

УДК 621.791.16

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МИКРОСВАРКЕ ПРОВОЛОЧНЫХ ВЫВОДОВ В КОРПУСАХ ТИПА ТО-5



В.Л. Ланин

Профессор кафедры электронной техники и технологии БГУИР,
доктор технических наук
vlanin@bsuir.by



И.Б. Петухов

Начальник научно-технического центра ОАО «Планар-СО»,
кандидат технических наук
petuchov@kbtcm.by

В.Л. Ланин

Окончил Минский радиотехнический институт. Профессор кафедры электронной техники и технологии. Автор 10 монографий, имеет 35 летний опыт работы в области технологии ультразвуковой микросварки.

И.Б. Петухов

Окончил Белорусский государственный университет по специальности радиофизика. Область научных интересов связана с исследованием проблем сборки изделий электронной техники. Начальник научно-технического центра ОАО «Планар-СО». Автор 4-х монографий, имеет 40 летний опыт работы в области сборки изделий электронной техники.

Аннотация. Выполнен анализ дестабилизирующих факторов ультразвуковой микросварки алюминиевой проволоки диаметром 30-35 мкм на столбиковых выводах корпусов типа ТО-5. С помощью моделирования в Comsol Multiphysics определены собственные резонансные частоты столбиковых выводов и их возможное взаимодействие с частотой ультразвуковых колебаний, приводящее к снижению качества соединения.

Ключевые слова: ультразвуковая микросварка, ультразвуковой преобразователь, корпус ТО-5.

Введение.

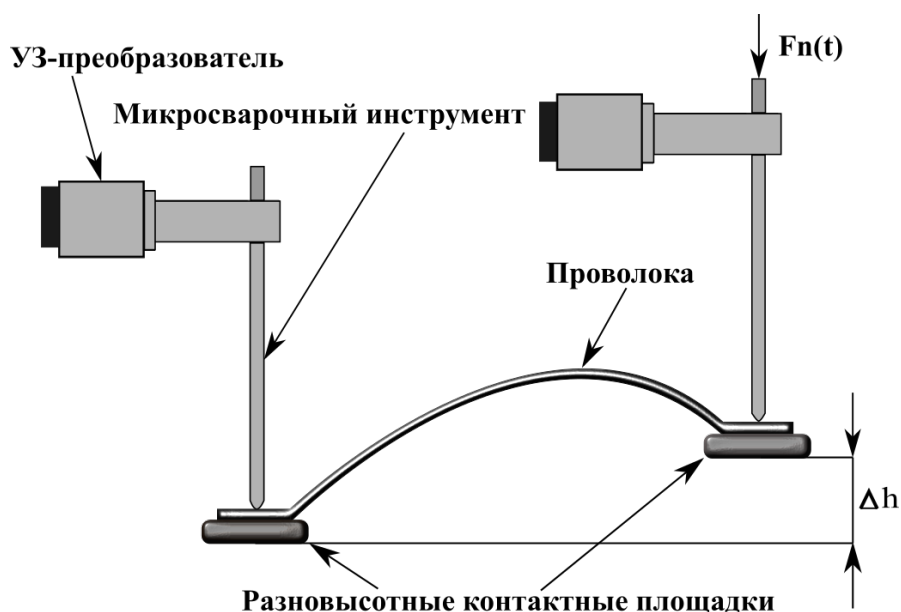
В настоящее время монтаж проволочных выводов для маломощных приборов, в частности, микроэлектромеханических систем (МЭМС) в корпусах типа ТО-5 осуществляется золотой или алюминиевой проволокой диаметром от 17,5 до 75 мкм. При монтаже алюминиевой проволоки используется в основном метод ультразвуковой микросварки [1]. Преимущество данного метода состоит в осуществлении присоединения проволоки к контактными площадкам кристалла и внешним выводам корпуса при комнатной температуре. Одним из важных требований при ультразвуковой микросварке является надежный зажим (фиксация) корпуса прибора на позиции присоединения. Особенностью корпусов типа ТО-5 являются столбиковые выводы, зафиксированные стеклом в отверстиях корпуса. Сборка опытных партий приборов показала, что в некоторых конструкциях приборов ТО-5 возникают проблемы с качеством присоединения алюминиевой проволоки на столбиковых выводах, в то же время качество присоединения на контактных площадках кристаллов стабильное. Частично вопросы улучшаются дополнительной фиксацией столбиковых выводов, хотя сделать это бывает затруднительно. Исключая вопросы металлизации столбиковых выводов, сделано предположение, что источником проблемы является передача (поглощение) ультразвуковой энергии в зоне присоединения. При этом также исключались вопросы по работе ультразвуковой системы: ультразвуковой генератор-ультразвуковой преобразователь.

