

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Shafer, H.* The modifications of niobium pentoxide / H. Shafer, R. Gruenh, F. Schulte // *Angew. Chem. internat. Edit.* – 1966. – Vol. 5, № 1. – P. 40–52.
2. *Fihlo, D.A.B.* Niobia films: surface morphology, surface analysis, photoelectrochemical properties and crystallization process / D. de A. B. Fihlo [et al.] // *J. Mater. Sci.* – 1998. – Vol. 33, № 2. – P. 2607–2616.
3. Properties of spray deposited niobium oxide thin films / P.S. Patil [et al.] // *J. Mater. Sci. Mater. Electronics* – 2005. – Vol. 33, № 2. – P. 2607–2616.
4. *Kresse, G.* Efficient interactive schemes for ab initio total-energy calculations using a plane-wave basis set / G. Kresse, J. Furthmuller // *Phys. Rev. B.* – 1996. – Vol. 54, № 16. – P. 11169–11186.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДМОП-ТРАНЗИСТОРОВ НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ ТРДС

**В. С. Нисс<sup>1</sup>, О. С. Васьков<sup>1</sup>, В. К. Кононенко<sup>2</sup>, А. С. Турцевич<sup>3</sup>,  
И. И. Рубцевич<sup>3</sup>, Я. А. Соловьев<sup>3</sup>, А. Ф. Керенцев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет,*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет,*

<sup>3</sup>*ОАО «ИНТЕГРАЛ»; niss@metolit.by; AKerentsev@integral.by*

Эксплуатационная надежность мощных транзисторов определяется, главным образом, их теплоэлектрическим состоянием, которое формируется на стадии присоединения кристаллов в корпус. В процессе эксплуатации, в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов, надежность таких изделий резко снижается. Поэтому при изготовлении мощных полупроводниковых приборов осуществляется сплошной контроль электрических и тепловых параметров и, в первую очередь, интегральной величины теплового сопротивления переход-корпус.

На производстве мощных ДМОП-транзисторов (вертикальных транзисторов металл-окисел-полупроводник с двойной диффузией) контроль теплового сопротивления осуществляется косвенным методом по термозависимому параметру – прямому напряжению перехода сток–исток. Этот метод не позволяет однозначно выявить элемент многослойной структуры, ответственный за повышенный уровень теплового сопротивления.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью повышения эффективности контроля теплового сопротивления на стадии производства мощных полупроводниковых приборов. Цель работы – исследование структуры теплового сопротивления многослойной системы мощных транзисторов КП723Г и КП7128 в металлокерамическом корпусе КТ-97В [1].

Методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии (ТРДС) с использованием релаксационного импеданс-спектрометра, разработанного в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ), исследована структура теплового сопротивления ДМОП-транзисторов. Определены тепловые постоянные элементов металлокерамического корпуса и структура теплового сопротивления в виде дискретного и непрерывного спектра. Дифференциальный спектр рассчитан на основе производных высшего порядка динамического теплового импеданса и соответствует модели Фостера, а дискретный – модели Кауера [2].

При построении структуры внутреннего теплового сопротивления образцов выбрано временное разрешение, достаточное для построения семизвенной электротепловой  $RC$ -модели. Анализ растекания теплового потока в исследуемых структурах проводился на основе концепции температуропроводности. Из послойных значений компонентов теплового сопротивления и тепловой емкости определена площадь сечения теплового потока ( $S^*$ ) транзисторных структур и профиль ее распределения [3, 4].

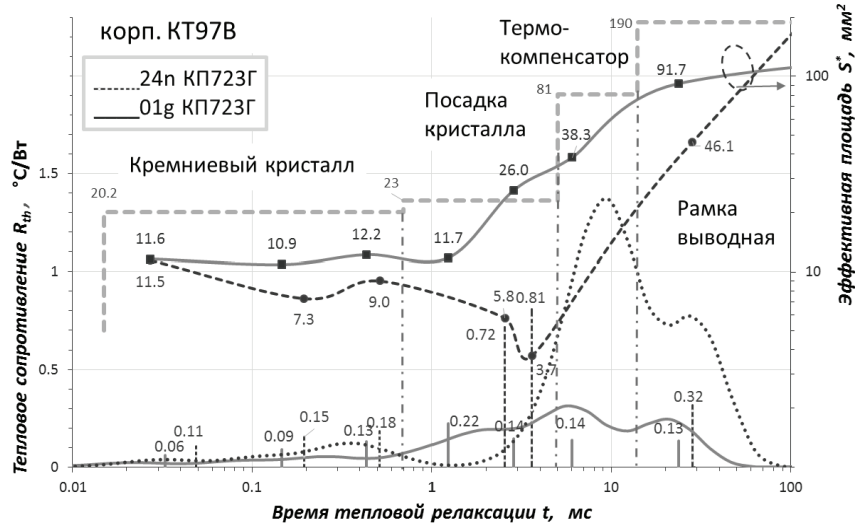


Рис. 1. Дифференциальный и дискретный спектры теплового сопротивления  $R_{th}$  и профиль площади  $S^*$  образцов КП723Г с разным качеством посадки

