

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

ФИЗИКА-ТЕХНИКА ФАКУЛЬТЕТІ

**«ФИЗИКАДАҒЫ ЗАМАНАУИ ТЕНДЕНЦИЯЛАР: ҒЫЛЫМ МЕН БІЛІМ  
ИНТЕГРАЦИЯСЫ»**

Халықаралық ғылыми конференциясының материалдары

**«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ФИЗИКЕ: ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ И  
ОБРАЗОВАНИЯ»**

Материалы международной научной конференции

**«MODERN TRENDS IN PHYSICS: INTEGRATION OF SCIENCE AND EDUCATION»**

Materials of the international scientific conference

**Астана, 2024 ж**

ОӘЖ 53.(075)  
Н90

**Редакциялық кеңес:**

Е.Б. Сыдықов, С.Б.Мақыш, Ж.М.Құрманғалиева, Д.Р.Айтмағамбетов,  
Л.Т.Нуркатова, Н.Г.Айдарғалиева

**Ә43 Физикадағы заманауи тенденциялар: ғылым мен білім интеграциясы:**  
Халықаралық ғылыми конференциясының материалдары (2024 жылдың 23 ақпаны, Астана, Қазақстан). – Астана: Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ баспасы, 2024. – 555 б.

**ISBN 978-601-337-957-9**

**«ФИЗИКАДАҒЫ ЗАМАНАУИ ТЕНДЕНЦИЯЛАР: ҒЫЛЫМ МЕН БІЛІМ ИНТЕГРАЦИЯСЫ»** атты Халықаралық ғылыми-теориялық конференция материалдар жинағына кәсіптік-техникалық білім беруді жетілдіруде «Космологияның қазіргі мәселелері», «Техниканың дамуындағы физиканың рөлі», «Ядролық физика, жаңа материалдар мен технологиялар», «Радиоэлектроника мен телекоммуникацияның қазіргі даму тенденциялары», «Ғарыштық техника мен технологияларды дамытудың озық бағыттары», жоғары оқу орындарындағы кәсіби педагогика проблемалары «Университетте физика және астрономия білімінің даму тенденциялары», «Орта мектепте физиканы оқытудың тиімді педагогикалық технологиялары», «Жаратылыстану пәндері бойынша мұғалімдерді даярлау жүйесіндегі инновациялар», «Қазіргі ақпараттық және коммуникациялық технологиялар» және оларды шешу әдістері мен жолдары қарастырылған мақалалар жарияланған.

ОӘЖ53.(075)

КБЖ 22.3я73

**ISBN 978-601-337-957-9**

© Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, 2024

21. Крюков А.В., Еремеев А.С. / Новые радиопоглощающие гибкие материалы на основе углеродной матрицы с различными синтетическими наполнителями и оценка их поглощающих свойств в СВЧ диапазоне // Радиоэлектроника. РЭНСИТ. –2020. -том 12. -№ 3. –С. 335-340.
22. Kuzhir P., Paddubskaya A., Bychanok D., Nemilentsau A., Shuba M., Plusch A., Maksimenko S., Bellucci S., Coderoni L., Micciulla F., Sacco I., Rinaldi G., Macutkevic J., Seliuta D., Valusis G., Banys J. / Microwave probing of nanocarbon based epoxy resin composite films: Toward electromagnetic shielding // Thin Solid Films 519 (2011) 4114–4118.
23. Островский О.С., Одаренко Е.Н., Шматько А.А. / Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн // ФИП. ФИП. PSE, 2003, том 1, № 2, -vol. 1, -№ 2.