Моделирование параметров ультразвуковой микросварки

Процесс ультразвуковой микросварки в технологическом плане обусловлен следующими параметрами: амплитудой ультразвуковых колебаний микросварочного инструмента

(капилляра), контактным усилием (нагрузением) системы «торец капилляра – проволока – контактная площадка» и временем сварки. Очевидно, что чем тоньше используемая проволока, тем точнее должны задаваться исходные параметры и поддерживаться заданными в процессе присоединения. Применение тонкой проволоки < 20 мкм связано в первую очередь с размерами контактных площадок кристаллов $< 60 \times 60$ мкм, а значит, и малой площадью соединения. Для приборов ТО-5 конструкций с заложенной в конструкцию прибора высокой разновысотностью Δh (до 1-2 мм) уровней сварки необходимо обеспечивать вертикальное положение микросварочного инструмента на позиции присоединения (рисунок 1). Это может быть обеспечено перемещением сварочной головки по вертикальной оси Z.

Усилие $FN(t)$ на микросварочный инструмент создается в большинстве случаев от электромагнитного актуатора - катушки в поле постоянного магнита по типу звуковой катушки (voice coil motor), ввиду простоты конструкции и возможности программирования посредством задания тока через катушку [2,3]. В момент контакта микросварочного инструмента с точкой присоединения на ультразвуковой преобразователь передается усилие от электромагнитного актуатора и подается импульс программируемой амплитуды переменного напряжения от генератора.



Δh - разновысотность контактных площадок

Рисунок 1. Положение ультразвукового преобразователя на позиции присоединения

Основным критерием надежности образуемого межсоединения между контактной площадкой кристалла и внешним выводом является прочность, получаемая при испытании тянущим усилием крючка, подведенным под петлевое соединение [4]. При этом испытании важно не только значение усилия, но и характер разрушения соединения. Важно, чтобы сварные соединения остались на месте, т.е. не должно быть отслоения сварного соединения от места сварки. Нормальным считается разрыв петли по сечению проволоки или в месте пережима (деформации) проволоки.

Типовая конструкция прибора ТО-5 показана на рисунке 2.

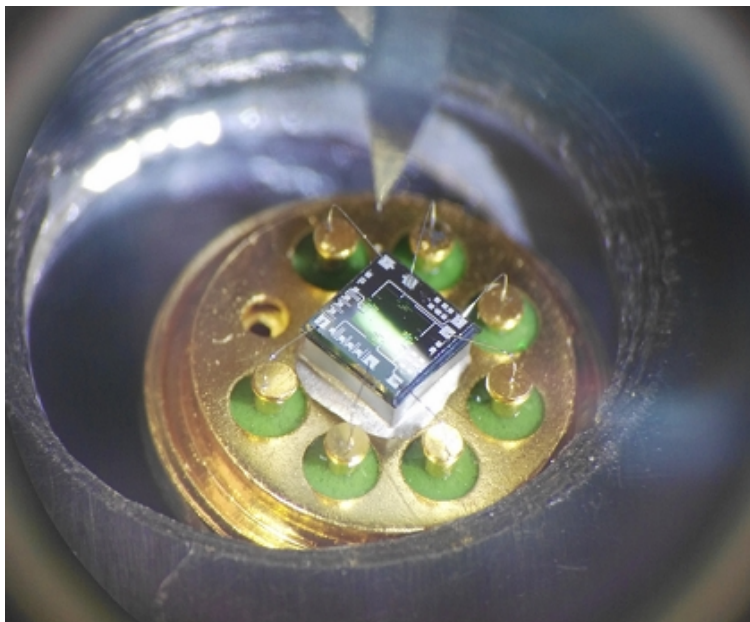


Рисунок 2. Кристалл в корпусе типа ТО-5

Внешний вывод корпуса выполняется в виде цилиндрического вывода, фиксируемого в отверстии корпуса стеклом, верхняя часть вывода в виде шляпки для упрощения позиционирования рабочего инструмента. Именно на столбиковых выводах возникают с надежностью присоединения. При этом сварное соединение практически «размазывается» на контактной площадке. Было сделано предположение, что возникает резонансный эффект, когда частота ультразвуковых колебаний рабочего инструмента совпадает или близка к частоте собственных колебаний столбикового вывода.

