

## DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGY FOR SYNTHESIS AND STUDY OF THE PROPERTIES OF ORTHOPHOSPHATE PHOSPHORS

V. Bakhmetyev<sup>1</sup>, M. Sychov<sup>1</sup>, S. Bogdanov<sup>1</sup>, O. Volodina<sup>1</sup>,  
L. Mezentseva<sup>2</sup>, A. Osipov<sup>2</sup>, A. Orlova<sup>3</sup>, N. Malanina<sup>3</sup>,  
V. Lebedev<sup>4</sup>, A. Sovestnov<sup>4</sup>, A. Sokolov<sup>4</sup>, Yu. Kulvelis<sup>4</sup>,  
T. Minakova<sup>5</sup>, I. Ekimova<sup>5</sup>, N. Eremina<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*

<sup>2</sup>*Institute of Silicate Chemistry of RAS*

<sup>3</sup>*Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod*

<sup>4</sup>*B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute*

<sup>5</sup>*National Research Tomsk State University*

*Abstract.* A technology, that allows production effective x-ray luminescent phosphors  $Zn_3(PO_4)_2:Mn^{2+}$  with nanosized particles from the water solution by sol-gel method, and directional regulated their luminescence color from green to red was developed. A x-ray intensity and spectra, phase structure, and surface properties of synthesized samples depending on the synthesis conditions was studied. A conditions of phosphors heat treatment, after which the samples is stabile from interaction with the water environment was found.

*Keywords:* phosphor, x-ray luminescence, zinc orthophosphate, sol-gel method, nanoparticles.

УДК 621.31

## РАСЧЕТ ФОРМЫ РАДИАТОРОВ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

И.В. Попов\*, В.В. Беляев\*\*

\*ФГУП «ЦНИИ «Комета»

115280, Москва, Велозаводская ул., 5

\*\*Московский государственный областной университет (МГОУ)

105005, Москва, ул. Радио, д. 10а

*Аннотация.* Рассчитана эффективность тепловыделения различных радиаторов специальной формы. При этом исходили из оценки площади тепловыделяющей поверхности. Предложены и запатентованы конструкции радиаторов для изготовления методом экструзии.

*Ключевые слова:* светодиод, светильник, радиатор.

При работе светодиода далеко не вся подводимая к нему электрическая энергия расходуется на излучение. Значительная ее часть (60-80%) выделяется в виде тепла. Температура p-n перехода, соответствующая температуре активной области кристалли-

ческой решетки, является весьма важным параметром светодиода, т.к. от нее зависит внутренний квантовый выход излучения [1].

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 осветительной системы на светодиодах жизненно необходимо позаботиться об отводе излишка выделяющегося в диодах тепла с помощью радиаторов.

Передача тепла от основания радиатора в окружающую среду может быть записана в виде соотношения:

$$P = \Delta T / R_T, \quad (1)$$

где  $P$  - рассеиваемая мощность в основании радиатора,  $\Delta T$  - перепад температур между основанием радиатора и окружающей средой,  $R_T$  - тепловое сопротивление материала, участвующего в передаче тепла от нагретого тела (радиатора).

Тепловое сопротивление  $R_T$  определяется следующими физическими процессами - теплопроводностью, конвекцией и потерей тепла с излучением. Для диапазона температур, в котором работают современные полупроводниковые приборы, включая светодиоды, влиянием теплового излучения на охлаждение нагретого радиатора можно пренебречь [2].

При передаче тепла от радиатора в окружающую среду посредством теплопроводности тепловое сопротивление зависит от физических свойств материала радиатора, через который проходит тепловой поток, и его геометрических размеров:

$$R_T = \delta / \lambda S, \quad (2)$$

где  $\delta$  - толщина материала, через который проходит тепловой поток,  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности,  $S$  - поперечное сечение радиатора.

При передаче тепла с помощью конвекции тепловое сопротивление можно записать в следующем виде:

$$R_T = 1 / \alpha_T S. \quad (3)$$

Здесь  $S$  - поверхность радиатора, с помощью которого ведется конвективный теплообмен,  $\alpha_T$  - коэффициент теплоотдачи. Этот коэффициент подвержен сильным изменениям в зависимости от условий перемещения массы воздуха при естественной конвекции, числа и расположения ребер на радиаторе, производительности установленного на радиатор вентилятора. Для воздуха при естественной конвекции коэффициент теплоотдачи можно ориентировочно принять равным  $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  [2].

Целью работы является расчет формы радиаторов, направленный на увеличение площади поверхности радиатора для уменьшения теплового сопротивления при передаче тепла от радиатора в окружающую среду. При этом используем только профильную форму радиатора, ограниченную экструзивной технологией изготовления (рис.1).

