

УДК [611.018.51+615.47]:612.086.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КРИСТАЛЛАХ ПРИ МОНТАЖЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ



В.Л. Ланин

Профессор кафедры электронной техники и технологии, доктор технических наук



А.А. Мишечек

Магистрант кафедры электронной техники и технологии

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь.

Email: vlanin@bsuir.by, mishechek98@mail.com.

В. Л. Ланин

Профессор кафедры электронной техники и технологии. Имеет 30 летний опыт работы в области технологии ультразвуковой микросварки. Автор более 10 монографий в данной области.

А. А. Мишечек

Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в 2020. Магистрант кафедры электронной системы и технологии. Проводит научные исследования по технологии монтажа кристаллов в корпуса ИС с применением ультразвуковых колебаний.

Аннотация. Монтаж кристаллов в корпуса интегральных схем происходит посредством вибрационной эвтектической пайки и пайки с применением ультразвуковых колебаний. При вибрационной эвтектической пайке рабочая область и соответственно кристалл нагреваются до высокой температуры (~400°C), что может привести к повреждению кристалла. В свою очередь, ультразвуковая пайка является нестабильным процессом требующим использования инертного газа или формир-газа в области монтажа. В результате моделирования была получена картина распределения механических напряжений, так же была построена АЧХ колебаний инструмента и рабочей области.

Ключевые слова: вибрационная пайка, УЗ колебания, эвтектика.

Введение

В настоящее время для монтажа кристаллов широко используются методы вибрационной эвтектической пайки тыльной золоченой поверхности кристалла к золоченой поверхности основания корпуса и пайки с использованием различных припоев [1]. Для обеспечения необходимой смачиваемости припоя и предотвращения окисления в процессе пайки используется инертный газ или формир-газ на основе смеси 10 % водорода и 90 % азота. Нанесение припоя на подложку осуществляется дозированием проволоки припоя или паяльной пасты, либо припойными прокладками. Применение ультразвуковых колебаний в процессе присоединения кристаллов более характерно для технологии Flip-Chip [2], однако может использоваться для обеспечения более качественного слоя эвтектики или паяного соединения.

Посадка кристалла на эвтектические сплавы помимо технологических трудностей (высокие температуры, золотое покрытие) имеет и другие недостатки. В виду малой пластичности эвтектики Au-Si и разницы в коэффициентах термического расширения кристалла и рамки в напаянном кристалле возникают значительные механические

напряжения, что приводит к сколам кристаллов при пайке, последующих технологических операциях и испытаниях, а также к снижению надежности приборов. Установлено, что основными причинами, приводящими к снижению выхода годных изделий, являются: отслаивание кристаллов из-за неполного образования эвтектики по всей площади; образование микротрещин и растрескивание кристаллов после пайки и термокомпрессионной разварки выводов [3].

Неполное образование эвтектики связано с недостаточной толщиной слоя золота на кристалле (менее 1 мкм). В тоже время повышение сплошности эвтектики под кристаллом приводит к росту количества приборов с трещинами в кристаллах, что обусловлено ростом внутренних механических напряжений в кристаллах.

Пайка с применением ультразвуковых (УЗ) колебаний подразумевает использование колебаний частотой 50-70 кГц, что в свою очередь позволяет полностью отказаться от применения флюсов, при этом исключается операция отмывки флюса, сокращается общая длительность технологического процесса монтажа микроплаты. При использовании УЗ колебаний для пайки кристаллов очень важно правильно выбирать технологические параметры, такие как частоту и амплитуду колебаний, дозирование припоя и др. В частности, очень важен выбор резонансной длины инструмента в зависимости от частоты УЗ системы.

Для повышения устойчивости процесса монтажа кристалла с применением УЗ колебаний необходимо, чтобы рабочая область была заполнена инертным или формирующим газом. При УЗ пайке температуры инструмента и рабочей области значительно ниже, чем при вибрационной эвтектической пайке, что в свою очередь уменьшает вероятность появления экзотермических процессов, которые могут в последствии повредить кристалл.