В среде программы Comsol Multiphysics было проведено моделирование на наличие таких резонансных собственных частот (их может быть несколько). На рисунке 3 показан результат моделирования вывода длиной 15 мм и диаметром 1 мм. Такой вывод использовался в приборе МЭМС для измерения давления. Из рис.3 видно, что одна из собственных частот составляет 68,4 кГц при подводимой к ультразвуковому преобразователю частоте ультразвуковых колебаний 66,8 кГц. На поверхности шляпки вывода по краям наблюдаются пучности колебаний. Следующая собственная частота находится на частоте 88,2 кГц. Вот почему попытка до моделирования столбиковых выводов собрать прибор на частоте ультразвуковой системы 90 кГц не увенчалась успехом. Замечено было также, что дополнительный поджим вывода снизу корпуса улучшает ситуацию. Механически укрепить (зажать) вывод не представлялось возможным. Одним из путей решения проблемы-моделирование конструкции вывода с выбором оптимального положения (фиксации) в стекле. Технологически выполненный наплыв стекла на подножие шляпки вывода позволили подавить резонансные частоты в диапазоне работы ультразвуковой системы (66,8 кГц) и дать практически приемлемый результат по качеству микросварного соединения. Контроль прочности выполнялся на установке контроля прочности выводов ЭМ-6705 производства ОАО «Планар-СО» методом тянущего усилия с зацеплением крючком [5]. Текущая прочность до обрыва проволоки для алюминиевой проволоки диаметром 30 мкм составила 9 грамм.

