

УДК 621.382

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ РАЗОГРЕВА СВЕТОДИОДОВ Cree И REBEL ПРИ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ТОКАХ

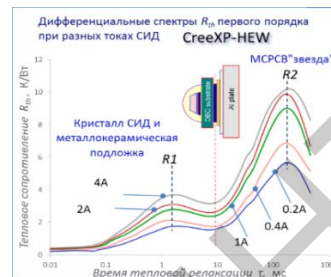
Бумай Ю.А.<sup>1</sup>, Васьков О.С.<sup>1</sup>, Нисс В.С.<sup>1</sup><sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Методом тепловой релаксационной дифференциальной спектрометрии (ТРДС) [1–3] с использованием релаксационного импеданс-спектрометра тепловых процессов [4] исследованы тепловые параметры мощных светоизлучающих диодов (СИД) Cree XPE-HEW и Rebel ES белого свечения при импульсных токах выше предельно допустимых постоянных токах для данных СИД. Установлены особенности изменения сечения теплового потока в мощных светодиодах с разной площадью кристалла и конфигурацией. Для высоких плотностей тока ( $>200 \text{ A/cm}^2$ ) при измерениях методом ТРДС в режиме быстрого разогрева ( $<1 \text{ с}$ ), исключающего тепловой пробой СИД, наблюдался рост слоевого теплового сопротивления  $R_{th}$  СИД Cree и Rebel, связанный с наличием областей локального перегрева (неоднородностями распределения активного сопротивления по кристаллу СИД). Изменение теплового сопротивления  $R_{th}$  для Cree XPE-HEW при токах до 1 А в основном связано падением энергетического эффективности СИД и проявляется во всем временном диапазоне измерений (рисунок 1а). Вместе с тем, при импульсных токах выше предельно допустимых постоянных (для Cree выше 1 А) наблюдается существенное возрастание ( $>150\%$ ) уровня внутреннего теплового сопротивления “кристалл – корпус”  $R_{jc}$  СИД (пик  $R1$ ) по отношению к внешнему теплому сопротивлению “корпус – окружающая среда”  $R_{ca}$  (пик  $R2$ ), что связано со шнурованием тока, т.е. ростом “горячих точек” в образце, связанных с неоднородностью стехиометрии состава InGaN кристалла СИД по площади (рисунок 1 б) и, следовательно, приводящих к неоднородному растеканию тока.

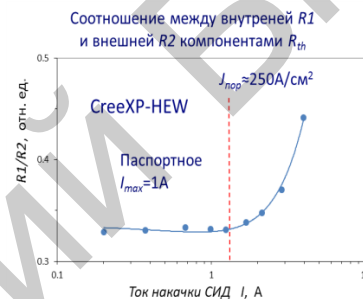
Для повышения точности при определении величины полного теплового сопротивления  $R_{th}$  при больших токах, вызывающих сильный нагрев СИД, используя импульсные вольтамперные характеристики (ВАХ), представленные на рисунке 2а, определена зависимость температурного коэффициента напряжения (ТКН) от температуры СИД (рисунок 2б). ТКН используется для пересчета изменений прямого напряжения на СИД в температуру его активной области СИД. Также проведен учет падения напряжения на последовательном сопротивлении СИД при больших токах. Различное поведение ТКН с температурой для СИД Cree XPE-HEW и Rebel ES вероятно связано с их различной конструкцией.

Рост теплового сопротивления CreeXP-HEW при увеличении рабочих токов СИД наблюдался

также при измерениях альтернативным методом, используемым при работе теплового тестера T3Ster (рисунок 3) [5, 6].

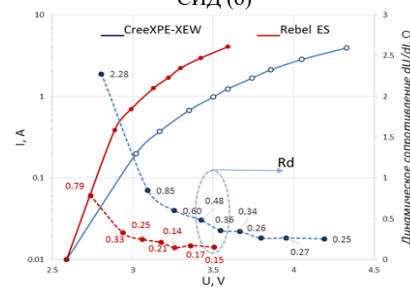


(а)

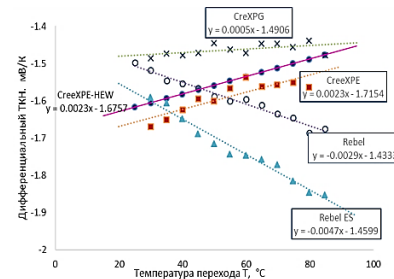


(б)

Рисунок 1 – Дифференциальные спектры ТРДС первого порядка теплового сопротивления СИД Cree XPE-HEW в диапазоне сильных токов (а), рост неоднородности распределения слоевого  $R_{th}$  при больших плотностях тока СИД (б)



(а)



(б)

Рисунок 2 – Импульсная ВАХ, измеренная при длительности импульса 2 мкс, (а) и температурная зависимость ТКН СИД Cree XPE-HEW и Rebel ES (б)

Таким образом, неоднородности разогрева светодиодов Cree и Rebel при импульсных токах выше предельно допустимых постоянных токов

увеличивают тепловое сопротивление данных СИД вследствие сужения путей теплового потока при отводе тепла от кристалла в окружающую среду.

