

# 06, июнь 2016

УДК 53.06 В

## **Основные критерии выбора оборудования в технологии производства изделий микроэлектроники методом ультразвуковой сварки**

*Герасимова А.В. бакалавр*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

*Сачкова Н.А. бакалавр*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

*Научный руководитель: Цивинская Т.А. учебный мастер, главный технолог  
НОЦ «Нанотехнологические системы и нанoeлектроника»  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[shakhnov@iu4.bmstu.ru](mailto:shakhnov@iu4.bmstu.ru)*

### **Введение**

Мощные ультразвуковые колебания находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. В настоящее время в промышленности используются ультразвуковая очистка и обезжиривание различных изделий. Ультразвук применяется для получения высокодисперсных эмульсий, диспергирования твердых тел в жидкости, коагуляции аэрозолей и гидрозолей, дегазации жидкостей и расплавов.

Одним из интересных и перспективных промышленных применений ультразвука является ультразвуковая сварка (УЗС). Этот способ сварки характеризуется весьма ценными технологическими свойствами: возможностью соединения металлов без снятия по-верхностных пленок и расплавления, особенно хорошей свариваемостью чистого и сверхчистого алюминия, меди, серебра; возможностью соединения тончайших металлических фольг со стеклом и керамикой.

Ультразвуком сваривается большая половина известных термопластичных полимеров. Ультразвуковая сварка пластмасс тем более ценна, что для ряда полимеров она является единственно возможным надежным способом соединения.

Основным методом монтажа микроэлектронных приборов с момента их появления и по настоящее время является проволочный монтаж, который, несмотря на высокую

трудоёмкость, имеет ряд преимуществ [1]: низкая стоимость изготовления элементов электронных приборов, возможность совершенствования сварочных систем.

### 1.Обоснование выбора оборудования для УЗ сварки

Технологическое оборудование для ультразвуковой сварки, независимо от физико-механических свойств свариваемых материалов, которые являются непосредственными объектами интенсивного воздействия ультразвуковых колебаний, имеет одну структуру и состоит из следующих узлов: источника питания, аппаратуры управления сварочным циклом, механической колебательной системы и привода давления (рис. 1).

Важнейшим узлом, составляющим основу и специфику оборудования и технологии ультразвуковой сварки металлов и пластмасс, является механическая колебательная система. Эта система служит для преобразования электрической энергии в механическую, передачи этой энергии в зону сварки, согласования сопротивления нагрузки с внутренним сопротивлением системы и геометрических

размеров зоны ввода энергии с размерами излучателя, концентрирования энергии и получения необходимой величины колебательной скорости излучателя. Система должна работать с максимальным к. п. д. на резонансной частоте независимо от изменения сопротивления нагрузки. [2]

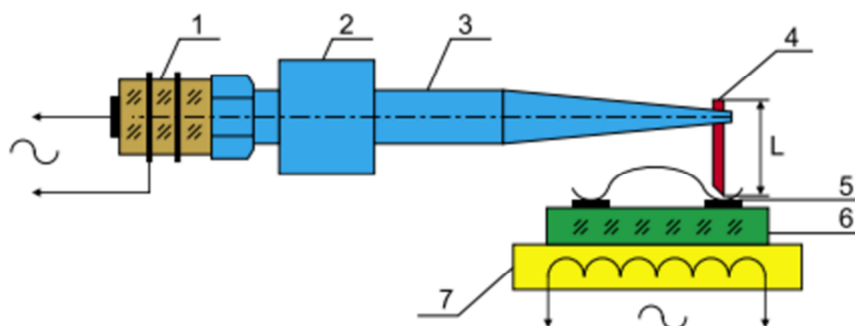


Рис. 1. Схема УЗ-система микросварки: 1-УЗ-преобразователь; 2-стакан; 3-волновод; 4-инструмент; 5-микропроводник; 6-кристалл; 7-столик

Процесс ультразвуковой микросварки характеризуется тремя основными параметрами: амплитудой и частотой ультразвуковых колебаний; приложенным давлением; длительностью сварки. Эти параметры взаимосвязаны, то есть при подборе режима сварки при увеличении давления и длительности сварки можно уменьшить амплитуду ультразвуковых колебаний, и наоборот. Оптимальным режимом процесса

считается такой, при котором удаётся достичь максимальной прочности соединений при сохранении электрических свойств структур.