Монтаж кристаллов с применением УЗ колебаний проводился с временем воздействия ультразвука 255 мс, при мощности 3,25 Вт и частоте 69 кГц. Схема УЗ монтажа показана на рисунке 1.

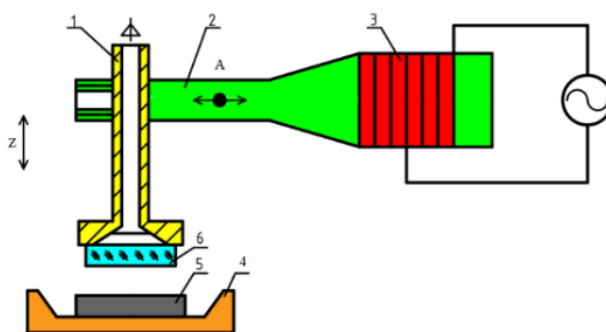


Рисунок 1. Схема ультразвукового монтажа 1 – захват, 2 – волновод, 3 – пьезоэлектрический преобразователь, 4 – стол, 5 – корпус ИС, 6 – кристалл.

Корпуса ИС размещались на рабочем столике с помощью двух зажимов, которые стопорились 2 винтами каждый. Кристаллы располагались россыпью на предметном столике с зеркальной подложкой. Захват, выбранный в соответствии с типоразмером кристалла (0,4x0,4 мм), устанавливался в волновод и закреплялся с помощью винта. Вакуум создавался в захвате, в установку подавался с помощью трубки. Контроль захвата и правильность расположения его в захвате контролировалось с помощью микроскопа и зеркальной поверхности столика. После захвата кристалла и перемещения инструмента в область над рабочим столиком производится процесс пайки с использованием контроллера, который контролирует температуру нагрева рабочего столика, мощность, подаваемую на инструмент и время воздействия ультразвуковых колебаний.

Поэтапное создание модели производилось с применением пакета программ Solidworks В результате моделирования в Ansys WorkBench [4] была получена картина

распределения механических напряжений по инструменту и рабочей области, которая представлена на рисунке 2.

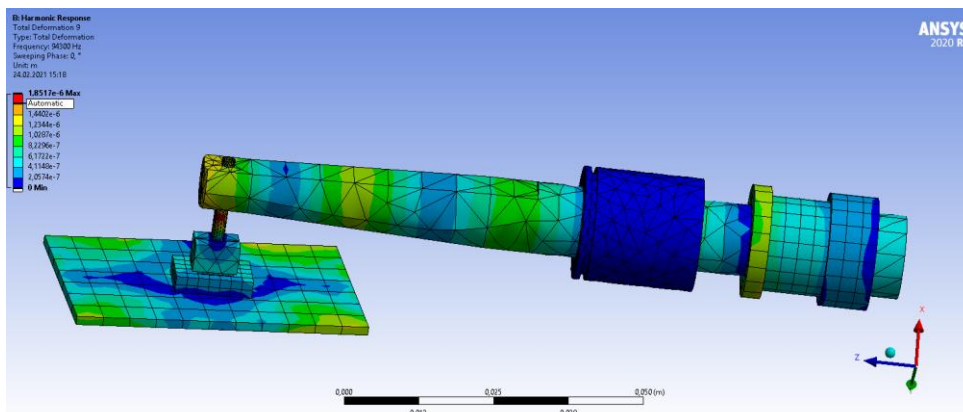


Рисунок 2. Распределение механических напряжений по рабочей области и инструменту.

На основании моделирования получены графики зависимости амплитуды колебаний от частоты, которые представлены на рисунке 3.

