Преподаватель: Буряченко И.В.

МДК.03.01 Участие в разработке технологических процессов производства и ремонта изделий транспортного электрооборудования и автоматики

4ТЭМ 26.10.2021

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

 К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ № 10

Тема Технология производства тонкопленочных интегральных микросхем.

Учебная цель Получить практический навык по изготовлению тонкопленочных интегральных микросхем.

Развивающая Развивать практические навыки при выполнении

цель практических заданий.

Воспитательная Воспитывать чувство гордости за избранную профессию,

цель стремиться получать новые знания самостоятельно.

Задача Способствовать формированию профессиональных компетенций после изучения нового лекционного материала.

Продолжительность работы: 80 минут.

Оборудование: Инструкция по выполнению практической работы, учебник.

Литература: 1. Резник А.М. «Электрооборудование автомобилей» – М: Транспорт. 1990. – 256с.

2. Акимов С.В., Чижков Ю.П. «Электрооборудование автомобилей» - За рулем, 2007 -335 с.

3. Мельников А.Ф., Ютт В.Е., Морозов В.В. Технология производства электрооборудования автомобилей и тракторов. - Академия, 2005.

Задание № 1

Используя литературу и наглядные средства изучить:

1. Технология производства тонкопленочных интегральных микросхем.

Задание № 2

*Используя инструкцию к выполнению практического занятия в отчетах отразить информацию с пунктов определенных в задании 1.*

Совокупность технологических операций, составляющих технологический маршрут производства тонкопленочных ГИС, включает в себя подготовку поверхности подложки, нанесение пленок на подложку и формирование конфигураций тонкопленочных элементов, монтаж и сборку навесных компонентов, защиту и герметизацию ГИС от внешних воздействий. Важное значение при создании ГИС имеют контрольные операции, а также подготовка производства: изготовление комплекта масок и фотошаблонов, контроль компонентов ГИС и исходных материалов.

Нанесение пленок на подложку ГИС осуществляется:

а) термическим испарением материалов в вакууме с конденсацией паров этих материалов на поверхность подложки;

б) ионным распылением мишеней из наносимых материалов с переносом атомов мишеней на поверхность подложки;

в) химическим осаждением пленок в результате протекания химических реакций в газовой фазе над поверхностью подложки с образованием пленкообразующего вещества с последующим его осаждением на подложку.

Для формирования конфигураций проводящего, резистивного и диэлектрического слоев используют различные методы:

- масочный (соответствующие материалы напыляют на подложку через съемные маски);

- фотолитографический (пленку наносят на всю поверхность подложки, после чего вытравливают с определенных участков);

- электронно-лучевой (некоторые участки пленки удаляют по заданной программе с подложки путем испарения под воздействием электронного луча);

- лазерный(аналогичен электронно-лучевому, только вместо электронного применяют луч лазера).

Наибольшее распространение получили два первых способа, а также их сочетания.

Масочный метод. Самым простым методом получения заданной конфигурации пленочных элементов является масочный, при котором нанесение каждого слоя тонкопленочной структуры осуществляется через специальный трафарет. При масочном методе рекомендуется такая последовательность формирования слоев ГИС:

- напыление резисторов, проводников и контактных площадок;

- межслойной изоляции; второго слоя для пересечения проводников;

- нижних обкладок конденсаторов;

- диэлектрика;

- верхних обкладок конденсаторов;

- защитного слоя.

Пленка из напыляемого материала осаждается на подложке в местах, соответствующих рисунку окон в маске. В качестве материала съемной маски используют ленки бериллиевой бронзы толщиной 0,1-0,2 миллиметра, покрытую слоем никеля толщиной около 10 мкм.

Нанесение пленок через съемные маски осуществляют термическим испарением в вакууме либо ионно-плазменным распылением. В результате коробления маски в процессе напыления пленки между маской и подложкой образуется зазор, приводящий к подпылу. Кроме того, размеры окон в маске при многократном напылении уменьшаются. Все это обуславливает меньшую точность данного метода по сравнению с фотолитографическим.

Несмотря на недостатки масочный метод является самым простым, технологичным и высокопроизводительным.

Метод фотолитографии. Этот метод позволяет получить конфигурацию элементов любой сложности и имеет большую точность по сравнению с масочным, однако он более сложен.

