

Расчетно-аналитический метод определения размеров контактных площадок на кристаллах

Экспериментально показано влияние параметров микросварочного инструмента, применяемого в процессе микросварки методом «клин-клин», на протяженность зоны взаимодействия микропроволоки с металлизацией подложки. Предложено аналитическое выражение, позволяющее расчетным путем определить такой параметр, как длина микросварного соединения, влияющий на размеры контактных площадок проектируемых кристаллов.

Анатолий Веревкин

atv@microsborka.ru

Игорь Балашев

bia@microsborka.ru

Игорь Петухов

petuchov@kbtcm.by

Введение

Стремление к миниатюризации изделий электронной техники (ИЭТ) побуждает проектировщиков топологии кристаллов минимизировать параметры периферийных элементов проектируемых чипов. К числу таких элементов относятся и контактные площадки, предназначенные для последующего соединения кристалла с подложкой. В качестве подложек могут выступать выводные рамки, печатные платы, основания металлокерамических корпусов и др.

В конце 1980-х годов был разработан и введен в действие отраслевой стандарт ОСТ 11 0305-89 [1], определявший технические требования к кристаллам и корпусам для автоматизированной сборки интегральных микросхем. В течение длительного времени этот документ служил основой для выработки единого подхода к решению вопросов, связанных с проектированием топологии кристаллов, и позволял сглаживать противоречия, возникающие между проектировщиками топологии и технологами-сборщиками. В настоящее время из-за отсутствия аналогичного документа, соответствующего современным возможностям сборочного оборудования, применяемого инструмента и используемым материалам, в ряде случаев упомянутые выше противоречия между проектировщиками и технологами

возникают, к большому сожалению, не на этапах проектирования, а на этапах проведения сборки уже изготовленных кристаллов.

В статье сделана попытка рассмотреть на основе расчетных и экспериментальных данных совокупность параметров и факторов, влияющих на геометрические размеры микросварного соединения и, как следствие, на требуемые или допустимые шаги и размеры контактных площадок на кристалле.

Микросварка методом «клин-клин»

Сейчас в производстве маломощных ИЭТ наиболее широко используется формирование микропроволочных перемычек между контактными площадками кристалла и подложки методом клиновой ультразвуковой микросварки с применением алюминиевой микропроволоки диаметром от 17 до 30 мкм. На этой технологической операции может использоваться как ручное, так и автоматическое оборудование и весьма широкая гамма специального микросварочного инструмента.

В процессе формирования микропроволочных перемычек микросварное соединение образуется в результате передачи ультразвуковых колебаний инструментом под нагрузкой на микропроволоку и последующего ее взаимодействия с металлизацией

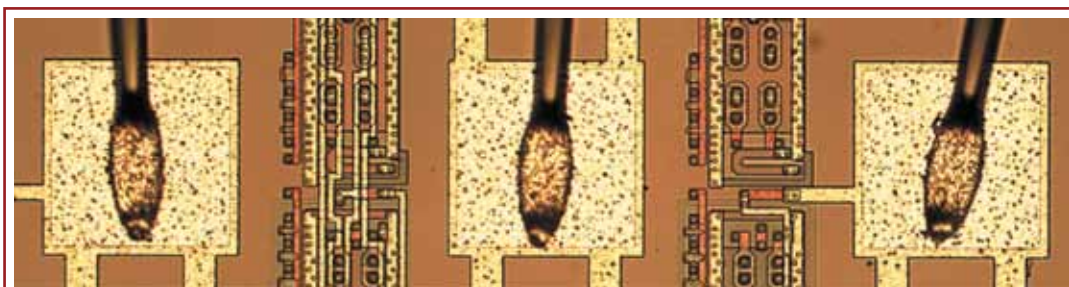


Рис. 1. Микросварные соединения на контактных площадках кристалла

подложки. Внешний вид микросварных соединений на контактных площадках кристалла показан на рис. 1.

На рис. 1 видно, что клиновое микросварное соединение имеет вытянутую овальную форму. Внешний вид такого микросварного соединения свидетельствует о том, что для правильного определения размеров контактных площадок проектируемого кристалла и оптимального шага их расположения на кристалле необходимо знать геометрические размеры получаемого микросварного соединения, а именно его длину и ширину.

