

## Сравнение свойств светодиодных кристаллов AlGaInN вертикальной и флип-чип конструкции с использованием кремния в качестве платы-носителя

© Л.К. Марков<sup>¶</sup>, И.П. Смирнова, А.С. Павлюченко, М.В. Кукушкин\*, Е.Д. Васильева\*, А.Е. Черняков<sup>+</sup>, А.С. Усиков<sup>•</sup>

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

\* ЗАО Инновационная фирма „ТЕТИС“,  
194156 Санкт-Петербург, Россия

<sup>+</sup> Научно-технический центр микроэлектроники Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

<sup>•</sup> De Core Nanosemiconductors Ltd.,  
382011 Gujarat, India

(Получена 7 июня 2012 г. Принята к печати 18 июня 2012 г.)

Проведено сравнение вертикальных и флип-чип светодиодных кристаллов AlGaInN с точки зрения характера растекания тока в активной области, распределения локальных температур и тепловых сопротивлений кристаллов. Были изготовлены светодиодные кристаллы AlGaInN вертикальной конструкции с использованием кремния в качестве подложки-носителя и флип-чип светодиодные кристаллы с удаленной сапфировой подложкой, также размещенные на кремниевой подкристалльной плате. Активные области обоих кристаллов совпадали и составили порядка 1 мм<sup>2</sup>. Было показано, что как светимость поверхности кристалла в видимом диапазоне, так и распределение локальных температур, оцененное по излучению в инфракрасном диапазоне, более однородны в кристаллах вертикальной конструкции. Теплоотвод кристаллов флип-чип конструкции недостаточен в областях *n*-контакта, которые не имеют хорошего теплового контакта с подкристалльной платой. В итоге суммарные тепловые сопротивления между *p*–*n*-переходом и кремниевой платой как кристаллов вертикальной конструкции, так и флип-чип кристаллов составили приблизительно 1 К/Вт. При этом общая площадь кристалла флип-чип конструкции превышает площадь кристалла вертикальной конструкции в 1.4 раза.

### 1. Введение

В настоящее время в ряде светотехнических изделий, в которых мощные световые потоки генерируются одиночными точечными источниками света, все активнее используются возможности, предоставляемые светодиодами. Помимо основного преимущества светодиодов (максимального коэффициента преобразования электрической энергии в световую по сравнению с существующими аналогами источников света, такими как лампы накаливания и люминесцентные лампы) этому способствует наметившаяся в последнее время тенденция увеличения допустимых плотностей рабочих токов светодиодных кристаллов. Последнее достигается как улучшением кристаллического совершенства эпитаксиальных слоев, так и разработкой дизайна гетероструктур, позволяющего преодолеть падение квантовой эффективности кристалла с ростом плотностей токов. Это явление упоминается в англоязычной литературе как „efficiency droop“.

Существует несколько разновидностей конструкции светодиодного чипа. Для светодиодов на основе классических соединений A<sup>III</sup>B<sup>V</sup>, таких как GaAs и InP, типичным в конструкции чипа является наличие контактных площадок на поверхности структуры, и вывод света также осуществляется через поверхность, поскольку

подложка непрозрачна для излучения, генерируемого в активной области структуры. Такая конструкция чипа называется „face-up“ или чип с излучением через поверхность. В настоящее время абсолютное большинство коммерческих светодиодных кристаллов на основе GaN выращивается на подложках монокристаллического лейкосапфира. Наличие прозрачной для излучения и непроявляющей подложки способствует использованию флип-чип (flip-chip) конструкции светодиодного кристалла, в которой обе контактные площадки находятся на одной стороне структуры, а генерируемый свет выводится с противоположной стороны через прозрачную сапфировую подложку. Несомненным достоинством подобного дизайна является возможность монтажа чипа на платеносителе без контактных проволок, что очень перспективно для массового производства. Кроме того, в условиях эксплуатации светодиодов при повышенных токах особое значение приобретает обеспечение эффективного отвода тепла от кристалла. По этому параметру флип-чип кристаллы существенно превосходят face-up кристаллы, в которых сапфировая подложка, отделяющая кристалл от теплоотвода, имеет низкую теплопроводность и препятствует эффективному теплопереносу.

