



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЛОСКОГО НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВАНИИ ИЗ АНОДИРОВАННОГО АЛЮМИНИЯ

Игор Врублевский, Катерина Чернякова, Валентин Видеков, Александр Тучковский

***Резюме:** В настоящей работе представлены результаты исследований электрических характеристик плоских нагревателей на основании из анодированного алюминия и теплового поля на тепловыделяющей поверхности. Показано, что применение оснований из анодированного алюминия для изготовления нагревателей позволяет снизить электропотребление, обеспечить равномерность нагрева тепловыделяющей поверхности и повысить эффективность их работы.*

Ключевые слова: плоский нагреватель, анодированный алюминий, тепловыделяющая поверхность, тепловое поле.

1. Введение

С каждым годом в устройствах промышленного и бытового назначения все большее применение находят различные виды электронагревателей. Одним из новых видов электрического теплового элемента является плоский электронагреватель, применение которого позволяет расширить область применения электронагрева и дает возможность создания новых видов экономичных тепловых приборов [1]. Областью применения плоских нагревателей могут быть различные бытовые и специальные электрические нагреватели в медицинской, пищевой, автомобильной, станкостроительной и аэрокосмической промышленности, в устройствах промышленной автоматики, в тех случаях, когда необходим быстрый нагрев.

Известно [2], что наиболее эффективным процессом передачи тепла от нагретого тела к холодному в сравнении с нагревом излучением и другими видами теплопередачи является метод контактной теплопередачи. Эффективность нагревательного элемента при передаче тепла от нагревательной структуры на теплоотдающую поверхность через изоляционную структуру определяется ее теплопроводностью. Поэтому исследование и разработка элементов быстрого нагрева с равномерным распределением температуры по поверхности и высоким коэффициентом полезного действия за счет снижения потерь тепла является важной задачей.

2. Экспериментальная часть

Плоский нагревательный элемент имел размеры 60x24 мм. Толщина основания из анодированного алюминия составляла 0,5 мм, толщина ситалла –



1,0 мм. Нагревательный элемент состоял из проводников с низким сопротивлением (контактов), соединенных электрически с проводником с высоким сопротивлением (резистивный элемент), отделенных от теплоотдающей (рабочей) поверхности изолирующим слоем. В случае основания из анодированного алюминия слой пористого анодного оксида алюминия, сформированный методом анодирования алюминия, имел толщину не менее 30 мкм. Такая толщина пористого анодного оксида алюминия была необходима для обеспечения требуемой диэлектрической изоляции нагревателя от металлического основания. В качестве материала с высоким сопротивлением и стабильностью электрических характеристик для ситалла использовались пленки ниобия (форма резистора – прямоугольная) и для основания из анодированного алюминия пленки никрома (форма резистора – меандр). Для проводников с низким сопротивлением (контактов) плоского нагревателя была выбрана пленочная металлизация ванадий-медь-никель. Нагреватель имел сопротивление 60 Ом, мощность –15 Вт (рабочее напряжение 30 В).

Сопротивление диэлектрической изоляции на основании из анодированного алюминия измерялось с помощью мегаомметра Ф4101. Для исследования теплового поля исследуемых плоских нагревателей использовали неохлаждаемый тепловизор (FLIR T640).

3. Результаты и их обсуждение

Исследование характеристик плоского нагревателя

Результаты измерений сопротивления изоляции для четырех экспериментальных нагревательных элементов (НЭ) на основании из анодированного алюминия показали, что сопротивление изоляции при напряжении испытания 500 В в течение 1 ч составляло не менее 10,0 ГОм. Проводилось исследование работы экспериментальных нагревательных элементов на основании из анодированного алюминия при нормальных условиях в течение кратковременного рабочего цикла. Нагревательные элементы выдерживались в нормальных условиях под напряжением при температуре окружающей среды +22 °С в течение 10 мин во включенном состоянии и 5 мин в выключенном состоянии. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Проводилось исследование работы экспериментальных нагревательных элементов на основании из анодированного алюминия при нормальных условиях в течение длительного рабочего цикла. На экспериментальные нагревательные элементы подавалось рабочее напряжение 30 В в течение 1 ч, затем питание отключалось и проводилось измерение сопротивления. Измерения повторялись через 1 ч. Результаты исследований представлены в таблице 2.



XXIV МНТК „АДП-2015”

Таблица 1 Результаты исследований нагревательных элементов (НЭ) на основании из анодированного алюминия в течение кратковременного рабочего цикла (10 минут – включенное состояние и 5 мин – выключенное состояние)

№ НЭ	Напряжение, В	Мощность НЭ, Вт	Температура НЭ (при исследовании) t°, C	$\Delta t^{\circ}, C$	Сопротивление НЭ, Ом		$\Delta R, Ом$
					до	после	
1	30	15,46	78	56	58,0	57,7	-0,3
2	30	15,71	79	57	57,1	56,4	-0,7
3	30	15,52	77	55	57,8	57,4	-0,4
4	30	15,31	77	55	58,6	58,8	-0,2

Таблица 2 Результаты исследований нагревательных элементов (НЭ) на основании из анодированного алюминия в течение длительного рабочего цикла (1 ч – включенное состояние и 1 ч – выключенное состояние)

