

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ МИКРОСВАРКА ПРОВОЛОЧНЫХ ВЫВОДОВ С ТОКОВОЙ АКТИВАЦИЕЙ

*Нгуен Ж.В*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Ланин В.Л. – д-р техн. наук, проф.*

**Аннотация.** Исследован процесс ультразвуковой микросварки проволочных выводов и получены зависимости усилия отрыва от мощности без активации и с токовой активацией. Моделированием распределения механических напряжений на поверхности УЗ системы получены зависимости амплитуды колебания в инструменте от частоты для корпусов с покрытием золотом и никелем.

**Ключевые слова:** ультразвуковая микросварка, механические напряжения, электрический ток, амплитуда.

**Введение.** Ультразвуковая сварка (УЗС) является одним из наиболее широко применяемых способов создания неразъемных соединений между различными элементами, в частности, полупроводникового кристалла с функциональными элементами к внешним выводам корпуса прибора, а также металлических выводов к тонкопленочным контактным площадкам платы. Контактное соединение образуется с использованием энергии УЗ-колебаний для соединения проволоки, алюминиевой или золотой, с кристаллом интегральной схемы, толстой пленкой, печатной платой или выводными контактами [1].

Для повышения прочности микросварных соединений по различным покрытиям корпусов интегральных схем используется токовая активация процесса УЗС, при которой прочность микросварных соединений увеличивается для различных типов корпусов интегральных схем.

**Основная часть.** При УЗС формируется соединение двух материалов, находящихся в твердом состоянии, при незначительном нагреве с приложением определенного давления и колебаний ультразвуковой частоты. При УЗ-сварке температура нагрева в зоне контакта не превышает 50–60 % температуры плавления свариваемых материалов. Контактное давление зависит от механических свойств свариваемых материалов и размеров изготавливаемых из них деталей. Деформация деталей не превышает 5–20 % их первоначальных размеров [2].

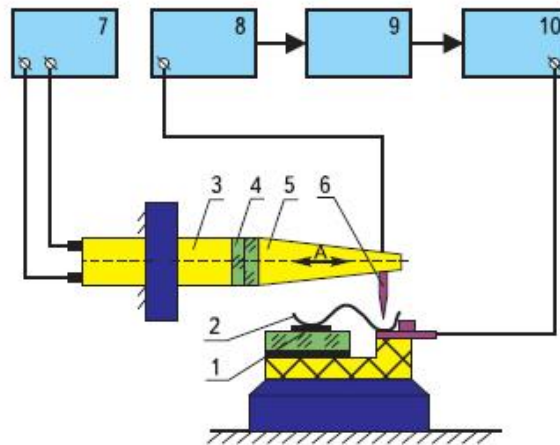
Процесс УЗ-микросварки сопровождается введением механических колебаний УЗ-частоты в зону контакта, что приводит к пластической деформации проволочного вывода, разрушению и удалению оксидных пленок с созданием атомно-чистых ювенильных поверхностей, интенсифицирует процесс образования активных центров при формировании микросварного соединения без большой деформации проволоки и значительного нагрева [3].

При УЗС не используют флюсы и припой – это ее важное достоинство. Этим способом можно соединять разнородные материалы и трудно свариваемые. С помощью УЗС хорошо свариваются электродные выводы из Au, Al, Ag на ситалле, алюминиево-электродные выводы с алюминиевой пленкой, нанесенной на стекло, оловянные и оксидно-кремниевые, золотые и медные проволочные выводы ИС с золотым покрытием. В установках УЗС применяются различные системы передачи УЗ-колебаний. Для приварки проволочных выводов и микросхем обычно применяют УЗ продольно-поперечную колебательную систему с инструментом, совершающим колебания изгиба [3].

Качество микросварных соединений может быть повышено благодаря фотохимическим и термохимическим реакциям на поверхности алюминиевой пленки, инициируемым при обработке импульсным оптическим излучением в среде осушенного воздуха и аргона. Изменение микрорельефа поверхностей и структуры материалов, наличие оксидных и адсорбиро-

ванных пленок приводит к дестабилизации процессов микросварки, ухудшению качества и надежности сварных соединений, снижению производительности операции микросварки. Таким образом, качество микросварных соединений определяется как физико-химическими свойствами соединяемых поверхностей, так и методами активации процессов микросварки [4].

Для повышения качества и надёжности микросварных соединений в процессе УЗ микросварки корпусов ИС, не содержащих драгоценных металлов, пропускали электрический ток через оба соединяемых элемента в направлении, обеспечивающем электроперенос диффузионно-подвижного металла в соединении, и величиной, превышающей порог начала электродиффузии [5]. Схема УЗ микросварки с токовой активацией показана на рисунке 1.