Однако флип-чип конструкция характеризуется заметной латеральной компонентой тока, протекающего между контактами. В результате довольно сложно организовать его равномерное растекание по площади чипа и

<sup>¶</sup> E-mail: l.markov@mail.ioffe.ru

контакта, и всегда присутствуют участки с повышенной локальной плотностью тока [1,2], что в свою очередь ухудшает электрооптические характеристики и может снижать эксплуатационный ресурс мощных светодиодов.

Так называемая „вертикальная“ конструкция светодиода одного кристалла [3,4] представляется наиболее обоснованной с точки зрения лучшей однородности протекания тока через активную область структуры и лучшего отвода тепла от чипа. Светодиодный кристалл вертикальной конструкции — это установленный на проводящую подложку чип с контактными площадками к *p*- и *n*-областям на противоположных сторонах гетероструктуры, у которой предварительно была удалена сапфировая подложка. При этом *p*-контакт представляет собой область сплошной металлизации и располагается непосредственно на проводящей подложке, в то время как *n*-контакт наносится на свободную поверхность гетероструктуры, предназначенную для вывода света, и занимает лишь незначительную ее часть. При использовании прозрачных и проводящих материалов (например, оксида индия и олова, или ИТО) вместе с оптимальным растеканием тока по площади активной области кристалла его латеральная компонента может быть сведена к минимуму. Одновременно могут быть достигнуты малые значения как последовательных сопротивлений светодиодов, так и их тепловых сопротивлений. Вертикальные светодиоды могут составить конкуренцию даже лучшим с точки зрения „температурного менеджмента“ флип-чип светодиодным кристаллам, поскольку конструкция флип-чип кристаллов предполагает наличие небольших участков с недостаточным тепловым контактом с теплоотводом.

В данной работе было проведено сравнение вертикальных и флип-чип светодиодных кристаллов с точки зрения характера растекания тока в активной области, распределения локальных температур и тепловых сопротивлений кристаллов. С этой целью нами были изготовлены светодиоды вертикальной конструкции и одновременно были созданы светодиоды флип-чип конфигурации. Площади активной области обоих светодиодных кристаллов практически совпадали и составили приблизительно  $1 \text{ мм}^2$ . Для большей обоснованности сравнения оба вида кристаллов размещались на кремниевых платах, и, поскольку вертикальные кристаллы свободны от сапфировой подложки, в флип-чип кристаллах она также удалялась.

Известно, что процедура изготовления чипа вертикальной конструкции предполагает перенесение эпитаксиальной гетероструктуры на проводящую подложку с высоким коэффициентом теплопроводности. Следует подчеркнуть, что существуют два основных варианта осуществления этого процесса: соединение структур и подложек с использованием термодиффузионных процессов при повышенных температурах (бондинг), при котором в качестве подложек могут выступать как кремний, так и различные металлические сплавы; а также гальваническое наращивание слоев металла достаточной толщины, чтобы осуществлять в дальнейшем

необходимую механическую поддержку гетероструктуры. При бондинге гетероструктур в качестве вторичного носителя часто используются подложки высоколегированного кремния, учитывая его высокую электро- и теплопроводность. Не стоит также сбрасывать со счетов тот факт, что он относительно дешев и достаточно технологичен. Для обеспечения надежного соединения пластин при бондинге может быть задействован целый ряд специальных адгезионных припоев. Припой должен быть достаточно тугоплавким, поскольку последующая процедура удаления сапфировой подложки предполагает воздействие на него высоких температур. В работе [5] с этой целью использовалась система In–Pt, и авторы стремились к получению интерметаллического соединения с температурой плавления  $664^\circ\text{C}$ . Авторы [6] предлагают использовать термодиффузию Ag и Au, а в работе [7] описывается возможность применения тонких слоев Ni–Au. В данной работе мы использовали эвтектику Si–Au [8] для получения соединения, способного выдержать последующие стадии постростовой обработки. Это хорошо известное и широко используемое соединение с эвтектической температурой  $363^\circ\text{C}$ .

