

Рисунок 2 – Амплитудная функция  $\Psi$  при отражении от слабых растворов: на диэлектрике (кривая «а» – от верхней части оптической ячейки из  $\text{CaF}_2$ ); на физрастворе (кривая «е» - от верхней части кюветы и «д» - нижней); на растворах аВ и аГ сверху («г» ~ аВ, «в» ~ от аГ и «б» ~ смеси аВ+аГ)

Контрольная проверка характеристик  $\Psi$ - $\Delta$ , представленная на рис. 2, показала их типовой характер для кюветы из кубического кристалла  $\text{CaF}_2$  и испытуемых жидкостей на основе физиологических растворов поваренной соли. Видно, что амплитудные функции имеют характерный минимум при углах псевдо Брюстера, наиболее глубокий для чистого диэлектрика – кристалла  $\text{CaF}_2$  (в идеале равный 0) и характерными сдвигами в область больших углов для веществ с большим показателем рефракции ( $n = \text{tg } \varphi_{\text{min}}$ ).

УДК 621.382

### СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЗСТЕР И ТЕПЛОВОЙ РЕЛАКСАЦИОННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ВНУТРЕННЕГО ТЕПЛОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Бумай Ю.А.<sup>1</sup>, Васьков О.С.<sup>1</sup>, Нисс В.С.<sup>1</sup>, Солодуха В.А.<sup>2</sup>, Петлицкий А.Н.<sup>2</sup>, Соловьев Я.А.<sup>2</sup>, Керенцев А.Ф.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ОАО Интеграл, Минск, Республика Беларусь

В настоящее время анализ тепловых параметров полупроводниковых приборов производится с помощью теплового тестера ТЗSter (Thermal transient tester) компании MicRed (US) [1] и его аналогами в рамках стандарта JESD51-14 [2]. В основе метода, разработанного MicReD, лежит измерение временной зависимости теплового импеданса прибора (рассчитанного из изменения его прямого смещения) и построение кумулятивной и дифференциальной структурных функций (зависимостей теплоемкости и производной от нее от теплового сопротивления по структуре, соответственно). График релаксации динамического теплового импеданса представляет спектр постоянных времени, соответствующих элементам структуры приборов, по которым распространяется тепловой поток. Структурные функции зависимости рассчитываются посредством алгоритма деконволюции спектра постоянной времени в частотную область с фильтрацией на основе алгоритма Ферми–Дирака

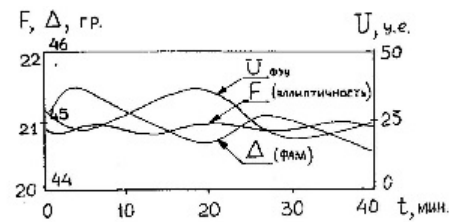


Рисунок 3 – Наблюдение во времени  $U_{\text{физ}}(t)$  и  $\Psi$ - $\Delta$  параметров при  $\varphi=45^\circ$

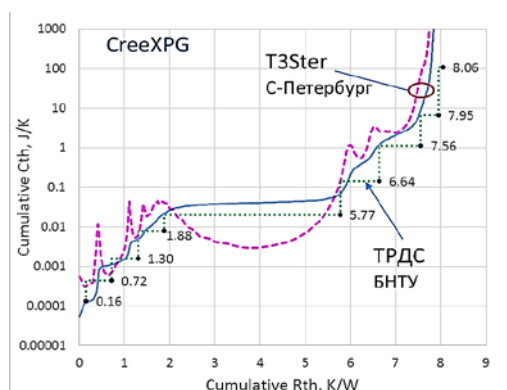
Вариации во времени размахов измеряемых величин на рис. 3, оказались не ошибками измерений, а кинетической развёрткой процессов комплексообразования в тест-системе  $aG + aB = GB\text{-complex}(t)$ . Детальный анализ за длительный период (суточные измерения) поведения раствора ( $aG + aB$ ) позволили установить автоволновые режимы в этой системе.

1. Горшков, М.М. Эллипсометрия. – М.: Радио, 2004. – 200 с.
2. Поляризационно-оптические методы исследования: учеб. пособие / Е.К.Скалецкий [и др.] – СПб.: Университета ИТМО, 2015. – 137 с.
3. Скалецкая, И.Е. Методы и средства поляризационно-оптической диагностики в наноматериаловедении: автореф. дис... канд. техн. наук / И.Е.Скалецкая. – СПб.: СПбГУИТМО, 2008. – 27 с.

