

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

“Перспективные технологические процессы и оборудование для производства ИС и 3D изделий микроэлектроники” для студентов направления 16.04.01 «Техническая физика» (магистерская программа подготовки «Физика и техника полупроводников») очной формы обучения

Воронеж 2014

Составители: д-р техн. наук В.В. Зенин,
аспирант А.И. Землянский

УДК 621.382

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Перспективные технологические процессы и оборудование для производства ИС и 3D изделий микроэлектроники» для студентов направления 16.04.01 «Техническая физика» (магистерская программа подготовки «Физика и техника полупроводников») очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. В.В. Зенин, А.И. Землянский. Воронеж, 2014. 42 с.

В методических указаниях рассмотрены вопросы перспективных технологических процессов для производства 3D изделий микроэлектроники. Приведены сведения о новых способах монтажа кристаллов и внутренних выводов, а также оборудования для монтажа.

Методические указания предназначены для студентов-магистрантов первого курса магистерской программы «Физика и техника полупроводников» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле ПТПиОпракт.doc.

Табл. 8. Ил. 22. Библиогр.: 12 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. М.И. Горлов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой
д-р физ.-мат. наук, проф. С.И. Рембеза

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет», 2014

Практическое занятие № 1

Разрушающие и неразрушающие методы оценки адгезии пленок к основе

Введение

Надежность работы различных устройств с пленочными элементами (ИС, микросборки, устройства на поверхностных акустических волнах и др.) помимо функциональных параметров пленок и подложек зависят от прочности адгезии пленок к подложкам.

Известно, что кристаллы ППИ имеют на своей поверхности десятки и сотни пленочных контактных площадок. Причем эти пленки имеют различную площадь и всевозможную конфигурацию. Для экспресс-контроля необходимы такие установки, которые позволили бы за короткое время дать оценку адгезионной прочности всех пленочных контактных площадок, расположенных на данной подложке.

В производстве многих ППИ последовательно наносят пленки различных материалов на подложку, т. е. используют многослойные тонкопленочные структуры. Адгезия пленок между собой, а также пленок с подложкой является основным параметром, определяющим качество изделий и их надежность. На адгезионную прочность пленок с подложкой влияют остаточные напряжения, пограничные слои, геометрия и физические параметры адгезива и подложки.

Для повышения качества ППИ необходимо оценивать адгезию пленок с подложкой на всех этапах технологического процесса производства: образования пленок, фотолитографии для получения заданной топологии рисунка, наращивания слоя проводника и монтажа кристаллов и внутренних выводов. Выбор оптимальных параметров производства тонкопленочных изделий осложняется отсутствием достаточно совершенной методики измерения адгезионной прочности.

Адгезия* – это связь или взаимодействие между поверхностями двух разнородных контактируемых тел. Различают адгезию частиц и жидкости к твердым поверхностям и адгезию пленок и покрытий. Существует принципиальное отличие адгезии пленок от адгезии частиц и жидкости. Адгезия пленок количественно определяется методами, основанными на отрыве пленок. Усилие, необходимое для отрыва пленок, тратится не только на преодоление адгезии, но и на другие побочные явления. Таким образом, истинную адгезию пленки с подложкой существующими методами практически невозможно определить. Кроме того, величина адгезии не поддается точному расчету.

Мерой адгезионной прочности σ (Па) является удельное значение силы, измеренное при отрыве пленок

$$\sigma = P / S,$$

где P – сила, измеренная при отрыве (Н); S – площадь разрушенного контакта (мм²).

* Не рекомендуется отождествлять понятие адгезии с адгезионной прочностью. При отрыве пленок определяется величина адгезионной прочности, которая не равна адгезии. Адгезионная прочность – это величина, измеряемая при нарушении связи между пленкой и подложкой

Методы определения адгезионной прочности пленок с подложкой разделяются на две группы: разрушающие и неразрушающие. Следует отметить, что результаты оценки адгезионной прочности, полученные различными методами, в некоторых случаях имеют противоречивые результаты. В каждом конкретном случае нужно выбирать свои, наиболее приемлемые методы определения адгезионной прочности.

Неразрушающие методы

Проблема выбора оптимальных параметров производства тонкопленочных изделий осложняется отсутствием достаточно совершенной методики измерения адгезионной прочности. Измерение адгезионной прочности неразрушающими методами основано на корреляции между адгезионной прочностью пленки с подложкой и некоторыми физическими свойствами адгезионного соединения (электросопротивление, емкость, поглощение и др.). Неразрушающие методы контроля в настоящее время мало применяются в промышленности из-за невысокой точности и неоднозначной зависимости силы сцепления от контролируемой физической величины. Разработка надежных методов неразрушающего контроля является особенно актуальной для всех отраслей промышленности, выпускающих изделия электронной техники. К основным методам неразрушающего контроля относят следующие: ультразвуковой, фотометрический, рентгеновский и метод измерения емкости.

Для определения адгезии проводящих или полупроводниковых пленок к подложкам разработано устройство (рис. 1), позволяющее проводить неразрушающий контроль. При испытании адгезионной прочности через исследуемый элемент подают электрический ток и производится регистрация низкочастотных флуктуаций напряжения детектором 5 и фильтром низких частот 6. Компенсация напряжения до нулевого значения осуществляется блоком 7. При воздействии лазерного луча на исследуемую пленку с подложкой пороговым элементов 9 производится регистрация превышения сигналов порогового уровня, пропорционального интенсивности низкочастотных флуктуаций, предшествующей нарушению адгезии. Блоком 10 производится отключение лазера 11 и фиксация значения энергии луча, соответствующего величине адгезии. Контроль низкочастотных флуктуаций и их изменение при воздействии усилий, нарушающих адгезию, позволяет определить не только момент нарушения адгезии, но и момент, предшествующий отрыву.

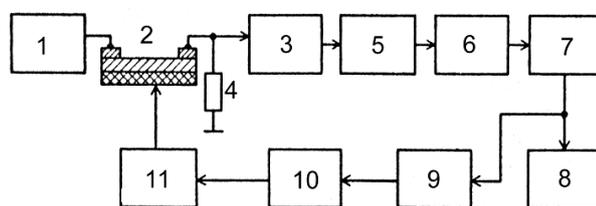


Рис. 1. Схема устройства для определения адгезии: 1 – источник постоянного напряжения; 2 – пленка с подложкой; 3 – низкочастотный широкополосный усилитель; 4 – балластная нагрузка; 5 – детектор; 6 – фильтр низкой частоты; 7 – блок первоначальной компенсации; 8 – индикатор; 9 – пороговый элемент; 10 – блок контроля; 11 – лазер

Известно устройство для испытания на адгезию токопроводящих пленок на диэлектрической подложке (рис. 2), которое содержит источник напряжения 1, элект-

тростатический зонд 2, привод осевого перемещения 3, держатель 4 для размещения подложки 5 с пленкой 6. Контроль адгезии осуществляется системой 7, представляющей собой измеритель электрической емкости между пленкой и зондом. Основным элементом данного устройства является электростатический зонд 2 в виде металлического стержня с отполированной до 14 класса чистоты рабочей поверхностью. При этом поверхность зонда покрывается оксидами металлов, например Al_2O_3 , Ta_2O_5 , TiO_2 .

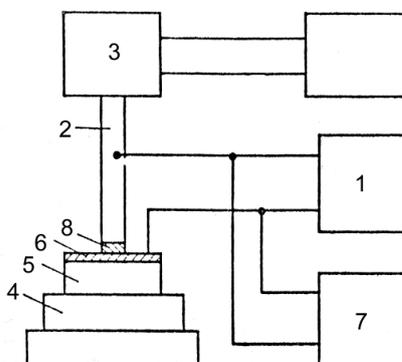


Рис. 2. Схема устройства для испытания на адгезию токопроводящих пленок на диэлектрической подложке

Принцип работы устройства заключается в создании электростатического поля, под действием которого возникают подемоторные силы прижатия зонда к токопроводящей пленке. Если силы прижатия зонда к пленке превышают силу сцепления (адгезии) пленки с подложкой, то в результате приложения усилия отрыва произойдет отслоение пленки от подложки. Использование измерителя емкости в качестве контрольного устройства за отрывом пленки позволяет по шкале прибора фиксировать момент отрыва.

Разрушающие методы

К разрушающим методам контроля адгезионной прочности пленки с подложкой можно отнести следующие: нормального отрыва и отслаивания, скрайбирования, вдавливания специального индентора, воздействия электрического и магнитного полей, лазерный, а также центрифугирования, вибрации, истирания, многократного изгиба, термический и электрохимический.

Наиболее широкое распространение для производственных и экспериментальных целей получили следующие методы измерения адгезионной прочности пленок: нормального отрыва и отслаивания, а также скрайбирования.

Для оценки адгезии тонких металлических пленок на стекле, кварце и других прозрачных материалах методом царапаний закругленной иглой разработана специальная приставка к микроскопу МИМ-8М. Данное устройство (рис. 3) позволяет вести микроскопическое наблюдение зоны царапаний со стороны прозрачной подложки в процессе испытания. Испытания на пленках меди и алюминия, нанесенных термическим испарением на стекла, показали большую точность в определении нагрузки при отслаивании покрытий. Следует отметить, что данная методика неприменима для оценки адгезии между отдельными слоями при многослойной металлизации.

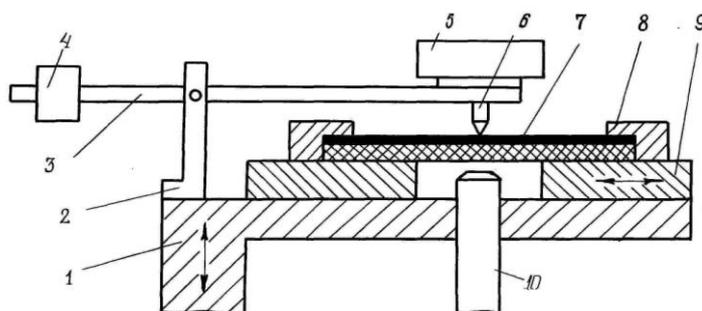


Рис. 3. Схема приставки к металлографическому микроскопу МИМ-8М для наблюдения следов царапин в процессе испытания: 1 – основание столика микроскопа; 2 – стойка; 3 – коромысло; 4 – противовес; 5 – груз; 6 – игла; 7 – образец; 8 – держатель образца; 9 – столик микроскопа; 10 – объектив

Известен способ определения адгезионной прочности коммутационных сплавов с термоэлементами, при котором через соединение пропускают электрический ток таких величины и направления, чтобы вследствие эффекта Пельтье соединение нагревалось или охлаждалось до требуемой температуры. При каждом значении температуры к одной из сторон соединения прикладывают отрывающую нагрузку, в результате чего получают зависимость адгезионной прочности покрытия от температуры. Это позволяет определять адгезионную прочность коммутационных сплавов с термоэлементами при режимах эксплуатации изделий (рис. 4).

Для контроля адгезии пленки к подложке фиксируют измерение в момент отрыва ее электросопротивления на участке длиной не более 10 мм. В качестве отрывного элемента используется электрод с диэлектрическим покрытием на поверхности, предназначенной для контактирования с пленкой, а его крепление к пленке осуществляется путем подключения электрода к одному полюсу источника постоянного тока, а исследуемой пленки – к другому (рис. 5).

Известен способ определения адгезии металлических пленок к диэлектрическому основанию, при котором через пленку пропускают ток, при этом основание с пленкой находится в зоне действия магнитного поля. Зафиксировав величину тока и напряженность магнитного поля в момент отрыва пленки от подложки, расчетным путем определяют величину адгезии.

Снизить трудоемкость определения адгезионной прочности токопроводящих покрытий к подложкам можно путем размещения подложки с покрытием между двумя электродами в поле действия электрического разряда. По величине пятна разрушенного покрытия судят об адгезионной прочности пленок. Особенностью данного способа является то, что подложку размещают в вакуумной камере, корпус которой используют в качестве положительного электрода, а покрытие электрически соединяют с отрицательным электродом. В качестве воздействующего на покрытие разряда используют электродуговой разряд.