Геометрические размеры микросварных соединений

Судя по рис. 1, ширина микросварного соединения — это параметр, наблюдаемый и легко определяемый путем его простого измерения при контроле внешнего вида. Для правильного определения длины микросварного соединения необходимо знать протяженность той зоны, в пределах которой происходит микросварка. Простым визуальным контролем протяженность (длину) этой зоны определить невозможно. Следовательно, длина микросварного соединения — параметр неочевидный и не поддающийся простому измерению.

Вкратце рассмотрим основные этапы формирования внутренних микропроволочных перемычек, часто именуемые «разваркой». При проведении разварки кристаллов микросхем, смонтированных на основании металлокерамических корпусов, первая микросварка выполняется преимущественно на траверсе основания, а вторая — на поверхности контактной площадки кристалла. В области взаимодействия инструмента с микропроволокой как на первой, так и на второй микросварке образуется след («отпечаток») инструмента и происходит ее наиболее интенсивное деформирование (расплющивание), формирующее ширину микросварного соединения. В результате взаимодействия микропроволоки с металлизацией подложки формируется интересующая нас зона, именуемая в дальнейшем зоной А, в пределах которой образуются участки микросварки. Длина этой зоны является длиной сформированного микропроволочного соединения, однако увидеть эту зону можно только используя специальные неразрушающие методы или после проведения разрушения полученного микросварного соединения.

Определение геометрических размеров микросварного соединения «алюминий-золото»

Для наблюдения интересующей нас зоны А в области первой микросварки, образующейся при присоединении алюминиевой микропроволоки к золоченой поверхности траверсы основания металлокерамического корпуса, было сделано следующее.

Из текущей партии изготавливаемых микросхем, дошедших по технологическому маршруту до операции «Контроль внешнего

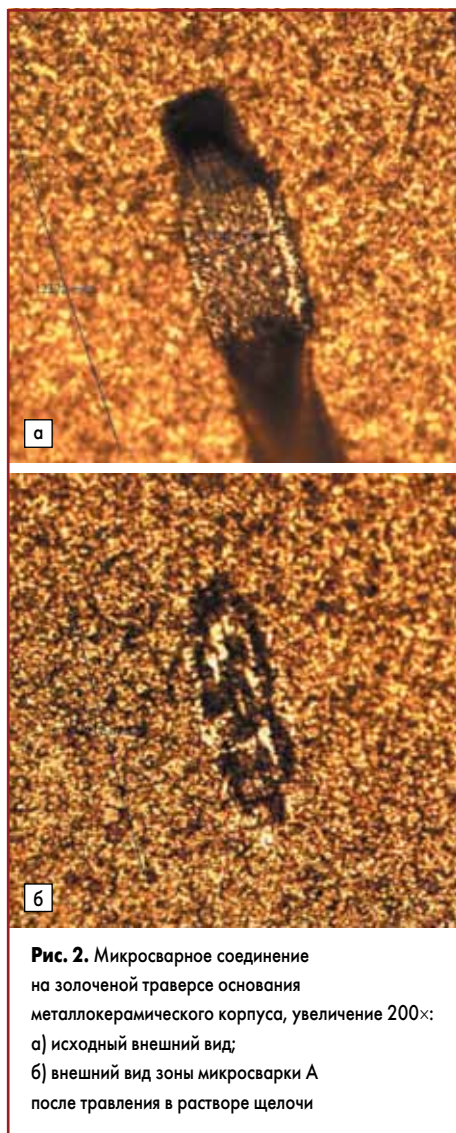


Рис. 2. Микросварное соединение на золоченой траверсе основания металлокерамического корпуса, увеличение 200х:
а) исходный внешний вид;
б) внешний вид зоны микросварки А после травления в растворе щелочи

вида открытых микросхем», было взято одно основание металлокерамического корпуса с кристаллом и сформированными внутренними перемычками из алюминиевой микропроволоки диаметром 27 мкм и проведены фоторегистрация внешнего вида выделенных (выделенных) микросварных соединений и измерение их длины и ширины. Пример одного такого микросварного соединения приведен на рис. 2а.