## 2. Результаты эксперимента и их обсуждение

Для изготовления светодиодов использовались гетероструктуры AlGaInN/GaN, выращенные методом MOCVD на сапфировых подложках и содержащие в активной области 5 квантовых ям  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}$ , разделенных барьерами GaN. Все пластины с гетероструктурами полировались со стороны сапфира с целью обеспечить наилучшее качество поверхности в процессе удаления сапфировой подложки с помощью лазера (laser lift-off).

Далее методом реактивного ионного травления выращенные гетероструктуры протравливались до сапфировой подложки с использованием фотолитографической маски для формирования чипов, представляющих собой квадраты с размерами  $1.1 \times 1.1 \text{ мм}$  в плоскости контактов, ширина протравленных канавок между чипами составила  $0.1 \text{ мм}$ . На поверхности чипов с использованием методов фотолитографии наносился отражающий контакт к области *p*-GaN, разработанный и используемый нами для светодиодных кристаллов флип-чип конструкции [9]. В дальнейшем контакт усиливался гальваническим золотом. Толщина слоя составила  $2 \text{ мкм}$  и была выбрана исходя из необходимости сформировать надежное эвтектическое соединение с кремниевой подложкой, обладающее хорошей пространственной однородностью.

Для создания вертикальных чипов в настоящей работе в качестве подложки-носителя использовались кремниевые пластины с толщиной  $275 \text{ мкм}$  и удельной проводимостью  $(1-5) \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . В основе выбранной технологии бондинга кремниевой подложки и *p*-GaN слоя лежало эвтектическое соединение Au–Si, возникающее при непосредственном контакте гальвани-

ческого золота *p*-контакта светодиодного чипа с поверхностью подложки, очищенной от окисла. Температуры в эксперименте слегка превышали температуру эвтектики (363°C). Возникающее при этом соединение 97.1 вес.% Au : 2.9 вес.% Si обеспечивает хороший электрический и термический контакт светодиодных чипов с платой-носителем. Операции бондинга обрабатывались на установке SB 8e, предоставленной фирмой SUSS MicroTec Lithography GmbH, Германия, с участием ее специалистов. Пластины очищались непосредственно перед операцией бондинга в плавиковой кислоте для удаления естественных окислов. Процесс заключался в следующем: образцы загружались в камеру и несколько раз продувались азотом с последующей откачкой при температуре, близкой к комнатной. Затем при атмосферном давлении температура поднималась до значений (в нашем случае это 330°C), чуть меньших температуры расплава эвтектического соединения, затем камера откачивалась, к образцам прикладывалось сжимающее напряжение (нагрузка 20 кН), они нагревались выше эвтектической температуры и выдерживались в течение некоторого времени под нагрузкой. На завершающих стадиях процесса образцы медленно охлаждались для того, чтобы минимизировать влияние возникающих термических напряжений, снималась нагрузка, осуществлялся напуск азота в камеру, и образцы выгружались.

Для оптимизации получаемых результатов варьировались следующие параметры:

- температура выше эвтектической температуры, при которой осуществлялась выдержка образцов (в диапазоне 370–400°C);
- время выдержки при температуре выше эвтектической температуры (0.5 ч, 1 ч);
- скорость охлаждения (50 и 100° C/ч);
- температура, при которой осуществлялась выгрузка образцов (40–90°C).

При проведении операции непосредственного бондинга светодиодных гетероструктур на кремниевую подложку одной из основных проблем, с которой пришлось столкнуться, являлась ощутимая деформация, а иногда и разрушение сваренной пары вследствие существенной разницы коэффициентов теплового расширения материалов подложки (сапфир) и носителя (кремний). Все образцы обнаруживали значительный изгиб. Наиболее существенными с точки зрения минимизации последствий термических напряжений были скорость охлаждения и температура выгрузки образцов, однако оптимизировать процесс и полностью исключить их растрескивание в условиях нашего эксперимента оказалось довольно сложно.