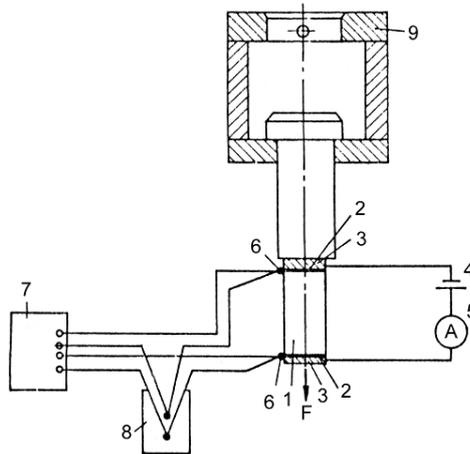


Рис. 4. Схема для определения адгезионной прочности покрытия: 1 – подложка; 2 – коммутационный сплав; 3 – медные пластины; 4 – источник постоянного тока; 5 – амперметр; 6 – термопара; 7 – вольтметр; 8 – сосуд Дьюара; 9 – захват разрывной машины

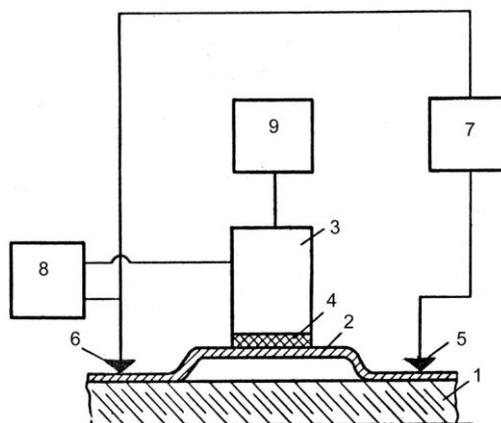


Рис. 5. Схема измерения адгезии металлической пленки к диэлектрической подложке: 1 – диэлектрическая подложка; 2 – металлическая пленка; 3 – электростатический зонд; 4 – оксидный слой; 5, 6 – прижимные контакты; 7 – микрометр; 8 – источник напряжения; 9 – динамометр

Разработана установка для определения электроадгезионной прочности сцепления токопроводящих покрытий с полупроводниковыми подложками (рис. 6). Регистрирующее устройство показывает электроадгезионную прочность токопроводящего покрытия с полупроводниковой подложкой в зависимости от величины приложенного напряжения.

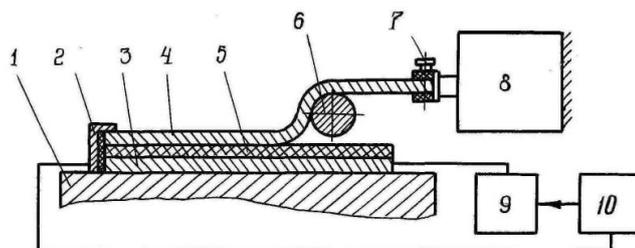


Рис. 6. Установка для определения прочности сцепления покрытия с подложкой: 1 – основание; 2 – съемный электрод; 3 – электрод; 4 – покрытие; 5 – полупроводниковая подложка; 6 – ролик; 7 – зажим; 8 – регистрирующее устройство; 9 – коммутатор; 10 – источник электрического напряжения

Адгезию электропроводящей пленки к диэлектрической подложке определяют также путем размещения с противоположной стороны диэлектрической подложки контрольного электрода. Между пленкой и электродом прикладывают переменное электрическое напряжение, повышая амплитуду от нуля до напряжения ионизации. Величина ионизации зависит от неоднородности переходного слоя между металлической пленкой и диэлектрической подложкой, т. е. от качества адгезии. На рис. 7 представлена схема реализации данного способа. В качестве электрода можно использовать электролит, смачивающий подложку. Исследования, проведенные на образцах ситалла с напыленными на них металлическими покрытиями, показали возможность использования данного способа в технологии производства изделий электронной техники.

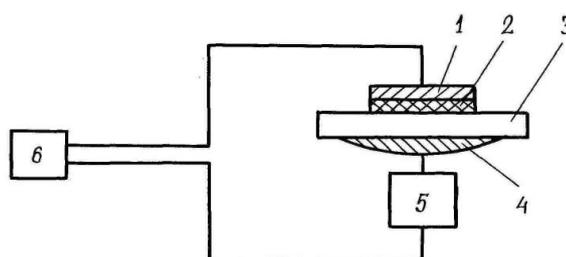


Рис. 7. Устройство для определения адгезии электропроводящей пленки к диэлектрической подложке: 1 – пленка; 2 – переходной слой; 3 – подложка; 4 – электрод; 5 – измеритель ионизации; 6 – источник питания

Для контроля адгезии металлической пленки к диэлектрической подложке в пленке выполняют сквозные прорезы по спирали с непрерывно уменьшающимся шагом до отделения пленки от подложки. С целью повышения точности определения адгезии прорезы необходимо наносить по логарифмической сходящейся или расходящейся спирали, начало и конец которой переходят в окружности. Адгезию контролируют измерением емкости или электросопротивления участка пленки между окружностями.

Используется метод определения адгезии тонкой пленки к подложке, в котором используется импульсное излучение (сфокусированный электронный или лазерный луч), направляемое на подложку со стороны пленки до ее расплавления. В этом случае величину адгезии определяют по размерам оплавленной зоны, т. к. между размером оплавленной зоны и адгезией пленки с подложкой существует тесная корреляционная связь. На рис. 8 показана зависимость площади оплавления пленок алюминия электронным лучом диаметром 0,5 мм с энергией $5 \cdot 10$ Вт/см в импульсе длительностью 1 мс от ее адгезии к подложке.

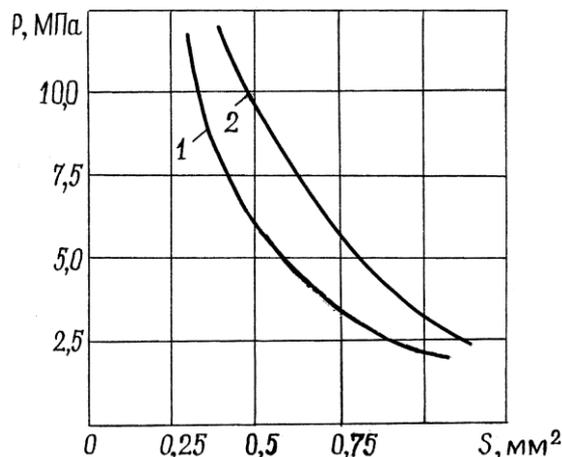


Рис. 8. Взаимосвязь площади оплавленной зоны пленки алюминия с ее адгезией к подложке из кремния (1) и монооксида кремния (2)

С целью повышения точности при контроле вакуумно-напыленных пленок Cr, Cu, Au и др. нагрузку создают путем сканирования непрерывным лучом лазера, имеющим плотность мощности от 10^5 до 10^6 Вт/см² и скорость сканирования, равную скорости распространения звука в материале пленки.

Цель работы:

1. Определение адгезионной прочности пленок, полученных напылением, гальваническим и химическим способами;
2. Сравнительный анализ адгезионной прочности различных пленок

Контрольные вопросы

1. Устройства для экспресс-контроля адгезии пленок к подложкам.
2. Неразрушающие методы определения адгезионной прочности пленок с подложкой.
3. Разрушающие методы определения адгезионной прочности пленок с подложкой.
4. Влияние технологических факторов на адгезионную прочность пленок

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зенин В.В. Неразрушающие методы определения адгезионной прочности пленок с подложкой / В.В. Зенин, А.В. Рягузов, О.В. Хишко // Прогрессивные технологии и оборудование в электронике и машиностроении: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 2005. С. 21-27.

2. Зенин В.В. Разрушающие методы определения адгезионной прочности пленок с подложкой / В.В. Зенин, А.В. Рягузов, О.В. Хишко // Прогрессивные технологии и оборудование в электронике и машиностроении: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 2005. С. 27-38.

3. Влияние технологических факторов на адгезионную прочность пленок с подложкой //Прогрессивные технологии и оборудование в электронике и машиностроении: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 2005. С. 39-44.

4. Зенин В.В. Контроль адгезии в микросварных соединениях / В.В. Зенин, О.В. Хишко, Е.Н. Кошелева // Прогрессивные технологии и оборудование в электронике и машиностроении: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 2005. С. 45-50

5. Устройство для экспресс-контроля адгезии пленок к подложкам / В.В. Зенин, Ю.С. Балашов, А.В. Рягузов, О.В. Хишко, А.В. Чернышов // Проектирование лазерных и радиоэлектронных устройств и систем: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 2005.

6. Устройства для оценки адгезионной прочности локальных пленочных площадок с подложкой / В.В. Зенин, Ю.С. Балашов, А.В. Рягузов, О.В. Хишко, А.В. Чернышов // Проектирование лазерных и радиоэлектронных устройств и систем: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГТУ, 2005.

Практическое занятие № 2
**Анализ структуры и химического состава различных покрытий
после нанесения и технологических отработок**

Введение

Надежность полупроводниковых изделий (ППИ) тесно связана с технологией производства и, в особенности, с операциями получения контактных соединений. Одной из наиболее распространенных причин отказов, связанных с процессом производства, является нарушение микросоединений кристалла с корпусом и внутренних выводов с контактными площадками кристалла и корпуса. По данным отечественной и зарубежной литературы от 35 до 60 % всех отказов в радиоэлектронной аппаратуре приходится на долю микросоединений.

Поэтому при разработке новых приборов, а также при оценке работоспособности существующих конструкций необходимо учитывать влияние условий изготовления и эксплуатации на структуру и свойства микроконтактов, особенно в случае наличия биметаллических пар. Электрическая и механическая стабильность биметаллических пар во многом определяется интерметаллическими соединениями, образующимися за счет взаимной диффузии различных металлов при повышенной температуре.

На качество микросоединений оказывают влияние не только правильный выбор способов и режимов монтажа, но и таких параметров, как структура пленок и адгезионная прочность их с подложкой, физико-механические свойства материалов выводов и конструкция сварочного инструмента. Известно, что проволока микронных размеров имеет нестабильность геометрических размеров и механических свойств; это является одной из причин низкой воспроизводимости качества внутренних микросоединений.

Обеспечение качества микросоединений в ППИ в процессе их разработки и серийного производства возможно путем исследований влияний конструктивно-технологических факторов на формирование сварных и паяных микросоединений.

Влияние состава алюминиевой металлизации на качество микросварных соединений Al-Al

В кремниевых ППИ для создания токоведущих дорожек и контактных площадок используется в основном тонкопленочный алюминий. Несмотря на большое количество исследований свариваемости алюминиевой проволоки с алюминиевыми контактными площадками на кристалле, проблема повышения выхода годных изделий остается. Это объясняется недостаточным вниманием исследователей к составу алюминиевой металлизации, его влиянию на качество микросоединений.

Повышение качества микросоединений, выполненных УЗС. В качестве образцов использовались кремниевые пластины с готовыми структурами ИС. Методом магнетронного распыления в вакууме наносилась алюминиевая металлизация с добавлением 1 % (в массовых долях) кремния или никеля. Для получения адгезии алюминиевой пленки к диэлектрическому покрытию кристалла ИС проводилась термообработка в среде азота в течение 25 мин для МОП-структур при температуре 475 °С и в течение 15 мин для биполярных структур при температуре 520 °С. Пассивирующее покрытие из оксида кремния наносилось на металлизацию пиролитиче-

ским осаждением, а вскрывалось на контактных площадках методом плазмохимического травления через маскирующий фоторезист. Разварка алюминиевой проволоки марки АК09ПМ35 проводилась на автомате типа УЗС.А-1 как на готовых структурах ИС, так и на тестовых структурах без гравировки металлических дорожек и без использования защитного диэлектрика.

В результате сравнительной оценки свариваемости на готовых и тестовых структурах было установлено, что микросоединения на тестовых структурах имели значительно лучшее качество. Это, очевидно, объясняется тем, что тестовые структуры не подвергались операциям фотолитографического формирования алюминиевой разводки на кристалле и нанесения защитного диэлектрического покрытия. Кроме того, свариваемость алюминиевых контактных площадок с добавлением 1 % никеля была значительно лучше, чем с добавлением кремния. Контроль состояния поверхности алюминия контактных площадок для структур, имеющих неудовлетворительную свариваемость, проведенный на растровом электронном микроскопе, показал наличие у некоторой группы контактных площадок отдельных крупных выступающих включений неправильной формы.

С помощью рентгеновского микроанализатора был установлен следующий состав этих включений: алюминий – 71 %, кремний – 12 %, кислород – 17 %. На структурах другой группы в углублениях микрорельефа поверхности были обнаружены остатки фоторезиста. По состоянию поверхности третья группа структур не имела внешних отличий от структур с хорошей свариваемостью. На этих структурах методом Оже-спектроскопии был проведен послойный анализ поверхности пленок 48 контактных площадок кристаллов ИС, результаты которого представлены в табл. 1. Например, в поверхностном слое глубиной 50 Å пленки Al+1%Si в исследуемых контактных площадках содержание алюминия составляло от 70 до 80 вес.%, углерода от 3,5 до 14 вес.% и т. д.

Таблица 1

Результаты контроля состава поверхности алюминиевых пленок, имеющих неудовлетворительную свариваемость

Состав исходной пленки	Вариант	Глубина поверхностного слоя, Å	Процентное содержание элементов					
			Al	C	O	Ni	Si	N, P
Al + 1 % Si	1	50	70-80	3,5-14	4-10	–	5-7	2-4
		500	78-86	2-8	3-8	–	3-4,5	0-1,5
	2	50	0-10	70-87	22-36	–	1-2	2,3
		500	23-35	45-56	10-15	–	1	1-3
Al + 1 % Ni	3	50	70-80	5-12	4-9	1	4-5	2-3
		500	16-89	2-7	3-7	1	3-3,5	1-2
	4	50	0-12	65-87	18-40	1	1-2	2-3
		500	24-37	43-57	10-20	1	0-1	1-2

Как видно из таблицы, свариваемость ухудшается при загрязнении поверхностного слоя углеродом (более 40 %) и связанным с ним кислородом (варианты 2 и 4) или при повышенной концентрации кремния (более 3 %) (варианты 1 и 3). В вариантах 2 и 4 практически на поверхности отсутствовал алюминий. Легирование алюми-

ниевой металлизации кремнием (до 1 %) при вакуумном напылении приводит к повышенной его концентрации на поверхности после операции фотогравировки металлизированной разводки на структуре и диэлектрического покрытия диоксидом кремния. Увеличение содержания кремния в поверхностном слое металлизации (рис. 1) связано с растворением пассивирующего диэлектрического покрытия даже при пиролитическом способе его нанесения, хотя температура нагрева подложки в этом случае минимальная и составляет 430-450 °С.