Существует несколько разновидностей фотолитографии. Метод прямой фотолитографии предусматривает нанесение сплошной пленки материала тонкопленочного элемента, формирования на ее поверхности фоторезистивной контактной маски, вытравливание через окна в фоторезисте лишних участков пленки. Контактная маска из фоторезиста или другого материала, более стойкого к последующим технологическим воздействиям, воспроизводит рисунок фотошаблона из пленки.

Экспонированный фоторезист удаляется (растворяется) после чего пленка резистивного материала стравливается с участков, не защищенных фоторезистом. Далее на подложке в вакууме наносится сплошная пленка алюминия. После фотолитографии и травления алюминия проводящая пленка остается в областях контактных площадок и проводников. При этом сформированные на предыдущем этапе резисторы не повреждаются. После нанесения поверх проводящих элементов и резисторов защитного слоя стекла проводится еще одна, третья фотолитографическая обработка, в результате которой стекло удаляется из областей над контактными площадками, а также по периметру платы.

Метод обратной (взрывной) фотолитографии отличается от предыдущего тем, что сначала на подложке формируется контактная маска, затем наносится материал пленочного элемента, после чего производится удаление контактной маски.

При фотолитографическом методе для изготовления ГИС, содержащих резисторы и проводники, используют два технологических маршрута. Первый вариант – напыление материала резистивной и проводящей пленок; фотолитография проводящего слоя; фотолитография резистивного слоя; нанесение защитного слоя. Второй вариант – после проведения первых двух операций, тех же что и в предыдущем варианте, сначала осуществляют фотолитографию и травление одновременно проводящего и резистивного слоев, затем вторую фотолитографию для стравливания проводящего слоя в местах формирования резистивных элементов, после чего следует нанесение защитного слоя и фотолитография для вскрытия окон в нем над контактными площадками.

При производстве пленочных микросхем, содержащих проводники и резисторы из двух различных (высокоомного и низкоомного) резистивных материалов, рекомендуется такая последовательность операций:

- поочередное напыление пленок сначала высокоомного, затем низкоомного резистивных материалов;

- напыление материала проводящей пленки;

- фотолитография проводящего слоя;

- фотолитография низкоомного резистивного слоя;

- фотолитография высокоомного резистивного слоя;

- нанесение защитного слоя.

Комбинированный метод.

При совмещении масочного и фотолитографического методов для микросхем, содержащих резисторы, проводники и конденсаторы, используют два варианта:

1) напыление резисторов через маску, напыление проводящей пленки на резистивную; фотолитография проводящего слоя; поочередное напыление через маску нижних обкладок, диэлектрика и верхних обкладок конденсатора; нанесение защитного слоя;

2) напыление резистивной пленки и проводящей пленки на резистивную; фотолитография проводящего и резистивного слоев; фотолитография проводящего слоя; напыление через маску нижних обкладок, диэлектрика и верхних обкладок конденсатора; нанесение защитного слоя.

Для схем, не содержащих конденсаторов, применяют один из трех вариантов:

1) напыление через маску резисторов и проводящей пленки; фотолитография проводящего слоя; нанесение защитного слоя;

2) напыление резистивной пленки; фотолитография резистивного слоя; напыление через маску проводников и контактных площадок; нанесение защитного слоя;

3) напыление резистивной пленки, а также контактных площадок и проводников через маску; фотолитография резистивного слоя; нанесение защитного слоя.

Технологические маршруты производства толстопленочных ГИС.

После очистки и отжига платы на нее наносят и вжигают с обеих сторон проводниковую пасту для формирования проводников, контактных площадок и нижних обкладок конденсаторов, после чего формируют диэлектрик для конденсаторов и пересечений проводников. Верхние обкладки и пленочные перемычки изготавливают из одной пасты. Последними формируют резисторы, имеющие самую низкую температуру вжигания. После обслуживания контактных площадок производят лазерную подгонку резисторов. Заключительные сборочные операции: установка выводов, монтаж навесных компонентов и герметизация опрессовкой с использованием пластмассы, после чего производят обрезание рамки и разъединение выводов.

Нанесение тонких пленок в вакууме.