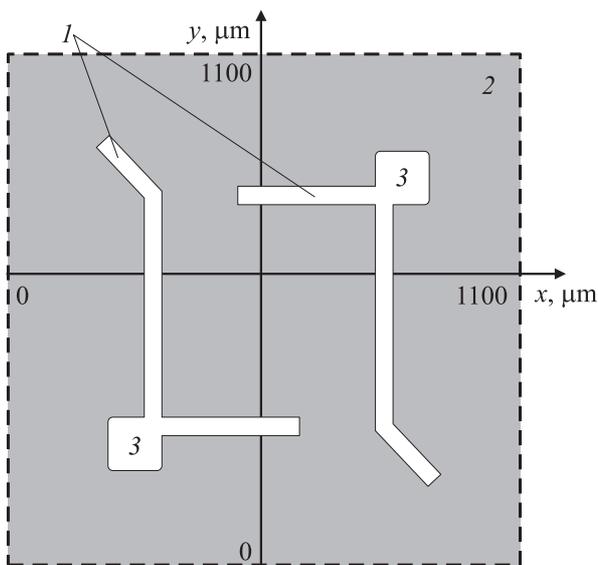
Следующая за процедурой бондинга операция удаления сапфировой подложки проводилась на установке ChromaLift™, предоставленной фирмой J.P. Sercel Associates, Inc., USA, с участием ее специалистов. Образцы пластин, соединенные в результате процедуры бондинга, сканировались со стороны сапфира в импульсном излучении мощного эксимерного лазера с длиной

волны 248 нм. Фокусировка луча, поглощавшегося на границе GaN и сапфировой подложки, обеспечивала необходимые плотности энергии для разрыва связей атомов галлия и азота, а сам пучок диафрагмировался таким образом, чтобы соответствовать размерам чипа с небольшим перекрытием. Перекрытие ограничивалось исключительно областью дорожек между чипами.

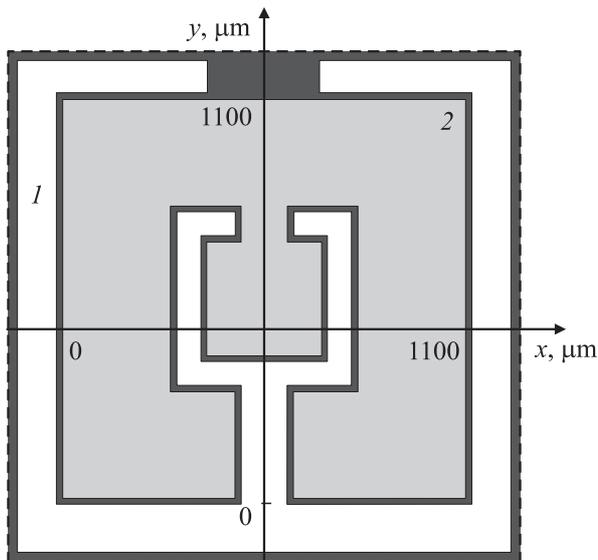
В дальнейшем методом реактивного ионного травления освободившаяся поверхность *n*-GaN очищалась от металлического галлия, являющегося следствием термического разложения граничного слоя GaN, и часть слоя удалялась. Одной из основных задач разработки конструкции вертикальных чипов является оптимизация рисунка контакта к области *n*-GaN. Геометрия *n*-контакта оптимизировалась на основе двух основных противоборствующих факторов: с одной стороны, необходимо обеспечить равномерность растекания тока по площади активной области кристалла, с другой — площадь *n*-контакта должна быть минимальной, чтобы не затенять генерируемое в активной области излучение. Основным параметром, заложенным в процесс оптимизации геометрии *n*-контакта, была полученная из предыдущих экспериментальных данных оценка, согласно которой достаточно однородное растекание тока по *n*-слою гетероструктуры обеспечивается на расстояниях, не превышающих 250 мкм от края токопроводящих металлических шин. Поэтому конфигурация и размеры *n*-контактов были выбраны таким образом, чтобы максимальная удаленность любой точки свободной поверхности гетероструктуры от границ металлизации *n*-контакта не превышала указанного значения. Для минимизации площади *n*-контакта была применена геометрия из 2 независимых токопроводящих шин, каждая из которых имела контактную площадку для разварки золотыми проволоками.