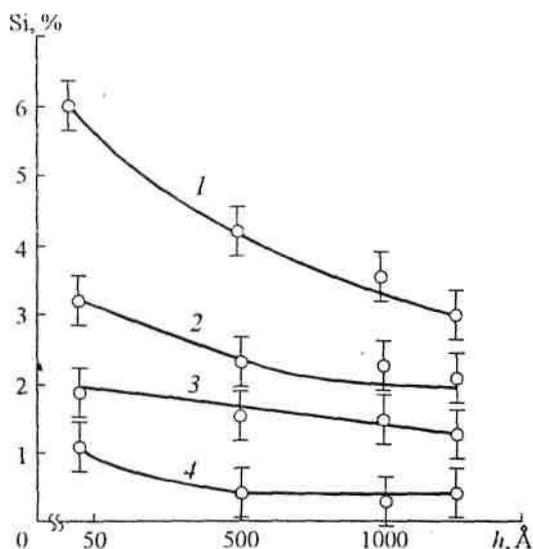


Рис. 1. Распределение содержания кремния в поверхностном слое алюминиевой металлизации толщиной 1200 Å: 1-3 – для металлизации Al+1%Si; 4 – для двухслойной металлизации Al-Al+1% Si (1 – неудовлетворительная свариваемость; 2 – удовлетворительная; 3-4 – хорошая)

На операции вскрытия диэлектрика под контакты этот слой может удалиться не полностью. По этой причине возможны и локальные «островковые» остатки пассивирующей пленки на поверхности контактных площадок структур, которые практически невозможно определить методами контактной разности потенциала и «мягкого» зонда. Увеличение концентрации кремния и связанного с кислородом углерода способствует повышению микротвердости алюминиевой пленки, что ухудшает ее пластическую деформацию и приводит к нарушению изолирующего диэлектрика под алюминиевой металлизацией при сварке.

Для алюминиевой металлизации, легированной никелем (до 1 %), аналогичная термообработка не приводит к увеличению концентрации никеля ни на поверхности, ни по толщине пленки. Кроме того, такие пленки более пластичны, чем легированные кремнием. С целью исключения нарушений диэлектрического покрытия в процессе присоединения выводов авторами было предложено на контактных площадках формировать два слоя алюминия по следующей схеме: нижний слой (более толщину защитного диэлектрического покрытия) легируют 1 % кремния или никеля до микротвердости не менее микротвердости материала вывода, а верхний слой (толщиной не менее 0,4 мкм) не легируют (рис. 2).

Нанесением верхнего слоя чистого алюминия обеспечивают хорошую свариваемость с алюминиевым микропроводником при «мягких» сварочных режимах за счет высокой пластичности данного слоя. При толщине чистого алюминия более

0,4 мкм зона взаимодействия свариваемых материалов не доходит до нижнего слоя; уменьшение толщины данного слоя приводит к взаимодействию проводника с нижним слоем легированного алюминия, что может привести к деформации последнего и контакту проводника со ступенькой диэлектрика. Формированием нижнего слоя контактной площадки из алюминия, легированного до микротвердости не менее микротвердости материала вывода и толщиной более толщины защитного диэлектрического покрытия, защищают диэлектрическое покрытие от непосредственного контакта с привариваемым проводником. Верхний слой алюминия выполняет функцию своеобразной демпфирующей прослойки, за счет деформации которой при сварке и выдавливании ее на периферию контактной площадки практически устраняют деформацию нижнего слоя легированного алюминия и исключают непосредственный контакт микропроводника с защитным диэлектрическим покрытием. Верхние пределы толщины слоев ограничены только необходимой степенью разрешения фотолитографии при формировании металлизированной разводки.

Нанесение слоев алюминиевой металлизации за один технологический процесс обеспечивает гарантированную адгезию между ними. Данная конструкция дает 100 %-ное распознавание контактных площадок с помощью системы технического зрения УЗС.А-2 и повышение стабильности прочности формируемых микросварных соединений на 30-40 %.

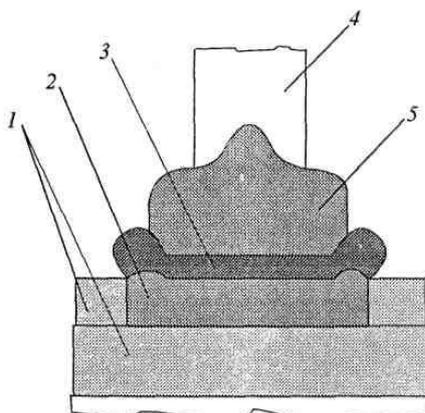


Рис. 2. Схема монтажа алюминиевой проволоки к контактной площадке на кристалле: 1 – диэлектрическая пленка; 2 – легированный алюминий; 3 – чистый алюминий; 4 – алюминиевая проволока; 5 – сварное соединение

Свариваемость алюминиевой проволоки с никель-бор покрытием при термообработке.

Существенным недостатком пленок из чистого никеля является их низкая теплостойкость, поэтому данные покрытия применимы только при низкотемпературном монтаже элементов или при использовании защитной среды. В процессе напайки кристаллов к корпусу происходит окисление никелевого покрытия, что резко ухудшает свариваемость алюминиевой микропроводки с пленочными площадками.

Легирование никеля бором значительно повышает температурную стойкость сплава даже при малой концентрации бора, а микротвердость и хрупкость покрытия можно уменьшать путем отжига.

Авторами проводилось исследование свариваемости покрытия никель – бор с алюминиевой микропроводкой УЗС после температурного воздействия в диапазоне

возможных технологических обработок в процессе изготовления микросборок. В качестве подложек использовали корпуса микросборок, выводная рамка которых изготовлена из ферроникеля (42Н). Толщина исследуемых покрытий составляла 3-5 мкм. Исходная концентрация бора в покрытии определялась химическим способом по известной методике и методом Оже-спектрального послойного анализа и составляла 0,7-1,2 %. Температурное старение образцов проводили на воздухе в диапазоне температур 300-500 °С в течение 15-60 мин.

Приварка алюминиевых проводников марки АК09ПМ35 осуществлялась УЗС на установке УЗСМ-2,5. Режимы сварки подбирали опытным путем исходя из условия получения максимальной прочности сварных соединений.

Контроль прочности сварных соединений осуществлялся на установке типа 12МП-0,05/100-1 натяжением вывода под углом 45° к плоскости сварного соединения до разрушения контактов. Для исследований использовалось 100 проволочных перемычек от каждой группы образцов.

Оценка свариваемости никель-бор покрытий проводилась по средним значениям прочности P_{cp} сварных соединений. Коэффициент вариации K_v , характеризующий воспроизводимость качества сварных соединений, определялся по известной формуле:

$$K_v = (\sigma_{cp}/P_{cp}) \cdot 100 \%,$$

где σ_{cp} – среднее квадратичное отклонение значений.

Эксперименты показали (рис. 3), что свариваемость покрытий Ni+1%В практически не изменяется после выдержки при температуре 300 °С в течение 90 мин. После нагрева при температуре 400 °С происходит медленное ухудшение свариваемости, а при 450-500 °С – сначала ухудшение свариваемости (после термообработки покрытий в течение 15 мин), а затем стабилизация ее на этом уровне (в течение 15-30 мин), после чего происходит резкое ухудшение свариваемости. На образцах, подвергавшихся температурной обработке при 450-500 °С более 30 мин, наблюдались случаи разрушения сварных соединений по зоне контакта («отслоение») как в процессе сварки, так и при контроле прочности сварных соединений. Количество таких разрушений изменялось пропорционально времени обработки и колебалось от 6 до 20 %. Подбор режимов сварки (увеличение амплитуды и мощности колебаний, времени сварки, а также изменение давления инструмента) не позволил значительно улучшить свариваемость и исключить «отслоения».

Методом оже-спектроскопии поверхностного слоя толщиной 250-300 Å никель-бор покрытия установлено, что при нагреве выше 300 °С происходит диффузия бора на поверхность покрытия, содержание которого достигает 5,5 % при 500 °С, что ухудшает пластичность покрытия, необходимую для формирования сварных соединений. Термообработка в течение 45-60 мин при температуре 500 °С приводит к растрескиванию покрытия, т. е. начинает окисляться никель, что подтверждается быстрым увеличением содержания кислорода в поверхностном слое покрытия. В результате резко снижается прочность сварных соединений и их воспроизводимость.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что нанесенное электрохимическим способом покрытие сплавом Ni+1 % В имеет удовлетворительную свариваемость методом УЗС с алюминиевой проволокой после нагрева при температуре 400 °С в течение 60 мин и при температуре 450-500 °С в течение 30 мин.

Указанные время и температура перекрывают реальные режимы, применяемые при монтаже кристаллов в корпуса.

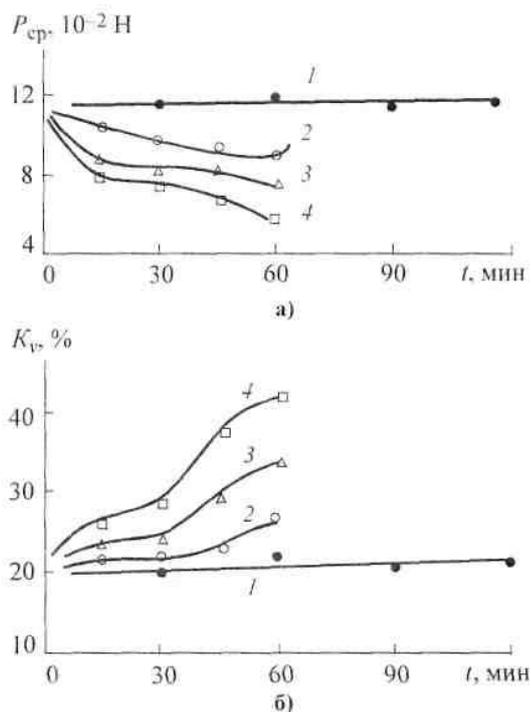


Рис. 3. Среднее значение прочности $P_{ср}$ (а) и воспроизводимость K_v (б) качества микросоединений алюминиевой проволоки с никель-бор покрытием корпусов в зависимости от времени отжига покрытий перед сваркой при различных температурах, °С: 1 – 300; 2 – 400; 3 – 450; 4 – 500

Исследование покрытия из сплава никель-олово

Припой на основе олова хорошо смачивают медь и никель при температуре пайки 220-300 °С. Однако перегрев оловянно-свинцовых припоев, например ПОС61, в процессе пайки при температуре 400 °С существенно увеличивает пористость паяных швов. Кроме того, данный припой ухудшает смачивание никеля. Из этих соображений осуществлять пайку припоями типа ПОС61 при температуре 400 °С не рекомендуется. Корпуса ИЭТ, покрытые никелем, паяют в водороде припоями ПОС2, ПСр2,5, ПОС10, ПСр 1,5 и ПСр2 соответственно при температуре 400-420, 360-390, 330-360, 280-310 °С. Гальванические покрытия контактных поверхностей кристалла и основания корпуса при сборке должны обладать не только хорошей смачиваемостью, но и высокой коррозионной стойкостью. Этим требованиям в полной мере отвечают сплавы никеля с оловом (Ni-Sn).

Для осаждения сплава Ni-Sn существует несколько типов электролитов. Наиболее широкое применение в промышленности получили фторидхлоридные электролиты как наиболее стабильные в работе и позволяющие получать покрытия с относительно высокими защитно-декоративными свойствами.

Для исследований покрытий из сплава Ni-Sn электроосаждение сплава проводили из электролита состава (г/л): NiCl₂-200; SnCl₂-40; NH₄F-60; ОС-20-5. Температура электролита составляет 50 °С. В качестве анода используется сплав никель-олово (30-50 % Ni).

При осаждении сплава Ni-Sn необходимо строго соблюдать условия электроосаждения: температуру электролиза, соотношение концентраций компонентов электролита, плотность тока.

