пластичности [2]. Практическая реализация указанной технологии позволит решить проблему автоматизации процессов получения полированных поверхностей с нанометровым рельефом на пластинах из сверхтвердых хрупких материалов, и процессов планаризации многослойных полупроводниковых структур и, при этом, позволит отказаться от трудоемкой технологии химико-механической полировки в агрессивных средах.

Но при любом из вышеперечисленных методов необходимо контролировать качество изготовляемого изделия из лейкосапфира в процессе обработки. Это позволит своевременно обнаружить дефекты, привнесенные в процессе обработки поверхностного слоя, и скрытые природные дефекты, проявившиеся в процессе обработки. А также позволит сделать выводы о целесообразности продолжения обработки данного изделия. Применение контроля качества во время обработки позволит повысить рентабельность производства подложек для микроэлектроники.

Известно, что задачи по обнаружению дефектов решает дефектоскопия. Однако методы дефектоскопии не являются абсолютными, т.к. на результаты контроля влияет множество случайных факторов. Об отсутствии дефектов в изделии можно говорить только с той или иной степенью вероятности. Надёжности контроля способствует его автоматизация, совершенствование методик, а также рациональное сочетание нескольких методов.

Дефекты изменяют физические свойства материала. В основе существующих методов дефектоскопии лежит исследование физических свойств материалов при воздействии на них рентгеновских, инфракрасных, ультрафиолетовых и гамма-лучей, радиоволн, ультразвуковых колебаний, магнитного и электростатического полей и др [3].

Существуют различные способы и методики определения дефектности материалов: рентгенодефектоскопия, гамма-дефектоскопия, радиодефектоскопия, инфракрасная дефектоскопия, магнитная дефектоскопия, термоэлектрическая дефектоскопия, электростатическая дефектоскопия, ультразвуковая дефектоскопия.

Наиболее простым методом дефектоскопии является **визуальный** - невооружённым глазом или с помощью оптических приборов (например, лупы). Минимальный размер дефектов, обнаруживаемых невооружённым глазом, составляет 0,1-0,2 мм, а при использовании оптических систем - десятки мкм. Однако при контроле изделий для микроэлектроники необходимо обнаружить дефекты гораздо меньших размеров.

Рентгенодефектоскопия основана на поглощении рентгеновских лучей, которое зависит от плотности среды и атомного номера элементов, образующих материал среды. Наличие таких дефектов, как трещины, раковины или включения инородного материала, приводит к тому, что проходящие через материал лучи ослабляются в различной степени. Регистрируя распределение интенсивности проходящих лучей, можно определить наличие и расположение различных неоднородностей материала. Недостатком этого метода является сложность его использования при оперативной оценке качества обрабатываемого изделия [5].

Гамма-дефектоскопия имеет те же физические основы, что и рентгенодефектоскопия, но используется излучение гамма-лучей, испускаемых искусственными радиоактивными изотопами различных металлов (кобальта, иридия, европия и др.). Используют энергию излучения от нескольких десятков кэВ до 1-2 МэВ для просвечивания деталей большой толщины. Этот метод имеет существенные преимущества перед рентгенодефектоскопией: аппаратура для гамма-дефектоскопии сравнительно проста, источник излучения компактный, что позволяет обследовать труднодоступные участки изделий. Кроме того, этим методом можно пользоваться, когда применение рентгенодефектоскопии затруднено (например, в полевых условиях). Однако при работе с источниками рентгеновского и гамма-излучений должна быть обеспечена биологическая защита, что делает невозможным постоянное применение этих методов контроля.

Радиодефектоскопия основана на проникающих свойствах радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов (микрорадиоволн), позволяет обнаруживать дефекты главным образом на поверхности изделий обычно из неметаллических материалов. Но при контроле качества изделий для микроэлектроники большое значение имеет ненарушенный подповерхностный слой и отсутствие существенных внутренних дефектов.

