

8. Structural and optical properties of thin films of Cu(In,Ga)Se₂ semiconductor compounds / A.V. Mudryi [et al.] // J. Appl. Spectroscopy. – 2010. – V. 77, № 3. – P. 371–377.
9. Фотолуминесценция тонких пленок соединения Cu₂ZnSnSe₄ и солнечных элементов на их основе / А.В.Мудрый, О.М. Бородавченко, В.Д. Живулько, М.А. Сулимов, И.Н. Огородников, М.В. Якушев // Актуальные проблемы физики твердого тела (ФТТ-2016): сборник докладов VII Междунар. науч. конф., Минск, Беларусь, 22–25 ноября 2016 г. в трех томах. Т. 2 / редкол.: Н.М. Олехнович [и др.]. – Минск: Изд. «Ковчег», 2016. – С.163–165.
10. Influence of the copper content on the optical properties of CZTSe thin films / M.V. Yakushev [et al.] // Sol. Energy Mater. Sol. Cell. – 2017. – V. 168. – P. 69–77.
11. The band gap of Cu₂ZnSnSe₄: Effect of order-disorder / G. Rey [et al.] // Appl. Phys. Lett. – 2014. – V. 105. – P.112106-1–112106-4.
12. Photoluminescence excitation spectroscopy of InGaN epilayers / M.E. White [et al.] // Mater. Science and Engineering: B. – 2002. – V. 93, Iss. 1–3. – P. 147–149.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ МОП ТРАНЗИСТОРОВ ПРИ ТЕРМОИСПЫТАНИЯХ

**Ю. А. Бумай¹, О. С. Васьков¹, В. С. Нисс¹, А. Ф. Керенцев²,
А. Н. Петлицкий², Я. А. Соловьев²**

¹⁾ *Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65,
220013 Минск, Беларусь, e-mail: bumai@tut.by*

²⁾ *Филиал «Транзистор» ОАО Интеграл, ул. Корженевского, 16,
220108 Минск, Беларусь, e-mail: jsolovjov@integral.by*

Методом тепловой релаксационной дифференциальной спектрометрии исследованы структура теплового сопротивления, а также профили растекания теплового потока мощных импортных МОП транзисторов (аналогов транзисторов КП7209, КП7128 производства ОАО Интеграл), в различных корпусах (ТО–220, ТО–252) с различными размерами кристалла. Для испытания надежности транзисторы были подвергнуты сериям по 100 термоударов в интервале температур от –196 до +200°С. Обнаружено, что основные изменения теплового сопротивления происходят в области посадки кристаллов транзисторов. Наименьшую надежность проявили транзисторы в корпусе для поверхностного монтажа ТО–252.

Ключевые слова: мощный МОП транзистор; структура теплового сопротивления; термоудары; метод ТРДС.

STUDIES OF CHANGES IN THERMAL RESISTANCE OF HIGH-POWER MOSFETS DURING THERMAL TESTS

**Yu. A. Bumai¹, O. S. Vaskov¹, V. S. Niss¹, A. F. Kerentsev²,
A. N. Petlitskii², Ya. A. Solov'ev²**

¹⁾ *Belarusian National Technical University, Nezavisimosti av. 65, 220013 Minsk, Belarus*

²⁾ *JSC Integral «Transistor», Korzhenevskogo Str. 16, 220108 Minsk, Belarus
Corresponding author: Yu. A. Bumai (bumai@tut.by)*

Thermal resistance differential spectrometry was used to study the structure of thermal resistance, as well as heat flow spreading profiles of powerful imported MOS transistors (analogues of KP7209 and KP7128 transistors manufactured by Integral), in various packages (TO-220, TO-252) with different crystal sizes. To test the reliability of the transistors were subjected to a series of 100 thermal shocks in the temperature range from -196 to +200 °C. It is found that the main changes in thermal resistance occur in the region of mounting transistor crystals. The lowest reliability was shown by the transistors in the case for surface mounting of TO-252.