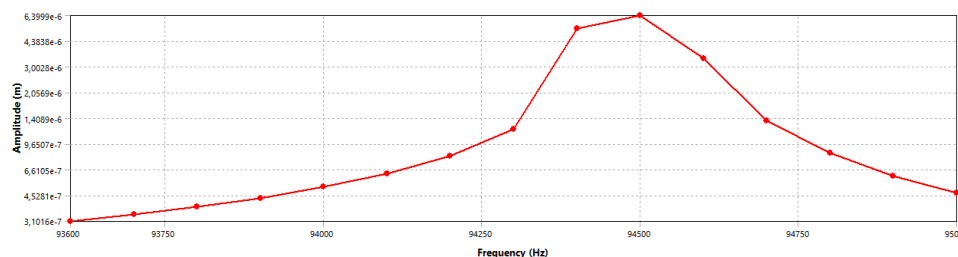


Рисунок 3. АЧХ колебаний инструмента

Вибрационный эвтектический монтаж кристаллов в корпуса ИС проводился с помощью установки настольного типа ЭМ-4075А-1, представленной на рисунке 2, при температурах 400-445 °С и частотах 2-9 Гц [5].

Данная установка в стандартной комплектации имеет головку присоединения кристаллов, рабочий стол для закрепления корпуса прибора, предметный столик с зеркальной подложкой для укладки кристаллов россыпью, дозатор клея, микроскоп и световой визир для совмещения инструмента с кристаллом. Так же дополнительно данная установка может дополняться генератором ультразвуковых колебаний. Техническая характеристика данной установки приведены в таблице 1.

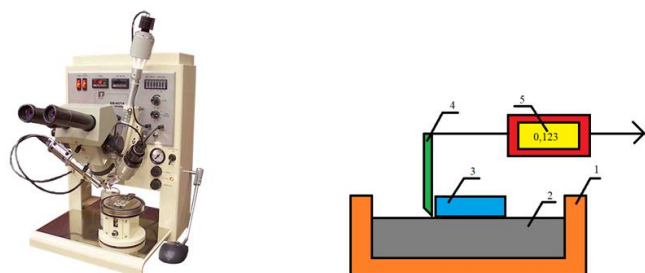


Рисунок 4. Установка настольного типа ЭМ-4075А-1 (а) и схема контроля точности кристалла (б) : 1 – упор, 2 – корпус ИС, 3 – кристалл, 4 – захват, 5 – цифровой динамометр.

Таблица 1. Техническая характеристика установки

Параметр	Значение
Максимальный размер обрабатываемого изделия, мм	50x60
Температура нагрева рабочего стола, °С	50 ... 450 ±10
Температура нагрева газовой струи, °С	50 ... 450 ±10
Температура нагрева рабочего инструмента, °С	50 ... 250 ±25
Амплитуда вибрации инструмента, мм	0.1 ... 0.25
Частота вибрации инструмента, Гц	2 ... 10
Вакуум, кПа	25 ... 30
Электропитание и потребляемая мощность	230В, 50Гц, 0,5кВт

Проверка качества присоединения кристаллов производилась с помощью определения усилия на сдвиг кристалла. Схема контроля прочности кристалла представлена на рисунке 4.

Анализ экспериментальных данных показал, что прочность соединения растёт с повышением температуры вплоть до 430 °С из-за повышения окисления, а после с повышением температуры пайки начинается ухудшение качества монтажа в следствии экзотермических процессов. При пайке с использованием ультразвуковых колебаний наблюдается улучшение качества соединения вплоть до температуры в 225 °С, далее качество ухудшается, для решения этой проблемы стоит проводить процесс в среде с инертным или формирующим газом. Зависимости усилия сдвига от температуры представлены на рисунке 5.

Использование ультразвуковых колебаний при эвтектической пайке позволяет получать достаточно надёжные соединения кристаллов с корпусом с меньшей областью монтажа, так же позволяет уменьшить температуры процесса почти в 2 раза. Усилия на сдвиг при монтаже кристаллов на припой на никелевые пластины оказалось больше, нежели при посадке на эвтектику на золотую поверхность. Однако при монтаже кристаллов на припой на никель количество брака порядка 70-75 %, при монтаже на золотую поверхность количество кристаллов с браком менее 15 %.