Инфракрасная дефектоскопия использует инфракрасные лучи для обнаружения непрозрачных для видимого света включений. Так называемое инфракрасное изображение дефекта получают в проходящем, отражённом или собственном излучении исследуемого изделия. Этим методом контролируют изделия, нагревающиеся в процессе работы. Дефектные участки в изделии изменяют тепловой поток. Поток инфракрасного излучения пропускают через изделие и регистрируют его распределение теплочувствительным приёмником. Неоднородность строения материалов можно исследовать также методом ультрафиолетовой дефектоскопии. Однако этот способ не может быть применен для оперативного контроля за процессом механической обработки пластин из твердых материалов для изготовления подложек, т.к. нагрев обрабатываемого изделия искажает получаемую информацию.

Магнитная дефектоскопия основана на исследовании искажений магнитного поля, возникающих в местах дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов. Чувствительность метода магнитной дефектоскопии зависит от магнитных характеристик материалов, применяемых индикаторов, режимов намагничивания изделий и др.

Термоэлектрическая дефектоскопия основана на измерении электродвижущей силы (термоэдс), возникающей в замкнутой цепи при нагреве места контакта двух разнородных материалов.

Электростатическая дефектоскопия основана на использовании электростатического поля, в которое помещают изделие. Для обнаружения поверхностных трещин в изделиях из неэлектропроводных материалов (фарфора, стекла, пластмасс), а также из металлов, покрытых теми же материалами, изделие опыляют тонким порошком мела из пульверизатора с эбонитовым наконечником (порошковый метод). При этом частицы мела получают положительный заряд. В результате неоднородности электростатического поля частицы мела скапливаются у краёв трещин. Этот метод применяют также для контроля изделий из изоляционных мате-

риалов. Перед опылением их необходимо смочить ионогенной жидкостью. Для постоянного контроля качества изделия при обработке этот способ сложен в применении.

Ультразвуковая дефектоскопия основана на использовании упругих колебаний, главным образом ультразвукового диапазона частот. Нарушения сплошности или однородности среды влияют на распространение упругих волн в изделии или на режим колебаний изделия. При теневом методе ультразвуковые колебания, встретив на своём пути дефект, отражаются в обратном направлении. О наличии дефекта судят по уменьшению энергии ультразвуковых колебаний или по изменению фазы ультразвуковых колебаний, огибающих дефект. Ультразвуковая дефектоскопия, использующая несколько переменных параметров (частотный диапазон, типы волн, режимы излучения, способы осуществления контакта и др.), является одним из наиболее универсальных методов неразрушающего контроля. Недостатком применения этого способа является сложность применения в производственных условиях и микронный порядок толщины обрабатываемой пластины [4].

Таким образом, анализ существующих способов и методик определения дефектности материалов не дает однозначного решения проблемы оперативного контроля качества, изготовляемого изделия в процессе обработки. Поэтому актуальным является разработка достаточно простого в применении и обладающего точностью в определении внешних и внутренних дефектов способа оперативной диагностики качества изделия во время обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Теплова Т.Б., Самерханова А.С.* Тенденция развития применения твёрдых высокопрочных материалов в микроэлектронике, медицине и ювелирных изделиях; ГИАБ, 2006, №10.
2. *Теплова Т.Б.* Перспективы технологии размерно-регулируемого шлифования твёрдых высокопрочных материалов; ГИАБ, 2004, №7.
3. *Назарова С.Т.* Современные методы контроля материалов без разрушения, под ред., М., 1961; Кифер И.И.
4. *Шрайбер Д.С.* Ультразвуковая дефектоскопия, М., 1965
5. *Трапезников А.К.* Рентгенодефектоскопия, М., 1948. ГИАБ

Коротко об авторах

Теплова Т.Б. – кандидат технических наук, докторант кафедры «Физика горных пород и процессов»,

Самерханова А.С. – студентка, кафедра «Технология художественной обработки материалов»,

Московский государственный горный университет.