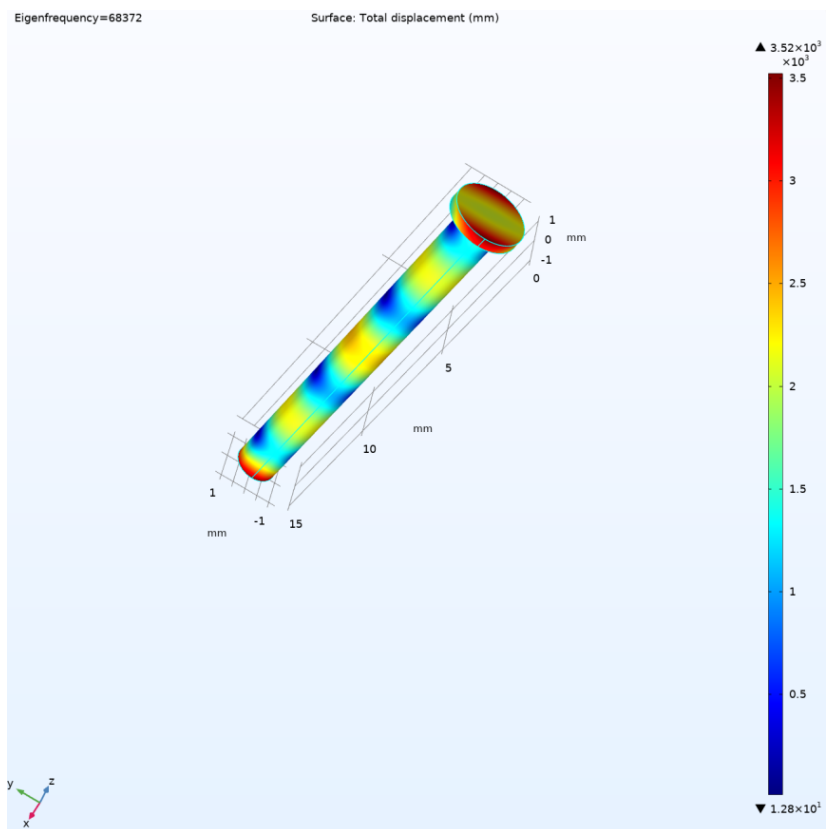


Рисунок 3. Собственная частота 68,4 кГц вывода корпуса ТО-5

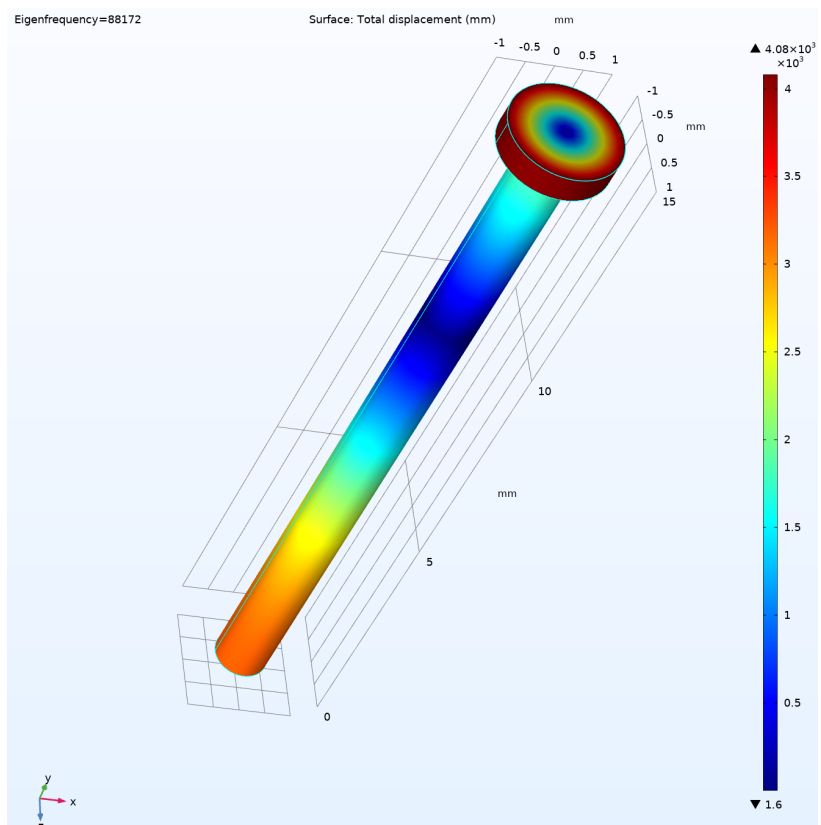


Рисунок 4. Собственная частота 88,2 кГц вывода корпуса ТО-5

Заклучение.

Столбиковые выводы корпусов типа ТО-5 имеют набор собственных частот в диапазоне частот от 40 до 140 кГц, что находится в зоне резонансных частот современных ультразвуковых систем микросварки. Для устранения резонансного эффекта предложено выполнить технологический наплыв стекла на подножие шляпки вывода корпуса.

Использование современных средств проектирования и моделирования электромеханических и акустомеханических устройств, в том числе и МЭМС, позволяет предсказать поведение конструкции при последующих технологических операциях и оптимизировать параметры сборочных процессов.

Список литературы

- [1]. Петухов, И.Б. Технология и оборудование микросварки в производстве изделий электронной техники/И.Б. Петухов, В.Л. Ланин, В.А. Емельянов. – Минск: Интегралполиграф, 2021. – 186 с.
- [2]. Петухов, И.Б. Стабилизация сварочного усилия в процессе ультразвукового монтажа проволочных и ленточных выводов/И.Б. Петухов//Технологии и конструирование в электронной аппаратуре, 2021. –, № 1-2. – С. 49–53.
- [3]. Ультразвуковая микросварка проволочных выводов больших диаметров при монтаже мощных полупроводниковых приборов/ В. Ланин, И. Петухов, Л. Драгилев // Электроника НТБ, №2, 2020.
- [4]. Технология субмикронных структур микроэлектроники/А.П. Достанко [и др.]; под ред. акад. А.П. Достанко. – Минск: Беларуская навука, 2018. –270 с.
- [5]. Ланин, В.Л. Технология и оборудование сборки и монтажа электронных средств/В.Л. Ланин, В.А. Емельянов, И.Б. Петухов; под ред. член-корр. НАН Беларуси В.А. Емельянова. –Минск: Беларуская навука, 2022. –512 с.

MODELLING OF RESONANCE PHENOMENA IN ULTRASONIC MICRO-BONDING WIRE IN DEVICES TYPE TO-5

V.L. Lanin

*Professor, Department of Computer Design of BSUI,
Doctor of Technical Sciences, Professor*

I.B. Petuhov

*Chief, R&D Centre of assembly equipment OJSC
“Planar-SO” PhD of Technical Sciences*

Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics, Republic of Belarus.

E-mail: petuchov@kbtcm.by

Abstract. The analysis of destabilizing factors of ultrasonic micro-bonding of aluminum wire with a diameter of 30-35 microns on the column pins of TO-5 type devices has been performed. Using simulations in Comsol Multiphysics, the natural resonance frequencies of the column pins and their possible interaction with the frequency of the ultrasonic vibrations, leading to a decrease in the quality of the bonding, were determined.

Keywords: ultrasonic micro-bonding, ultrasonic transducer, TO-5 type devices.