



Эффективный способ монтажа ИС в корпуса Российский вариант

Монтаж кристаллов в корпуса — весьма ответственная операция, определяющая многие важные характеристики готового изделия. В начале 90-х годов в России была разработана технология, существенно улучшающая характеристики приборов и сулящая немалую экономию. У нее до сих пор нет аналогов в мире. Однако судьба ее оказалась традиционной для многих достижений отечественной науки — уникальная разработка мирно покоится под руинами советской микроэлектроники...

Один из наиболее распространенных способов монтажа полупроводниковых кристаллов в корпуса, особенно в металло- и стеклокерамические, — пайка золото-кремниевой эвтектикой. Однако помимо большого расхода золота данный способ имеет и ряд других недостатков: значительный уровень механических напряжений в кристаллах большой площади (свыше 100 мм^2), низкую радиационную стойкость, проблемы с прочностью кристаллов большой площади при соприкосновении с твердой золоченой поверхностью корпуса в процессе пайки и т.д. Другой часто применяемый метод — монтаж на различные клеевые композиции, приемлемый для изделий с коммерческой приемкой, — не обеспечивает высокой надежности вследствие низкой термодинамической стабильности полимерной основы клея. То же относится и к монтажу кристаллов пайкой мягкими припоями на основе олова и свинца, обладающими недостаточной крипоустойчивостью и радиационной стойкостью.

Чтобы освободиться от этих недостатков при монтаже кристаллов высоконадежных приборов, была разработана группа сплавов, не имеющих в составе драгоценных и тяжелых металлов. К сплавам — заменителям золота, используемым при пайке кремниевых кристаллов, предъявлялись следующие требования:

- температура пайки кристаллов не должна быть выше, чем при пайке на золото-кремниевую эвтектику, т.е. $420 - 440^\circ \text{C}$;
- смачивание либо чистой поверхности кремния (в оптимуме, и других полупроводников), либо поверхности, покрытой алюминием;
- пластичность, обеспечивающая приемлемый уровень механических напряжений в напаянных кристаллах;
- высокие электро- и теплопроводность, механическая прочность;
- невысокий барьер Шоттки;
- отсутствие в составе сплавов тяжелых

элементов для достижения требуемой радиационной стойкости.

В табл. 1 указаны металлы, представляющие интерес с точки зрения температуры плавления. В группу легкоплавких металлов вошли шесть элементов. Из них самую высокую теплопроводность и самое низкое электросопротивление имеет цинк. На нем как на наиболее перспективном материале было сосредоточено все внимание исследователей.

Однако известно, что чистый цинк не смачивает кремний даже при температуре, максимально допустимой для полупроводниковых кристаллов. Кроме того, температура пайки цинком превышает максимально допустимую (440°C), так как она должна быть на $20-40^\circ \text{C}$ выше температуры плавления, т.е. $450-460^\circ \text{C}$. Поэтому были исследованы эвтектические сплавы цинка, в частности с алюминием в соотношении $\text{Zn:Al}=95:5$.

Поскольку в системе Zn-Si в твердом состоянии отсутствует взаимная растворимость, необходимо обеспечить прочную химическую связь между поверхностью кристалла и припоем. Известно, что возможность образования соединений между металлами и неметаллами определяется разностью между соотношениями величин атомных радиусов и значений электроотрицательности взаимодействующих элементов. Как видно из табл. 2, это соотношение составляет для кремния 0,744, а для цинка — 1,158. Поэтому в сплав Zn-Al был введен германий с наиболее близким к кремнию соотношением “атомный радиус—электроотрицательность” (0,818). В сплаве Zn-Al-Ge германий находится в эвтектиках Zn-Ge и Al-Ge , т.е. электронное строение его атомов не искажено межатомными взаимодействиями с другими элементами. Потенциалы ионизации атомов кремния и компонентов сплава существенно различаются, что способствует образованию соединений и препятствует возникновению твердых растворов. При таких условиях между

поверхностью кристалла и припойным сплавом образуются ковалентные или смешанные химические связи, обеспечивающие прочное соединение.

Эти теоретические посылки прекрасно подтвердились экспериментально. Сплав Zn-Al-Ge отлично смачивает кремний при температуре $390-410^\circ \text{C}$, образуя прочное паяное соединение.