Наиболее распространенными методами получения тонких пленок различных материалов в вакууме являются методы термического испарения и ионного распыления.

К процессам термического испарения относится испарение:

а) из резистивных испарителей, включая взрывное испарение с применением вибропитателей;

б) из тиглей с радиационным и высокочастотным индукционным нагревом;

в) с помощью электронно-лучевых испарителей (за счет сфокусированного луча).

К процессам ионного распыления относится:

а) катодное (диодная система);

б) ионно-плазменное (триодная система);

в) с помощью сфокусированных ионных пучков;

г) магнетронное.

Достоинствами метода термического испарения материалов и их конденсации в вакууме являются: реализация высоких скоростей осаждения материалов в высоком вакууме, простота, отработанность технологических операций и наличие современного высокопроизводительного оборудования.

Основными достоинствами методов ионного распыления материалов являются: возможность распыления практически всех материалов современной микроэлектроники, в том числе различных соединений (нитридов, оксидов и т.д.) при введении в газоразрядную плазму реакционно-способных газов (реактивное распыление); высокая адгозия получаемых пленок к подложкам; однородность пленок по толщине; очистка поверхности подложек с помощью ионной бомбардировки как перед, так и в процессе осаждения пленки.

Метод термовакуумного напыления.

Метод основан на создании направленного потока пара вещества и последующей конденсации его на поверхности подложек, имеющих температуру ниже температуры источника пара. Пленка при конденсации формируется из отдельных атомов или молекул пара вещества. Процесс термовакуумного напыления состоит из четырех этапов:

1) образование пара вещества;

2) перемещение частиц пара от источника к подложкам;

3) конденсация пара на подложках;

4) образование зародышей и рост пленки.

В данном случае равномерность толщины пленок по площади подложек будет неудовлетворительной. Толщина пленки максимальна в центре подложки, то есть на участке, расположенном непосредственно над испарителем и убывает к периферии подложки. Равномерность можно повысить за счет увеличения расстояния между испарителем и подложкой, но при этом уменьшается скорость напыления. Высокой равномерности толщины пленок на больших поверхностях добиваются, применяя приемные устройства сферической формы или динамические системы приемных устройств, вращающиеся относительно неподвижных испарителей. Равномерность толщины пленок в большой партии подложек достигается в установках с подколпачными устройствами, обеспечивающими равномерное вращение подложек, закрепленных вертикально на образующих цилиндрах, вокруг испарителей, расположенных по центральной оси цилиндра. Применяются также динамические системы, в которых испарители и подложки располагаются с внешней стороны барабана. Преимуществами динамических систем являются: высокая равномерность толщины распыляемых пленок, качественное нанесение пленок на подложки, имеющие сложный вертикальный профиль, ступеньки и узкие канавки; уменьшение расстояния между испарителем и подложками и увеличение за счет этого скорости осаждения пленок.

Метод ионного распыления.

Источником иона служит самостоятельный тлеющий разряд либо плазма несамостоятельного разряда (дугового или высокочастотного) инертных газов (обычно высокой чистоты аргона). Существует большое разнообразие процессов ионного распыления, отличающихся характером напряжения питания (постоянное, переменное, высокочастотное), способом возбуждения и поддержания разряда, числом и конструкцией электродов и т.д.

При бомбардировке положительными ионами инертного газа поверхность катода одновременно подвергается воздействию молекул остаточных активных газов. Это приводит к образованию оксидных пленок на катоде, которые резко снижают скорость распыления (часть оксида переносится на подложку). На поверхности подложки вместе с распыленными атомами присутствуют и отрицательно заряженные активные ионы остаточных газов, которые также способствуют формированию оксидных пленок.

Нанесение толстых пленок.

Толстопленочные ГИС выполняют методом трафаретной печати последовательным нанесением на керамическую подложку различных по составу паст и их последующим вжиганием, в результате образуется прочная монолитная структура с толщиной пленки 10-70 мкм.

Функциональные материалы придают пленкам необходимые физические свойства. В процессе вжигания эти частицы должны оставаться в твердой фазе и равномерно распределяться в стекле по объему формируемого элемента.

В зависимости от состава функциональной составляющей различают проводниковые, резистивные и диэлектрические пасты.