Требование максимальной выходной оптической мощности разрабатываемых светодиодов приводит к необходимости использования кристаллов с большой площадью активной области. Кроме того, большие рабочие токи светодиода накладывают существенные ограничения на минимальные геометрические размеры и толщину металлических проводников. Поэтому контактные шины, использовавшиеся в качестве контакта к поверхности *n*-GaN, нуждались в гальваническом усилении по всей поверхности контакта. Конструкция вертикального светодиодного кристалла схематически изображена на рис. 1. В дальнейшем пластины разрезались на отдельные кристаллы и монтировались в корпус светодиода без формирования линзы.

Одновременно со светодиодами вертикальной конструкции на основе аналогичных гетероструктур были созданы флип-чип светодиоды, процесс изготовления которых подробно описан ранее [9,10]. Общие размеры светодиодного кристалла составили  $1.3 \times 1.3$  мм<sup>2</sup>, однако площадь металлизации *p*-контакта представляла собой квадрат тех же размеров, что и кристалл вертикального дизайна ( $1.1 \times 1.1$  мм), внутри которого размещена „вилка“ *n*-контакта как показано на рис. 2.



**Рис. 1.** Схематическое изображение светодиода вертикальной конструкции, вид сверху. 1 — поверхность  $n\text{-GaIn}$ , 2 — рисунок  $n$ -контакта, 3 — контактные площадки для закрепления золотых проволок.



**Рис. 2.** Схематическое изображение светодиода флип-чип конструкции, вид сверху. 1 — контакт к  $n\text{-GaIn}$ , 2 — контакт к  $p\text{-GaIn}$ .

После размещения кристаллов  $p\text{-GaIn}$  слоем на кремниевой подкристалльной плате образцы также подвергались процедуре удаления сапфировой подложки, а освободившаяся поверхность слоя  $n\text{-GaIn}$  — реактивному ионному травлению в хлорсодержащей плазме. Детали эксперимента полностью соответствовали рассмотренным в работе [11]. Полученные образцы флип-чип светодиодных кристаллов также монтировались в корпус светодиода без заливки линзой.

Изготовленные образцы вертикальных и флип-чип светодиодов исследовались при помощи оптического микроскопа фирмы „Mitutoyo“. В качестве регистратора излучения использовалась фотокамера Canon с 12 Мрх1 КМОП матрицей. Матрица оборудована RGBG фильтрами Бейера. Регистрировался сигнал по каналу, отвечающему за синюю область видимого спектра.

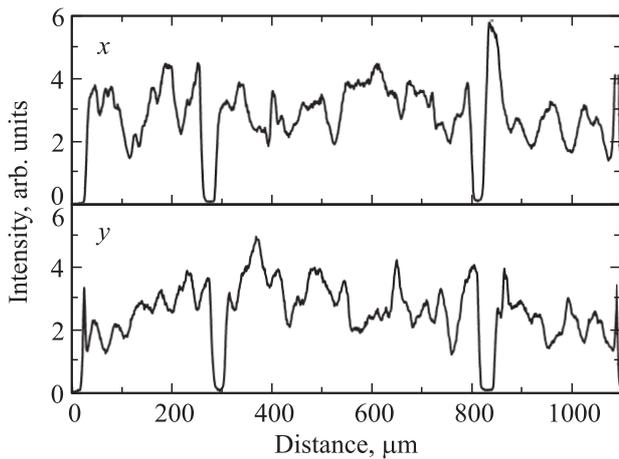
В экспериментах также использовался разработанный в Институте физики полупроводников СО РАН тепловизионный инфракрасный (ИК) микроскоп УТК-1, имеющий в своей основе гибридную микросхему матричного фотоприемного устройства InAs  $128 \times 128$ , шаг элементов 50 мкм, чувствительного в диапазоне длин волн 2.5–3.1 мкм.

