

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОСАДКИ КРИСТАЛЛОВ НА ПРИПОЙ И ЭВТЕКТИКУ В МОЩНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ КП7209 В КОРПУСЕ ТО-254 МЕТОДОМ ТЕПЛОВОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

Бумай Ю.А.¹, Васьков О.С.¹, Кононенко В.К.¹, Нисс В.С.¹, Керенцев А.Ф.², Петлицкий А.Н.², Соловьев Я.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО Интеграл

Минск, Республика Беларусь

Методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии (ТРДС) исследованы профили растекания теплового потока и структура внутреннего теплового сопротивления экспериментальных мощных МОП – транзисторов КП7209 (производство ОАО Интеграл) в металлокерамическом корпусе ТО-254, изготовленных при различных температурных режимах и методах посадки кристалла. Для испытания надежности транзисторы также были подвергнуты серии термоударов в интервале от -196 до $+200^{\circ}\text{C}$. Для снижения термических напряжений в кристаллах транзисторов конструкция корпуса ТО-254 (КТ-97В) содержит термокомпенсатор. Подробная теория метода ТРДС описана в работе [1,2]. Исследования тепловых параметров транзисторов проведены с использованием разработанного в БНТУ релаксационного импеданс – спектрометра тепловых процессов [3]. Работа спектрометра основана на регистрации процесса релаксации напряжения на барьере (“исток – затвор” в случае МОП – транзисторов) вследствие нагрева транзистора при прохождении импульса тока в виде ступеньки. Типичный вид дифференциальных и дискретных спектров тепловых сопротивлений $R_{th}(t)$, их компоненты R1 – R7 а также профили эффективной площади растекания теплового потока $S_a(t)$ показаны на рисунках 1а,б.

Вся партия из 24 транзисторов КП7209 в соответствии с методом посадки кристалла (на эвтектику Au-Si, на припой ПОС-10) и типом термокомпенсатора (МД-40, МД-50) разбита на четыре группы. Для образцов группы I и III (посадка на эвтектику, термокомпенсаторы МД-50 и МД-40, соответственно) температура пайки варьировалась в интервале 440 – 480°C , а образцов группы II и IV (посадка на припой, термокомпенсаторы МД-50 и МД-40, соответственно) в интервале 390 – 420°C .

Анализ спектров показывает, что основной вклад в разброс внутреннего теплового сопротивления внутри групп вносят компоненты области посадки кристалла – переходного слоя R3 (кристалл-припой), слоя припоя R4 и переходного слоя R5 (припой – термокомпенсатор).

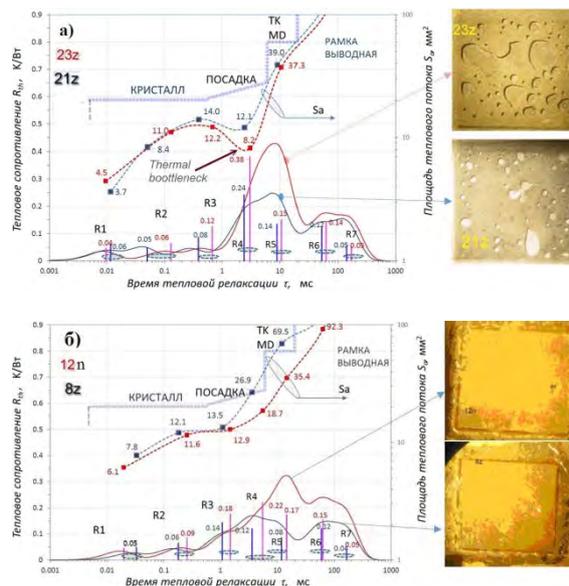


Рисунок 1 – Дифференциальный и дискретный спектры $R_{th}(t)$, профили эффективной площади теплового потока $S_a(t)$ и фотоизображения поверхности слоя посадки пар транзисторов с разным качеством посадки кристалла (верхние рисунки каждой пары соответствуют транзисторам с большим тепловым сопротивлением, нижние – с меньшим):

а) монтаж кристалла на припой (с МД-50), транзисторы 23z, 21z – температура пайки 420°C , 400°C , соответственно (группа II);

б) монтаж кристалла на эвтектику, транзисторы групп I и III 8z (с МД-50), 12n (с МД-40), – температура пайки 460°C , 480°C , соответственно

Наименьший разброс уровня тепловых компонент обнаружен в группе I, а наибольший в группе IV. Для образцов группы I (эвтектика, МД50) наиболее существенен разброс компоненты R3, для группы II (припой, МД50) – R4, для группы III (эвтектика, МД40) и IV (припой, МД40) групп – R4 и R5. Для образцов I и II групп влияние на разброс теплового сопротивления компоненты R5, связанной с дефектами термокомпенсатора, минимально.