Требования к рабочему инструменту для УЗ- микросварки можно сформулировать следующим образом:

- Форма и размеры инструмента должны обеспечивать эффективную передачу энергии УЗ- колебаний.
- Материал инструмента должен обеспечивать минимальное затухание УЗ- колебаний и не должен вступать во взаимодействие с материалом вывода.

Для сохранения спектра собственных частот и вида колебаний (в частности, изгибных) необходимо соблюдать условие (1):

$$\frac{l}{d} \geq (8 - 10), \quad (1)$$

где  $l$  — длина волны изгибных колебаний;  $d$  — диаметр сечения рабочего инструмента.

[3]

Большое влияние на процесс ультразвуковой сварки оказывает состояние поверхностей соединяемых деталей. Наиболее опасны и недопустимы органические жировые пленки, которые удаляют несколькими методами: растворением в нейтральных или химически активных растворителях, которые описаны в таблице 1; эмульгированием; комбинированным воздействием потока растворяющей жидкости или ее паров при избыточном давлении и др. [3]

Таблица 1

Свойства растворителей жировых пленок

Наименование растворителя	Температура кипения °С	Температура, вспышки °С	Токсичность г/м <sup>3</sup>	Растворяющая способность
Фреон-113	47,6	не горит	1.0	хорошая
Изопропиловый спирт	83	+16	0.2	средняя
Ацетон	56.2	-16.7	0.2	средняя

Наиболее просто очистку поверхности полупроводникового кристалла с контактными площадками из Au или Al производят обезжириванием в этиловом спирте. Для высококачественной очистки применяют два состава:

-спирт изопропиловый и ацетон - по 50 %;

-95 % фреона-113 и 5 % изопропилового спирта.

Последовательность операций очистки:

-проточная промывка составом № 1 при 20 °С в течение 10 мин;

-пульверизаторная очистка составом № 2 при 20 °С в течение 4 мин;-проточная промывка составом № 1 при температуре 46 °С в течение 4 мин;

-паровая очистка составом № 2 при температуре 45 °С в течение 2мин;

-естественная сушка в обеспыленной среде.

Под воздействием пластической деформации и диспергирующего действия ультразвука удаляются адсорбированные плёнки жидкостей, газов, органических плёнок и поверхностных оксидов, в результате чего поверхности деталей очищаются и возникает непосредственная связь двух соединяемых материалов вывода и контактной площадки кристалла.

В процессе деформирования происходит увеличение площади непосредственного контакта, что обеспечивает получение хорошей прочности соединения. Контактное давление, подбираемое опытным путём, зависит от механических свойств свариваемых материалов и размеров изготовленных из них деталей. Обычно деформация не превышает 20 % их первоначальных размеров. Ультразвуковую сварку выполняют в диапазоне частот от 60 до 250 кГц. [4]

С помощью ультразвука хорошо свариваются: электродные выводы из золота и алюминия с золотым покрытием, нанесённым на ситалл по подслою нихрома; алюминиевые электродные выводы с алюминиевой плёнкой, нанесённой на стекло, кремний или диоксид кремния; золотые, алюминиевые проволочные выводы микросхем с золотым покрытием, осаждённым на ковар по подслою никеля.

Прочность соединений, полученных ультразвуковой сваркой, зависит от амплитуды и частот ультразвуковых колебаний инструмента, контактного усилия на свариваемые детали, времени сварки и мощности колебательной системы. Амплитуда и частота колебаний инструмента подбирается опытным путём для каждой пары материалов определённой толщины, так как ими определяется динамическая нагрузка, передаваемая свариваемым изделиям в зоне контакта. Например, для материалов небольшой толщины используются малые амплитуды (от 0,005 до 0,015 мм) и повышение частоты до 100 кГц.