Для проверки данного подхода к созданию сплавов на базе эвтектики Zn-Al , пригодных для пайки кремния были отобраны еще два элемента с соотношением “атомный радиус—электроотрицательность”, близким к кремнию, — мышьяк (0,74) и сурьма (0,88); а также висмут, у которого данная величина заметно больше (1,01). Были изготовлены сплавы Zn-Al-As , Zn-Al-Sb и Zn-Al-Bi . При температурах пайки $390-410^\circ \text{C}$ первые два сплава отлично смачивали кремний и образовывали прочное паяное соединение. Третий же сплав не смачивал кремний даже при 470°C . Однако сплавы с мышьяком и сурьмой не рекомендуются к применению из-за высокой токсичности легирующих элементов, особенно проявляющейся при нанесении сплавов на корпуса приборов и их сборке.

После решения проблемы смачивания и образования соединения припоя с кристаллом необходимо было решить задачу соединения припоя с корпусом. Существуют два основных технологических приема при пайке кристаллов: пайка через прокладку и нанесение припоя в зону пайки кристалла в виде покрытия. Иногда эти приемы совмещаются. Исследования показали, что сплав Zn-Al-Ge хорошо смачивает многие металлы и керамики. Однако при расплавлении на его поверхности образуется достаточно эластичная окисная пленка. Для обеспечения смачивания ее необходимо разрушить, что легко достигается механическим воздействием. Но возникает проблема с удалением фрагментов этой пленки с границы раздела “припой—подложка”. Часто эти фрагменты в виде слабосвязанных частиц остаются

Таблица 1
Физические характеристики металлов, пригодных для пайки кремниевых кристаллов с точки зрения температуры плавления

Элемент	Т плав., °С	Уд.сопротивление, $\times 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$	Теплопроводность, Вт/м·град	ЛКТР, $\times 10^6, \text{ град}^{-1}$
Zn	419	6,1	112,7	30
Cd	320	7,57	92,85	31
In	156	8,37	71,5	28,4
Sn	232	11,3	59,8	21-31
Pb	327	19	35	28,3
Bi	271	109	8,41	13,4
Au	1063	2,3	310	14
Ag	960	1,62	453	19-20
Pd	1554	13	70,3	9,5
Al	660	2,62	221,5	24,9

ся на краю зоны пайки кристаллов и при механическом воздействии на корпус прибора превращаются в свободно перемещающиеся частицы, что, естественно, недопустимо. Фрагменты окисной пленки на границе раздела “припой–подложка” приводят к увеличению теплового и электрического сопротивления припойного шва и могут вызвать его разрушение при термоциклировании. Поэтому использовать этот сплав при пайке через прокладку нежелательно.

Из всего многообразия методов нанесения покрытий была выбрана локальная металлизация электрическим взрывом фольги. Она не требует применения вакуумного оборудования, обеспечивает очень высокую скорость осаждения, толщина покрытия не зависит от производительности процесса, нет необходимости многостадийной подготовки поверхности. А главное – обеспечивается весьма высокая адгезия покрытия как к металлам, так и к керамике. На такое покрытие производилась напайка кристаллов.

При пайке сплавом Zn-Al-Ge (в отличие от золота) кристалл вводится в соприкосновение с уже жидким припоём. Это снижает давление на кристалл при пайке и предотвращает разрушение кристаллов большой площади. Окисная пленка на сплаве разрушается механически притиранием кристалла в

двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Прочность пайки проверялась, в частности, и испытаниями кристаллов на сдвиг. Во всех случаях разрушались кристаллы, а не отслаивалось покрытие от подложки (корпуса). Исследования напаянных таким образом кристаллов показали, что уровень механических напряжений в них на 10–15% ниже, чем в кристаллах, напаянных через эвтектику Au-Si. Кроме того, после термоциклирования происходит снижение напряжений еще на 20–25% без уменьшения прочности спая. Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать изложенный способ монтажа кристаллов как наиболее эффективный для надежных приборов.

