

- от 03.01.12 / И.В. Луговой, В. Т. Минченя, В. П., Луговой. Заяв. №И20120038 от 16.01.2012.
2. Степаненко, Д.А. Разработка и исследование нового типа концентраторов ультразвуковых колебаний на основе кольцевых упругих эле-

ментов / Д.А. Степаненко, В.Т. Минченя, В.П. Луговой, И.В. Луговой // *Материалы Технологии Инструменты – 2013*. - т.18 №2. – С.90-94.

УДК 621.382.019.3

## ТЕПЛОВОЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ

Манего С.А.<sup>1</sup>, Красовский В.В.<sup>1</sup>, Трофимов Ю.В.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»

Конструирование светодиодных устройств основывается на решении ряда задач: определение внешних условий эксплуатации данного устройства, допустимого теплового режима работы светодиодов, а иногда и источника питания. Далее следует определить параметры конструкции устройства, в части, отвечающей за отвод тепла от его источников и способы контроля температуры в различных частях данного светоизлучающего устройства. Измерения позволяют убедиться, что принятое тепловое решение, с одной стороны, обеспечивает охлаждение р-п перехода светодиодного чипа до требуемой температуры, а с другой - что решение не является избыточным, что важно с экономической точки зрения. В настоящее время, как правило, используют светоизлучающие диоды (СИД) на основе твердых растворов нитридов и AlInGaP/GaAs. Анализ характеристик светодиодов и светодиодных устройств от условий их эксплуатации показывает, что увеличение рабочей температуры кристалла крайне негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках светодиода - падает срок службы, уменьшается световой поток, изменяется спектр излучения и электрические параметры. Поэтому при разработке осветительных систем на светодиодах необходимо позаботиться как об отводе излишка выделяющегося в диодах тепла, так и о методах и способах диагностики основных характеристических параметров светодиодов. Особенно это актуально при использовании мощных светодиодов.

В данном исследовании использовались линейки красных светодиодов фирмы Paragon Semiconductor Lighting Technologies Co. [1], с и без дополнительного внешнего теплоотвода. На рисунке 1 представлена фотография красной линейки с теплоотводом. Электрофизические измерения величин  $T_j$ ,  $R_{JA}$  и  $R_{JC}$  линеек светодиодов фирмы Paragon основываются на методике тепловых переходных процессов. Данный подход правомерен, поскольку электрические RC цепи и теплопроводность математически описываются, идентичными уравнениями, электро-термическая аналогия широко используется при анализе тепловой проводимости. Эта аналогия

позволяет применять законы теории электрических цепей для решения задач теплопроводности.

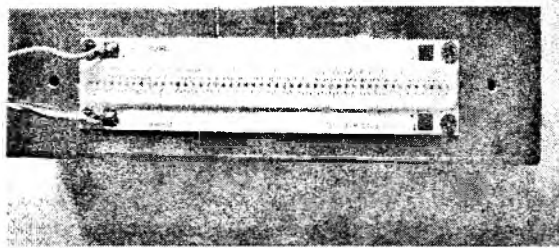


Рисунок 1 – Линейка красных светодиодов фирмы Paragon Semiconductor Lighting Technologies Co. с теплоотводом

Протекание тепла в светодиодном устройстве может быть смоделирована как многоступенчатая электрическая схема  $R_{th}C_{th}$ . В этой модели каждый тепловой компонент светоизлучающего устройства рассматривается как сосредоточенный  $R_{th}C_{th}$  элемент.

В работе [2] показано, что реакция переходного теплового процесса, при использовании RC-цепи, после отключения питания, может быть выражена в виде суммы экспоненциальных членов:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n \Delta T_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_{th,i}}\right) \quad (1)$$

Отметим, что в общем случае тепловая постоянная времени  $\tau_{th}$ , это не просто  $\tau_{th,i} = R_{th,i} \cdot C_{th,i}$ , а определяется всей  $R_{th}C_{th}$  цепи. Тем не менее, в типичных светодиодных структурах, тепловые емкости обычно удовлетворяют следующему соотношению:

$$C_{th,1} \ll C_{th,2} \ll C_{th,3} \ll C_{th,4} \quad (2)$$

Это обусловлено тем, что объем компонент, связанный с каждой теплоемкостью становится все больше (светодиодный чип, алюминиевая подложка, внешний теплоотвод и т.д.).

Анализ тепловых параметров линеек светодиодов проводился на установке описанной в работе [3]. На рисунке 2 представлены изменения температуры активной области светодиодов после выключения электрической нагрузки. Используется логарифмический масштаб по времени (Ось-Х), что позволяет, при различных уровнях накачки, на одном графике показать различие постоянных времени ( $\tau$ ).