Картина пространственного распределения светимости активной области светодиодных кристаллов снималась в видимом (на длине волны излучения светодиодов) и ИК диапазонах при одном и том же токе для всех чипов (350 мА). Распределение светимости в видимом диапазоне дает информацию о характере растекания тока в активной области кристаллов, в то время как ИК диапазон позволяет получить картину распределения локальных температур. Результаты измерений, полученные в эксперименте, приведены на рис. 3–6. На каждом графике изображены распределения интенсивности излучения вдоль двух выделенных перпендикулярных осей. Названия осей, их расположение и точки начала координат изображены на рис. 1 для светодиода вертикальной конструкции и на рис. 2 для светодиода флип-чип конструкции. Тот факт, что площади активной области обоих кристаллов практически совпадают и оба кристалла размещены на кремниевых подкристалльных платах, делает проведенное нами сравнение достаточно корректным.

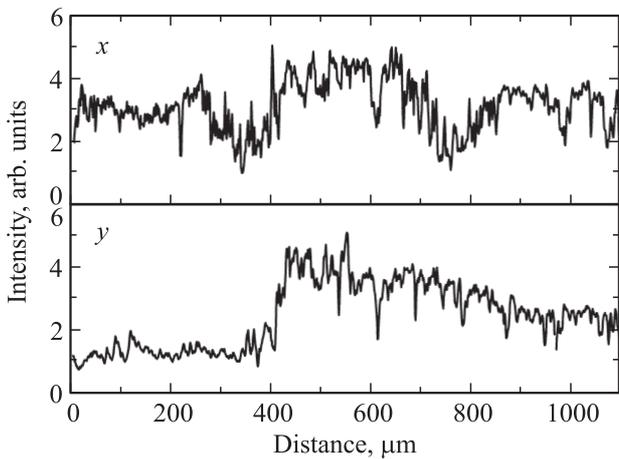
Как видно из рис. 3 и 4, зависимость интенсивности видимого излучения светодиодных кристаллов имеет естественные флуктуации, связанные с рельефом, возникающим на поверхности кристаллов после процедуры удаления сапфировой подложки и последующего травления. Из рисунков видно, что излучение светодиодного кристалла вертикальной конструкции в обоих направлениях намного более однородно по сравнению с излучением флип-чип светодиода. Наблюдаемые провалы в интенсивности в обоих случаях связаны с присутствием  $n$ -контактов.

Особый интерес представляют полученные нами данные по измерениям в ИК диапазоне (рис. 5 и 6), поскольку они напрямую свидетельствуют о локальном распределении температур в активной области кристаллов и качестве перераспределения и отвода тепла из нее.

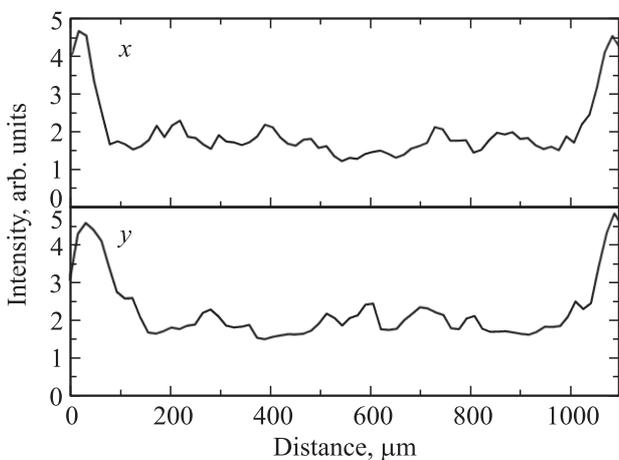
Как следует из эксперимента, локальные температуры  $n$ -контакта и примыкающих к нему областей флип-чип светодиода значительно повышены. Дело в том, что помимо наблюдаемого здесь увеличения плотностей токов (рис. 4) ситуация усугубляется тем, что эти участки не имеют хорошего теплового контакта с подкристалльной платой, через которую и осуществляется основной отвод



