

Рисунок 3 – Результаты эксперимента

нитинола в зависимости от температуры окружающей среды для колец с различными режимами отжига при температурах 400, 450 и 500 °С и в течение 15 минут. Оптимальным вариантом является сохранение кольцевым изделием жесткости в диапазоне температур от 36,6 до 42 °С и его минимально возможная жесткость при тем-

УДК 621.382: 535.376

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЩНЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Нисс В.С.<sup>1</sup>, Васьков О.С.<sup>1</sup>, Турцевич А.С.<sup>2</sup>,

Рубцевич И.И.<sup>2</sup>, Соловьев Я.А.<sup>2</sup>, Керенцев А.Ф.<sup>2</sup>, Кононенко В.К.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Параметры теплового сопротивления мощных биполярных транзисторов различных производителей в корпусах ТО-252 и ТО-126, изучены методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии (ТРДС). Тепловые постоянные элементов корпусов приборов и распределение структуры теплового сопротивления определены в виде дискретного и непрерывного спектра с использованием релаксационного импеданс-спектрометра, разработанного в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) [1]. Непрерывный спектр рассчитан на основе производных высшего порядка динамического теплового импеданса и соответствует модели Фостера, а дискретный – модели Кауэра.

Анализ растекания теплового потока в исследуемых структурах проводился на основе концепции температуропроводности. Из послойных значений компонентов теплового сопротивления  $R_{th}$  и тепловой емкости  $C_{th}$  определена активная площадь сечения теплового потока  $S_a$  транзисторных структур и профиль ее распределения [2, 3].

Спектры ТРДС получены при естественном охлаждении приборов с используемыми корпусами ТО-126 и ТО-252 в воздушном пространстве. Максимумы спектров определяются площадью границы металл–воздух и сдвинуты на вре-

мпературе 15 °С. Как видно из полученных графиков, оптимальная жесткость получена при температуре отжига 500 °С.

Работа выполнена в рамках задания 4.1.08 «Разработка и исследование технологии задания формы материалам на основе никелида титана для получения изделий медицинского назначения» ГПНИ «Функциональные и композиционные материалы, наноматериалы», подпрограмма «Материалы в технике».

1. Разработка методики оценки радиальной жесткости эндоваскулярных стентграфтов / В.Т. Минченя, Д.А. Степаненко, Н.Т. Минченя, Савченко А.Л., Чигарев А.В., Островский Ю.П., Шкет А.П. // Теоретическая и прикладная механика. Международный научно-технический сборник. – Минск, БНТУ, 2012. – Вып. 27. – С. 137 – 141.

менной оси в соответствии с различной тепловой массой корпусов. Как правило, приборы в корпусе ТО-126 крепятся к теплому радиатору, что позволяет существенно увеличить выделяемую тепловую мощность, рассеиваемую прибором.

Корпус ТО-252 (DPAK) предназначен для поверхностного монтажа, при креплении к площадке на плате 6 см<sup>2</sup>. Он обладает существенным тепловым сопротивлением в окружающую среду  $R_{jc} \approx 50^\circ\text{C}/\text{Вт}$ , что при допустимой температуре перегрева кристалла прибора 150°С ограничивает рассеиваемую мощность  $P < 3$  Вт [4].

Дискретные и непрерывные спектры ТРДС и сравнение транзисторов с разным качеством посадки представлены на рис. 1(а, б) и рис. 2(а, б). Рисунки сгруппированы по типам транзисторов и показана связь послойного теплового сопротивления  $R_{th}$  с послойной тепловой емкостью  $C_{th}$  транзисторов с разным качеством посадки.

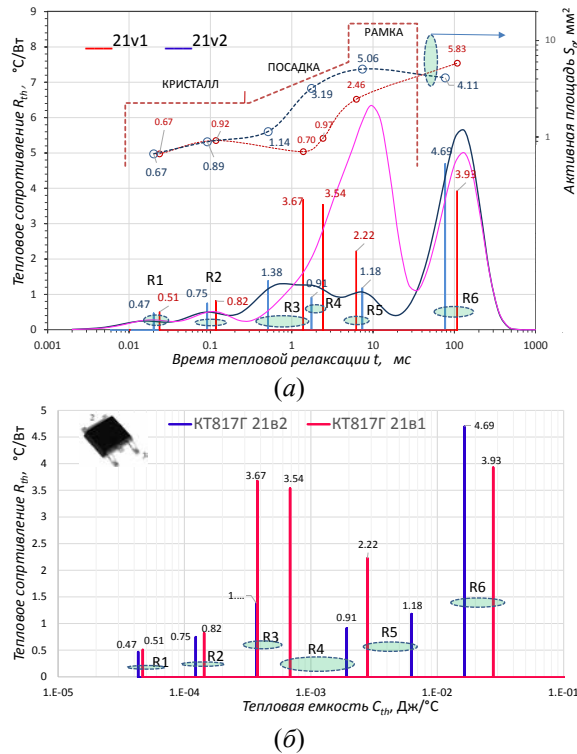


Рисунок 1(а, б)– Дифференциальный (непрерывный) и дискретный (вертикальные линии) спектры  $R_{th}(t)$  и профиль эффективной площади  $S_a(t)$  транзисторов КТ817Г/Интеграл с разным качеством посадки