1 – контактная площадка; 2 – проволоочный вывод; 3 – система крепления; 4 – пьезоэлектрический преобразователь; 5 – волновод; 6 – сварочный капилляр; 7 – генератор УЗ колебаний; 8 – блок питания; 9 – блок управления; 10 – устройство токовой активации

Рисунок 1 – Схема устройства токовой активации

Качество микросварных соединений оценивали по внешнему виду и испытанием на прочность полученных перемычек тянущим усилием с помощью крючка, как показано на рисунке 2 [6]. При этом усилие равно :

$$F=F_1+F_2 \quad \text{при} \quad \beta_1=\beta_2=30^\circ \quad (1)$$

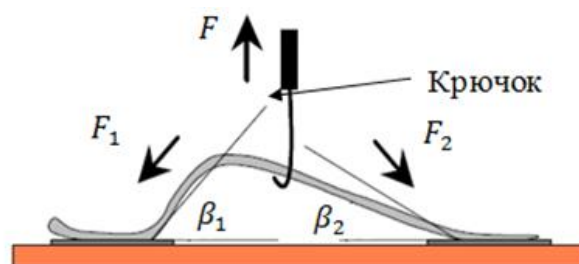


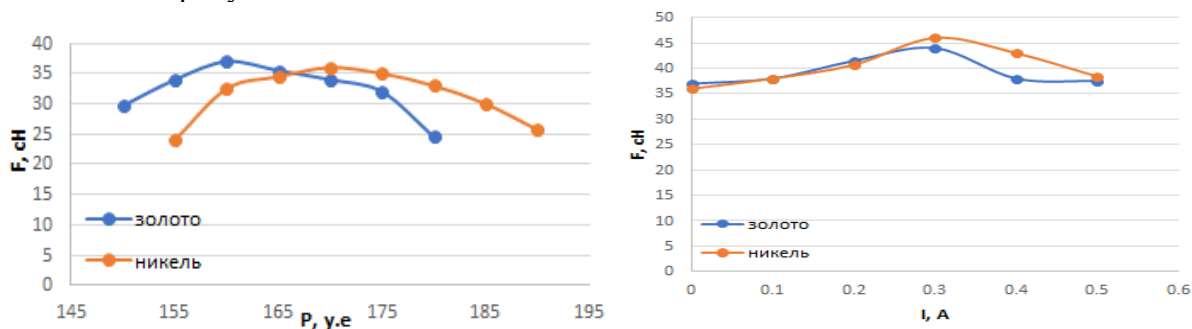
Рисунок 2 –Схема испытаний на прочность перемычек тянущим усилием

Контролировать качество микросоединения можно по топографии его поверхности. Для исследования формы сварного соединения (отношение диаметра привариваемой проволоки к минимальной высоте ее деформированной части) необходимо использование растрового электронного микроскопа.

При контроле прочности микросоединений статическими и динамическими испытаниями необходимо учитывать расположение контактных площадок на разных уровнях. При испытаниях на растяжение важную роль играет угол отрыва проволоочной перемычки, т. к. при

малых углах измеренная прочность сварного соединения оказывается в несколько раз меньше действительной величины.

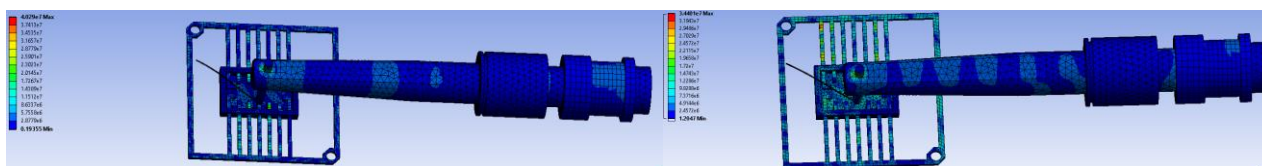
Для экспериментов применялась проволока алюминия диаметром 80 мкм и корпуса интегральных схем с покрытием никелем и золотом 3 мкм. Результаты измерений усилия отрыва показаны на рисунке 3.



а) от мощности. б) от силы тока  
Рисунок 3 – Зависимости усилия отрыва соединения

Из рисунка 3 видно, что при токовой активации прочность микросварных соединений в процессе УЗ микросварки увеличивается и достигает 44 сН для золота и 46 сН для никеля. Прочность микросварных соединений увеличивается на 28 % для никелевого покрытия и на 20 % для золотого покрытия.

Моделирование термопрофилей процесса ультразвуковой микросварки проволочных выводов в пакете Ansys 19.2 позволило получить распределение механических напряжений на поверхности УЗ систем и зависимости амплитуды колебания в инструменте от частоты. Результаты моделирования показаны на рисунке 4, а зависимости амплитуды колебания в инструменте от частоты показаны на рисунке 5.