Наименьшая зависимость теплового сопротивления слоя посадки от температуры пайки кристалла наблюдалась для транзисторов I и III групп (с посадкой кристалла на эвтектику). От-

носительное изменение компонентов R3–R5 с ростом температуры пайки для образцов этих групп отрицательно и не превышает 0.5% на 1°C. Основным изменениям подвержена компонента R5, что возможно связано с отжигом дефектов на границе эвтектика – термокомпенсатор.

Для образцов II и IV групп выявлена близкая к линейной зависимость теплового сопротивления слоя посадки от температуры пайки кристалла. Для этих образцов, с ростом температуры пайки в диапазоне 300°C – 400°C, характерен существенный рост величины теплового сопротивления компонентов слоя посадки, близкий к 100%. Изменение теплового сопротивления образцов II и IV групп определяется в основном компонентой R4, что вероятно свидетельствует о разрастании дефектов в слое припоя. Из анализа спектров ТРДС для образцов с посадкой кристалла на припой выявлено два типа дефектов слоя посадки, оказывающих существенное влияние на тепловое сопротивление измеренных образцов. Первый тип связан с наличием пустот в припое, приводящих к сужению теплового потока в этой области, и идентифицируется в спектре как пик R4, его значение увеличивается с площадью пустот на фотоизображении припоя под кристаллом. Для одних образцов вместе с ростом теплового сопротивления R4 пропорционально уменьшается и тепловая емкость C4, для других рост R4 не приводит к существенному изменению C4, что свидетельствует с разрастанием объемных и плоских дефектов, соответственно. Второй тип определяется дефектами, присутствующими в переходном слое припой – термокомпенсатор (компонент R5). Для образцов с термокомпенсатором МД-40 наблюдалась существенное увеличение теплового сопротивления R5, связанного, с дефектами слоя посадки в области термокомпенсатора.

Контроль дефектов области посадки кристалла производился также разрушающим методом путем стравливания кристалла и анализа фотоизображения границы посадки. Для пар образцов с посадкой кристалла на припой (групп II и IV), уровень теплового сопротивления увеличивается с площадью дефектов области припоя, видимых на фотоизображении границы посадки. Для образцов с большей площадью дефектов припоя наблюдается сужение сечения теплового потока S_a в слое посадки R4 (рисунок 1а). Вместе с тем, для ряда образцов корреляция между видимой на фотоизображении площадью дефектов припоя и уровнем спектрального теплового сопротивления слабая либо отсутствует, что возможно связано с влиянием дефектов термоком-

пенсатора не видимых на фотоизображении припоя.

Для образцов с посадкой на эвтектику существенным оказывается переходное тепловое сопротивление термокомпенсатора. Различия в спектрах образцов с посадкой на эвтектику, возможно, определяются процессами теплового рассеяния в переходном слое эвтектика – термокомпенсатор, не доступных визуализации на фотоизображении переходного слоя посадки под кристаллом (рисунок 1б).

Термоудары использовались для выявления элементов структуры транзисторов, тепловое сопротивление которых изменялось при деградационных испытаниях. После 100 термоударов выявлен рост теплового сопротивления практически во всех транзисторах, причем в трех из всей партии значительный (более 20%), в остальных, в среднем 6%. Наименьший рост теплового сопротивления зафиксирован в транзисторах группы I (с посадкой кристалла на эвтектику и термокомпенсатором МД50). Корреляция между изменением теплового сопротивления после термоударов и уровнем исходного теплового сопротивления исследованных транзисторов не выявлена. Обнаружена умеренная корреляция между изменением внутреннего теплового сопротивления транзисторов групп I, III и температурой пайки кристалла на эвтектику. Наименьший уровень изменения теплового сопротивления в измеренных образцах наблюдался при температуре пайки кристалла на эвтектику 480°C. Обнаружено, что основные изменения теплового сопротивления всех образцов после термоударов проявились в области посадки кристалла – в компонентах переходного слоя R3 (кристалл – припой), слоя припоя R4 и переходного слоя R5 (припой – термокомпенсатор).

1. Нисс, В.С. Оценка тепловых параметров мощных биполярных транзисторов методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии / В.С. Нисс [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2015. – Т. 6, № 2. – С. 249–256.
2. Vaskou, A.S. Diagnostics of the technological characteristics of high-power transistors using relaxation impedance spectrometry of thermal processes / A.S. Vaskou [et al.] // Russian Microelectron. - 2015. -Vol. 44, No. 8. – P. 579-584.
3. Бумай, Ю.А. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю.А. Бумай [и др.] // Электроника инфо. – 2010. – № 3. – С. 58-59.