Проводниковые пасты содержат порошок благородных металлов (серебро, смесь серебро-палладий, золото), который составляет 70-80 % от общей массы твердой фазы пасты. Палладий вводят для снижения коррозии и миграции, а также уменьшения стоимости пасты. Проводниковые пасты должны обеспечить низкое электрическое сопротивление проводников, способность их к пайке.

В резистивных пастах количество функционального материала определяется удельным сопротивлением. Наибольшее применение нашли резистивные пасты на основе палладия и соединений рутения. В первой из них свойства резистора определяются оксидом палладия, образующимся во время вжигания.

Более высокой стабильностью сопротивления, меньшей чувствительность к колебаниям температуры вжигания обладают резисторы, выполненные на основе диоксида рутения. Поэтому резистивные пасты на основе соединений рутения становятся преобладающими в толстопленочной технологии.

Диэлектрические пасты применяют для изготовления конденсаторов.

Нанесение паст производится на установке трафаретной печати продавливанием пасты через отверстие сетчатого трафарета.

Для изготовления толстопленочных ГИС требуется комплект трафаретов для нанесения определенного пленочного слоя: проводникового, одного или нескольких резистивных, изолирующих и т.д. Каждому трафарету соответствует определенный фотошаблон.

Основным элементом трафарета является сетка из нейлона или нержавеющей стали с размером ячейки 80-240 мкм. Выбор размера ячейки определяется требованиями толщины и ширины пленочных элементов. Сетка натягивается на держатель – алюминиевую рамку, зажимается и обрезается по краям. Размер рамки должен обеспечить расстояние 25-50 мм от краев рисунка схемы до краев трафарета. На натянутую сетку наносится слой фоточувствительной эмульсии. Методом фотолитографии формируется необходимый рисунок. После травления образуются окна в эмульсионном слое, обнажающие сетку, через которые при нанесении будет продавливаться паста.

Очищенная подложка устанавливается в держатель подложки установки трафаретной печати, сверху помещают держатель трафарета с требуемым трафаретом. На него подают соответствующую пасту и с помощью ракеля наносят ее на подложку. Ракель заполняет пастой отверстия в трафарете, прогибает его до соприкосновения с подложкой и продавливает пасту через отверстия в трафарете. Благодаря свойству тиксотропности слой нанесенной пасты не расплывается по подложке, сохраняя рисунок, заданный трафаретом. От материала и формы рабочей части ракеля зависит качество трафаретной печати. Рабочую часть ракеля изготавливают из уретана или полиуретана. В течение рабочего хода ракель должен плотно прилегать к трафарету, обеспечивая постоянство давления, оказываемого на пасту, что достигается благодаря держателю ракеля.

Кроме трафаретной печати можно наносить резистивные пасты под давлением с помощью пневматического дозатора.

После нанесения производится сушка и вжигание пасты. При сушке (120-2000 С) происходит удаление летучих органических растворителей. Лучше использовать инфракрасную сушку. При других методах сушки на поверхности слоя пасты может образоваться корка, препятствующая выходу летучих веществ, вследствие чего после вжигания пленка может быть пористой и содержать раковины.

Сборка ГИС заключается в установке на подложку навесных компонентов и их электрическом присоединении к пленочным проводникам. В качестве навесных компонентов используют полупроводниковые бескорпусные ИМС и БИС, а также различные электрорадиоэлементы.

Пленочные конденсаторы занимают большую площадь на подложке, требуют нескольких циклов нанесения и вжигания. Трудоемкость изготовления толстопленочных конденсаторов ограничивают их применение, поэтому в толстопленочных ГИС чаще применяют навесные конденсаторы. В толстопленочных ГИС обычно используют пленочные резисторы.

Дискретные полупроводниковые компоненты толстопленочных ГИС имеют балочные, гибкие проволочные и жесткие выводы. Монтаж навесных компонентов на подложку производят методом пайки мягким припоем или с помощью токопроводящих клеев.

Изготовленную толстопленочную ГИС устанавливают в корпус и герметизируют. Надежность ГИС, стабильность ее параметров обеспечиваются на всех этапах изготовления.

**Отчет по практическому занятию записать в рабочей тетради и прислать на электронный адрес: igorburyachenko26@mail.ru**

Срок выполнения 26.10.2021