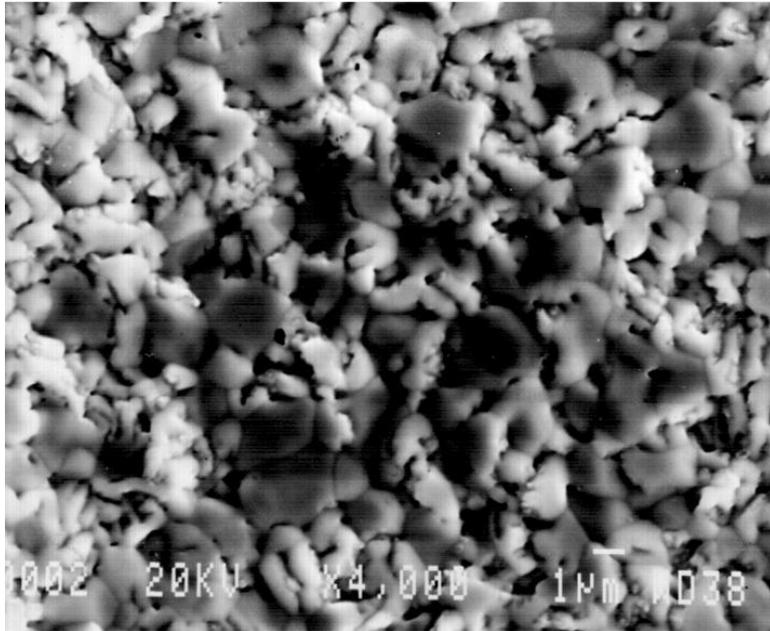
Исследования микроструктуры и химического состава поверхности покрытий из сплава 35 % Ni +65 % Sn, полученных из электролитов с добавкой ОС-20, показали следующие результаты: при температуре 50 °С получают крупнокристаллические покрытия, в которых массовая доля олова составляет 99,8 %. Отжиг покрытий в вакууме, соответствующий режимам пайки кристаллов к основаниям корпусов, приводит к увеличению массовой доли никеля в поверхностном слое до 8 %. Покрытия после отжига получают более плотными с включениями неправильной формы (рис. 4 и 5).

Объясняется это тем, что при температуре 390 ± 20 °С электролитический сплав NiSn переходит в интерметаллические соединения Ni_3Sn_2 и Ni_3Sn_4 , что способствует обогащению поверхностного слоя никелем. Кроме того, повышенное содержание никеля в поверхностном слое данного покрытия, очевидно, обусловлено различной сублимацией компонентов сплава, которая в большей степени присуща Sn.

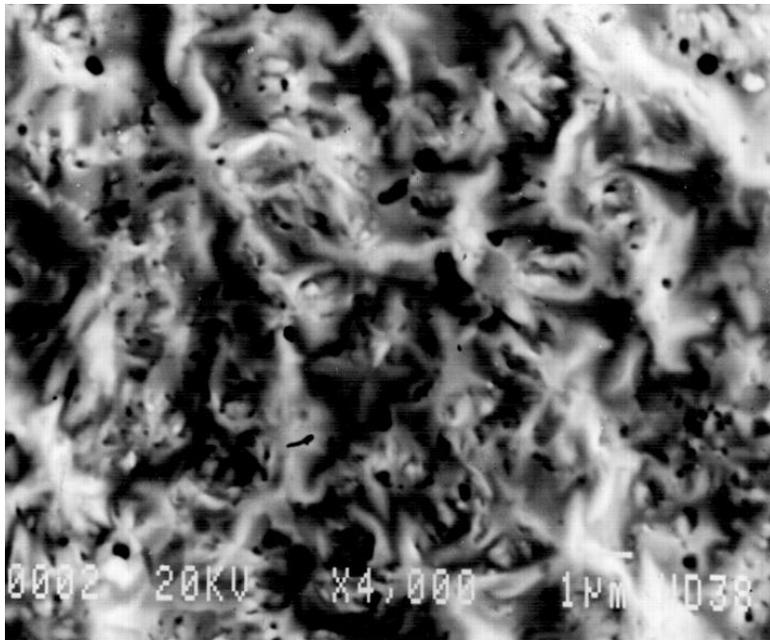
Для исследований влияния термообработки на качество облуживаемости Ni-Sn покрытий их наносили на образцы из бериллиевой бронзы. Образцы выдерживали в термошкафу при 170 °С в течение 4 ч, при 150 °С в течение 7 ч и при 125 °С в течение 14 ч. Последующее облуживание припоем ПОС61 со спиртоканифольным флюсом показало 100 %-ную паяемость после выдержки при комнатной температуре в течение 5 лет.

Исследования смачивания и растекания припоев по Ni-Sn покрытию с добавкой ОС-20 показали, что припои ПОС40, ПОС61 и ПСр2,5 хорошо растекаются по данному покрытию. Добавка ОС-20 в состав покрытия Ni-Sn играет роль поверхностно-активного вещества, а при температуре пайки выполняет в некоторой степени функцию флюса и тем самым способствует лучшему смачиванию и растеканию припоев.

Следует отметить, что электролитическое покрытие из сплава Ni-Sn, содержащего 30-50 % Ni, полученное из фторидхлоридного электролита с органической добавкой ОС-20, можно наносить на слой никеля на коллекторную сторону кристалла. В этом случае между кристаллом и никелированным корпусом размещают фольгу припоя ПСр2,5, а пайку проводят в среде водорода или в вакууме.

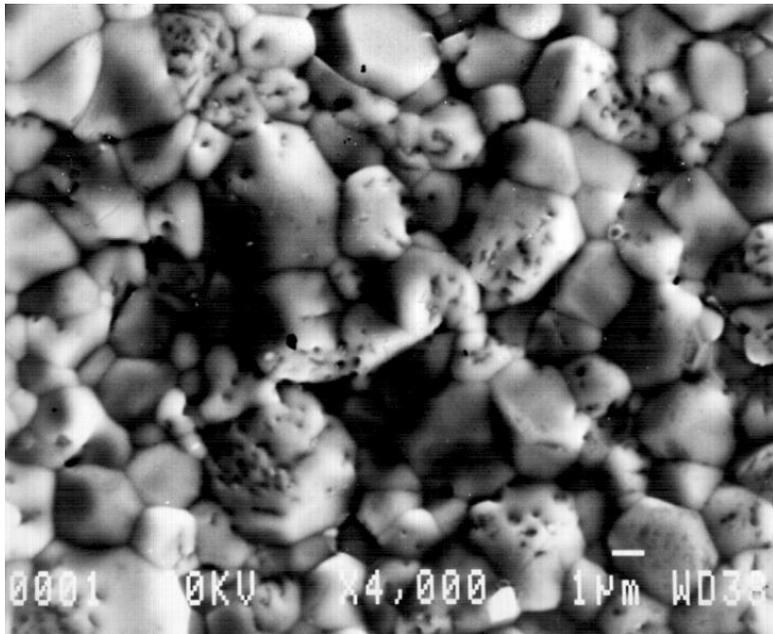


а

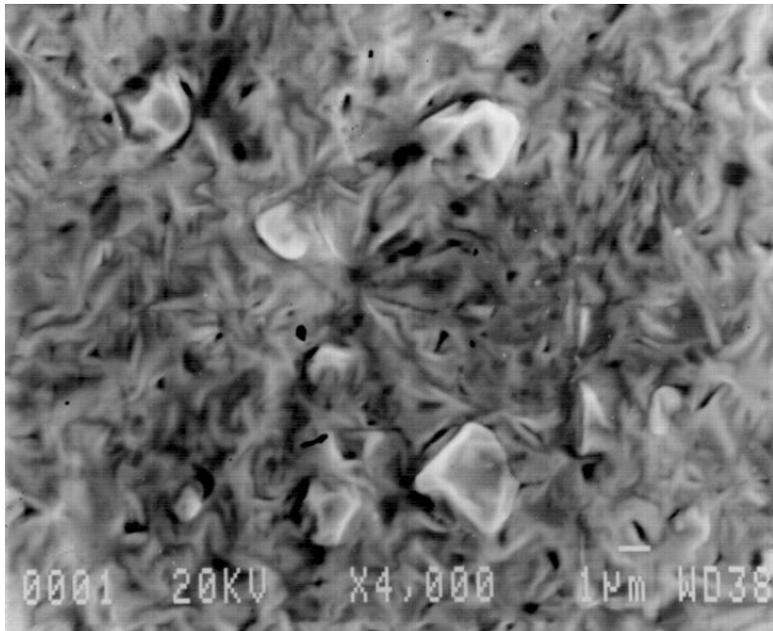


б

Рис. 4. Микроструктура поверхности покрытий сплавом Ni-Sn (35 % Ni + 65% Sn): а – после осаждения сплава; б – после отжига в вакууме (10^{-2} Па) при $T=370^{\circ}\text{C}$ в течение 7 мин



а



б

Рис. 5. Микроструктура поверхности покрытий сплавом Ni-Sn (50 % Ni + 50 % Sn): а – после осаждения сплава; б – после отжига в вакууме (10^{-2} Па) при $T=370^{\circ}\text{C}$ в течение 7 мин

Распределение химических элементов на поверхности покрытия после нагрева при температуре пайки кристаллов

В технологическом процессе производства полупроводниковых приборов и ИС пайка кристалла к основанию корпуса является одной из первых сборочных операций. После пайки происходит присоединение внутренних выводов к контактным площадкам кристалла и корпуса и герметизация.

Поэтому представляет определенный интерес исследование состояния поверхности корпуса после его нагрева до температуры пайки. В данном разделе проведен количественный анализ распределения химических элементов на по-

верхности корпусов с покрытиями (химическое никелирование и гальваническое серебрение) после растекания по ним припоев ПОС40, ПОС61 и ПСр2,5).

Основной целью никелирования является защита основного металла от коррозии и повышение поверхностной твердости. В электронной промышленности для покрытия корпусов приборов (в случае пайки кристаллов в защитной среде) используется химическое никелирование. Химические никелевые покрытия намного тверже электрохимических. Повышенная твердость покрытий во многом зависит от содержания фосфора в осажденных никелевых сплавах и режимов осаждения.

Для проведения исследований химическое никелирование осуществлялось на медные корпуса из следующего раствора (г/л):

- никель двуххлористый – 20;
- натрий фосфорноватистокислый – 25;
- кислота аминорусная – 15;
- натрий уксуснокислый – 10.

Время осаждения покрытия толщиной 4 мкм составляло 40-50 мин при температуре раствора 82-85 °С.

Анализ припоя на паяемой поверхности показал, что форма навески различных припоев после расплавления отличается как по площади, так и по конфигурации. Смачивание поверхности кристалла и корпуса расплавленным припоем зависит от поверхностного натяжения припоя. Чем оно выше, тем расплавленный припой хуже смачивает паяемую поверхность. В то же время известно, что поверхностное натяжение припоев (металлов) - не основной показатель процесса смачивания при пайке. Этот процесс еще зависит от физико-химических свойств металла покрытия.

Большую роль при растекании играет слой припоя, непосредственно прилегающий к покрытию, по которому происходит растекание. Этот слой называют “пристеночным слоем”, так как его свойства (скорость движения, плотность и термодинамические параметры) существенно отличаются от свойств припоя, расположенного над ним.

При растекании расплавленного припоя по покрытию одновременно протекают ограниченные во времени и достаточно сложные процессы взаимодействия покрытие-припой-атмосфера, состояние равновесия которых, как правило, не достигается.

По всей видимости, при растекании припоя по покрытию в первую очередь происходит взаимодействие с металлом покрытия тех элементов из состава припоя, которые имеют меньшее поверхностное натяжение. Поэтому и граница раздела (припой-покрытие) имеет различную ширину.

Схема образцов для экспериментальных исследований показана на рис. 6.

Результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Количественный анализ распределения элементов (в %) на поверхности корпуса после расплавления навески припоя (нагрев в H_2 при температуре 390 ± 20 °С в течение 3 мин)

Покрытие корпуса	Припой	Исследуемый участок		
		А	В	С
Никель химический	ПОС40	Sn – 53,1; Pb – 46,9	Ni – 69,8; Sn – 14; Pb – 5,4; P – 7,5; Cu – 3,3	Ni – 87,6; P – 8,3; Cu – 3,6; Sn < 0,5
Никель химический	ПОС61	Pb – 41,6; Sn – 57; Cu – 1,4	Pb – 10,5; Sn – 65,1; Cu – 2,3; Ni – 22,1	Sn – 1,0; Cu – 2,9; Ni – 87,8; P – 8,3
Никель химический	ПСр2,5	Sn – 15,7; Pb – 80,6; Ni – 0,9; Ag – 2,8	Sn – 2,1; Cu – 2,8; Ni – 87,9; P – 7,2	Ni – 89,4; Cu – 2,8; P – 7,8
Серебро гальваническое	ПОС40	Sn – 46,4; Pb – 50,2; Ag – 2,5; Cu – 0,9	Ag – 99,0; Cu – 1,0	Ag – 99,3; Cu – 0,7
Серебро гальваническое	ПОС61	Pb – 42,8; Sn – 52,5; Ag – 2,2; Cu – 2,4	Pb – 0,9; Sn – 26,6; Ag – 70,6; Cu – 1,8	Pb – 0; Sn – 0; Ag – 98,5; Cu – 1,4
Серебро гальваническое	ПСр2,5	Pb – 80,5; Ag – 2,3; Cr – 1,6; Sn – 15,6	Pb – 81,2; Sn – 9,0; Ag – 9,0; Cu – 0,8	Pb – 1,5; Sn – 0; Ag – 97,8; Cu – 0,6

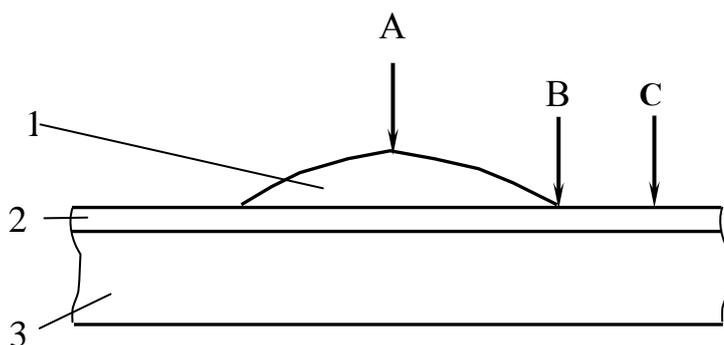


Рис.6. Схема образцов для исследований покрытия с припоем:

1 – припой; 2 – покрытие корпуса; 3 – корпус
 Исследуемые участки: А – центр припоя; В – граница припоя с покрытием; С – покрытие

Количественный анализ распределения элементов на поверхности корпусов с покрытиями (серебро гальваническое и никель химический) после расплавления припоев ПОС40, ПОС61 и ПСр2,5 при режимах пайки кристаллов показал, что происходит изменение химического состава припоя, границы припоя с покрытием и паяемого покрытия.

