**Процесс тестирования интегральных микросхем**

**Автор: Магеррамов Рафаэл Вагифович**

Нынешнее развитие микроэлектронных технологий обуславливается стремительными темпами роста. Динамическое развитие технологий требует от разработчика быть готовым к новым потребностям технологического рынка и разрабатывать все более совершенные и многофункциональные устройства. Поэтому, чем сложнее становиться разрабатываемое устройство, тем жестче становятся требования к тестирующему оборудованию. Оно должно осуществлять тестирование, настойку и полноценный контроль будущих разработок. Тестирование микросхем производиться с помощью различных устройств и технологии, в зависимости от сложности и типа изготавливаемых микросхем. Тестирование позволяет провести разбраковку ИС, а именно:

-                   Провести функциональный контроль микросхем,

-                   Определить развивающиеся дефекты при измерении микросхем на пластине, -                   Измерить электрические параметры микросхемы в составе пластин и в корпусном исполнении [1–4].

Методы технологического контроля микросхем

Во время создания микросхем наиболее важным аспектом является осуществление контроля технологических параметров. При успешной организации данного контроля, процент выхода годной продукции значительно увеличивается. Технологический контроль БИС и СБИС полностью зависит от процесса производства и состоит из измерений и визуальной проверки операций создания ИС. Можно выделить три группы методов производственного контроля микросхем [5,6]:

-                   Метод пооперационного контроля,

-                   Метод визуального контроля,

-                   Использование тестовых структур на подложке (пластине).

Метод пооперационного контроля

После таких производственных процессов микросхем как, эпитаксии и диффузии необходимо провести измерений толщин пленок, глубин p-n переходов, поверхностной концентрации и др. Данные замеры производиться на отдельных контрольных образцах.

Метод визуального контроля

Большой объём данных об изготавливаемой пластине можно получить в результате визуальной проверки, при этом возможно идентифицировать такие показатели, как состояние поверхности, избыточное или недостаточное травление, несоответствие толщины окисного слоя, корректность перехода и прочее. Метод визуального контроля является, наверное, самым тривиальным методом из трех перечисленных, но, несмотря на свою простоту, играет важную роль в производстве и тестирование микросхем. Данный метод позволяет осуществить осмотр пластины под микроскопом с много кратным увеличением (от 80х до 400х) и использовать разнообразные средства визуализации для наблюдения h и других схожих процессов. Существует многообразие дефектов, которым может быть подвержена изготавливаемая пластина. Наиболее серьезным и опасным дефектом является пористость окисного слоя, которую можно легко обнаружь во время визуальной проверки микросхемы на пластины под микроскопом. Пористость окисного слоя — это небольшие отверстия в окисном слое, которые были вызваны пылью при покрытии подложки фоторезистом, либо неисправностью самого фотошаблона. В случае если рассматриваемый дефект появиться в критической точки пластины, то последующая диффузия примести может служить замыканием перехода, а данный эффект может стать причиной выхода из строя всей микросхемы. Для эффективной реализации визуального метода контроля микросхем является применение сканирующего электронного микроскопа, с помощью которого оператор может наблюдать топографический и электрический рельеф ИС. Данным метод позволяет с легкостью обнаружить загрязнение перехода, различные частицы пыли, дыры в окисном слое и небольшие повреждения на тонком слое металлизации. Для выявления перегретых участков во время термических испытаний микросхем на пластине существует инфракрасный сканирующий микроскоп, который состоит из ИК-детектора с высокой разрешающей способностью, объединённый с особым записывающим устройством. Данное оборудование используется во время оценки качества конструкции пластины в отношении рассеяния тепла и мощности. Метод использования тестовых структур на пластине Интегральная микросхема состоит из большого количества сложных элементов, которые объединены между металлическими трассами, пересечения которых достигает несколько сотен и тысяч, помимо этого, пластина имеет огромное количество переходов с одного слоя на другой (контактные окна), выводы для активных и пассивных элементов, множество контактных площадок и прочее. В результате столь сложного расположения элементов и их трассировки, практически невозможен полный контроль всех элементов из-за высокой трудоемкости данной операции. Однако необходимость этой операции очевидна, особенно во время этапа усовершенствования технологии производства ИС. Для осуществления контроля электрических параметров структур и качества реализации технологических операций используются особые тестовые микросхемы, размещаемые на пластине вместе с рабочими кристаллами. Тестовая микросхема изготавливается такому же маршруту, как и обычная микросхема на пластине, она содержит все составляющие элементы в определенном сочетании для обеспечения удобства контроля этих компонентов и произведения оценки качества технологического процесса. Благодаря последовательному или параллельному включению в электрическую цепь элементов контроля достигается удобство тестирования ИС. Кроме тестовых микросхем контроль отдельно выбранных компонентов, а именно диодов и транзисторов, возможно, осуществить при помощи тестовых кристаллов. Данный кристаллы содержат в себе определенный набор изолированных элементов находящихся в интегральной микросхеме. Размеры тестового кристалла сопоставимы с размерами чипа на пластине. Использование такой технологии позволяет осуществить высокотехнологичный контроль производства ИС и уменьшить затраченное время и трудоемкость работа при проведении тестовых испытаний пластин. На кремневой пластине тестовые полосы находиться между рабочими микросхемами. Перед началом тестирования микросхем на пластине, первым делом необходимо провести контроль тестовых полос, а затем, следующим шагом при успешном прохождении контроля тестовых полос, следует приступать к измерениям микросхем. Данное расположение имеет несколько преимуществ, а именно более доступное контактирование для отдельных участков тестовых элементов и уменьшение вероятности повреждения микросхемы во время лазерного скрайбирования пластин (выполнения разделения элементов кремневой пластины, по заданному контуру) [7–11]. Виды и параметры контрольных испытаний микросхем Осуществление тестирования и контроля ИС является неотъемлемой частью в их производстве и серийном изготовлении. К основным видам контрольных испытаний ИС можно отнести:

-     Функциональный контроль

-     Параметрический контроль

-     Диагностический контроль

Функциональный контроль реализует проверку СБИС и БИС и основан на проведении статистических и динамических параметров микросхемы на базе контрольно-тестовой таблицей, составленной разработчиками микросхемы при помощи компьютеризированных технологий с учетом минимизации количества входных кодовых комбинаций. Параметрический контроль микросхем предпочтительнее использовать для схем малой интеграции компонентов. Данный контроль основан на измерении базовых параметров микросхемы на постоянном токе и помимо этого включает в себя проведение проверки выполнения логических функций и измерение выходных электрический сигналов. Данный контроль имеет свой недостаток, с повышением степени интеграции компонентов схемы эффективность параметрического контроля уменьшается, в таком случае измерение времени нарастания и спада сигналов становиться бессмысленным. Диагностический контроль — это частный случай контроля микросхем, который наиболее эффективен при проведении тестирования гибридных ИС. Данный вид микросхем позволяет осуществить замену вышедших из строя элементов, находящихся на общей подложке. Рассматривая отдельные виды технологического контроля, стоит обратить отдельное внимание на методы испытания ИС. В данном случае речь идет об измерении статических и динамических параметров микросхемы. К статическим параметрам можно отнести измерения уровней входных напряжений и токов, которые соответствуют логическим нулям и единицам, помехоустойчивость микросхемы, обусловленная сохранением верного состояния элементов схемы в условиях действия помех. Также, к статистическим параметрам можно отнести мощность потребления схемы, коэффициент разветвления трасс по выходу, устанавливающий количество элементов, подключаемых к выходу без нарушения работоспособности микросхемы. Быстродействие и помехоустойчивость микросхем описывается динамическими параметрами. Оборудование и технологии проведения контроля ИС Последней ступенью в создание полностью готового и адаптированного электронного продукта является серийное производство изделий. Перед тем, как запускать на конвейер только что полученные образцы, необходимо как следует осуществить их тестирование, и провести измерения необходимых параметров, заявленных в ГОСТе или же заказчиком микросхемы. Из этого следует вывод, что помимо разработки и создания ИС, важнейшую роль играет создание контрольно-диагностического стенда (КДС), который позволит провести полный контроль полученных изделий в соответствии с техническим заданием. С возрастанием функциональной сложности микросхем увеличивается трудоемкость операций тестирования их параметров. На сегодняшний момент практически невозможно осуществить проверку интегральных микросхем не используя при этом автоматизированные контрольно-измерительные стенды. Процесс измерения параметров микросхем с помощью измерительного стенда Измерение и тестирование микросхем на производстве практически невозможно без автоматизации процесса измерений и управления ходом эксперимента из-за необходимости выполнения очень большого количества операция в нужной последовательности. Традиционный подход к проведению сложный тестов включает в себя использование дорогостоящих и сложных программных комплексов. Кроме освоения работы в программной среде, необходимо иметь специальные драйвера всех устройств, входящих в измерительный стенд, или использовать дорогие измерительные комплексы со встроенной поддержкой программ сбора данных, автоматизации измерений, обработки и визуализации результатов. В настоящее время широкое распространение получили стенды на основе модульного, программируемого измерительного оборудования, которые позволяют создать гибкую систему, способную в сжатые сроки паспортизировать большое количество микросхем. Преимуществом такого КДС (контрольно-диагностический стенд) перед обычным стендом, включающим в себя набор отдельных приборов, является то, что необработанные данные, получаемые от аппаратных средств, становятся полностью доступными для пользователя, и он может реализовать свои собственные функции измерений, свой пользовательский интерфейс. С таким программно-ориентированным подходом пользователи могут выполнять нестандартные измерения, измерения в соответствии с развивающимися стандартами, или же модифицировать систему при необходимости (например, добавлять приборы, каналы или измерительные функции).