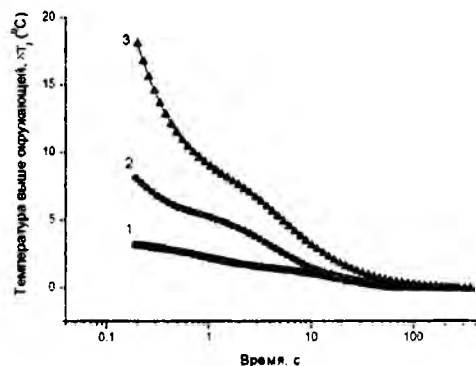


Рисунок 2 – Кривые охлаждения красных линеек светодиодов с внешним теплоотводом при различных токах накачки: 1-200 мА; 2 – 400 мА; 3– 600 мА

Как видно из рисунка 3, перегрев активной области светодиодов без теплоотвода при токе накачки 600 мА достигал температуры  $\approx 180$  °С, т.е. превышающие предельные температуры для красных светодиодов.

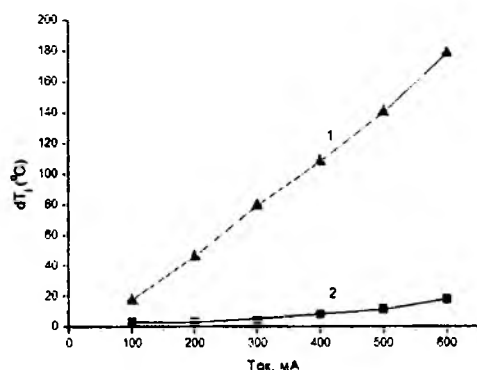


Рисунок 3 – Зависимости перегрева температуры активных областей красных линеек светодиодов без теплоотвода (1) и с теплоотводом (2) от величины тока инжекции

Экспериментальные данные кривых охлаждения хорошо описываются выражением из двух экспоненциальных членов, вида:

$$\Delta T(t) = \Delta T_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_{th,1}}\right) + \Delta T_2 \exp\left(-\frac{t}{\tau_{th,2}}\right), \quad (3)$$

где

$$\frac{1}{\tau_{th,1}} \approx \frac{1}{R_{th,1}C_{th,1}},$$

$$\frac{1}{\tau_{th,2}} \approx \frac{1}{R_{th,2}C_{th,2}}, \quad (4)$$

где  $\Delta T_1$  и  $\Delta T_2$  изменения температуры на слоях тепловых сопротивлений  $R_{th1}$  и  $R_{th2}$ .

Таким образом, тепловые свойства линейки светодиодов фирмы Paragon Semiconductor Lighting Technologies Co. описываются с помощью двух тепловых постоянных времени. Расчеты показывают, что термические постоянные времени имеют один порядок – мс и мало зависят от тока инжекции. Используя метод тепловых постоянных времени, позволил нам определить изменение температуры активной области светодиодов линейки, как во времени, так и от величины тока инжекции, которое хорошо описывается суммой экспонент. Используя метод усреднения термических постоянных времени, для различных токов, были получены следующие значения постоянных времени:

$$\tau_{th,1} = 0,98 \pm 0,12 \text{ ms} \text{ и } \tau_{th,2} = 44 \pm 0,3 \text{ ms}.$$

Используя уравнения 3,4, после подгонки параметров, были получены следующие значения тепловых сопротивлений и емкостей:

$$R_{th1} = 11,26 \text{ KW}^{-1}, R_{th2} = 4,42 \text{ KW}^{-1},$$

$$C_{th1} = 0,088 \text{ mJ K}^{-1}, C_{th2} = 10,05 \text{ mJ K}^{-1}.$$

Следует отметить, что найденные величины тепловых сопротивлений светодиодного устройства на всем пути прохождения тепла от активной области СИД до окружающей среды позволяют провести оценку их вклада в теплопроводность светоизлучающего устройства. Анализ показывает (рис.3), что существенный вклад в снижение температуры активной области светодиодов вносит не только качество используемых компонентов и тепловых контактов, но и эффективный внешний теплоотвод. А именно, пространственное положение радиатора, ориентация его ребер относительно восходящему воздушному потоку, появляющемуся при естественной конвекции. Следует учитывать также, наличие обдува светоизлучающего устройства. Сквозняки или движение воздуха, незаметное для человека, вызванное работой вентиляции (особенно приточной), даже очень слабые, оказывают заметное снижение температуры активной области светодиодов, приводя к увеличению надежности всего светоизлучающего устройства.

1. Mode of access: [http://paragonled.com/eng/series\\_1.html](http://paragonled.com/eng/series_1.html) - Data of access: 09.07.2013.

