

УДК [611.018.51+615.47]:612.086.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КРИСТАЛЛЕ МИКРОБОЛОМЕТРА ПРИ МОНТАЖЕ НА ПРИПОЙ



А.Э. Видрицкий

Аспирант кафедры электронной техники и технологии
AVidritskiy@integral.by



В.Л. Ланин

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

А.Э. Видрицкий

Окончил Белорусский национальный технический университет. Магистр технических наук, аспирант кафедры электронной техники и технологии. Проводит научные исследования по технологии монтажа кристаллов и герметизации в вакууме приемников инфракрасного излучения.

В.Л. Ланин

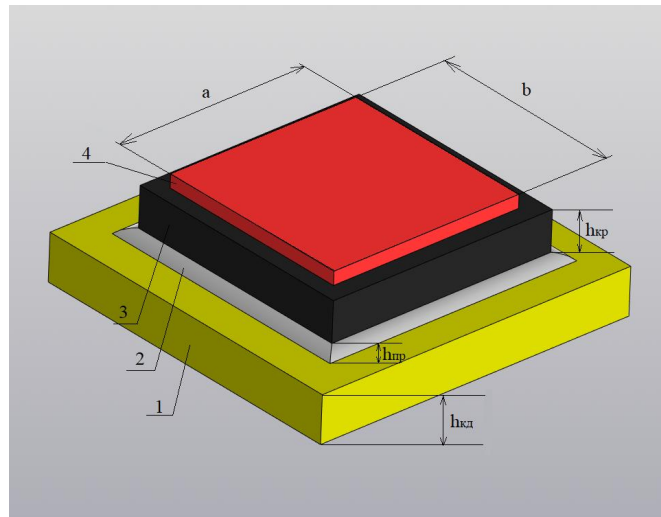
Профессор кафедры электронной техники и технологии. Имеет 30 летний опыт работы в области технологии сборки и монтажа электронной аппаратуры. Автор 10 монографий в данной области.

Аннотация. Монтаж кристаллов в корпусе интегральных схем должен обеспечить высокую прочность соединений при термоциклировании и механических нагрузках, низкое электрическое и тепловое сопротивление, минимальное механическое воздействие на кристалл и отсутствие загрязнений. В результате моделирования получены зависимости механических напряжений в кристалле от типа припоя и его толщины. Отмечен линейный рост механических напряжений в кристалле в зависимости от снижения толщины слоя припоя.

Ключевые слова: монтаж, кристалл, пайка, припой, механические напряжения,

Введение. На технологический процесс пайки и качество паяного соединения кристалла корпусом сильное влияние оказывают чистота соединяемых металлических поверхностей и применяемого припоя, состав атмосферы рабочего процесса и наличие флюсов. Основными дефектами, возникающими при посадке кристалла на кристаллодержатель, являются неполное контактирование кристалла к основанию корпуса и механические напряжения в кристалле из-за несоответствия термических коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) материала корпуса и полупроводника. Неполное контактирование снижает механическую прочность и ухудшает условия отвода тепла вследствие увеличения теплового сопротивления в месте соединения кристалла и основания корпуса. Механические напряжения в приконтактной области приводят к образованию в ней микротрещин и к отказам полупроводниковых приборов [1].

Моделирование напряжений в кристалле. Физическую модель напаянного кристалла на кристаллодержатель можно представить в виде трёх многослойных параллелепипедов, которые имитируют кристалл с плоским источником тепла на его поверхности, слой припоя заданной толщины и участок кристаллодержателя, ограниченного размерами паяного соединения (рисунок 1).



1 – кристаллодержатель, 2 – припой, 3 – кристалл, 4 – плоский источник тепла, $h_{кр}$, $h_{пр}$, $h_{кд}$ – толщины кристалла, припоя, кристаллодержателя

Рисунок 1. Физическая модель присоединения кристалла

Максимальное напряжение, возникающее при охлаждении кристалла, определяется выражением [2]:

$$\sigma_{max} = k(\alpha_1 - \alpha_2)(T - T_0) \sqrt{\frac{E_1 E_2 L}{X}},$$

где σ_{max} – максимальное напряжение;

α_1, α_2 – ТКЛР припоя и кремния;

E_1, E_2 – модули упругости припоя и кремния;

T, T_0 – температура пайки и окружающей среды;

L – длина кристалла;

X – толщина припоя;

k – коэффициент, зависящий от соотношения $h_{кр}/h_{кд}$.