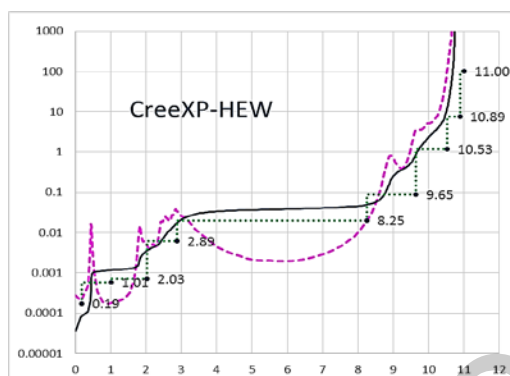
(стандарт JESD51-14 [2]). Затем из их анализа определяется эквивалентная электротепловая модель прибора в рамках схемы Кауера, которая наиболее соответствуют реальной физической структуре теплового сопротивления измеряемого объекта. Данный метод основан на сложных многоступенчатых преобразованиях, что приводит к накоплению систематических ошибок и, как следствие, потере точности [3].

Альтернативный подход заключается в использовании для анализа временной зависимости теплового импеданса метода тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии (ТРДС), разработанного в БНТУ [4,5]. В методе ТРДС, в отличие от ТЗSter, вывод результатов измерений тепловых параметров, полупроводниковых приборов осуществляется в виде временного спектра тепловых параметров, подобному обычным видам спектра, например, оптическому. В отличие от ТЗSter в методе ТРДС используется ори-

гинальный алгоритм прямого дифференциального преобразования переходных уравнений динамического теплового импеданса в электротепловые модели во временной области, минуя частотные преобразования.



а)



б)

Рисунок 1 – Сравнение методов Т3Ster (MicRed) и ТРДС (БНТУ) электротепловых структурных функций диодов Cree типа XPG (а) и XP-HEW (б). Штриховая линия – дифференциальная структурная функция, непрерывная – кумулятивная структурная функция, полученная с использованием Т3Ster, ступенчатая штриховая – кумулятивная структурная функция ТРДС

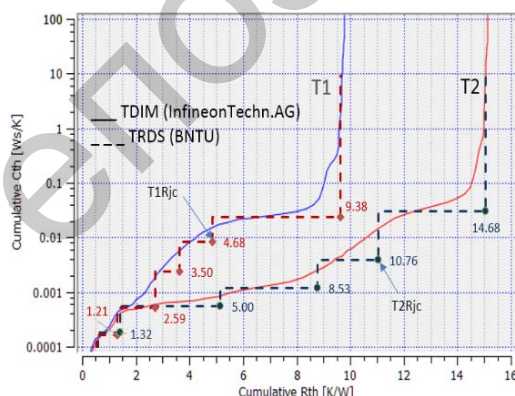


Рисунок 2 – Транзисторы Т1 и Т2 типа KT817А в корпусе DPAK с различным внутренним тепловым сопротивлением. Сравнение структурных функций, полученных программой TDIM–Master по методу Т3Ster/MicRed, и по методу ТРДС (БНТУ)

Методом ТРДС определяются внутреннее тепловое сопротивление прибора и его структура в виде дискретного  $\Sigma R_{th}(\tau_i)$  ( $\tau_i$  – постоянные времени тепловой релаксации элементов структуры прибора) и непрерывного (дифференциального) спектра  $R_{th}(t)$ , а также профили распределения эффективного сечения  $S_a$  теплового потока от активного слоя к корпусу прибора [5]. Дифференциальный (непрерывный) спектр определяется на основе производных более высоких порядков от динамического теплового импеданса в рамках модели Фостера, а дискретный, более соответствующий физической структуре прибора, в рамках модели Кауера. Максимальное разрешение ТРДС спектров достаточно для построения 12-ти-звенных электротепловых RC-моделей, что существенно превышает возможности метода Т3Ster. Принципиальным преимуществом перед методом Т3Ster является реализованный в ТРДС эффективный метод измерения площади теплового потока в кристаллах полупроводниковых приборов (т.е. их активной области), основан на временном анализе диффузии теплового потока (в одномерном полубесконечном приближении) из измерений дифференциальной температуры перегрева полупроводникового кристалла в начальный (нагрев/остывание) временной интервал  $\leq 100$  мкс.

В настоящей работе проведен сравнительный анализ определения тепловых параметров светодиодов фирмы Cree и мощных полевых транзисторов KT817 с разным качеством посадки кристалла в корпусе DPAK методами Т3Ster и разработанной методикой на основе метода ТРДС, позволяющей получить тепловые структурные функции используемые в методе Т3Ster.

Измерения проводились во временном интервале, соответствующем времени релаксации тепла на внутреннем тепловом сопротивлении  $R_{jc}$  исследуемых приборов. Для удобства сравнения с методом Т3Ster структурные зависимости по методике ТРДС на рисунках 1–2 выполнены в виде ступенчатой функции. Для всех образцов использовались два варианта измерений и расчета структурных функций.

1. Измерение и расчет структурных функций светодиодов производились на оригинальном оборудовании Т3Ster (MicRed) в центре микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН (Санкт-Петербург) и, для сравнения, в Минске на оборудовании, разработанном в БНТУ [6] и использующее метод ТРДС. Результаты измерений представлены на рисунке 1.