Рассчитаем эффективность тепловыделения различных радиаторов специальной формы. При этом будем исходить из оценки площади тепловыделяющей поверхности. Сначала рассчитаем площадь поверхности единичного ребра радиатора, а потом оце-

ним количество ребер радиатора специальной формы на основании (теплопроводящей пластине) и рассчитаем площадь поверхности всего теплоотводящего элемента с учетом расстояний между единичными ребрами радиатора.

Примем горизонтальные размеры теплоотводящего элемента равными 35 см (ширина  $W_0$ ) и 25 см (длина  $L$ ), соответственно. Ребра радиатора специальной формы изготовленные методом экструзии направлены вдоль длины теплоотводящего элемента.

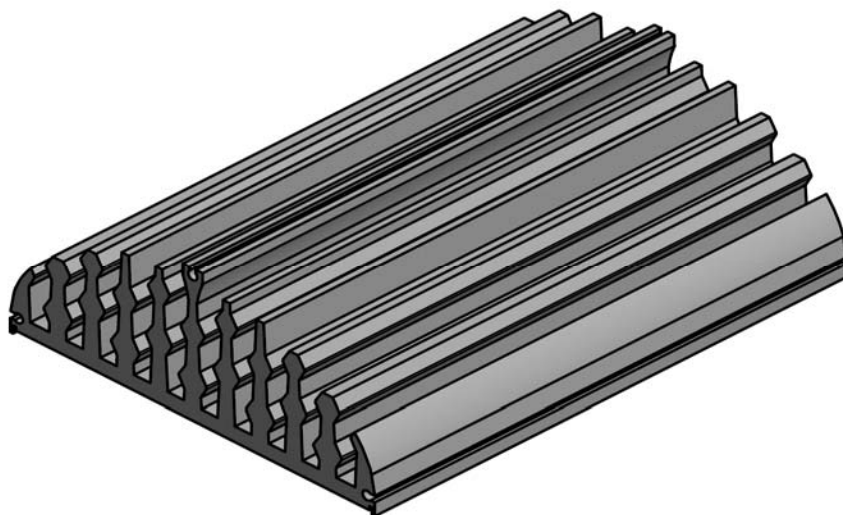


Рис. 1

Рассчитаем сначала площадь поверхности ребра радиатора специальной формы в виде прямоугольной пластины с гладкими стенками, расположенными перпендикулярно к плоскости поверхности теплоотводящей пластины (рис.2). На рис.2 буквой  $H$  обозначена высота радиатора специальной формы, буквой  $W$  – ширина его торца, буквой  $P$  – расстояние между двумя соседними радиаторами специальной формы.

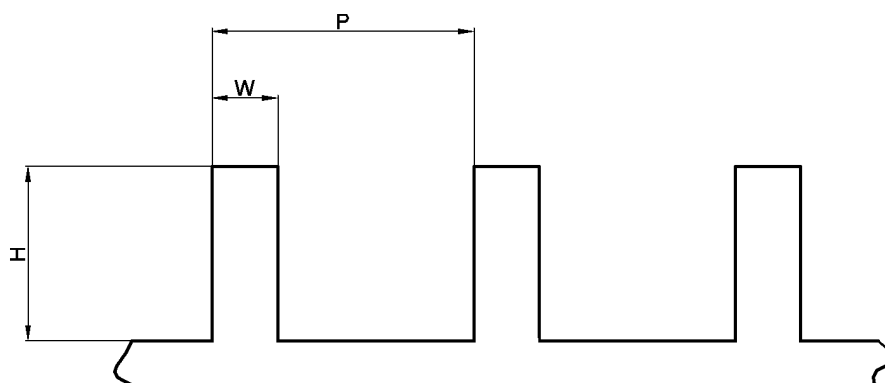


Рис. 2

Пусть  $W=0,2$  см,  $H=2$  см,  $L=25$  см, и расстояние между ребрами радиаторами  $P=4W$ . Тогда на размере  $W_0=35$  см разместится 44 радиатора.

Площадь поверхности ребра радиатора специальной формы в виде прямоугольной пластины с гладкими стенками  $S_0 = (2H + W)L + 2WH = 105,8 \text{ см}^2$ . Полная площадь поверхности всех ребер радиатора специальной формы в виде прямоугольной пластины с гладкими стенками  $S_{0\text{total}} = 44 S_0 = 4655,2 \text{ см}^2 \sim 0,47 \text{ м}^2$ . Если расстояние между радиаторами принять равным  $P=2W$ , тогда на размере  $W_0=35 \text{ см}$  разместится 88 радиаторов специальной формы в виде прямоугольной пластины с гладкими стенками, а их полная площадь поверхности составит  $\sim 0,93 \text{ м}^2$ .