Для сравнения выбраны три типа припоя: $80Au20Sn$, $SAC305$ ($95Sn3Ag0.5Cu$), $80In15Pb5Ag$, основные характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики припоев

Параметр	$80Au20Sn$	$95Sn3Ag0.5Cu$	$80In15Pb5Ag$
Температура плавления, °C	280	220(L), 217(S)	149(L), 145(S)
ТКЛР, 10^{-6}	16	22	28
Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	57	58	43
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·см	16,4	13,2	13,3
Плотность, г/см ³	14,51	7,4	8,85
Прочность на разрыв, МПа	275	50	180
Модуль Юнга, ГПа	68	16,6	11

Моделирование механических напряжений в кристалле приемника ИК-излучения проведено посредством использования пакета прикладных программ *MATLAB*. В результате моделирования получена зависимость механических напряжений в кристалле от толщины припоя в диапазоне от 40 до 150 мкм при коэффициенте $\kappa = 0,33$.

Алгоритм программы, позволяющей одновременно построить для трех разных припоев зависимости механических напряжений в кристалле от толщины припоя в одной системе координат приведен на рисунке 2. На рисунке 3 показаны зависимости механических напряжений в кристалле от толщины припоя. Как видно из рисунка 3 наблюдается снижение величины напряжений с ростом толщины слоя припоя: для 80In15Pb5Ag с 260 до 120 МПа, SAC305 с 230 до 100 МПа, 80Au20Sn с 300 до 140 МПа. Это явление связано с термическими деформациями материалов, которые линейно пропорциональны перепаду температуры

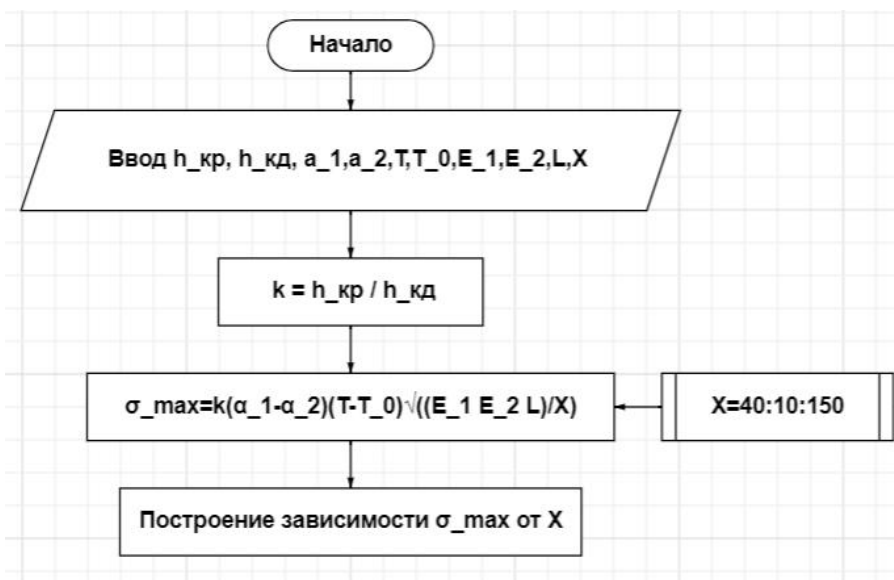


Рисунок 2. Алгоритм программы расчета и графического отображения зависимости механических напряжений в кристалле от толщины припоя