2. Измерение динамического импеданса  $Z_{th}$  транзисторов производилось на оборудовании ТРДС, расчет структурных функций по методу Т3Ster производился программой TDIM-Master [2] и, для сравнения, производился расчет структурных функций методикой ТРДС. Результаты измерений расчетов для транзисторов KT817А представлены на рисунке 2.

Таким образом, как видно из результатов сравнения на рисунках 1-2, структурные функции, полученные разработанной методикой на основе метода ТРДС и методом T3Ster, достаточно хорошо совпадают. Вместе с тем, как отмечалось выше методика ТРДС позволяет проводить обработку результатов тепловых измерений с более высокой точностью.

1. MicRed, T3Ster. – <http://www.mentor.com/products/mechanical/mired/t3ster/>.
2. Transient dual interface test method for the measurement of the thermal resistance junction-to-case of semiconductor devices / JEDEC Standard JESD51-14,

- [www.jedec.org/sites/default/files/docs/JESD51-14\\_1.pdf](http://www.jedec.org/sites/default/files/docs/JESD51-14_1.pdf) (November 2010).
3. Smith, B. Utility of transient testing to characterize thermal interface materials / B. Smith [et al.] // EDA Publishing THERMINIC. – 2007. – P. 6–11.
  4. Bumai, Yu.A. Measurement and analysis of thermal parameters and efficiency of laser heterostructures and light-emitting diodes / Yu.A. Bumai, A.S. Vaskov, V.K. Kononenko // Metrology and Measurement Systems. - 2010. - Vol. 17, No. 1. - P. 39–46.
  5. Васьков, О.С. Метод тепловой релаксационной спектроскопии и определение параметров светодиодов / О.С. Васьков, В.К. Кононенко, В.С. Нисс // Докл. БГУИР. – 2011. – № 4. – С. 74–79.
  6. Бумай, Ю.А. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю.А. Бумай [и др.] // Электроника инфо. – 2010. – № 3. – С. 58–59.

УДК 691.7

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ И МАРКИРОВКЕ ЕЕ ЗНАКОМ «СЕ» В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Купреева Л.В., Солодуха Ю.А.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время в Республике Беларусь на фоне общего экономического кризиса наблюдается тенденция снижения производства продукции и оказания услуг. В связи с этим отечественные производители строительной продукции стремятся расширить собственные рынки сбыта и переориентировать производство в сторону стран ЕАЭС и Европейского союза. Основной проблемой, с которой сталкиваются при этом белорусские организации, являются вопросы подтверждения соответствия выпускаемой продукции, а также выполняемых ими работ или оказываемых услуг требованиям, установленным в соответствующих документах данных интеграционных образований.

Решение существующей проблемы в строительной отрасли требует комплексного подхода. Во-первых, размещение и/или ввод в эксплуатацию в странах ЕС строительной продукции, в частности, металлоконструкций, третьими странами реализуется через обязательное прохождение продукцией процедуры оценки соответствия основополагающим требованиям Директив ЕС Нового и Глобального Подхода с последующей маркировкой знаком СЕ. Во-вторых, при проведении сварочных работ металлоконструкций устанавливаются определенные квалификационные требования в отношении персонала, выполняющего данный вид работ. В-третьих, для осуществления СЕ маркировки строительной продукции необходимо наличие в стране аккредитованных органов по сертификации конкретных категорий/видов данной продукции и работ, в частности металлоконструкций и сварочной деятельности.

Исходя из вышеизложенного, нами были идентифицированы и проанализированы действующие законодательные акты, ТНПА и документы в области технического нормирования и стандартизации, устанавливающие требования не только к строительным металлоконструкциям (стальным и алюминиевым) и выполнению сварочных работ, но и к квалификации персонала, осуществляющего данные работы.

Проведенный анализ показал, что в Республике Беларусь маркировка строительной продукции знаком СЕ осуществляется в рамках «Соглашения о сотрудничестве при подтверждении соответствия взаимно поставляемой продукции», подписанного Госстандартом в 2004 году, а также требования, устанавливаемые к строительным материалам, изделиям и работам в строительстве, подлежащим подтверждению соответствия существенным требованиям безопасности регламентируются действием технического регламента ТР 2009/013/ВУ.

Для экспорта на рынок ЕС определенных видов строительных материалов, в частности, стальных и алюминиевых металлоконструкций, обязательным условием (согласно Регламенту Европейского Парламента и Совета 305/2011/EU) является наличие маркировки знаком СЕ, которая осуществляется посредством подтверждения соответствия требованиям стандартов EN серии 1090. В данных евронормах устанавливаются требования к оценке соответствия эксплуатационных характеристик стальных и алюминиевых конструкций, наличие документации и спецификаций, необходимых для изготовления соответствующих металлоконструкций и их элементов, а