Всего таким образом было проверено и измерено пять микросварных соединений. Затем это основание погружали в заранее подготовленный раствор едкой щелочи (KOH), и проводили травление алюминиевых микропроволочных перемычек. После промывки и сушки основания осуществляли контроль внешнего вида «вскрытых» зон А ранее выделенных микросварных соединений и измерение их длины. Эти зоны образованы в результате взаимодействия алюминиевой микропроволоки с золотым покрытием траверс основания металлокерамического корпуса и при воздействии щелочи не разрушаются. Пример такой зоны приведен на рис. 2б.

В исходном состоянии длина микросварного соединения измерялась от условно выделенной границы перехода микропроволоки в деформированный участок микросварного соединения до крайней точки его «хвостика». После трав-

Таблица 1. Геометрические размеры микросварных соединений первой микросварной точки

Исходные значения		После травления алюминиевых перемычек	
Длина, мкм	Ширина, мкм	Длина, мкм	Ширина, мкм
134	43,6	117,5	Не контролировался
149,4	44	132	
138,6	44,2	115,5	
137,6	46,5	126,7	
133,7	46	119,1	
Среднее значение — 138,7	Среднее значение — 44,9	Среднее значение — 122,2	

Таблица 2. Геометрические параметры применяемого микросварочного инструмента

Диаметр микропроволоки, мкм	Диаметр отверстия под микропроволоку (H), мкм	Плоская рабочая часть инструмента (BF), мкм	Ширина рабочей части инструмента (W), мкм	Передний радиус (FR), мкм	Задний радиус (BR), мкм
17,5	38	38	76	25	15
25	51	38			
27	51	51			

ления алюминиевых перемычек зона А измерялась как максимальная протяженность темно-коричневого остатка на месте микросварки. Результаты контроля приведены в таблице 1. Геометрические параметры микросварочного инструмента, применявшегося при формировании рассматриваемых микросварных соединений с использованием микропроволоки диаметром 27 мкм, — в таблице 2.

Судя по данным таблицы 1, ширина микросварного соединения в этом случае составила примерно 45 мкм, а длина «вскрытой» зоны А — примерно 122 мкм. Наблюдаемое различие в измеренных значениях длины зоны А в исходном состоянии и после ее «вскрытия» можно объяснить некорректностью определения одной из ее границ в исходном состоянии. Заметим, что в этом эксперименте нам важно получить не совпадение результатов измерений в исходном состоянии и после травления, а узнать длину «вскрытой» зоны, полученной при вышеуказанных условиях.

Определение геометрических размеров микросварного соединения «алюминий-алюминий»

Для наблюдения зоны А в области второй микросварки, получаемой в процессе присоединения алюминиевой микропроволоки к металлизации контактной площадки на кристалле, проведено формирование микропроволочных перемычек к алюминиевой металлизации, нанесенной на рабочую поверхность кремниевой пластины. В автоматическом режиме разварки к алюминиевой металлизации пластины последовательно приваривалось по 10–15 параллельных перемычек. Экспериментальные работы проводились с использованием алюминиевой

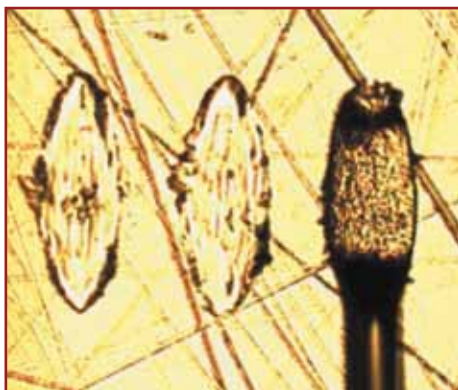


Рис. 3. Внешний вид «вскрытых» зон микросварки

микропроволоки диаметром 17,5 и 25 мкм. Для обеспечения «вскрытия» интересующих нас зон А режимы микросварки подбирались таким образом, чтобы при проведении контроля прочности микросварного соединения по методу 109-4 ОСТ 11 073.013-2008 [2] можно было получить его разрушение в виде подъема (отслоения или «отлипа»).