Key words: high-power MOS transistors; structure of thermal resistance; thermal shock; TRDS method.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе представлены результаты деградационных испытаний экспериментальных мощных импортных МОП транзисторов, которые являются аналогами транзисторов производства ОАО Интеграл в пластмассовом корпусе TO-220 и корпусе для поверхностного монтажа TO-252. Для испытания надежности транзисторы были подвергнуты сериям по 100 термоударов в интервале температур от -196 °C (5 минут) до +200 °C (10 минут). Тепловые сопротивления транзисторов и их структура, а также профили растекания теплового потока в транзисторах исследованы с помощью релаксационного импеданс-спектрометра тепловых процессов [1] методом тепловой релаксационной дифференциальной спектрометрии (ТРДС) [2].

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Релаксационный метод основан на анализе переходных электрических процессов, связанных с разогревом полупроводникового прибора проходящим через него током. Временные зависимости изменения напряжения на активном переходе измерялись при помощи импеданс - спектрометра тепловых процессов. Из временной зависимости температуры перехода при нагреве прямым током находятся дискретный и дифференциальный спектры теплового сопротивления R_{th} прибора, значения тепловой емкости C_{th} и постоянной времени тепловой релаксации τ , соответствующие элементам структуры прибора. Дифференциальный спектр определяется на основе производных высшего порядка (вплоть до трех) динамического теплового импеданса и соответствует модели Фостера, а дискретный – модели Кауера. Два вида спектров (непрерывный и дискретный) теплового сопротивления используются для анализа и уточнения компонентов теплового сопротивления в рамках электротепловой модели Фостера и, далее, более физически точной модели Кауера. Метод ТРДС также дает возможность исследовать профили растекания теплового потока, т.е. определять площадь сечения теплового потока от поверхности кристалла до внешнего корпуса. В работе определялись внутреннее тепловое сопротивление транзистора и его структура в виде тепловых спектров исходного образца (до термоиспытания) и спектры после каждого цикла по 100 термоударов в интервале температур от -196 до +200 °C.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внешний вид, тип корпуса и размеры кристаллов, исследуемых образцов представлены в таблице.

Параметры исследуемых транзисторов

Наименование	Бренд	Корпус	R_{jc} К/Вт	$S_{кр}$ мм ²	d мм
IRF5210 IRF4905	International Rectifier	 TO-220	0,7	14	0,3
SPP80P06P	Infineon Technologies		0,4	30	0,4
SUD50P06	VISHAY Siliconix	 TO-252	1,2	10	0,25

В таблице использованы обозначения: R_{jc} – паспортное значение внутреннего теплового сопротивления транзистора ($p-n$ -переход – корпус); $S_{кр}$, d – площадь и толщина кристалла транзистора, соответственно.

На рисунках 1, 2 представлены сравнительные характеристики теплового сопротивления и профилей растекания теплового потока исследуемых транзисторов до и после термообработки. Вертикальной стрелкой на рисунках показано расчетное время тепловой релаксации кристалла, которое определяет положение интерфейсной границы кристалл – припой данного образца.

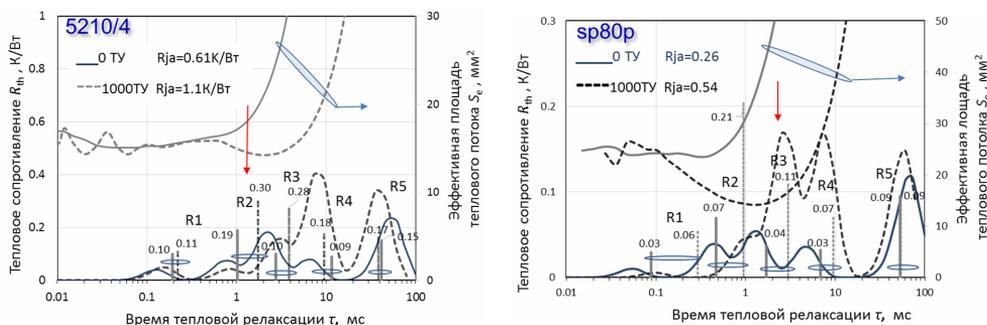


Рисунок 1. – Изменение спектров теплового сопротивления и профилей растекания теплового потока для транзисторов IRF5210 и SP80P в корпусе TO-220 при воздействии 1000 термоударов