Таблица 1 – Транзисторов разных производителей

Производитель	Корпус	$R_{jc}$ , °C/Вт	$S_a$ , мм <sup>2</sup>	CO, %	$S_{кр.}$ , мм <sup>2</sup>
MJD44H11\ON Semiconductor	ТО2 52	2.7	2.3 5	2.9	-
КТ817Г/Интеграл		4.6	1,0 3	2.0	2.2 5
2N5191\ST Microelectronics	ТО1 26	5.5	0.8 1	2.6	-
КТ817А\н.п.*		10.4	0.6 4	4.9	2.2 5

\* неизвестный производитель

На рисунке 1(а, б) и рис. 2(а, б) представлены сравнительные спектры образцов с максимальным и минимальным тепловым сопротивлением для каждого типа транзистора. Дискретные спектры шестого порядка соответствуют участкам с переходным тепловым сопротивлением от кристалла к корпусу транзистора и обозначены R1-R6. Участки, обозначенные R1, R2, идентифицируются как область кристалла, R3-R5 – припой и рамка выводная, R6 - начальная часть

переходного сопротивления корпус-внешняя среда.

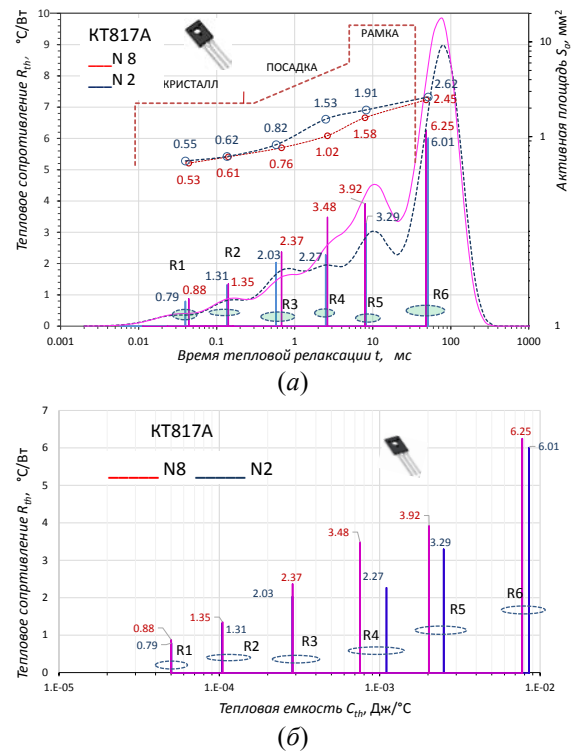


Рисунок 2(а, б) – Дифференциальный и дискретный (вертикальные линии) спектры теплового сопротивления  $R_{th}(t)$  и профиль площади  $S_a(t)$  транзисторов КТ817А/н.п. N8 и N2 с разным качеством посадки.

В переходном слое полупроводник–металл тепловое сопротивление скачкообразно изменяется из-за изменения механизмов теплопереноса. Наличие дефектов в этой области, например, при отслоении припоя, приводит к дополнительному росту теплового сопротивления границы из-за снижения активной площади переходного слоя. В то же время тепловая емкость такого слоя существенно не варьируется, так как при измерениях емкость переходного субмикронного слоя суммируется с емкостью кристалла. Этому критерию соответствует пик R3, что позволяет его отождествить с границей кристалл-припой.

Пик R6 соответствует области резкого возрастания теплового сопротивления на всех образцах (граница корпус прибора–окружающая среда). Тип корпуса ТО-126 для крепления к радиатору или планарный ДРАК не приводят к заметным изменениям внутреннего теплового сопротивления R1-R5 приборов.

Качество посадки и размеры кристалла существенно влияют на тепловые параметры (таблица). Транзисторы КТ817Г/Интеграл, 2N5192/ST и MJD44H11/ON имеют качественно сходные спектры, различающиеся наибольшим разбросом теплового сопротивления в области границы

кристалл-припой и в слое припоя (R3-R4). В транзисторах КТ817А/н.п. наблюдаются наибольшие изменения  $R_{th}$  в диапазоне R4-R5, что свидетельствует о наличии объемных дефектов в слое припоя или при расслоении рамки выводной.

#### Выводы.

1. Измеренное  $R_{jc}$  в партии (100 шт.) транзисторов КТ817Г/Интеграл составляет 4,35-4,62 °C/Вт, один аномальный  $R_{jc} = 9,5$  °C/Вт.