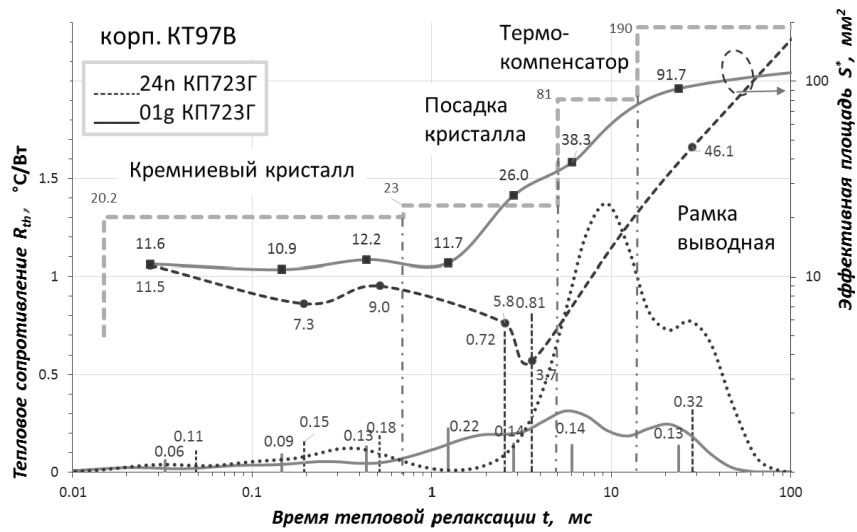


Рис. 2. Спектры теплового сопротивления  $R_{th}$  и временной профиль эффективной площади  $S^*$ . Сравнение транзисторов КП723Г и КП7128

Спектры теплового сопротивления транзисторов КП723Г и КП7128, монтаж кристаллов которых выполнен на эвтектику золото-кремний (КП7128) и на припой (КП723Г), указывают на различие в соединительном слое под кристаллом. В ближней зоне корпуса транзисторов сечения тепловых потоков выравниваются.

В зоне кристалла отмечается слабое боковое растекание теплоты и наибольшая плотность теплового потока, что вызвано низкой теплопроводностью кремния и влиянием дефектов соединительного слоя под кристаллом, а также анизотропным теплоотводом от термокомпенсатора. Вариации площади сечения  $S^*$  теплового потока вдоль структуры демонстрируют (рис. 1 и 2), что в области посадки кристалла возникает тепловой барьер в виде “бутылочного горлышка” [5].

В результате исследования структуры теплового сопротивления и динамики теплового растекания методом ТРДС установлено следующее:

- релаксационный импеданс-спектрометр позволяет неразрушающим способом определять тепловое сопротивление каждой интерфейсной области многослойной структуры;

- основной вклад в тепловое сопротивление транзисторов вносит слой под кристаллом, выполненный эвтектической пайкой на золото-кремниевую эвтектику или на припой;

- в зоне кристалла отмечается слабое боковое растекание теплового потока, обусловленное относительно низкой теплопроводностью кремния и анизотропным отводом теплоты от термокомпенсатора, а также модулирующим влиянием дефектов в соединительном слое под кристаллом, приводящих к возникновению теплового барьера.

Таким образом, с помощью разработанного релаксационного спектрометра тепловых процессов исследованы профили распределения теплового сопротивления мощных ДМОП-транзисторов КП7128 и КП723Г с разным монтажом кристаллов. При анализе временной зависимости динамического теплового импеданса использованы производные высших порядков, представлены дифференциальные и дискретные спектры внутреннего теплового сопротивления транзисторов, определено тепловое сопротивление переход–корпус. Предложенный метод тепловой релаксационной спектрометрии обладает высокой эффективностью при решении технологических проблем монтажа кристаллов и для SPICE-моделирования мощных силовых полупроводниковых приборов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Керенцев, А. Ф. Конструктивно-технологические особенности MOSFET-транзисторов / А. Ф. Керенцев, В. Л. Ланин // Компоненты и технологии. 2007. № 4. С. 100–104.
2. Bumai, Yu. A. Measurement and analysis of thermal parameters and efficiency of laser heterostructures and light-emitting diodes / Yu. A. Bumai, A. S. Vaskou, V. K. Kononenko // Metrology and Measurement Systems. 2010. Vol. 7, No. 1. P. 39–46.
3. Турцевич, А. С. Исследование качества пайки кристаллов мощных транзисторов релаксационным импеданс-спектрометром / А. С. Турцевич [и др.] // ТКЭА. 2012. № 5. С. 44–47.
4. Васьков, О. С. Исследование качества посадки кристаллов мощных МОП-транзисторов / О. С. Васьков [и др.] // Сб. науч. тр. IV Конгресс физиков Беларуси. Минск. 2013. С. 270–271.
5. Yan, B. Influence of die attach layer on thermal performance of high power light emitting diodes / B. Yan [et al.] // IEEE Trans. Compon. Packag. Technol. 2010. Vol. 33, No. 4. P. 722–727.