**Ж. К. Кадырова**

*Студент 2 курса магистратуры по специальности «Моделирование и проектирование радиоэлектронных аппаратур» в ЕНУ им. Л.Н.Гумилева (Казахстан, г. Астана) и по курсу «Комплексное проектирование микросистем средствами Mentor Graphics» (Институт НМСТ) в МИЭТ (Россия, г. Москва)*

## **ПРОБЛЕМЫ ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССЕ КОРПУСИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ НА УРОВНЕ ПОДЛОЖКИ (FO-WLP)**

**Аннотация:** Технология корпусирования интегральных микросхем на уровне подложки (FO-WLP) привлекает все большее внимание благодаря своим преимуществам малого форм-фактора, более высокой плотности ввода-вывода, экономичности и высокой производительности для широкого спектра применений. Однако деформация пластин по-прежнему остается одной из важнейших проблем, которую необходимо решить для успешного выполнения последующих процессов корпуса FO-WLP. Были рекомендованы решения для уменьшения деформации пластин. Интегральные микросхемы (ИМС) на уровне подложки (FO-WLP) становятся все более распространенными в современной электронике благодаря своей компактности и высокой производительности. Однако в процессе корпусирования таких микросхем возникают серьезные проблемы деформации, которые могут привести к снижению надежности и долговечности устройства. В данной работе рассматриваются основные причины деформации в процессе FO-WLP и методы их решения. Анализируются различные технологии корпусирования и их влияние на механические свойства микросхем. Предлагаются практические подходы к минимизации деформации в процессе производства и эксплуатации ИМС FO-WLP для обеспечения их стабильной работы и долговечности.

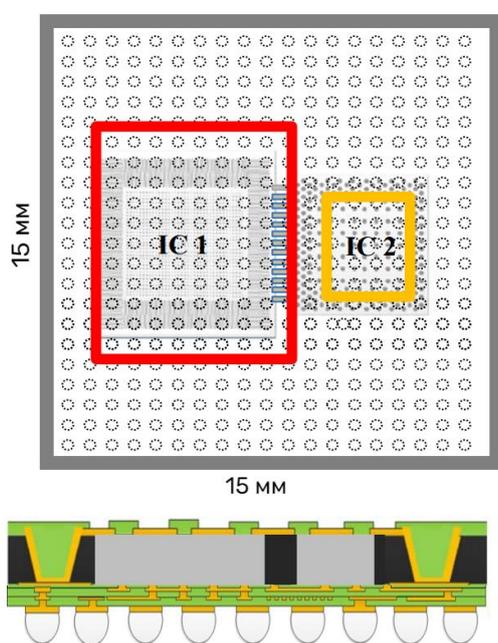
**Ключевые слова:** интегральная микросхема, FO-WLP (англ. Fun-Out Wafer-Level Package – технология корпусирования интегральных микросхем на уровне подложки), ЭФК (эпоксидный формовочный компаунд), RDL (англ. Redistribution layers – слои перераспределения).

**Введение.** До настоящего времени технология корпусирования FO-WLP все еще сталкивается с множеством трудностей, включая деформацию пластин, сдвиг матрицы и выступание, а также проблемы с надежностью на уровне платы и т.д. Среди этих проблем деформация пластин является одной из ключевых, которую необходимо решить для успешного завершения последующих процессов. В рамках данного исследования предложена методика снижения деформации пластин в различных процессах путем анализа геометрии, выбора материалов и оптимизации процесса. Размер используемого корпуса составляет 15 мм × 15 мм, включая два чипа размером 8 мм × 9 мм и два чипа размером 2 мм × 3 мм. Общая толщина корпуса составляет 200 мкм при использовании структур RDL с обеих сторон.

Проведение анализа методом конечных элементов (FEA) процесса изготовления пластин FO-WLP позволяет провести виртуальный эксперимент и более глубоко понять, как параметры воздействуют на деформацию, вызванную процессом изготовления пластин [1].