Таким образом, данные исследования показывают изменение состава поверхностного слоя покрытий корпусов после пайки кристаллов. Это необходимо учитывать при выборе режимов присоединения выводов к корпусу и герметизации полупроводниковых ИЭТ.

Цель работы:

1) исследование структуры и химического состава покрытий кристаллов и корпусов: после нанесения и термообработки на режимах пайки кристалла к основанию корпуса;

2) количественный анализ распределения элементов (в %) на исследуемых поверхностях.

Практическое занятие № 3

Анализ процессов нанесения медной металлизации на кристаллы ИС и СБИС

Введение

К покрытиям предъявляются следующие основные требования [5, 6]:
они должны обеспечивать хорошую паяемость с полупроводниковыми кристаллами и свариваемость с внутренними выводами;
сохранять способность к пайке и сварке при заданном сроке хранения; обеспечивать антикоррозионную защиту;
не подвергаться росту нитевидных кристаллов («усов») при хранении и разрушению при температурах сборки, испытании и эксплуатации.
обеспечивать минимальное переходное электрическое сопротивление;
быть устойчивыми к тепловому удару при монтаже приборов на печатные платы пайкой, к химическим реагентам, используемым в процессе сборки;
обеспечивать адгезию компаунда при герметизации прибора опрессовкой полимером.

На надежность соединений влияют физико-механические свойства материала контактных площадок. Например, акустические условия в зоне УЗС зависят от морфологии покрытий контактных площадок. Для образования прочного и надежного микросоединения необходимо иметь поверхность покрытия контактных площадок с малой высотой микронеровностей и, по возможности, меньшим значением внутренних напряжений в покрытии [7].

Производство ИС, особенно БИС и СБИС ориентировано на использование автоматического сборочного оборудования производительностью до 15 тысяч соединений в час и более с электронными сканирующими устройствами и системами оптико-телевизионного контроля. Широкое внедрение автоматического микросварочного оборудования при массовом производстве ППИ делает особо актуальной задачу повышения воспроизводимости качества микросоединений за счет ужесточения требований к физико-химическим свойствам и состоянию поверхности деталей, поступающих на операции сборки. Кроме различных конструктивно-технологических факторов на качество микросоединений оказывают существенное влияние пленочная металлизация на кристалле (толщина, состояние поверхности, структура и адгезия пленки с подложкой и др.) [8,9].

В настоящее время проводятся работы, направленные на формирование межсоединений из медной металлизации вместо алюминиевой, что способствует увеличению быстродействия ППИ и повышению их стабильности в процессе эксплуатации. Однако существующая технология производства медной системы металлизации не обеспечивает достаточной надежности межсоединений.

С развитием полупроводниковой технологии и уменьшением размеров элементов большое внимание уделяется проблеме задержки сигналов в соединительных линиях. В связи с этим, возникла необходимость замены алюминиевой металлизации на медную в производстве современных ИС, в первую очередь микропроцессоров с элементами субмикронных размеров [15]. По сравнению с алюминием удель-

ное сопротивление меди $1,7 \text{ мкОм} \times \text{см}$ даже при осаждении в узкие канавки ($2,8 \text{ мкОм} \times \text{см}$ у алюминия). Кроме того, медь обладает высокой устойчивостью к электромиграции по сравнению с алюминием.

Основные принципы создания схем с медной металлизацией представлены фирмами IBM, Motorola и Texas Instruments на декабрьской международной конференции по электронным приборам (IEDM) в 1997г. В «медных схемах» первый уровень металлизации для формирования контактов к областям истока, стока и затвора – вольфрамовый. Этот барьерный металл предназначен для защиты активных областей прибора от диффузии меди, а также для улучшения адгезии меди к пластине. Часть вольфрамовых токопроводящих дорожек может быть очень малой длины. Остальная металлизация, в том числе и покрытия сквозных отверстий, - медная.

По данным исследовательской фирмы The Information Net work, в 2009 г. ускорился переход к использованию медных межсоединений в схемах памяти. Так, если общий объем продаж полупроводникового оборудования сократился более чем на 40 %, то тот же показатель для оборудования, непосредственно связанного с формированием медных межсоединений в процессе производства ППИ, - только на 8,7 % [14].

Массовое производство ДОЗУ с медной металлизацией вместо алюминиевой первой начала осуществлять корпорация Micron Technology уже в конце 2006 г. Через год эту технологию стала применять Elpida. Затем все основные изготовители ИС ЗУ во главе с корпорацией Samsung Electronics затратили значительные суммы для модернизации своих заводов по обработке пластин под «медные» процессы.

Переход от алюминиевой металлизации к медной достаточно сложный. При минимизации топологических элементов и увеличении объема меди в структуре требуется более тонкий слой барьерного металла и поддержание эффективного удельного сопротивления. Основной проблемой перехода к медным межсоединениям в условиях миниатюризации ППИ, в частности, СБИС с элементами субмикронных размеров, является большая диффузионная подвижность Cu в различных материалах. Это вынуждает окружать медные межсоединения со всех сторон диффузионно-барьерным слоем (ДБС).

Для металлизации с проводящим слоем на основе меди известны ДБС на основе TiN, Ti-Si-N, TaN, Ta-Si-Ni, TiW, W₂N и др. Свойства ДБС для металлизации на основе меди приведены в таблице [16].

Сравнительные свойства барьерных материалов для металлизации на основе меди

Материал ДБС	Температурная стабильность Tстаб, °С	Удельное сопротивление ρ_v , мкОм×см
TaN (PVD)	700	580
TaN (PVD)	600	450
TaN (CVD)	550	900
TaC (PVD)	600	210
TiN (PECVD)	500	200
Ti-Si-N (PVD)	600/650	215/590
W ₂ N (PVD)	600	205

Примечание: в скобках указаны способы формирования ДБС [16].

Выбор ДБС должен основываться на физико-химических представлениях о процессах, происходящих в гетерогенной системе, а именно [17]: компоненты, входящие в состав ДБС, должны обладать как можно более высокой теплотой сублимации или низким давлением собственных паров; материал ДБС должен обладать более отрицательной теплотой образования. Авторы работы [17] в качестве основы барьерного материала выбрали сплав Ta-W с добавлением в него азота, т.к. W и Ta образуют нитриды W_2N и TaN с теплотами образования – 5,7 и – 29, 5 ккал/(г×ат) соответственно. Исследование пленок сплава Ta-W-N показали перспективность его использования в системе металлизации СБИС субмикронного уровня. Пленки данного сплава имеют следующие свойства: достаточно низкое удельное сопротивление ($\square 260$ мкОм×см); не имеют границ зерен; не взаимодействуют с медью; не только не пропускают через себя медь, но и выталкивают ее из объема на поверхность; сохраняют аморфное состояние в структуре Cu/W-Ta-Ni/Si до 700 °С. При использовании медных токоведущих слоев (ТВС) наличие ДБС требуется не только в области контактного окна, но и на маскирующем SiO_2 , поскольку медь быстро диффундирует через него даже при низких температурах [18].

В работе [19] достаточно подробно рассмотрены конструктивно- технологические особенности изготовления многоуровневой металлизации СБИС, обеспечивающие улучшение качества медных проводников.

В связи с вышеизложенным, технологам по сборке 3D изделий с использованием кристаллов с медной металлизацией необходимо в первую очередь обратить внимание на систему Cu/W-Ta-Ni/Si. Для этого нужно провести анализ качества микросоединений алюминиевой, медной и золотой проволок с медной металлизацией при микросварке проволочных выводов при сборке 3D изделий.

Основным недостатком меди по сравнению с алюминием является низкая радиационная стойкость металлизации, контактных соединений и, в целом, 3D изделий. На вопросы применения меди или алюминия в радиационно-стойких 3D изделиях необходимо проведение целого комплекса сравнительных испытаний.

Практическое занятие № 4
Исследование микротвердости медной металлизации на кристаллах
методом Кнупа
Введение

Методы измерения микротвердости регламентированы ГОСТ 9450–76 и предназначены для измерения микротвердости изделий и образцов из металлов, сплавов, минералов, стекол, пластмасс, полупроводников, керамики, тонких листов, фольги, пленок, гальванических, диффузионных, химически осажденных и электроосажденных покрытий вдавливанием алмазных наконечников. Микротвердость – это твердость очень малых (микроскопических) объемов материалов.

Стандарт устанавливает два метода испытаний: по восстановленному отпечатку (основной метод) и по невозстановленному отпечатку (дополнительный метод).

Измерение микротвердости методом восстановленного отпечатка состоит в нанесении на испытываемую поверхность изделия отпечатка под действием статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определенного времени. Максимальная нагрузка составляет 4,905 Н.

Число микротвердости определяют делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки в ньютонах (килограмм-силах) на условную площадь боковой поверхности отпечатка в квадратных миллиметрах. Измерения твердости при малой нагрузке можно проводить на стандартных приборах для испытания твердости по Бринеллю и Виккерсу [1]. При испытании по Бринеллю используют шарик диаметром 1 мм; необходимое при этом усилие определяют по таблицам, а величину твердости *HB* рассчитывают по формуле

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F}{\pi D [D - (D^2 - d^2)^{1/2}]}, \quad (1)$$

где *F* – приложенная нагрузка, Н; *D* – диаметр шарика, мм; *d* – диаметр отпечатка, мм.

При испытаниях с использованием малой нагрузки в качестве индентора обычно применяют пирамиду Виккерса. Величину твердости при этом рассчитывают по формуле (2), измеряя длину диагоналей и приложенную нагрузку.

$$HV = \frac{0,102 \cdot F \cdot 1,854}{d^2} = \frac{0,189 \cdot F}{d^2}, \quad (2)$$

где *d* – среднее арифметическое длин диагоналей квадратного отпечатка. В интервале макротвердости значения *HV* в первом приближении не зависят от приложенной нагрузки; при усилиях же <10 Н величина нагрузки влияет на значения *HV*. Если по величинам твердости, измеренным при малой нагрузке, путем экстраполяции определять значения макротвердости, то можно сравнивать только те данные, которые были определены при одинаковой нагрузке.

При определении твердости по Кнупу в качестве индентора используют алмазную пирамиду с ромбическим основанием. Как показано на рис. 1, угол пересечения выступающих продольных ребер этой пирамиды составляет 172°30', а поперечных 130°.

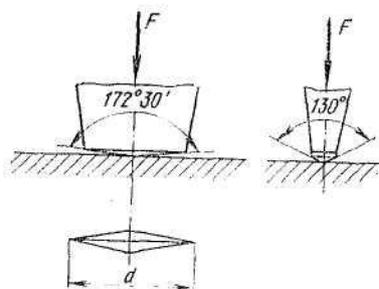


Рис. 1. Определение твердости по Кнупу

Благодаря этому получается отпечаток, продольная диагональ которого примерно в 7 раз больше, чем поперечная. Продольную диагональ можно измерить относительно точно. В отличие от значений твердости по Бринеллю и Виккерсу величина твердости по Кнупу H_k рассчитывается как соотношение нагрузки F к проекции поверхности отпечатка по формуле

$$H_k = 100F/7,02Sd^2. \quad (3)$$

Глубина вдавливания очень маленькая ($\sim 1/30$ продольной диагонали d). Благодаря такой малой глубине вдавливания метод определения твердости по Кнупу наиболее пригоден для измерения тонких слоев (например, гальванических покрытий из алюминия).

Измерение микротвердости методом невосстановленного отпечатка заключается в нанесении на поверхность образца отпечатка под действием статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определенного времени, с одновременным измерением глубины отпечатка. Метод невосстановленного отпечатка применяют также для определения дополнительных характеристик материала.

При этом методе число микротвердости определяют делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки в ньютонах на условную площадь боковой поверхности отпечатка в квадратных миллиметрах, соответствующую его измеренной глубине.