Рассчитаем площадь поверхности ребра радиатора специальной формы в виде прямоугольной пластины с боковыми выступами, представляющими собой также прямоугольные пластины, расположенные перпендикулярно к плоскости поверхности боковых сторон ребра радиатора специальной формы (рис.3). На рис.3 буквой  $H$  обозначена высота ребра радиатора специальной формы, буквой  $W$  – ширина его торца, буквой  $P$  – расстояние между двумя соседними ребрами радиатора специальной формы, буквой  $w$  – длина бокового выступа,  $h$  – его высота,  $s$  – расстояние по вертикали между двумя соседними боковыми выступами. Тогда  $n=H/(h+s)$  – количество боковых выступов. Площадь поверхности ребра радиатора специальной формы в виде прямоугольной пластины с боковыми выступами равна сумме площадей боковых плоскостей радиатора и боковых выступов  $S_{\text{плоскости}} = 2HL + 4nwL = (2H + 4nw)L$ , двух торцов радиатора  $S_{\text{торцов}} = 2(WH + 2nwh)$ , и верхней поверхности радиатора  $S_{\text{верх}} = (W + 2w)L$ .

Площадь поверхности ребра радиатора специальной формы в виде прямоугольной пластины с боковыми выступами, представляющими собой также прямоугольные пластины, расположенные перпендикулярно к плоскости поверхности боковых сторон ребра радиатора специальной формы  $S_1 = (2H + W + 4nw + 2w)L + 2(WH + 2nwh)$ . Пусть  $W=0,2 \text{ см}$ ,  $H=2 \text{ см}$ ,  $L=1 \text{ см}$ ,  $w=h=s=0,2 \text{ см}$ , тогда площадь поверхности единичного радиатора равна  $S_1 = 206,6 \text{ кв. см}$ . Полная площадь поверхности всех ребер радиаторов специальной формы в виде прямоугольной пластины с боковыми выступами, представляющими собой также прямоугольные пластины,  $S_{1\text{total}} = 44 S_0 = S = 44 S_1 = 9090,4 \text{ см}^2 \sim 0,91 \text{ м}^2$ .

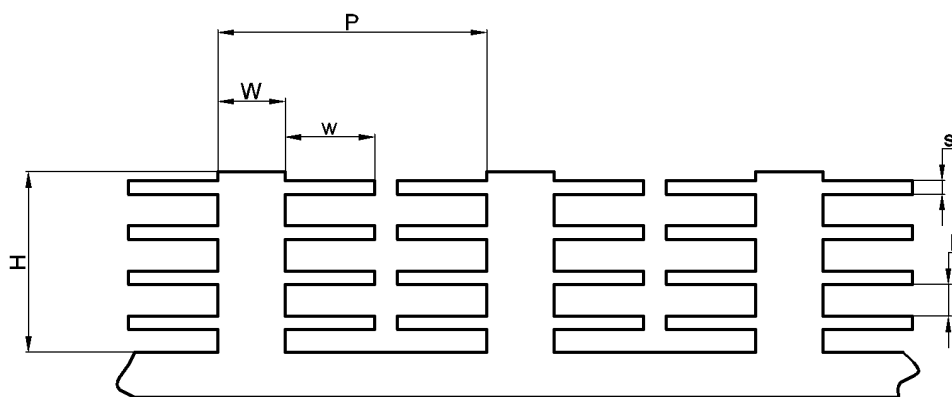


Рис.3

Рассчитаем площадь поверхности ребра радиатора специальной формы в виде набора четырехугольных пластин, наклоненных под углом к плоскости теплоотводящей пластины, так, что у пластин с четными и нечетными номерами знак угла наклона соответственно изменяется, а при движении по вертикали от плоскости теплоотводящей пластины конец четырехугольной пластины с нечетным номером соединен с нача-

лом следующей четырехугольной пластины с четным номером. На боковых сторонах четырехугольной пластины имеются боковые выступы, представляющие собой также четырехугольные пластины, расположенные параллельно плоскости теплоотводящей пластины или перпендикулярно к плоскости поверхности боковых сторон ребра радиатора специальной формы (рис.4). На рис.4 показан случай боковых выступов, расположенных параллельно плоскости теплоотводящей пластины). Будем называть такую конфигурацию радиатора специальной формы зигзагом.