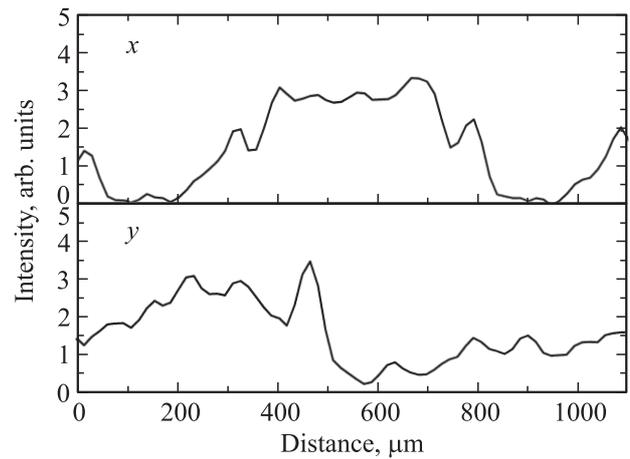
**Рис. 3.** Изменение интенсивности видимого излучения светодиода вертикальной конструкции вдоль осей  $x$  и  $y$  при токе 350 мА. Расположение осей и точки начала координат изображены на рис. 1.



**Рис. 4.** Изменение интенсивности видимого излучения светодиода флип-чип конструкции вдоль осей  $x$  и  $y$  при токе 350 мА. Расположение осей и точки начала координат изображены на рис. 2.



**Рис. 5.** Изменение интенсивности инфракрасного (ИК) излучения кристалла вертикальной конструкции вдоль осей  $x$  и  $y$  при токе 350 мА. Расположение осей и точки начала координат изображены на рис. 1.



**Рис. 6.** Изменение интенсивности ИК излучения флип-чип кристалла вдоль осей  $x$  и  $y$  при токе 350 мА. Расположение осей и точки начала координат изображены на рис. 2.

тепла из кристалла. Следует заметить, что повышение локальных температур участков кристалла несет с собой одновременно несколько отрицательных факторов: во-первых, способствует ускоренной деградации гетероструктуры, во-вторых, уменьшает сопротивление перегретых участков, что приводит к еще большему увеличению плотности тока в этих областях и возрастанию неравномерности растекания тока в активной области кристалла; в третьих, вследствие падения квантовой эффективности с ростом плотности тока в указанных участках сокращается общая эффективность кристалла.

Оценка тепловых сопротивлений обоих видов кристаллов проводилась при помощи прибора „Thermaltester T3Ster“. Прибор обеспечивает возможность определения прямого падения напряжения на  $p-n$ -переходе при микросекундном временном разрешении после окончания разогревающего импульса и на этой основе, с использованием соответствующей калибровки и программного обеспечения, с высокой точностью рассчитывать тепловые сопротивления прибора в целом и отдельных звеньев тепловой цепи. В экспериментах измерялось тепловое сопротивление между  $p-n$ -переходом и кремниевой платой. В результате было установлено, что для кристаллов вертикальной конструкции и флип-чип кристаллов величина теплового сопротивления составляет 1.1 и 1.0 К/Вт соответственно, что с учетом стандартной погрешности измерений можно рассматривать как близкие величины. При этом следует учесть, что общая площадь флип-чип кристалла превышает площадь вертикального кристалла приблизительно в 1.4 раза.

### 3. Заключение

- Произведен сравнительный анализ AlGaIn/GaN-светодиодных кристаллов вертикальной конструкции с удаленной сапфировой подложкой, изготовленных с ис-

пользованием кремния в качестве подложки-носителя, и AlGaInN/GaN-светодиодных кристаллов флип-чип конструкции с удаленной сапфировой подложкой, также размещенных на кремниевой подкристалльной плате. Излучающие площади активной области (площадь металлизации  $p$ -контакта) обоих чипов практически совпадали.

- Светимость поверхности кристалла в видимом диапазоне и распределение локальных температур, оцененное по излучению в ИК диапазоне, более однородны в кристаллах вертикальной конструкции, несмотря на естественные флуктуации.

- Теплоотвод кристаллов флип-чип конструкции недостаточно эффективен в областях  $n$ -контакта, которые не имеют хорошего теплового контакта с подкристалльной платой, в то время как вся поверхность светодиодного кристалла вертикальной конструкции располагается непосредственно на теплопроводящей подложке.

- Измеренные суммарные тепловые сопротивления между  $p$ - $n$ -переходом и кремниевой платой кристаллов вертикальной конструкции и флип-чип кристаллов приблизительно равны и составляют величину порядка 1 К/Вт при том, что общая площадь флип-чип кристалла превышает площадь вертикального кристалла в 1.4 раза.