2. Рост  $R_{jc}$  достигает в транзисторах КТ817Г/Интеграл 3,2% при увеличении температуры  $T$  пайки от 280°C до 380°C и - 2,2% при уменьшении числа периодов колебаний инструмента  $N_{xy}$  от 10 до 1. Корреляция между  $R_{jc}$  и диаметром иглы при этом слабая. Наименьший уровень теплового сопротивления достигается при  $N_{xy} = 10$ ,  $T = 280$ °C.

3. Измеренное  $R_{jc}$  в партии (10 шт.) транзисторов КТ817А/н.п. находится в диапазоне 8,2-10°C/Вт, все аномальные.

4. Измеренное  $R_{jc}$  в партии (5 шт.) транзисторов 2N5191/ST равно 5,26-5,56 °C/Вт, транзисторов MJD44H11/ON – 2,43-2,64 °C/Вт.

5. В транзисторах КТ817А/н.п. основной тип дефектов – сквозные полости в области припоя, во всех остальных транзисторах – отслоение припоя на границе кристалл–припой.

1. Васьков, О.С. Определение и сопоставление тепловых параметров полупроводниковых диодных излучателей / О.С.Васьков, В.К.Кононенко, В.С.Нисс // Сб. докл. Междунар. науч. конф. “Актуальные проблемы физики твердого тела”. - Минск, 2011. - Т. 1. - С. 82–84.
2. Турцевич, А.С. Исследование качества пайки кристаллов мощных транзисторов релаксационным импеданс-спектрометром / А.С. Турцевич [и др.] // ТКЭА. - 2012. № 5. - С. 44–47.
3. Васьков, О.С. Тепловые параметры мощных светодиодов / О.С.Васьков, В.К.Кононенко, В.С.Нисс // Материалы. IX Междунар. науч. конф. “Лазерная физика и оптические технологии” / в 2 ч. - Гродно, 2012. - Ч. 2. - С. 15–18.
4. Gulino, R. Application Note / R.Gulino // AN1703. - 2003. – P. 5-6.

УДК 681.2

### СОЗДАНИЕ ВЫСОКОСОВЕРШЕННЫХ И ВЫСОКОЧИСТЫХ СТРУКТУР КРЕМНИЯ

Оджаев В.Б.<sup>1</sup>, Челядинский А.Р.<sup>1</sup>, Садовский П.К.<sup>1</sup>, Турцевич А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

Обеспечение химической чистоты и кристаллического совершенства монокристаллов кремния и создаваемых структур является одной из важнейших задач в микроэлектронном производстве. Ионная имплантация примесей является мощным источником дефектов в кремнии. Подавление образования в ионно-имплантированных слоях кремния при отжиге из точечных радиационных дефектов остаточных протяженных нарушений является актуальной задачей полупроводникового материаловедения. Остаточные нарушения (стержнеобразные дефекты, дефекты упаковки, дислокационные петли) вносят глубокие уровни в запрещенную зону кремния и значительно ухудшают параметры полупроводниковых приборов и интегральных схем. Пошаговый метод имплантации ионов легирующих примесей допороговой дозой (для ионов бора  $1 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>) с промежуточными термическими отжигами позволяет получать бездефектные слои кремния [1].

Для уменьшения числа операций имплантация-отжиг эффект пороговой дозы совмещены нами [2] с эффектом аннигиляции дефектов на примесях замещения, используя явление Воткинса. Явление заключается в вытеснении легирующих примесей В, Al, Ga из узлов решетки в междоузлия возникающими при облучении

кремния высокоэнергетичными электронами, нейтронами или ионами междоузельными атомами кремния. Замещение атомов бора междоузельными атомами Si имеет место и при термообработке имплантированного кремния [1]. При отжиге источником междоузельных атомов Si являются комплексы типа Si-B3, распадающиеся при температурах около 500 °C. В предложенном в работе [2] методе пошагового легирования используется термоотжиг в печи.

После каждого шага имплантации и отжига при последующей имплантации необходимо подавить эффект Воткинса, чтобы сохранить атомы бора в узлах решетки. Для этого имплантацию бора проводили при плотностях тока порядка 1 мкА·см<sup>-2</sup>, обеспечивающих высокий уровень ионизации, за счет чего эффект Воткинса подавляется, и атомы бора не вытесняются из узлов. Эти атомы бора служат ловушками для атомов Si при последующем отжиге. Следовательно, доза каждого последующего шага может быть в 2 раза выше предыдущей (эффективность введения междоузельных устойчивых комплексов типа Si-B3, из которых строятся остаточные нарушения, при имплантации бора примерно равно 1). Применение предложенного нами пошагового метода имплантации и термоотжига в печи позво-