а) для золота; б) для никеля  
Рисунок 4 – Распределение механических напряжений на поверхности УЗ систем

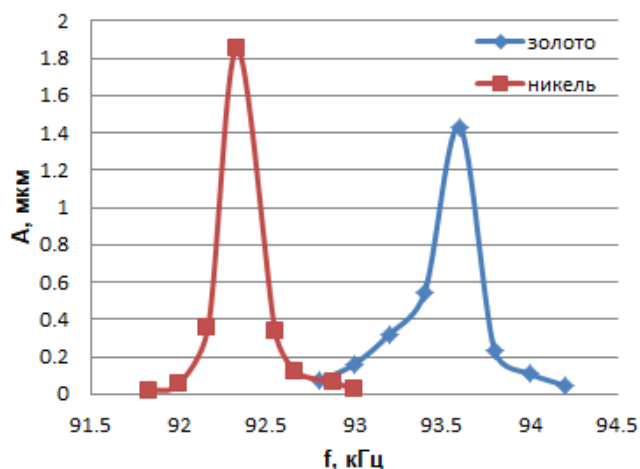


Рисунок 5 – Зависимости амплитуды колебания в инструменте от частоты

Из рисунков 4 и 5 видно, что механические напряжения, возникающие в процессе УЗ микросварке, сосредоточены на поверхности контактных площадок микросхем. Амплитуда колебания в инструменте для никеля достигается максимального значения быстрее, чем для золота (при частоте 92300 Гц для никеля и 93600 для золота). Максимальная амплитуда колебания в инструменте для золота достигает 1,43 мкм на частоте 93600 Гц и для никеля – 1,85 мкм на частоте 92300 Гц.

Длительность импульса тока составляла 30–60 мс. Поскольку в соединении Al-Ni алюминий обладает большим коэффициентом диффузии, чем никель, то пропускание постоянного электрического тока через соединение стимулирует процесс диффузионного взаимодействия в процессе микросварки. С ростом величины тока прочность микросварных соединений увеличивается и достигает максимума при 20–30 мА при диаметре микропровода 35 мкм. При дальнейшем увеличении тока происходит пережигание микропровода, что приводит к уменьшению прочности соединения.

Таким образом, токовая активация УЗ микросварки позволяет получить высокую прочность микросварных соединений при различных покрытиях корпусов интегральных схем, заменяющих золото.

**Заключение.** Выполнен анализ воздействия электрического тока на процесс ультразвуковой микросварки проволочных выводов для различных покрытий корпусов интегральных схем. Важной проблемой в процессе присоединения выводов интегральных схем является повышение качества микросварных соединений при воздействии УЗ колебаний. Качество микросварных соединений определяется как физико-химическими свойствами соединяемых поверхностей, так и методами активации процессов микросварки. Для этого применяется токовая активация, которая обеспечивает повышение прочности соединений в 1,2 – 1,3 раза.

Определение механических напряжений в микросварных соединениях при воздействии УЗ колебаний и активирующих факторов необходимо для более точного для определения времени сварки. Применение активированных процессов УЗ микросварки позволяет получать более стабильные по качеству микросварные соединения с различными типами покрытий контактных площадок.

### Список литературы

1. Погорельцев, И. Некоторые методы повышения качества и надежности ультразвуковой сварки / И. Погорельцев // *Силовая Электроника*, 2010, № 1. – С. 54 – 56.
2. Maria, V. *Ultrasonic welding of aluminum: a practical study in consistency, part marking and control modes* / V. Maria // *Iowa State University*, 2017. – 116 с.
3. Сычик, В. *Технология сборки интегральных схем* / В. Сычик – Минск: БНТУ, 2014. – 306 с.
4. Ланин, В.Л. Свариваемость гальванических покрытий для изделий электроники / В.Л. Ланин, А.А. Хмель // *Технологии в электронной промышленности*. – 2008. – № 5. – С. 24–27.
5. Ланин, В. Активация процессов ультразвуковой микросварки изделий электроники / В. Ланин // *Технологии в электронной промышленности*, 2009. – № 1. – С. 63–66.
6. Программно-управляемые технологические процессы и оборудование / С.В. Бордусов [и др.] Минск: БГУИР? 2014 – 87 с.

UDC 621.791.16

## ULTRASONIC BONDING WIRE LEADS WITH CURRENT ACTIVATION

*Nguyen G.V.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus  
Scientific adviser: Lanin V.L. - Dr. Tech. Sciences, prof.*

**Annotation** Investigation of the process of ultrasonic microwelding of wire leads, the dependences of the pull-off force on the power without activation and with current activation were obtained. Modeling the distribution of mechanical stresses on the surface of the ultrasonic system, the dependences of the vibration amplitude in the instrument on the frequency for cases with gold and nickel plating were obtained..

**Keywords.** ultrasonic microwelding, mechanical stress, electric current, amplitude..