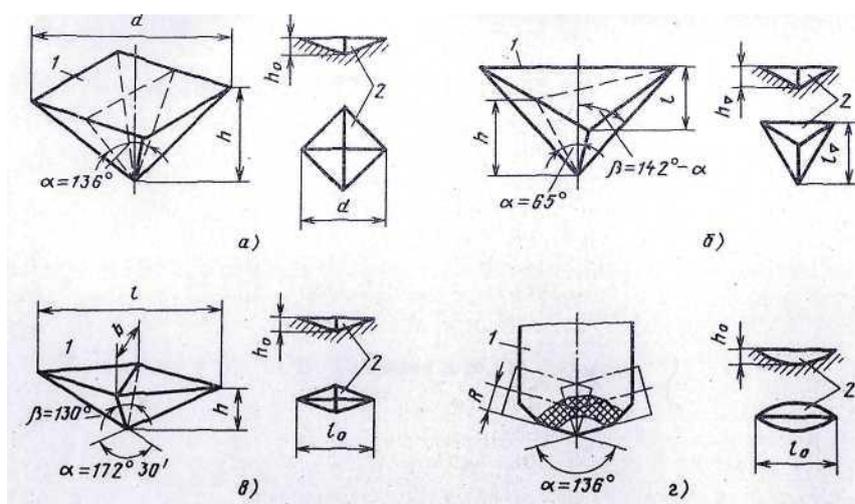


Рис. 2. Форма алмазных наконечников (1) и отпечатков (2) на образцах при измерении микротвердости:

a – четырехгранная пирамида с квадратным основанием; b – трехгранная пирамида с основанием в виде равностороннего треугольника; v – четырехгранная пирамида с ромбическим основанием; z – бицилиндрический наконечник.

В зависимости от формы наконечника (рис. 2) числа микротвердости определяют по формулам:

для четырехгранной пирамиды с квадратным основанием

$$H_{\square.m} \approx 0,03784P/h^2_{\square} \quad (4)$$

для трехгранной пирамиды с основанием в виде равностороннего треугольника

$$H_{\triangle.m} \approx 0,03797P/h^2_m \quad (5)$$

для четырехгранной пирамиды с ромбическим основанием

$$H_{\rho.m} \approx 0,01385P/h^2_n \quad (6)$$

для бицилиндрического наконечника

$$H_{b.m} \approx 0,01385P/h^{3/2}_b \quad (7)$$

где P – нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику, Н (кгс); h – глубина отпечатка, мм.

Число микротвердости вычисляют по формулам (1) – (7) или находят по таблицам ГОСТа 9450–76. Размеры d и l отпечатка по его измеренной глубине h (см. рис. 2) определяют по таблице из ГОСТа 9450–76.

Нагружение следует проводить плавно, без толчков; скорость опускания алмазного наконечника не должна влиять на размеры отпечатка; продолжительность выдержки не менее 3 с.

В общем случае при определении макротвёрдости и при измерении твердости с использованием малой нагрузки получают отпечатки на сравнительно большом участке поверхности, соответствующие средним значениям твердости, на которые влияет большое число отдельных зерен. Если необходимо узнать твердость отдельных структурных составляющих, то приложенную нагрузку уменьшают так, чтобы получаемый отпечаток относился только к исследуемой структурной составляющей. Поэтому при измерении микротвердости прикладывают нагрузку в пределах от 0,002 до 2 Н, а в качестве индентора обычно применяют пирамиду Виккерса. Ее помещают в сверление фронтальной линзы микроскопа; при этом окружающая кольцеобразная часть линзы остается свободной, что вполне достаточно для освещения и передачи изображения. Нагрузка передается с помощью пружинной системы; для получения наибольшей точности измерения следует давать как можно большую нагрузку. Верхний предел ее определяется прежде всего величиной исследуемой структурной составляющей, поскольку она должна в несколько раз превышать размер отпечатка. Это требование, в частности, относится к испытанию твердых частиц в мягкой массе основы, так как в противном случае большие по сравнению с размером твердых частиц отпечатки продавливают их. При измерении твердости тонких поверхностных слоев толщина их должна в 10 раз превышать глубину вдавливания или в полтора раза длину продольной диагонали.

Важнейшим свойством, влияющим на качество операции присоединения внутренних выводов ППИ, является твердость покрытий. Поэтому именно твердость была выбрана для сравнительного анализа покрытий кристаллов Cu-Ni после напыления и после отжига образцов.

Методы измерения микротвердости регламентированы ГОСТ 9450–76 и предназначены для измерения микротвердости изделий и образцов из металлов, сплавов, минералов, стекол, пластмасс, полупроводников, керамики, тонких листов, фольги, пленок, гальванических, диффузионных, химически осажденных и электроосажденных покрытий вдавливанием алмазных наконечников. Микротвердость – это твердость очень малых (микроскопических) объемов материалов.

Стандарт устанавливает два метода испытаний: по восстановленному отпечатку (основной метод) и по невосстановленному отпечатку (дополнительный метод).

Измерение микротвердости методом восстановленного отпечатка состоит в нанесении на испытываемую поверхность изделия отпечатка под действием статической нагрузки, приложенной к алмазному наконечнику в течение определенного времени. Максимальная нагрузка составляет 4,905 Н.

Число микротвердости определяют делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки в ньютонах (килограмм-силах) на условную площадь боковой поверхности отпечатка в квадратных миллиметрах. Измерения твердости при малой нагрузке можно проводить на стандартных приборах для испытания твердости по Бринеллю и Виккерсу [55].

При испытаниях с использованием малой нагрузки в качестве индентора обычно применяют пирамиду Виккерса. Величину твердости при этом рассчитывают по следующей формуле, измеряя длину диагоналей и приложенную нагрузку

$$HV = \frac{0,102 \cdot F \cdot 1,854}{d^2} = \frac{0,189 \cdot F}{d^2}, \quad (8)$$

где d – среднее арифметическое длин диагоналей квадратного отпечатка.

В интервале макротвердости значения HV в первом приближении не зависят от приложенной нагрузки; при усилиях же <10 Н величина нагрузки влияет на значения HV . Если по величинам твердости, измеренным при малой нагрузке, путем экстраполяции определять значения макротвердости, то можно сравнивать только те данные, которые были определены при одинаковой нагрузке.

При определении твердости по Кнупу в качестве индентора используют алмазную пирамиду с ромбическим основанием. Как показано на рисунке 21, угол пересечения выступающих продольных ребер этой пирамиды составляет $172^\circ 30'$, а поперечных 130° .

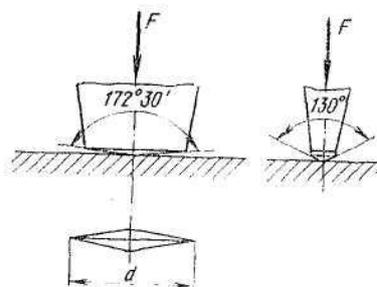


Рис.3. Определение твердости по Кнупу

Благодаря этому получается отпечаток, продольная диагональ которого примерно в 7 раз больше, чем поперечная. Продольную диагональ можно измерить относительно точно. В отличие от значений твердости по Бринеллю и Виккерсу вели-

чина твердости по Кнупу H_k рассчитывается как соотношение нагрузки F к проекции поверхности отпечатка по формуле

$$H_k = 100F/7,02Sd^2 \quad (9)$$

Глубина вдавливания очень маленькая ($\sim 1/30$ продольной диагонали d). Благодаря такой малой глубине вдавливания метод определения твердости по Кнупу наиболее пригоден для измерения тонких слоев.

Нагружение следует проводить плавно, без толчков; скорость опускания алмазного наконечника не должна влиять на размеры отпечатка; продолжительность выдержки не менее 3 с.

В нашем эксперименте проводились исследования микротвердости по методу Кнупа на двух образцах (после напыления и после отжига при температуре 400 °С).



Рис.4. Фрагмент отпечатков микротвердости с использованием пирамиды Кнупа

Цель работы

1. Ознакомление с методами определения микротвердости пленочных покрытий.
2. Провести замеры твердости Cu-Ni металлизации на кристаллах интегральных схем после напыления и отжига при температуре 400 °С
3. Построить график интегрального распределения микротвердости.
4. Выводы.

Практическое занятие № 5

Способы повышения качества проволочного монтажа ИС

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МИКРОСОЕДИНЕНИЙ AL-AL НА КРИСТАЛЛАХ, ВЫПОЛНЕННЫХ УЗС

В качестве образцов использовались кремниевые пластины с готовыми структурами ИС[18]. Методом магнетронного распыления в вакууме наносилась алюминиевая металлизация с добавлением 1 % (в массовых долях) кремния или никеля. Для повышения адгезии алюминиевой пленки к диэлектрическому покрытию кристалла ИС проводилась термообработка в среде азота в течение 25 мин. для МОП-структур при температуре 475 °С и в течение 15 мин. для биполярных структур при температуре 520 °С. Пассивирующее покрытие из оксида кремния наносилось на металлизацию пиролитическим осаждением, а вскрывалось на контактных площадках методом плазмохимического травления через маскирующий фоторезист. Разварка алюминиевой проволоки марки АК09ПМ35 проводилась на автомате типа УЗС.А-1 как на готовых структурах ИС, так и на тестовых структурах без гравировки металлических дорожек и без использования защитного диэлектрика.

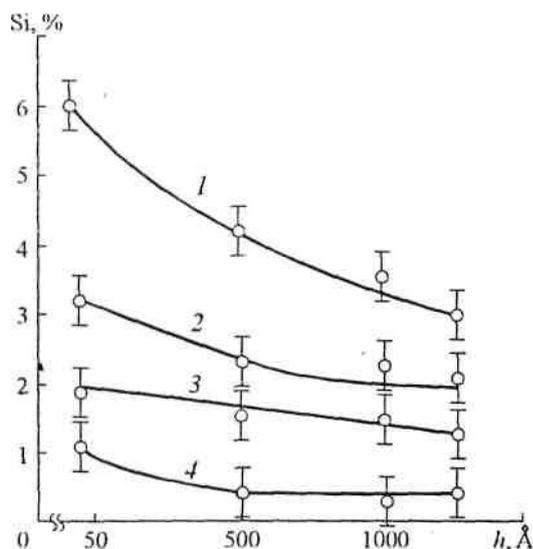
В результате сравнительной оценки свариваемости на готовых и тестовых структурах было установлено, что микросоединения на тестовых структурах имели значительно лучшее качество. Это, очевидно, объясняется тем, что тестовые структуры не подвергались операциям фотолитографического формирования алюминиевой разводки на кристалле и нанесения защитного диэлектрического покрытия. Кроме того, свариваемость алюминиевых контактных площадок с добавлением 1 % никеля была значительно лучше, чем с добавлением кремния. Контроль состояния поверхности алюминия контактных площадок для структур, имеющих неудовлетворительную свариваемость, проведенный на растровом электронном микроскопе, показал наличие у некоторой группы контактных площадок отдельных крупных выступающих включений неправильной формы.

С помощью рентгеновского микроанализатора был установлен следующий состав этих включений: алюминий – 71 %, кремний – 12 %, кислород – 17 %. На структурах другой группы в углублениях микрорельефа поверхности были обнаружены остатки фоторезиста. По состоянию поверхности третья группа структур не имела внешних отличий от структур с хорошей свариваемостью. На этих структурах методом Оже-спектроскопии был проведен послойный анализ поверхности пленок 48 контактных площадок кристаллов ИС, результаты которого представлены в табл. 2[18]. Например, в поверхностном слое глубиной 50 Å пленки Al+1% Si в исследуемых контактных площадках содержание алюминия составляло от 70 до 80 вес.%, углерода от 3,5 до 14 вес.% и т. д.

Результаты контроля состава поверхности алюминиевых пленок, имеющих неудовлетворительную свариваемость

Состав исходной пленки	Вариант	Глубина поверхностно-го слоя, Å	Процентное содержание элементов					
			Al	C	O	Ni	Si	N, P
Al + 1 % Si	1	50	70-80	3,5-14	4-10	–	5-7	2-4
		500	78-86	2-8	3-8	–	3-4,5	0-1,5
	2	50	0-10	70-87	22-36	–	1-2	2,3
		500	23-35	45-56	10-15	–	1	1-3
Al + 1 % Ni	3	50	70-80	5-12	4-9	1	4-5	2-3
		500	16-89	2-7	3-7	1	3-3,5	1-2
	4	50	0-12	65-87	18-40	1	1-2	2-3
		500	24-37	43-57	10-20	1	0-1	1-2

Как показано на таблице, свариваемость ухудшается при загрязнении поверхностного слоя углеродом (более 40 %) и связанным с ним кислородом (варианты 2 и 4) или при повышенной концентрации кремния (более 3 %) (варианты 1 и 3). В вариантах 2 и 4 практически на поверхности отсутствовал алюминий. Легирование алюминиевой металлизации кремнием (до 1 %) при вакуумном напылении приводит к повышенной его концентрации на поверхности после операции фотогравировки металлизированной разводки на структуре и диэлектрического покрытия диоксидом кремния. Увеличение содержания кремния в поверхностном слое металлизации (рисунок) связано с растворением пассивирующего диэлектрического покрытия даже при пироли-тическом способе его нанесения, хотя температура нагрева подложки в этом случае минимальная и составляет 430-450 °С.