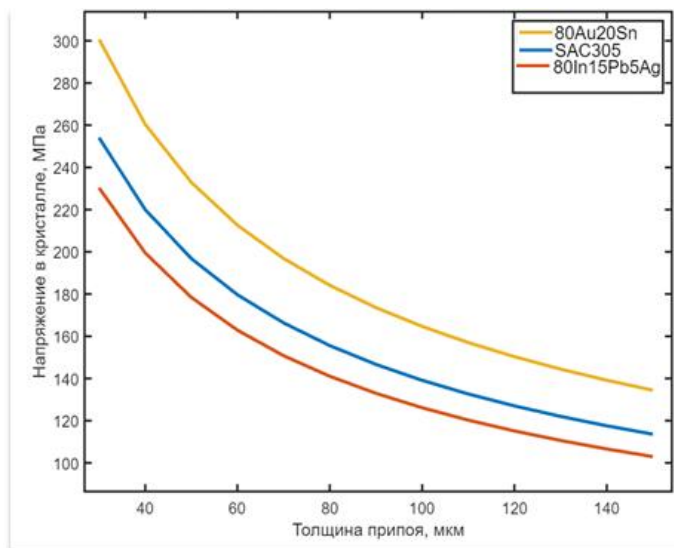


Рисунок 3. Зависимости механических напряжений от толщины припоя

Установлено, что при монтаже кристалла на эвтектику *Au-Si* в диапазоне температур от 400 °С до 500 °С механические напряжения в кристалле варьируются от 50 МПа до 350 МПа [4]. Величина напряжений в 50 МПа является наиболее приемлемой, но экспериментально установлено, что монтаж кристаллов при температурах свыше 320 °С приводит к необратимой деградации характеристик микроболометра и, соответственно,

неприменим для данного типа изделий. Максимальное величина механических напряжений кремния, которая приводит к его разрушению составляет порядка 580 МПа [5].

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что для предотвращения возникновения в кристалле микроболометра остаточных механических напряжений целесообразно монтаж кристалла проводить на припой толщиной не менее 40 мкм, а также снижению вероятности механического повреждения кристалла способствует использование низкотемпературного припоя.

Заключение. Полученные результаты облегчают оценку остаточного термического напряжения в процессе монтажа кристалла в основание корпуса методом пайки. Снижению механических напряжений в кристалле в процессе монтажа способствует использование легкоплавкого припоя, а также увеличение его толщины. Таким образом, термомеханическое моделирование может быть полезным инструментом в изготовлении приемников инфракрасного излучения.

Список литературы

- [1] Зенин, В.В. Монтаж кристаллов и внутренних выводов в производстве полупроводниковых изделий / В.В. Зенин, В.А. Емельянов, В.Л. Ланин. – Минск: Интегралполиграф, 2015 – 380 с.
- [2] Синкевич, В.Ф. Физические основы диагностирования предельных состояний и обеспечения надежности мощных транзисторов / В.Ф. Синкевич // Электронная промышленность. – 1990. – Вып.6. – С. 19–26.
- [3] Ланин, В.Л. Сборка мощных бескорпусных MOSFET- транзисторов для поверхностного монтажа / В.Л. Ланин, А.Ф. Керенцев // Силовая электроника. 2009.– № 3 – С. 76–79.
- [4] Сологуб, Л.В. Механические напряжения в кристаллах ИМС после посадки в корпус / Л.В. Сологуб, А.В. Короткевич // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров: сб. материалов МНПК, Минск, 23–24 апреля 2008г. в 3 ч. Ч. 1. – Минск.: МГВРК, 2008. – 186 с.
- [5] Генерация второй оптической гармоники, индуцированной механическими напряжениями в кремнии / О.А. Акципетров [и др.] // Письма в ЖЭТФ – 2009. – Т. 90,– С. 813-817.

Авторский вклад

Ланин Владимир Леонидович – постановка задачи исследования, руководство исследованием, оценка качества.

Видрицкий Александр Эдуардович – определение методики проведения моделирования, разработка программы, моделирование, формирование структуры статьи.

SIMULATION OF MECHANICAL STRESSES IN THE MICROBOLOMETER CRYSTAL DURING SOLDER MOUNTING

A. E. VIDRYTSKI

Graduate student

Department of Electronic System and Technology, BSUIR

V.L. LANIN

Doctor of Technical Sciences

Professor, Department of Electronic System and Technology, BSUIR

Abstract. The installation of crystals in integrated circuit housings should ensure high strength of connections during thermal cycling and mechanical loads, low electrical and thermal resistance, minimal mechanical impact on the crystal and the absence of contamination. As a result of the simulation, the dependences of mechanical stresses in the crystal on the type of solder and its thickness are obtained. A linear increase in mechanical stresses in the crystal is noted, depending on the decrease in the thickness of the solder layer.

Keywords: installation, crystal, soldering, solder, mechanical stresses