На рис. 3 приведен внешний вид зон А, «вскрытых» при контроле прочности микросварных соединений, и для сравнения рядом показан внешний вид одного микросварного соединения в исходном состоянии до контроля прочности. Сопоставляя внешний вид микросварного соединения в исходном состоянии и зоны А, «вскрытой» путем отрыва микросварного соединения при контроле прочности, можно понять, что длина зоны А соответствует видимой длине всего деформированного участка микропроволоки, включая ту ее часть, которая именуется «хвостик». Проведенные измерения указанных зон для обеих микроволоок диаметром 17,5 и 25 мкм показали, что длина зоны А — зоны взаимодействия микропроволоки с металлизацией подложки — находится в диапазоне 82–90 мкм, что значительно превышает размер рабочей плоскости инструмента (BF).

Сравнительный анализ внешнего вида микросварных соединений и «вскрытых»

зон взаимодействия микропроволоки с металлизацией подложки, в пределах которых образуются участки микросварки (зоны А), показал, что в формировании этих зон участвует не только плоская рабочая часть микросварочного инструмента (BF), но и оба его радиуса (FR и BR) и даже «хвостик» микропроволоки. Заметим, что величина (длина) «хвостика» на первой и второй микросварке будет различной. Как правило, на первой микросварке эта величина больше и может составлять несколько диаметров используемой микропроволоки, а на второй микросварке (на кристалле) величина «хвостика» должна быть не более одного диаметра используемой микропроволоки.

Сопоставим измеренные значения «вскрытых» зон А с численными значениями параметров применяемого микросварочного инструмента, указанными в таблице 2. Заметим, что в наших экспериментах эти параметры были одинаковы для микросварочных инструментов, использовавшихся с микропроводами диаметром 17,5 и 25 мкм. Суммируя численные значения параметров FR, BR и BF, получим величину, равную 78 мкм. Далее, добавив к полученной сумме трех параметров микросварочного инструмента величину, равную 0,5 диаметра используемой микропроволоки, получим значение длины зоны А, равное примерно 87 мкм для микропроволоки диаметром 17,5 мкм и 90 мкм — для микропроволоки диаметром 25 мкм. Полученные таким образом расчетные значения длины зоны А хорошо согласуются с результатами измерений.

Проведем аналогичное численное сопоставление параметров микросварочного инструмента и измеренных значений для первой сварной точки. Напомним, среднее измеренное значение длины зоны А первой микросварной точки составило 122 мкм. Сумма трех параметров для микросварочного инструмента, использовавшегося для микропроволоки диаметром 27 мкм, — 91 мкм. Разница двух рассматриваемых величин равна 31 мкм, что

примерно соответствует одному диаметру использовавшейся микропроволоки.

Обобщая результаты сопоставления измеренных значений вскрытых зон микросварки и параметров применяемого микросварочного инструмента, можно утверждать, что длина микросварного соединения (L_{cb}) может быть достаточно точно определена через параметры используемого микросварочного инструмента и применяемой микропроволоки:

$$L_{cb} = BF + (FR + BR) + \Delta,$$

где Δ — величина, учитывающая «вклад» «хвостика» микросварного соединения в общую длину сформированного соединения.

Таким образом, при проектировании топологии кристаллов, зная требуемый диаметр микропроволоки и параметры выбранного микросварочного инструмента, можно рассчитать длину получаемого микросварного соединения (L_{cb}) как на первой, так и на второй микросварке. При этом величина Δ для первой точки должна быть принята равной одному диаметру используемой микропроволоки, а для второй точки — 0,5 диаметра. Рассчитав возможную длину будущего микросварного соединения и задав его требуемую или допустимую ширину на контактной площадке проектируемого кристалла, можно перейти к определению требуемых геометрических размеров контактных площадок и их шагов на проектируемом кристалле.

Продолжение следует

Литература

1. ОСТ 11 0305-89. Микросхемы интегральные. Технические требования к кристаллам для автоматической сборки.
2. ОСТ 11 073.013-2008. Микросхемы интегральные. Методы испытаний. Испытания на воздействие механических факторов. Часть 1.