Объекты и методы исследования. На рис. 1 показаны схемы корпуса FO-WLP. Размер корпуса составляет  $15 \text{ мм} \times 15 \text{ мм} \times 0,2 \text{ мм}$ . В комплект поставки входят 2 микросхемы. Большая микросхема имеет размер  $8 \text{ мм} \times 9 \text{ мм}$ , а маленькая –  $2 \text{ мм} \times 3 \text{ мм}$ . Зазор между двумя микросхемами составляет 1 мм. Шаг шарика припоя составляет 400 мкм. Всего 1367 операций ввода-вывода. Толщина RDL Cu составляет 3 мкм, а ширина линии и расстояние между линиями (LW/LS) - 5 мкм/5 мкм. На лицевой стороне имеется 2 слоя RDL и 1 слой RDL на обратной стороне. Для нанесения POP были сформованы сквозные отверстия (TMV) диаметром 100 мкм. В одном корпусе 300 TMV.

Рисунок – 1  
Схема компоновки пакета FO-WLP

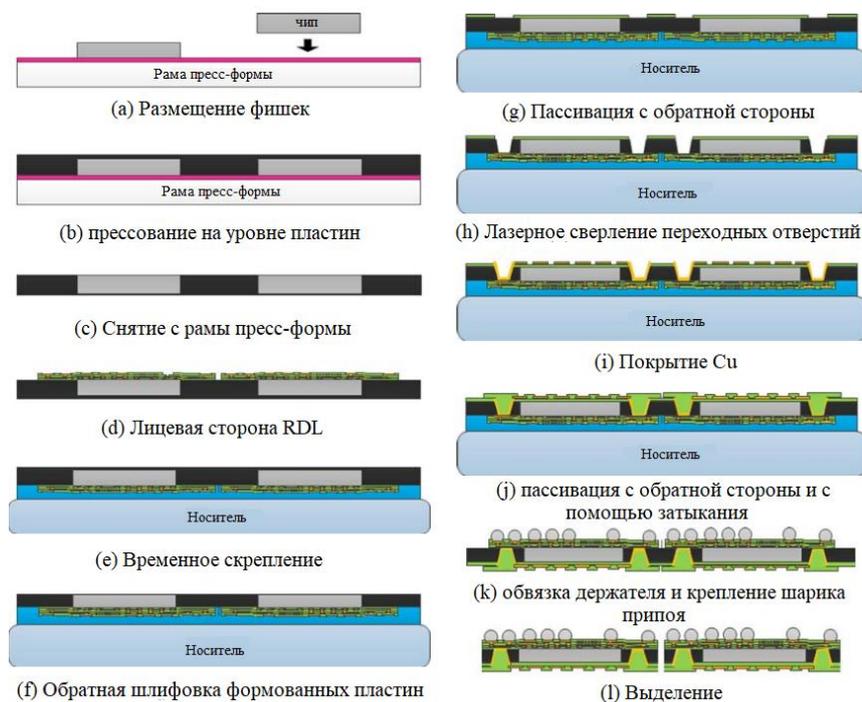


На рис. 2 показан технологический процесс для технологии корпуса mold first FO-WLP. Сначала чипы толщиной 750 мкм размещались на ленте формы, прикрепленной к раме формы, с помощью машины для подбора и размещения. Затем жидкую или гранулированную формовочную ЭФК распределяли по каркасу формы, после чего каркас с ЭФК переносили в машину для прессования. Процесс прессования на уровне пластин проводился в соответствии с определенным технологическим профилем. После отверждения в форме (IMC) извлекали сформованную пластину из каркаса при высокой температуре. Затем пластину помещали в печь на 3 часа после отверждения в форме (PMC). После PMC на лицевой стороне пластины проводился процесс RDL, включающий нанесение диэлектрического слоя и медного покрытия. Затем пластина прикреплялась к пластине-носителю с помощью временного склеивающего/обвязочного материала, лицевая сторона RDL обращалась к пластине-носителю. Для формованной пластины проводился процесс обратного шлифования до достижения расчетной толщины, например, 200 мкм в данном исследовании. Затем проводились процессы пассивации обратной стороны, лазерного сверления и нанесения медного покрытия для формирования TMVS и обратной стороны RDL. Последовательно выполнялись обвязка пластины-носителя, прикрепление шарика припоя и процессы разделения, в результате чего получали пакеты FO-WLP. Контроль деформации является одной из важнейших задач в процессах FO-WLP, что исследуется в данной работе. Для измерения деформации использовалась двойная 3D инфракрасная (ИК) микроскопия Fogale

T-MAP для 12-дюймовой формованной пластины. Результаты измерений помогли проверить результаты моделирования FEA и понять влияние технологических и конструктивных параметров на деформацию пластин [2].