Пластическая деформация материалов зависит от их физико-механических свойств, толщины и приложенного контактного усилия, а также состояния поверхностей. Для проволочных выводов от 20 до 50 мкм контактное усилие лежит в пределах от 0,05 до 1 Н. мощность колебательной системы определяется конструкцией установки, а время сварки

зависит от выбранных амплитуды и частоты колебаний инструмента, контактного усилия, а также свойств свариваемых материалов и их толщины. Для получения соединений применяется специальный инструмент – «клин». Он представляет собой стержень с конической частью на конце и отверстием для подачи проволоки. [4]

Очень важным моментом использования УЗ колебательной системы микросварки является корректная установка микроинструмента в зажиме — так называемый вылет инструмента. Согласно (2) необходимо, чтобы собственные частоты продольных колебаний УЗ-преобразователя и изгибных колебаний инструмента совпадали (рис 2). В противном случае резонансная частота примет какое-то промежуточное значение и в месте сопряжения увеличится реакция нагрузки (за счет реактивных составляющих), что может вызвать нарушение согласования преобразователя с инструментом. Известно, что резонансная длина вылета инструмента связана следующим соотношением (2):

$$\frac{l}{r} l_{\text{пр}} = \left(\frac{1}{4p}\right) (bl), \quad (2)$$

где  $l$  — длина вылета инструмента;  $l_{\text{пр}}$  — длина продольной волны; множитель  $(bl)^2$  зависит от числа узлов в инструменте;  $r$  — радиус инструмента.

Для правильной установки инструмента ведущие производители обычно прилагают к поставляемому оборудованию специальные шаблоны.

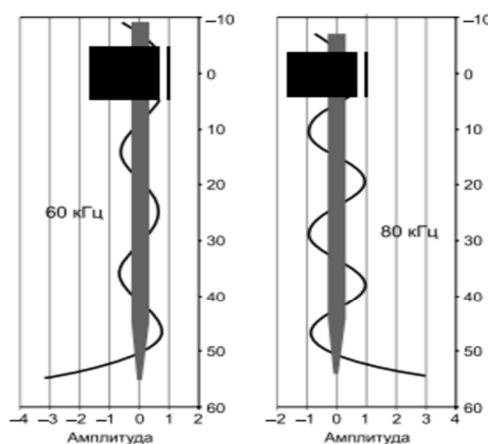


Рис. 2. Распределение УЗ-колебаний вдоль оси инструмента на частотах 60 и 80 Гц

## Выводы

УЗС целесообразна для соединения:

- миниатюрных и микроминиатюрных деталей из разнородных металлов, их характеристика приведена в таблице 2, сварка которых другими методами затруднена или невозможна;

- тугоплавких металлов, сильно различающихся по электропроводности и теплопроводности, толщине, а также металлов с тонкими не-металлическими покрытиями.

Таблица 2

Свариваемость материалов УЗ способом

	Al	Cu	Au	Ni	Mo	Ag	Латунь
Al	+	+	+	+	+	+	+
Cu	+	+	+	+	+	-	+
Au	+	+	+	+	-	-	-
Ni	+	+	+	+	+	-	-
Mo	+	+	-	+	+	-	-
Ag	+	-	-	-	-	+	-
Латунь	+	+	-	+	-	-	+

Таким образом, УЗС наиболее универсальна по сравнению с другими способами. Ее широко применяют при выполнении внутрисхемных соединений алюминиевых контактных площадок и проволочных перемычек, если МЭМС (Микроэлектромеханическая система) предназначена для работы в условиях повышенной температуры. Не рекомендуется УЗС золотой проволоки с алюминиевыми контактными площадками (особенно напыленными на кремний) в МЭМСах, предназначенных для работы при температурах выше 65°C, а также при вибрационных и ударных нагрузках.

К основным параметрам режима относят электрическую мощность УЗ преобразователя, амплитуду колебаний инструмента, давление на свариваемые элементы в зоне образования соединения и длительность воздействий. Для микроминиатюрных деталей небольшой толщины частота колебаний инструмента также является основным параметром.

### Список литературы

- [1]. Комплект учебно-методических комплексов по проектированию и производству МЭМС систем «Модуль ультразвуковой обработки» М.: Изд. ООО «Оптико-голографические приборы», 2014. 91 с.
- [2]. Кундас С.П., Оанин В.Л., Достанко А.П. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Минск: Изд. центр БГУ, 2007. 574 с.
- [3]. Силин Л.Л., Баландин Г.Ф., Коган М.Г. Ультразвуковая сварка. СПб: Изд. «Машгиз», 1962. 252 с.
- [4]. Зенин В.В, Бокарев Д.И., Сегал Ю.Е., Фролов В.И. Оптимизация режимов ультразвуковой сварки проволочных выводов к корпусам мощных полупроводниковых приборов. Воронеж: Изд. «Воронежский государственный университет Библиогр», 2003. 168 с.