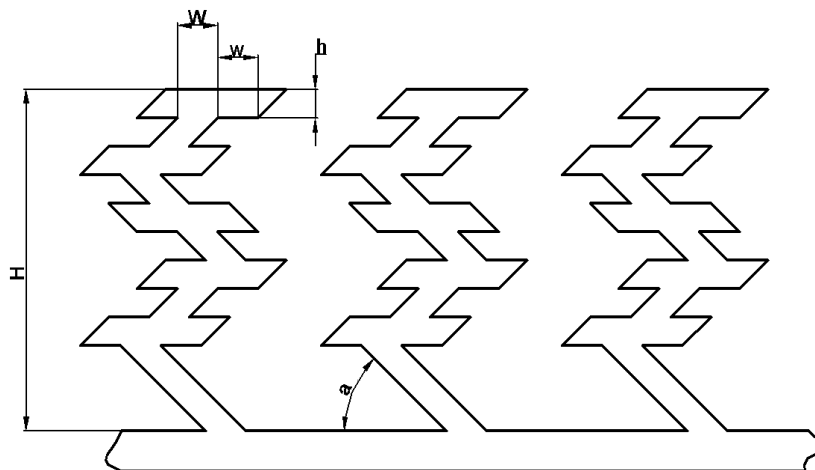


Рис. 4

На рис.4 буквой  $H$  обозначена высота ребра радиатора специальной формы, буквой  $W$  – ширина его торца, буквой  $w$  – длина бокового выступа,  $h$  – его высота,  $\alpha$  – угол наклона пластины, соединенной с теплоотводящей пластиной.

Площадь поверхности ребра радиатора специальной формы в виде зигзага равна:

$$S_4 = (2H/\cos \alpha + W + 4nw)L + 2(WH + 2nwh).$$

Пусть  $W=0,2$  см,  $H=2$  см,  $L=1$  см,  $w=h=s=0,2$  см,  $\alpha=45^\circ$ . Тогда площадь поверхности единичного ребра радиатора равна  $S_4 = 249,1$  см<sup>2</sup>. Полная площадь поверхности всех радиаторов специальной формы в виде зигзага с боковыми выступами, представляющими собой также прямоугольные пластины,  $S_{4total} = S=44 S_4 = 10960,4$  см<sup>2</sup>  $\sim 1,1$  м<sup>2</sup>.

При  $\alpha=30^\circ$  площадь поверхности единичного ребра радиатора равна  $S_4 = 306,6$  см<sup>2</sup>, а полная площадь поверхности всех таких ребер радиатора специальной формы  $13490,4$  см<sup>2</sup>  $\sim 1,35$  м<sup>2</sup>.

Рассчитаем площадь поверхности ребер радиатора специальной формы в виде фигуры, у которой сечения боковых поверхностей представляют собой синусоиды, ось которой перпендикулярна плоскости теплоотводящей пластины. На боковых сторонах имеются боковые выступы, представляющие собой четырехугольные пластины, расположенные параллельно плоскости теплоотводящей пластины или перпендикулярно к плоскости поверхности боковых сторон ребра радиатора специальной формы (рис.5). На рис.5 показан случай боковых выступов, расположенных параллельно плоскости теплоотводящей пластины. Будем называть такую конфигурацию ребра радиатора специальной формы синусоидальной. На рисунке синусоидальная форма аппроксимирована зигзагом.

На рис. 5 буквой  $H$  обозначена высота радиатора специальной формы, буквой  $W$  – ширина его торца, буквой  $w$  – длина бокового выступа,  $h$  – его высота,  $Q$  – период синусоиды,  $A$  – ее амплитуда.

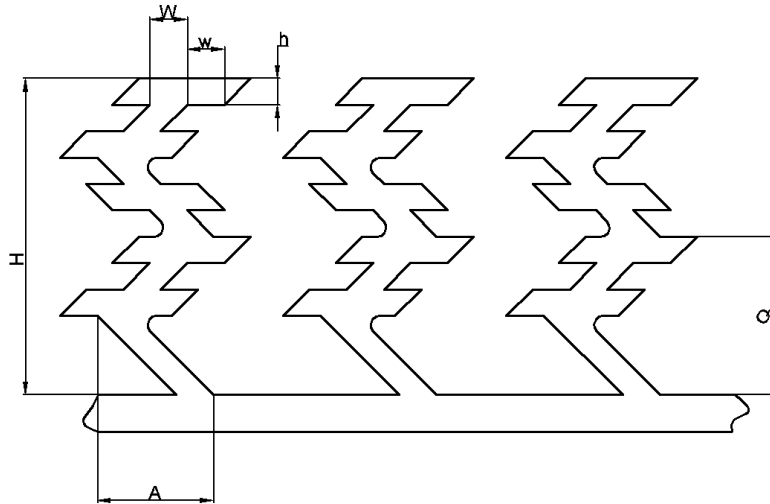


Рис. 5

Площадь поверхности радиатора специальной формы в виде синусоиды равна с учетом того, что длина периода синусоиды  $7,64Q$ , если период  $Q$  равен амплитуде синусоиды  $A$ :