Рисунок – 2

Технологический процесс изготовления пресс-формы по технологии FO-WLP



Когда структура из двух материалов подвергается термической нагрузке, деформацию можно оценить, используя приведенное ниже уравнение:

$$D = \frac{3L^2}{4(t_a + t_b)} \frac{(1 + \frac{t_a}{t_b})^2 (\alpha_b - \alpha_a)(T - T_0)}{\left[ 3 \left(1 + \frac{t_a}{t_b}\right)^2 + \left(1 + \frac{t_a E_a}{t_b E_b}\right) \left(\frac{t_a^2}{t_b^2} + \frac{t_b E_b}{t_a E_a}\right) \right]} \quad (1)$$

Где  $t_a, t_b$  – толщина двух слоев пластины из двух материалов,  $E_a, E_b$  – модуль Юнга двух материалов,  $\alpha_a, \alpha_b$  – коэффициент теплового расширения (СТЕ) двух материалов,  $L$  – длина пластины из двух материалов,  $T_0$  – контрольная температура. Для технологии встраиваемого корпуса FO-WLP формованная пластина не имеет идеальной послойной структуры, как показано на рис. 3(а). Реальная структура на рис. 3(а) может быть преобразована в послойную структуру, как показано на рис. 3(б), используя эффективный материал для замены Si и ЭФК.

Эффективные свойства материала, такие как модуль Юнга,  $E_{eff}$ , и СТЕ,  $\alpha_{eff}$ , рассчитываются с использованием эффективной модели для системы из двух материалов, как показано ниже:

$$E_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^2 V_i E_i}{\sum_{i=1}^2 V_i} = \frac{V_1 E_1 + V_2 E_2}{V_1 + V_2} \quad (2)$$

$$\alpha_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^2 V_i \alpha_i}{\sum_{i=1}^2 V_i} = \frac{V_1 \alpha_1 + V_2 \alpha_2}{V_1 + V_2} \quad (3)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – объем матрицы Si и ЭФК толщиной  $t_b$  соответственно. Деформацию пластины можно приблизительно рассчитать на основе теоретического уравнения (1) для отформованной пластины. Деформацию также можно быстро оценить на основе теоретического уравнения для оптимизации конструкции и выбора материала [3].

Рисунок – 3

Структура из двух материалов (а) формованная пластина со встроенными кремниевыми чипами (б) послойная структура с эффективным материалом



Результаты исследования и их обсуждение. Анализ результатов данного исследования по проблемам деформации в процессе корпусирования интегральных микросхем на уровне подложки (FO-WLP) позволяют лучше понять сущность этих проблем и разработать эффективные стратегии их решения.

✓ Определение причин деформации: исследования показывают, что основными причинами деформации в процессе FO-WLP являются различия в коэффициентах теплового расширения между материалами, использованными в подложке, микросхеме и корпусе, а также неравномерное распределение напряжений во время процесса сборки.

✓ Влияние технологий корпусирования: различные методы корпусирования, такие как молекулярное склеивание, формование маски и термокомпрессионное склеивание, имеют свои преимущества и ограничения в контексте предотвращения деформации. Исследования показывают, что оптимальный выбор метода зависит от конкретных параметров микросхемы и требований к ее производству.

✓ Методы минимизации деформации: исследования предлагают различные подходы к минимизации деформации, такие как оптимизация параметров процесса сборки, улучшение соответствия коэффициентов теплового расширения материалов, использование специальных компенсационных слоев и многослойных конструкций.

✓ Оценка механических свойств: результаты исследований позволяют разработать методы оценки механических свойств интегральных микросхем FO-WLP, что позволяет предсказать вероятность деформации и оптимизировать процесс их производства.