Распределение содержания кремния в поверхностном слое алюминиевой металлизации толщиной 1200 Å: 1-3 – для металлизации Al+1%Si; 4 – для двухслойной металлизации Al-Al+1% Si (1 – неудовлетворительная свариваемость; 2 – удовлетворительная; 3-4 – хорошая)

На операции вскрытия диэлектрика под контакты этот слой может удалиться не полностью. По этой причине возможны и локальные «островковые» остатки пассивирующей пленки на поверхности контактных площадок структур, которые практически невозможно определить методами контактной разности потенциала и «мягкого» зонда. Увеличение концентрации кремния и связанного с кислородом углерода способствует повышению микротвердости алюминиевой пленки, что ухудшает ее пластическую деформацию и приводит к нарушению изолирующего диэлектрика под алюминиевой металлизацией при сварке.

Для алюминиевой металлизации, легированной никелем (до 1 %), аналогичная термообработка не приводит к увеличению концентрации никеля ни на поверхности, ни по толщине пленки. Кроме того, такие пленки более пластичны, чем легированные кремнием. С целью исключения нарушений диэлектрического покрытия в процессе присоединения выводов было предложено на контактных площадках формировать два слоя алюминия по следующей схеме: нижний слой (более толщины защитного диэлектрического покрытия) легируют 1 % кремния или никеля до микротвердости не менее микротвердости материала вывода, а верхний слой (толщиной не менее 0,4 мкм) не легируют (рис. 6).

Нанесением верхнего слоя чистого алюминия обеспечивают хорошую свариваемость с алюминиевым микропроводником при «мягких» сварочных режимах за счет высокой пластичности данного слоя. При толщине чистого алюминия более 0,4 мкм зона взаимодействия свариваемых материалов не доходит до нижнего слоя; уменьшение толщины данного слоя приводит к взаимодействию проводника с нижним слоем легированного алюминия, что может привести к деформации последнего и контакту проводника со ступенькой диэлектрика. Формированием нижнего слоя контактной площадки из алюминия, легированного до микротвердости не менее микротвердости материала вывода и толщиной более толщины защитного диэлектрического покрытия, защищают диэлектрическое покрытие от непосредственного контакта с привариваемым проводником. Верхний слой алюминия выполняет функцию своеобразной демпфирующей прослойки, за счет деформации которой при сварке и выдавливания ее на периферию контактной площадки практически устраняют деформацию нижнего слоя легированного алюминия и исключают непосредственный контакт вывода с защитным диэлектрическим покрытием. Верхние пределы толщины слоев ограничены только необходимой степенью разрешения фотолинтографии при формировании металлизированной разводки.

Нанесение слоев алюминиевой металлизации за один технологический процесс обеспечивает гарантированную адгезию между ними. Данная конструкция дает 100 %-ное распознавание контактных площадок с помощью системы технического зрения установки УЗС.А-2 и повышение стабильности прочности формируемых микросварных соединений на 30-40 %.

Практическое занятие № 6

Расчеты прочности столбиковых выводов с кристаллами/корпусами 3D изделий микроэлектроники»

Оценка прочности соединения кристалла с основанием корпуса.

В электронной промышленности широко используется способ оценки прочности крепления кристалла к держателю (табл.1). Однако в данном способе не учитывается толщина кристалла, что не позволяет использовать максимально допустимое усилие сдвига кристалла, исключая его разрушение. Кроме того, не берется во внимание возможное наличие пустот (непропаев) в паяном шве.

Таблица 1

Зависимость минимально-допустимого усилия сдвига от площади кристалла
(ОСТ 11 073.013-2008, часть 1, стр. 39)

Площадь кристалла, мм ²	До 0,5	> 0,5 до 1,0	> 1,0 до 1,5	> 1,5 до 2,0	> 2,0 до 2,5	> 2,5 до 3,0	> 3,0 до 3,5	> 3,5
Минимально-допустимое усилие сдвига, кгс	0,2 (0,1)	0,6 (0,3)	1,0 (0,5)	1,4 (0,7)	1,6 (0,8)	1,8 (0,9)	2,2 (1,1)	2,5 (1,25)

Примечание: значение в скобках приведены для проверки прочности крепления кристаллов, посаженных на клей.

Пример расчета.

По ОСТ 11 073.013-2008 проведем оценку прочности соединения кристалла с основанием корпуса. Определим максимально допустимое усилие сдвига кремниевого кристалла площадью 3,24 мм² (1,8 мм x 1,8 мм) и толщиной 0,3 мм с основания корпуса. Кристалл присоединяется к основанию корпуса пайкой с использованием припоя ПОС40. Допускаемое напряжение для кремния при сжатии $[\sigma]_{сж} = 9,47$ кгс/мм², а допускаемое напряжение в паяном шве на срез $[\tau]_{ср} = 3,9$ кгс/мм².

При работе элемента паяной конструкции на сжатие расчетным значением прочности P' паяного соединения будет

$$P' = [\sigma]_{сж} F,$$

где $[\sigma]_{сж}$ – допускаемое напряжение для основного материала (кристалла) при сжатии, кгс/мм²;

F – площадь поперечного сечения кристалла в направлении действия усилия сжатия, мм².

Подставляя значения $[\sigma]_{сж} = 9,47$ кгс/мм², размеры кристалла 1,8 мм и 0,3 мм, получаем $P' = 5,11$ кгс. Т.е. кристалл при данном усилии сдвига не будет разрушаться.

В табл. 3 приведены значения прочности P' паяного соединения (усилия сдвига) для кристаллов размером 1,8 мм x 1,8 мм при толщине от 0,3 до 0,6 мм.

Таблица 2

Зависимость прочности P' (усилие сдвига) от толщины кристалла.

Толщина кристалла, мм	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
Площадь поперечного сечения кристалла в направлении действия усилия сжатия, мм ² .	0,54	0,63	0,72	0,81	0,9	0,99	1,08
Прочность P' (усилие сдвига), кгс	5,11	5,97	6,82	7,67	8,52	9,38	10,23

Из табл. 3 видно, что только кристалл толщиной 0,6 мм будет разрушаться при сдвиге с усилием 10,23 кгс, т.е. больше допускаемого напряжения при сжатии ($[\sigma]_{сж} = 9,47$ кгс/мм²).

Соединение кристалла с основанием корпуса относится к нахлесточному соединению. Для данного типа соединения расчет прочности P кристалла с корпусом определяется по формуле

$$P = [\tau']_{ср} b l,$$

где $[\tau']_{ср}$ – допускаемое напряжение в паяном шве на срез, кгс/мм²;

b – ширина шва, мм;

l – длина шва (нахлестки), мм.

Для припоя ПОС40 $[\tau']_{ср} = 3,9$ (размеры кристалла $b = 1,8$ и $l = 1,8$).

Подставляя эти значения в формулу прочности (при отсутствии непропаев в паяном шве, т.е. когда площадь паяного шва равна площади кристалла), получим $P = 12,64$ кгс.

В табл. 3 приведены значения усилия сдвига кристалла 3,24 мм² при различных значениях площади паяного шва.

Таблица 3

Прочность соединения кристалла с корпусом P (усилие сдвига) при различных значениях площади паяного шва.

Площадь паяного шва в % от площади кристалла, мм	100	50	0	0	5	7,3
Прочность соединения кристалла с корпусом P (усилие сдвига), кгс	2,64	,48	,85	,32	,16	,19

Расчеты показывают, что кремниевый кристалл площадью 3,24 мм² выдерживает при сдвиге минимально-допустимое усилие 2,2 кгс. Однако площадь паяного соединения (спая) составляет около 17 % от площади кристалла. То есть, кристаллы с площадью непропаев в паяном шве 83 % будут считаться годными на операции контроля прочности паяных соединений кристалла с корпусом (по ОСТ 11 073.013-2008). Из табл. 3 видно, что соединение кристалла с корпусом выдерживает усилие сдвига величиной 8,85 кгс без разрушения, при этом площадь непропаев (пустот) в паяном шве составляет 30 % от площади кристалла. В этом случае усилие сдвига не приведет к разрушению кристалла, т.к. меньше $[\sigma]_{сж}$.

1. Цель работы:

1.1. Ознакомиться с приспособлением для оценки прочности присоединения кристалла к основанию корпуса.

1.2. Экспериментально оценить прочность соединений кристаллов с основанием корпусов.

1.3. Построить номограммы максимально-допустимых усилий сдвига кремниевых кристаллов в зависимости от их геометрических размеров и площади спаев в паяном шве.

Примечание: 1) Площадь кристаллов от 0,5 до 6 мм²;

2) Толщина кристаллов от 0,3 до 0,6 мм;

3) Площадь спаев в паяном шве, в %: 17,3; 25; 50; 70; 75; 100.

2. Контрольные вопросы

2.1. Разрушающие способы контроля прочности соединений кристаллов с кристаллодержателями.

2.2. Неразрушающие способы контроля прочности соединений кристаллов с кристаллодержателями.

2.3. Выборы способов контроля качества соединений кристаллов с кристаллодержателями конкретных ППИ (по рекомендации преподавателя).

2.4. Особенности испытаний на сдвиг кристаллов по методике, изложенной в ОСТ 11.073.013-2008 (часть 1, с. 39)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тилл У., Интегральные схемы: Материалы, приборы, изготовление: пер. с англ. / У. Тилл, Д. Лаксон. – М.: Мир, 1985.

2. Полупроводниковые приборы: учебник для вузов / Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков; под ред. В.А. Лабунцева. – М.: Энергоатомиздат. 1990.

3. Онегин Е.Е. Автоматическая сборка ИС. Технологический процесс. Оборудование. Управление. Техническое зрение. Привод: справ. пособие / Е.Е. Онегин, В.А. Зенькович, Л.Г. Битно. – Мн.: Вышш. шк., 1990.

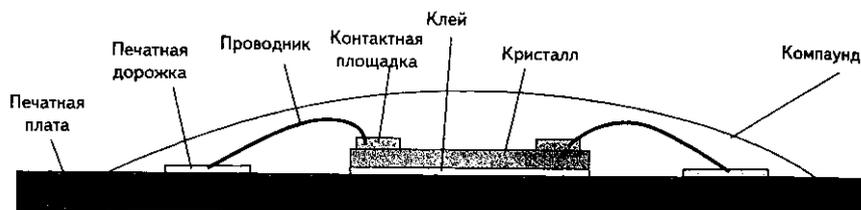
4. ОСТ 11 073.013-2008 (Микросхемы интегральные. Методы испытаний), ч. 1. С.39.

5. Парфенов А.Н. Введение в теорию прочности паяных соединений / А.Н. Парфенов // Технологии в электронной промышленности, 2008, №3.

6. Зенин В.В. Особенности оценки прочности соединения кристалла с основанием корпуса / В.В. Зенин, А.В. Кочергин // Технологии в электронной промышленности. 2009. №7. С. 58-61.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ «ЧИП-НА-ПЛАТЕ»

В технологии «кристалл-на-плате» расположение микросхем осуществляется непосредственно на монтажную поверхность печатной платы. Кристалл микросхемы приклеивается к плате. Затем контактные площадки кристалла соединяются с контактными площадками (печатными дорожками) печатной платы (см. рисунок).



Монтаж кристалла микросхемы непосредственно на плату

Технология «кристалл-на-плате» (COB). Технология печатной платы в целом не отличается от обычной, но контактные площадки, предназначенные для присоединения проволочных выводов, имеют более твердую структуру. Технология формирования металлизации на контактных площадках платы следующая: на медь осаждается слой химического никеля толщиной 0,1 – 0,2 мм. Контактные площадки для COB – монтажа имеют ширину до 100 мкм, и шагом между проводниками менее 100 мкм. Монтаж кристаллов на печатную плату осуществляется на серебрясодержащий адгезив, который отверждается и проходит дегазацию при температурах до 150 °С. Монтаж кристаллов возможен на припойную пасту.

Теплоотвод от силовых компонентов осуществляется монтажом кристаллов на металлические теплоотводы, вмонтированные в печатную плату. При окончательной сборке теплоотвод соединяется с основным радиатором изделия.

После монтажа кристалла и отверждения адгезива формируют электрические связи между контактными площадками кристалла и печатными дорожками печатной платы. Используют ультразвуковую сварку алюминиевой проволокой (тип соединения внахлестку «клин-клином») или термозвуковую сварку золотой проволокой (тип соединения «шарик-клин»). Способы и режимы формирования соединений представлены в таблице.

Цель работы.

Ознакомление с технологией сборки «чип-на-плате» (COB – монтаж).

Контрольные вопросы:

1. Выбор способов монтажа кристаллов на контактные площадки печатных плат.

2. Методы контроля качества соединений кристалл-плата.
3. Выбор режимов УЗС с использованием алюминиевой проволоки диаметром 35 мкм.
4. Выбор режимов ТЗС с использованием золотой проволоки диаметром 40 мкм. Особенности ТЗС золотой проволокой.
5. Методы контроля прочности проволочных соединений (при выборе оптимальных режимов УЗС и ТЗС).
6. Составить схему технологического маршрута сборки «кристалл-на-плате».