При создании оборудования для нанесения покрытия из сплава Zn-Al-Ge было изготовлено около 100 тыс. стеклокерамических корпусов с основаниями из алюмооксидной керамики и несколько тысяч металлокерамических корпусов с металлическими и металлизированными основаниями с покрытиями на основе никеля. В них производилась сборка микросхем различных типов с последующими испытаниями. Сбо-

рочное оборудование применялось то же, что и при использовании золоченых корпусов (пайка кристаллов велась преимущественно на автоматах ЭМ-4081). Испытания приборов подтвердили их высокое качество. Велась работа и по сборке приборов в пластмассовых корпусах с локальной металлизацией выводных рамок из различных металлов сплавом Zn-Al-Ge вместо рамок с локальным золочением. Качество приборов и в этом случае повышалось.

Кроме того, были начаты исследования пайки сплавом Zn-Al-Ge кристаллов арсенида галлия. Соотношение “атомный ради-

Таблица 2
Сравнительные физические характеристики кремния и металлов – компонентов сплава для пайки

Элемент	Атомный радиус $R_a, \text{ \AA}$	Электроотрицательность E	Потенциал ионизации, эВ
Si	1,34	1,80	8,149
Zn	1,39	1,20	9,391
Al	1,43	1,50	5,984
Ge	1,39	1,70	7,88

ус–электроотрицательность” для мышьяка, равное 0,725, позволяло рассчитывать на положительный результат. И эксперименты, действительно, подтвердили пригодность сплава для данного типа кристаллов.

Известные события, произошедшие в электронной промышленности в последнее время, практически остановили эти работы. Однако авторы располагают определенными возможностями для их продолжения и откликнутся на возможные запросы.

Литература

1. Корнилов И.И., Матвеева Н.М., Пряхина Л.И., Полякова Р.С. Металлохимические свойства элементов периодической системы. – М.: Наука, 1966.
2. Маслова К.В., Мохте С.О., Панкратов О.В., Снесаревский В.П., Чернышов А.А. Монтаж кристаллов БИС с использованием припоя на основе цинка. – Электронная промышленность, 1989, №6.
3. Снесаревский В.П., Хозиков В.С., Чернов В.С. Монтаж кристаллов на сплав ЦАГ взамен золото-кремниевой эвтектики. – Электронная промышленность, 1991, №10–11.

Представляем авторов статьи

Снесаревский Виктор Петрович. Работает на Калужском заводе электрооборудования ведущим инженером. Автор более 10 публикаций. Имеет шесть зарубежных патентов и 20 патентов и авторских свидетельств РФ. Область научных интересов: металлохимия, электрофизические методы нанесения покрытий, физико-химические аспекты высокоинтенсивных технологий. Контактный телефон – (084–2) 57–48–24.

Снесаревский Петр Викторович. Окончил МГТУ им. Баумана в 1994 году. Инженер-конструктор ТОО “Этон”. Область научных интересов: процессы сварки и пайки, электрофизические методы нанесения покрытий.

Метод бесфлюсового присоединения выводов обеспечивает прочные контакты

Новый бесфлюсовый метод пайки выводов на базе многослойных соединений индия-серебра может оказаться весьма перспективным в тех случаях, когда применение флюса вызывает серьезные проблемы. Разработанный учеными Калифорнийского университета в Ирвине метод предотвращает окисление как при изготовлении припоя, так и в процессе пайки приборов. Он показал высокую надежность при формировании высококачественных соединений. Метод заключается в осаждении на полупроводниковый кристалл (кремниевый или арсенидгаллиевый) пленок хрома, серебра, индия и золота в высоком вакууме. После осаждения серебро и индий взаимодействуют друг с другом, образуя слой стабильного соединения AgIn_2 , защищающий внутреннюю часть пленки индия от окисления при попадании пластин в атмосферу. Позже, в процессе пайки (при температуре 180–205°C), он растворяется расплавленным индием. Для улучшения адгезии припоя к подложке наносится дополнительный слой хрома. Исследование соединений индия толщиной 4 мкм с помощью растрового электронного микроскопа показало, что они представляют собой индиевую матрицу с включенными в нее зернами металлических соединений. Толщина соединений однородна по всей пластине в пределах 10%. Разработчики считают, что бесфлюсовый метод найдет применение при пайке фотонных устройств и мощных кремниевых управляемых выпрямителей диаметром в несколько сантиметров, а также в тех случаях, когда температура последующей обработки выше температуры пайки. Состав припоя может быть выбран так, чтобы после получения соединения его температура плавления была выше, чем до образования соединения.

Electronic Engineering Times, 1997, N 954, p.35

дайджест