Обсуждение результатов исследования подчеркивает необходимость дальнейших исследований в этой области для разработки более эффективных стратегий управления деформацией и обеспечения стабильной работы и долговечности интегральных микросхем FO-WLP.

#### Литература:

1. Ю. Джин, Х. Баратон, С. В. Юн, Ю. Лин, П.С. Маримуту, В.П. Ганеш и др., “Корпус следующего поколения eWLB (BGA на уровне встроенных пластин)”, выпуск 12-й электрон. Корпус. Технология. Конференция, 2010, стр. 520-526.
2. Т. Браун, К.Ф. Беккер, С. Вогес, Дж. Бауэр, Р. Кале, В. Бадер и др., “Корпус на уровне разветвленной панели размером 24 x 18 дюймов”, 64-й электрон. Компонент. Технология.

Конференция, 2014, стр. 940–946.

3. Т. Браун, С. Раатц, С. Вогес, Р. Кале, В. Бадер, Дж. Бауэр и др., “Компрессионное формование большой площади для корпуса на уровне разветвленных панелей”, 65-й электронный выпуск. Компонент. Технология. Конференция, 2015, стр. 1077-1083

## **ҒАРЫШТЫҚ ТЕХНИКА МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ДАМЫТУДЫҢ ОЗЫҚ БАҒЫТТАРЫ / ПЕРЕДОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

**Ашуров А.Е., к.ф.-м.н.**

*Заведующий кафедрой «Космическая техника и технологии» ЕНУ им.Л.Н. Гумилева*

### **О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА МАНЕВРАМИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**Аннотация.** Быстрое увеличение числа спутников на орбитах значительно увеличило вероятность столкновений и значительно повысило риск появления новых элементов космического мусора. Соответственно, чтобы избежать столкновения, придется совершить большое количество маневров. В этой ситуации важно не только вовремя спрогнозировать вероятность столкновения и осуществить маневры уклонения, но и проанализировать результаты этих маневров. Сегодня действия государств, участвующих в освоении космического пространства, регулируются международными нормами, в том числе Руководящими принципами по предотвращению образования космического мусора. Выполнение этих требований связано с управлением своим космическим аппаратом путем выполнения необходимых маневров. Соответственно, для контроля выполнения этих требований необходим сервис мониторинга маневров спутников. Однако для снижения вероятности появления нового элемента космического мусора недостаточно создать такую службу. Необходимо разработать некоторые правила движения (поведения) спутников в космическом пространстве по аналогии с правилами движения в земных условиях. Так, в данной работе предлагается создать сервис мониторинга маневров спутников и разработать «правила движения» космических аппаратов. Тогда эти правила можно было бы включить в международно-правовые документы на уровне ООН. Для создания такого сервиса необходим эффективный метод обнаружения маневра и расчета его параметров. Недавно эффективный метод обнаружения маневров спутников LEO на основе данных TLE был предложен автором настоящей работы. Однако этот метод можно применить и к спутникам на геостационарной орбите после соответствующей адаптации. Метод применен для анализа маневров Китайской космической станции (ККС) и спутника Starlink-1095 во время их сближения 1 июля 2021 г., а также ККС и Starlink-2305 во время их сближения 21 октября, 2021. Метод имеет ряд преимуществ перед другими методами, предназначенными для обнаружения маневров. Вычислительные испытания этого метода показали, что для 1000 спутников время обработки данных TLE для двух эпох составляет около 1 секунды. Это показывает, что на основе данного алгоритма можно создать сервис мониторинга маневров спутников.

**Ключевые слова:** космический мусор; столкновение спутников; обнаружение маневра; двухстрочный элемент; сервис мониторинга маневров спутников; правила движения космических аппаратов.

#### **Ведение**

Быстрое увеличение количества космических аппаратов на околоземной орбите значительно увеличило вероятность столкновений и значительно повысило риск появления новых элементов космического мусора. Кроме того, это привело к увеличению количества