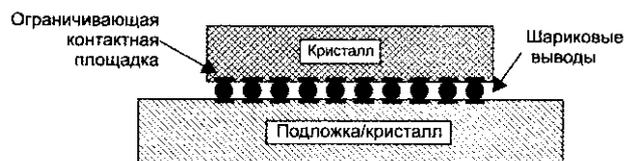
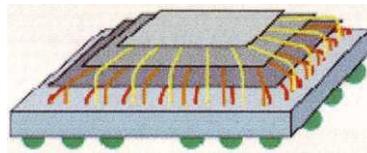
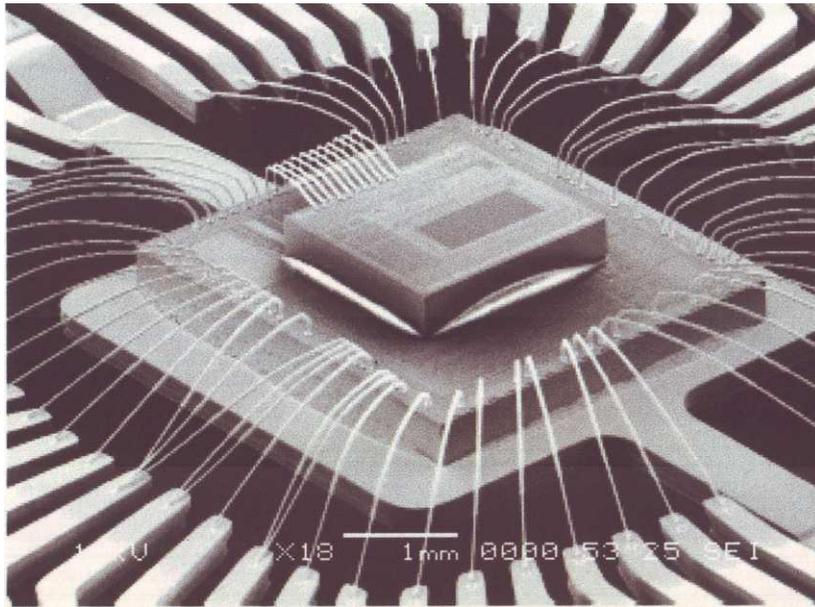
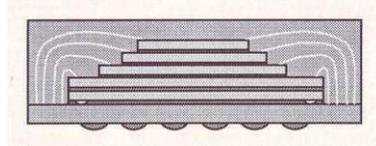
Основные методы присоединения проволочных выводов в микроэлектронике

Сварка	Основные характеристики процесса	Материал контактных площадок и элементов корпуса	Материал проволоки		Тип соединения (кристалл-корпус)	
			рекомендуемый	допускаемый	рекомендуемый	допускаемый
Термокомпрессионная	Температура 290-350°C Усилие 0,4-2 Н Время 0,05-0,5 с	Al, Au, Ag	Au, Au, Au	Al, Cu	встык внахлестку	внахлестку встык
Термозвуковая	Частота 66±6 кГц Амплитуда 0,5 мкм Усилие 0,2-1 Н Время 0,05-0,2 с	Al, Au, Ag	Au	Cu	То же	То же
Ультразвуковая	Частота 66±6 кГц Амплитуда 0,2-1 мкм Усилие 0,2-1 Н Время 0,02-0,1с	Al, Au, Ag, Ni, ковар, фени и др.	Al Al, Al	Au Cu	внахлестку внахлестку	встык внахлестку
Расщепленным электродом	Энергия 1,6-7,7 Дж Усилие 0,4-2,2 Н Время 0,02-4,0 с	Au, Ag, Ni, Al, Ti	Au Ag Cu Ni	сплавы на основе Au и Ag	плоские ленточные выводы	внахлестку
Косвенным импульсным нагревом	Температура 200-450°C Усилие 0,4-3,0 Н Время 0,01-2,0 с	Au, Ag, Ni, Al, Ti	Au Ag Al	То же	То же	То же

Практическое занятие № 8

Разработка технологии сборки микроэлектронного устройства с 300 выводами с использованием способа «FLIP-CHIP»

Схемы сборки «чип-на-чипе»



Цель работы: разработать технологию 3D сборки с использованием метода «flip-chip».

Технические условия:

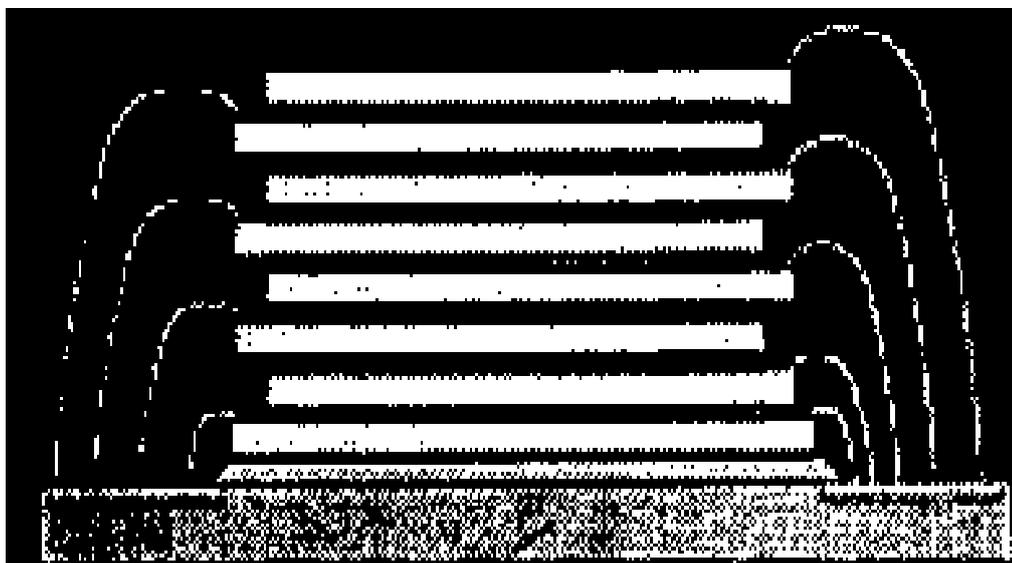
1. Нижний кристалл крепится к основанию корпуса методом «flip-chip».
2. Верхний кристалл соединяется с нижним лицевой стороной вверх.
3. Соединения контактных площадок верхнего кристалла с контактными площадками корпуса формируется УЗС алюминиевой проволокой диаметром 35 мкм.
4. Размер контактных площадок на кристалле и корпусе 100x100 мкм, расстояние между контактными площадками 100 мкм.

Требуется решить следующие вопросы:

1. Разработка топологии контактных площадок на нижнем и верхнем кристаллах (т.е. определить размеры этих кристаллов).
2. Разработка топологии контактных площадок на основании корпуса. Выбор металлизации контактных площадок на корпусе для УЗС алюминиевых выводов.
3. Выбор оптимального способа и технологии формирования шариковых выводов на кристалле.
4. Выбор металлизации контактных площадок кристалла для крепления шариковых выводов и присоединения внутренних выводов.
5. Выбор режимов присоединения кристалла с шариковыми выводами к основанию корпуса.
6. Обоснование способа присоединения верхнего кристалла к нижнему.
7. Способы контроля качества присоединения кристаллов.
8. Выбор режимов УЗС на кристалле (Al-Al) и корпусе (Al-Au).
9. Контроль качества присоединения внутренних выводов.
10. Привести схему собранного устройства.
11. Герметизация собранного устройства.

Практическое занятие № 9

Разработка технологии сборки микроэлектронного устройства с 500 выводов с использованием липких носителей



3D сборка из 8 кристаллов

Цель работы:

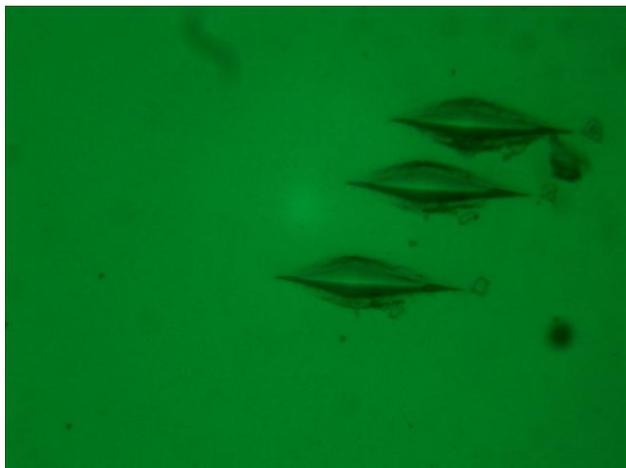
разработать технологию многокристальной сборки.

Технические условия:

1. Нижний кристалл крепится к основанию корпуса с помощью клея.
2. Количество кристаллов: пять.
3. Соединения контактных площадок верхнего кристалла с контактными площадками корпуса формируется УЗС алюминиевой проволокой диаметром 35 мкм.
4. Размер контактных площадок на кристалле и корпусе 100x100 мкм, расстояние между контактными площадками 100 мкм.

Требуется решить следующие вопросы:

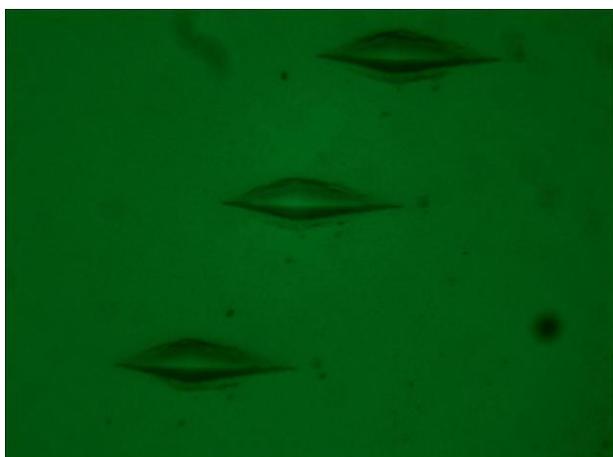
1. Разработка топологии контактных площадок на нижнем и верхнем кристаллах (т.е. определить размеры этих кристаллов).
2. Разработка топологии контактных площадок на основании корпуса. Выбор металлизации контактных площадок на корпусе для УЗС алюминиевых выводов.
3. Выбор метода соединения кристаллов между собой.
4. Способы контроля качества присоединения кристаллов.
5. Выбор режимов УЗС на кристалле (Al-Al) и корпусе (Al-Au).
6. Контроль качества присоединения внутренних выводов.
7. Привести схему собранного устройства.
8. Герметизация собранного устройства.



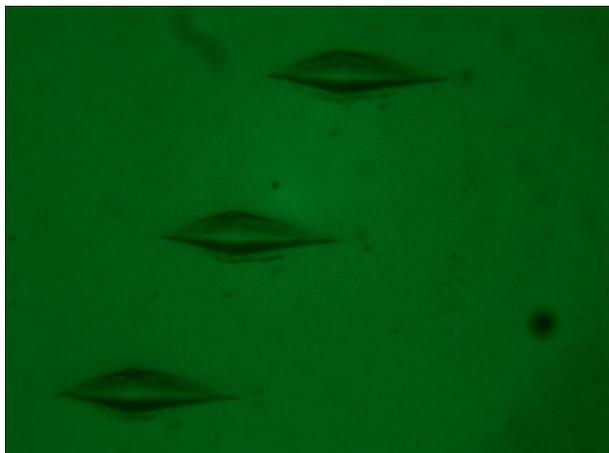
Си до отжига 1



Си до отжига 2



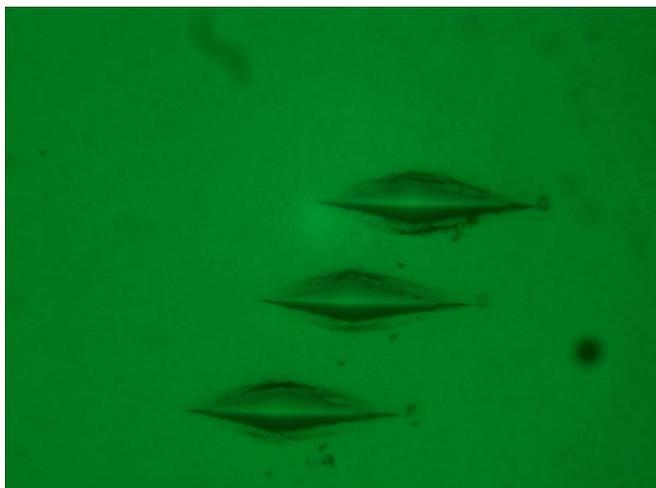
Си до отжига 3



Си до отжига 4



Си после отжига 1



Си после отжига 2



Si после отжига 3



Si после отжига 4

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплине

“Перспективные технологические процессы и оборудование для производства ИС и 3D изделий микроэлектроники” для студентов направления 16.04.01 «Техническая физика» (магистерская программа подготовки «Физика и техника полупроводников») очной формы обучения

Составители:

Зенин Виктор Васильевич
Землянский Александр Иванович

В авторской редакции

Компьютерный набор А.И. Землянского

Подписано к изданию 11.12.2014.

Уч.-изд. л. 5,1

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14