$$S_5 \text{ radiator (sinus)} = (2 \cdot 7,64H/n + W + 4nw)L + 2(WH + 2nwh)$$

Пусть  $W=0,2$  см,  $H=2$  см,  $L=1$  см,  $w=h=s=0,2$  см,  $n=5$ . Период  $Q$  связан с высотой радиатора соотношением  $Q=H/u$ . Тогда при  $n=5$  и  $Q=A$  площадь поверхности единичного радиатора равна  $S_5 = 259,4$  кв. см. Полная площадь поверхности всех радиаторов специальной формы в виде синусоиды с боковыми выступами, представляющими собой прямоугольные пластины,  $S_{5\text{total}} = S = 44 S_5 = 11413,6 \text{ см}^2 \sim 1,14 \text{ м}^2$ .

Для этого варианта радиатора площадь может быть увеличена за счет уменьшения периода синусоиды.

Сравнительные характеристики рассчитанных радиаторов специальной формы сведены в таб. 1.

Таблица 1.

Конструкция	Количество ребер радиаторов	Особенности конструкции	Эффективная площадь, м <sup>2</sup>
Ребра радиатора с гладкими стенками	44		0,47
	88		0,93
Ребра радиатора с боковыми выступами	44		0,91
Зигзаг с боковыми выступами	44	$\alpha=45^\circ$	1,1
		$\alpha=30^\circ$	1,35
Синус при периоде, равном амплитуде	44		1,14

В результате расчета формы радиатора светодиодных светильников проведен сравнительный анализ характеристик радиаторов охлаждения специальной формы, из которого

видно, что радиаторы с ребрами охлаждения в виде зигзага с боковыми выступами и синусоиды имеют наибольшую площадь поверхности, а, следовательно, наименьшее тепловое сопротивление. Таким образом, показатель мощности рассеивания и передачи тепла в окружающую среду у данных радиаторов больше, что обеспечивает эффективное охлаждение при эксплуатации светодиодных светильников и увеличивает их срок службы.

В [3] показано, что усложнение формы радиатора эффективно для теплоотведения при наличии конвекции внутри него. Это достигается принудительной вентиляцией или наклонным расположением светильника относительно вертикали [4].

С использованием приведенных расчетов были разработаны и запатентованы конструкции радиаторов специальной формы для промышленных светильников [5-7].

Работа выполнена при частичной поддержке по Гранту Президента РФ №НШ-1495.2012.8. Авторы выражают благодарность В.Л. Гамольскому за инициирование работы, полезное обсуждение и поддержку и В.В. Коваленко за помощь в патентовании заявок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Шуберт Ф.* Светодиоды. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
2. *Мелешин В.И.* Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2005.
3. *Шаракшанэ А.* "Выбор формы радиатора или в каких случаях радиатору нужны ребра", 2-я Международная конференция "Светодиоды: Чипы, Продукция, Материалы, Оборудование", 11 апреля 2013 г., МВЦ "Крокус Экспо", Москва.
4. *Дорожкин Ю.Б.* "Оптимизация теплоотведения в светодиодном светильнике с пассивным охлаждением", 2-я Международная конференция "Светодиоды: Чипы, Продукция, Материалы, Оборудование", 11 апреля 2013 г., МВЦ "Крокус Экспо", Москва.
5. Модульный светодиодный светильник Патент РФ на полезную модель №107572, заявка от 20.08.2011.
6. Теплоотводящее устройство, Заявка на Патент РФ на полезную модель №20111134472 от 18.08.2011.
7. Теплоотводящее устройство, Заявки на промышленный образец №№2012502245-2012501751 от 06.07.2012.

#### SIMULATION OF SHAPE OF LED LIGHTING RADIATORS

**I. Popov\*, V. Belyaev\*\***

*\*Central R&D Institute "Kometa"  
5, Velozavodskaya st., Moscow, 115280, Russia*

*\*\*Moscow Region State University  
10a, Radio st., Moscow, 105005, Russia*

*Abstract.* Thermal emission of different radiators with varying shape has been calculated. Main estimation was made on the base of data about heat emitting surface. A few radiator designs have been developed and patented that are to be made by using an extrusion method.

*Keywords:* LED, lighting device, radiator.