- Shan, Q. Analysis of thermal properties of GaInN light-emitting diodes and laser diodes/ Shan Qifeng, Qi Dai, Sameer Jaehee Cho, and Fred Schubert // J. Appl. Physics. – 2010. - V.108, 084504.
- Манего С.А. Анализ переходных тепловых процессов в светодиодах / С.А. Манего, С.И.

Лишик // Наука – образованию, производству, экономике: сборник материалов 8-ой Международной научно-технической конференции, секция «Физика», г. Минск, 15 апреля 2010 г. / под ред. Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюка, А.С. Калиниченко. – Минск: БНТУ, 2010. - Т.3. – С.349.

УДК 535.21; 538.9.

## СИНТЕЗ ТОНКИХ ПЛЕНОК СИЛИЦИДОВ И ГЕРМАНИДОВ ТИТАНА ДЛЯ СБИС

Маркевич М.И.<sup>1</sup>, Чапланов А.М.<sup>2</sup>, Щербакова Е.Н.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Одной из наиболее важных проблем при изготовлении СБИС является обеспечение низких сопротивлений проводящих дорожек и контактов со стабильными свойствами при эксплуатации в условиях высоких температур и уровней радиации [1-5].

Использование силицидов металлов таких, как платина, титан, никель, кобальт позволяет снизить сопротивление [2-7]. Для этих же целей могут использоваться и дигерманиды и субгерманиды титана. Кроме того, процессы изготовления СБИС должны проводиться при достаточно низких температурах, чтобы уменьшить диффузию легирующих примесей, либо использовать быструю термическую обработку (БТО) пластин при высоких температурах [1-7].

Импульсные ламповые нагреватели обеспечивают нагрев имплантированного полупроводника за малый промежуток времени [1-3,6,7]. При кратковременном воздействии обработка пластин происходит, как правило, без перераспределения внедренной примеси, которая не успевает диффундировать на большое расстояние, что позволяет сформировать мелкозалегающие *p-n* переходы. [1-3,7]. Целью данной работы являлось формирование пленок силицидов и германидов титана и исследование их фазового состава.

В соответствии с равновесной диаграммой состояний [8], показанной на рисунке 1, в системе Ti-Si в диапазоне температур протекания твердофазных реакций стабильны соединения:  $Ti_3Si$ ,  $Ti_5Si_3$ ,  $Ti_3Si_4$ ,  $TiSi$ ,  $TiSi_2$ .

$TiSi_2(C54)$  – высокотемпературная модификация пространственной группы *Fddd* (орторомбическая гранецентрированная решетка с параметрами  $a = 0,8252$  нм,  $b = 0,4783$  нм,  $c = 0,8540$  нм), которая используется для изготовления проводящих дорожек и контактов со стабильными свойствами.

В процессе твердофазной диффузии полной последовательности фаз, разрешенных равновесной диаграммой состояния не наблюдается в силу ряда лимитирующих факторов: а)

высокий энергетический барьер зародышеобразования; б) низкое значение коэффициента диффузии; в) малая скорость химической реакции. Перечисленные факторы находятся в сильной зависимости от присутствия примесей, в особенности от кислорода, углерода, азота, находящихся на границе раздела пленка-подложка и в пленке.

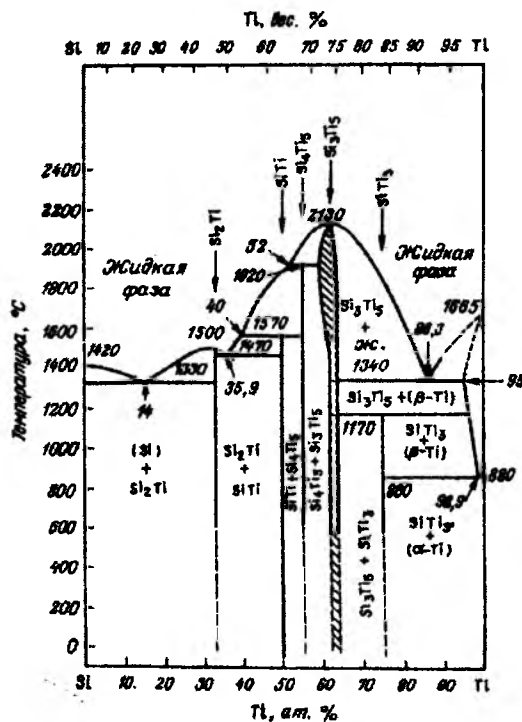


Рисунок 1-Фазовая диаграмма равновесия Si – Ti

Примесь на границе раздела служит барьером для диффузии кремния. Начало образования дисилицидной фазы в пленках, осажденных на чистую поверхность кремния в условиях сверхвысокого вакуума, происходит при температурах ниже 500 °С.

При получении дисилицида титана в модификации C54 предварительно проводилась химическая очистка подложки кремния в буферном