Исходя из этого для дискретных спектров транзисторов IRF5210, IRF4905 и SUD50P можно идентифицировать интерфейсную границу как линию R2, а для транзисторов SP80P06P с кристаллом большего размера (таблица) как линию R3. Тепловому сопротивлению кристалла транзисторов IRF5210, IRF4905 и SUD50P соответствует линия спектра R1, а для SPP80P06P – R1 и R2, остальные линии идентифицированы соответственно как сопротивление слоя припоя интерфейсной границы «припой – выводная рамка» и сопротивление растеканию тепла в выводной рамке. На рисунках представлены также профили распределения площади теплового потока от поверхности кристалла до внешней границы корпуса на основе анализа растекания теплового потока в рамках концепции тепловой эффузии [2].

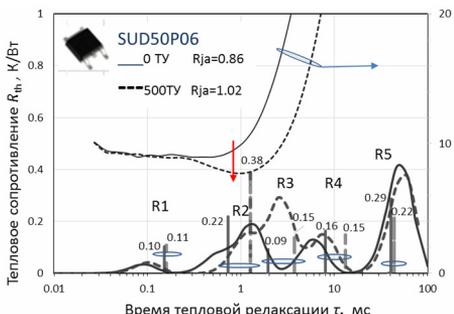


Рисунок 2. – Изменение спектров теплового сопротивления транзистора SUD50P06 в корпусе TO-252 при воздействии 500 термоударов

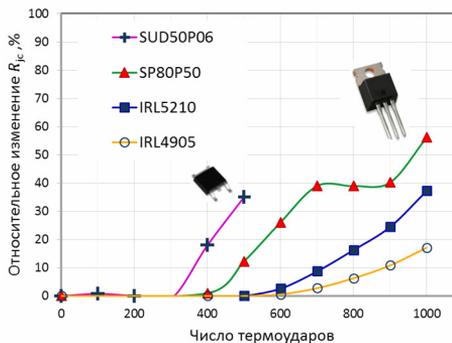


Рисунок 3. – Изменение внутреннего теплового сопротивления исследуемых транзисторов при термошоковом воздействии

На рис.3 представлены обобщенные зависимости изменения внутреннего теплового сопротивления исследуемых транзисторов при термоиспытаниях.

В транзисторах SUD50P06 в корпусе TO-252 для поверхностного монтажа деградация теплового сопротивления проявлялась после 300 термоударов, а в SP80P50 (Infineon) с площадью кристалла 30 мм² в корпусе TO-220 – после 400 термоударов. Образцы IRL5210 и IRL4905 (IRF Corp.), аналоги транзистора КП7209 в корпусе TO-220, выдержали 600ТУ до начала деградации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во всех исследованных образцах транзисторов при длительных термоиспытаниях (500ТУ и выше) наблюдалась существенная деградация слоя посадки кристалла, приводящая к сужению сечения теплового потока в области припоя в виде теплового «бутылочного горлышка» (thermal bottleneck). Наиболее быстро (после 300 ТУ) деградация проявлялась в транзисторах SUD50P06 в корпусе TO-252 для поверхностного монтажа. Основная причина тепловой деградации при термоиспытаниях исследованных образцов – отслоение кристалла от припоя, приводящая к уменьшению эффективной площади теплового потока и, как следствие, возникновению зон локального перегрева в таких образцах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Бумай, Ю.А. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю.А. Бумай [и др.] // Электроника инфо. – 2010. – № 3. – С. 58–59.
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.