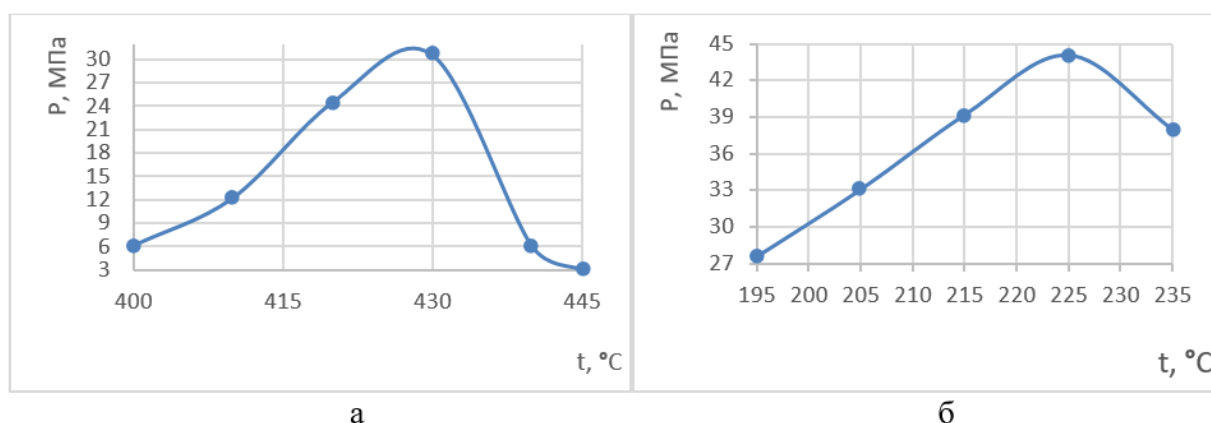


Рисунок 5. Зависимости усилия на сдвиг кристалла от температуры для пайки а) вибрационной эвтектической; б) с УЗ колебаниями.

Результаты моделирования показывают, что преимущественно механические напряжения возникают в области инструмента для захвата кристалла и в области нахождения пьезоэлементов в инструменте.

Таким образом, при монтаже кристаллов в корпуса интегральных схем с применением ультразвуковых колебаний механические напряжения значительно меньше влияют на кристалл, нежели в случае с вибрационной эвтектической пайкой, что повышает качество продукции на выходе.

Список литературы

- [1] Зенин В.В., Емельянов В.А., Ланин В.Л. Монтаж кристаллов и внутренних выводов в производстве полупроводниковых изделий. – Минск: Интегралполиграф, 2015. – 380 с.
- [2] Studies of thermosonic bonding for Flip-Chip assembly / S.Y. Kang [and ets.] // Materials Chemistry and Physics, 1995.–V.42. – P. 31-37.
- [3] Ланин В.Л., Керенцев А.Ф. Сборка мощных бескорпусных MOSFET- транзисторов для поверхностного монтажа // Силовая электроника. 2009. № 3. – С. 76–79.
- [4] Ansys Engineering Software. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ansys.com/>.
- [5] Установка настольного типа ЭМ-4075А-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kbtm.by/products/die-bonding/em-4075a-1>.

MODELING OF MECHANICAL STRESSES IN CRYSTAL DURING INSTALLATION WITH THE USE OF ULTRASONIC VIBRATIONS

V.L. LANIN

Doctor of Technical Sciences

Professor, Department of Electronic System and Technology, BSUIR

A.A. MISHECHEK

Master's student

Department of Electronic System and Technology, BSUIR

Belarus State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus
E-mail: vlanin@bsuir.by, , mishechek98@mail.com

Abstract. The crystals are installed in the integrated circuit housing by means of vibration eutectic soldering and soldering using ultrasonic vibrations. During vibration eutectic soldering, the working area and, accordingly, the crystal are heated to a high temperature (~400°C), which can lead to damage to the crystal. In turn, ultrasonic soldering is an unstable process that requires the use of an inert gas or former gas in the installation area. As a result of the simulation, a picture of the distribution of mechanical stresses was obtained, as well as an amplitude-frequency characteristic of vibrations of the tool and workspace.

Keywords: vibrations soldering, ultrasonic vibration, eutectic.