Отсюда следует, что метод ТРДС при использовании коротких импульсов токов через СИД выше предельных, но не вызывающих теплового пробоя, может применяться для выявления и оценки степени неоднородности СИД, а также для исследования процессов их деградации, т.е. для обнаружения потенциально ненадежных СИД.

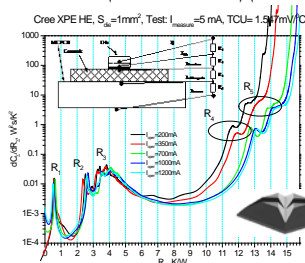


Рисунок 3 – Структурная функция СИД Cree XPE-NEW при разных токах, полученная при измерениях тепловым тестером T3Ster

УДК 621.315.592

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОГО НАГРЕВА ТОНКОПЛЕНОЧНОГО ГЕРМАНИЯ НА КРЕМНИЕВЫХ И КВАРЦЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

Гацкевич Е.И.<sup>1</sup>, Ивлев Г.Д.<sup>2</sup>, Гундина М.А.<sup>1</sup>, Князев М.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Одна из актуальных проблем полупроводниковой оптоэлектроники - создание эффективных источников света на основе германия, излучающих при комнатной температуре в ближней инфракрасной области ( $\lambda = 1,5-1,6$  мкм). В частности, на основе гетероструктур Ge/Si были получены светоизлучающие диоды [1] и лазерная генерация при оптической и электрической накачке [2]. Однако эффективность таких структур пока остается сравнительно низкой, а методы их создания (например, сверхвысоковакуумная молекулярно-лучевая эпитаксия) усложняют кремниевую технологию. Требуется поиск альтернативных методов создания и модифицирования Ge/Si гетероструктур, совместимых с кремниевой планарной технологией.

Недавно, было показано [3], что эффективным методом модификации гетероструктур Ge/полупроводник может быть импульсная лазерная обработка. В частности, в указанной работе экспериментально изучены процессы, происходящие в тонкопленочном германии при воздействии моноимпульсного излучения рубинового лазера на аморфные пленки Ge на различных подложках.

В настоящей работе проведено моделирование лазерно-индуцированного нагрева в тонкопленочном Ge на кремниевых и кварцевых подложках при облучении наносекундными импульсами

1. 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. 17, No. 1. – P. 39–46.
2. Zakgeim, A.L. Comparative Analysis of the Thermal Resistance Profiles of Power Light-Emitting Diodes Cree and Rebel Types / A.L. Zakgeim [et al.] // EuroSimE 2013: 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems. – Wroclaw, 2013. – P. 1/7–7/7.
3. 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.
4. Релаксационный импеданс-спектрометр тепловых процессов / Ю.А. Бумай [и др.] // Электроника инфо. – 2010. – № 3. – С. 58–59.
5. 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 (November 2010).
6. Implementation of the electrical test method for the measurement of the real thermal resistance and impedance of light-emitting diodes with exposed cooling surface / JEDEC Standard JESD51-51, www.jedec.org/sites/default/files/docs/JESD 51-51.pdf (April 2012).

рубинового лазера. Поскольку температура плавления  $T_m$  аморфной пленки Ge (965 K) существенно ниже температур плавления кремниевой (1687 K) и кварцевой подложки (2000 K) моделирование проводилось для режимов лазерного воздействия, когда плавится только пленка Ge. Исследовались образцы с тонкопленочным Ge толщиной от 100 до 300 нм.

Моделирование нагрева проводилось на основе численного решения задачи Стефана для экспериментальной ситуации [3]. То есть, рассматривалось воздействие импульсов излучения рубинового лазера длительностью 80 нс. Согласно условиям эксперимента временная форма импульса соответствовала Гауссовскому профилю, интенсивность лазерного излучения равномерно распределялась по облучаемой зоне. Условия эксперимента позволяют ограничиться одномерным приближением.

В этой постановке задачи нелинейное неоднородное уравнение теплопроводности с условием Стефана на границе фазового перехода имеет вид

$$\rho(x, T)(c(x, T) + L\delta(T - T_m)) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k(x, T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + Q(x, t), \quad (1)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0,$$