Авторы выражают благодарность ЗАО „Эпицентр“ и лично Д.А. Закгейму и Д.А. Бауману за предоставленные гетероструктуры, а также специалистам Application Group фирмы SUSS MicoTec Lithography GmbH, Германия и фирмы J.P. Sercel Associates, Inc., USA за предоставленное оборудование и участие в совместных экспериментах.

## Список литературы

- [1] V.K. Malyutenko, O.Yu. Malyutenko, A.V. Zinovchuk, A.L. Zakheim, D.A. Zakheim, I.P. Smirnova, S.A. Gurevich. Proc. SPIE, **5941**, 59411K-1 (2005).
- [2] K.A. Bulashevich, I.Yu. Evstratov, V.F. Mymrin, S.Yu. Karpov. Physica Status Solidi C, **4**, 45 (2007).
- [3] Jun Ho Son, Jong-Lam Lee. Proc. SPIE, **7939**, 79391D (2011).
- [4] Sunjung Kim. Appl. Surf. Sci., **256**, 4157 (2010).
- [5] W.S. Wong, T. Sands. Appl. Phys. Lett., **77**, 2822 (2000).
- [6] C.L. Chang, Y.C. Chuang, C.Y. Liu. Electrochem. and Sol. St. Lett., **10** (11), H344 (2007).
- [7] J. Arokiaraj, Cheong Kee Leong, Vivian Lixian, Anna Marie Yong, Wang Xincui. Appl. Phys. Lett., **92**, 124 105 (2008).
- [8] S.C. Hsu, C.Y. Liu. Electrochem. and Sol. St. Lett., **9** (5), G171 (2006).
- [9] Д.А. Закгейм, И.П. Смирнова, И.В. Рожанский, С.А. Гуревич, М.М. Кулагина, Е.М. Аракчеева, Г.А. Онушкин, А.Л. Закгейм, Е.Д. Васильева, Г.В. Иткинсон. ФТП, **39**, 885 (2005).
- [10] И.П. Смирнова, Л.К. Марков, Е.М. Аракчеева, М.М. Кулагина, А.С. Павлюченко. Тез. докл. 6-й Всеросс. конф. „Нитриды галлия, индия и алюминия — структуры и приборы“, СПб, 115 (2008).
- [11] И.П. Смирнова, Л.К. Марков, Д.А. Закгейм, Е.М. Аракчеева, М.Р. Рымалис. ФТП, **40**, 1397 (2006).

Редактор Т.А. Полянская

## Comparison of AlGaInN LED chips of vertical and flip-chip design with a use of silicon as a submount

L.K. Markov, I.P. Smirnova, A.S. Pavlyuchenko, M.V. Kukushkin\*, E.D. Vasil'eva, A.E. Chernyakov<sup>+</sup>, A.S. Usikov<sup>•</sup>

Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences, 194021 St. Petersburg, Russia

\* ZAO «Innovation Firm „TETIS“», 194156 St. Petersburg, Russia

+ Submicron Heterostructures for Microelectronics, Research and Engineering Center, Russian Academy of Sciences, 194021 St. Petersburg, Russia

• De Core Nanosemiconductors Ltd, 382011 Gujarat, India

**Abstract** In this paper, AlGaInN vertical and flip-chip LED chips are compared in the view of a current spreading behavior in the active region, local temperature distributions, and chip thermal resistance. AlGaInN LED chips of vertical design with a use of silicon as a submount and flipchip LED chips with the removed sapphire substrate also placed on the silicon submount have been fabricated. The active regions of both chips were equal and made about 1 mm<sup>2</sup>. It is shown that the chip surface emittance in the visible range as well as the local temperature distribution evaluated by radiation in the infrared range are more uniform for the vertical chips. Heat sink of the flip-chip LED chips is insufficient in the vicinity of  $n$ -contact, where a good thermal contact with the submount is absent. As a result, the total thermal resistances between  $p$ - $n$ -junction and silicon submount of the LED chips of vertical design as well as of flip-chip design were approximately 1 K/W. In this case, the total area of the flip-chip LED chip was 1.4 times higher than that of the vertical chip.