№ НЭ	Напряжение, В	Мощность НЭ, Вт	Температура НЭ (при исследовании) t°, C	$\Delta t^{\circ}, C$	Сопротивление НЭ, Ом			$\Delta R, Ом$
					до	2 ч работы	после	
1	30	15,46	82	59	58,1	57,1	58,2	+0,1
2	30	15,71	82	59	56,6	56,1	56,6	0
3	30	15,52	81	58	57,8	57,3	57,9	+0,1
4	30	15,31	77	54	59,2	58,6	59,2	0

Исследование теплового поля на тепловыделяющей поверхности

После подачи напряжения питания 30 В на исследуемый пленочный нагреватель через 2 мин фиксировали картину теплового поля на тепловыделяющей поверхности с помощью тепловизора. На рисунке 1 показаны картины тепловых полей для нагревателей, изготовленных на ситалле и на основании из анодированного алюминия.

Эксперименты показали, что тепловое поле на тепловыделяющей поверхности нагревателя на основании из анодированного алюминия, несмотря на форму резистора в виде меандра, который занимал незначительную часть площади поверхности, характеризовалось очень высокой равномерностью. Наоборот, плоский нагреватель на подложке из ситалла с резистором прямоугольной формы, который занимал почти всю поверхность, имел в центре тепловыделяющей поверхности значительную по площади зону перегрева. Следует также отметить, что максимальное значение температуры для нагревателя на подложке из ситалла было на 33,7 °С выше, чем для нагревателя на основании из анодированного алюминия.

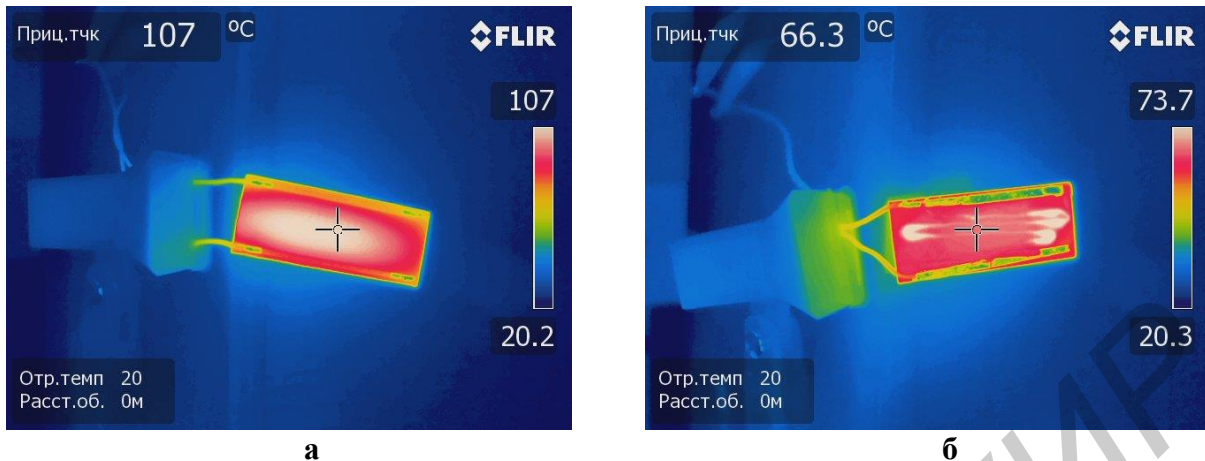


Рис.1 – Картина теплового поля на тепловыделяющей поверхности пленочного нагревателя, изготовленного (а) на ситалле и (б) на основании из анодированного алюминия. Время с момента включения нагревателя 2 мин

Оценка эффективности передачи тепла для плоского нагревателя

Проведем сравнительную оценку эффективности передачи теплоты через изотермическую поверхность в единицу времени (тепловой поток) объемом плоского нагревателя для двух различных типов подложки: ситалл и основание на анодированном алюминии. Примем, что нагреваемая поверхность в двух случаях имеет одинаковую площадь резистивного пленочного элемента. Схематично конструкция плоского нагревательного элемента на изолирующей подложке показана на рисунке 2.

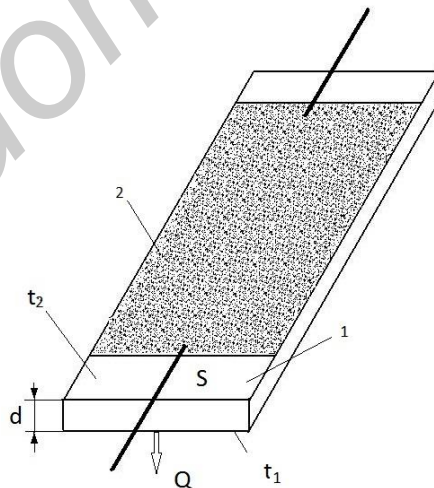


Рис.2 – Схематичное представление конструкции плоского нагревательного элемента на изолирующей подложке

1 – изолирующая подложка, 2 – резистивный слой нагревательного элемента, S – площадь теплопроводящей поверхности, Q – количество теплоты, прошедшее через теплопроводящую поверхность, d – толщина теплопроводящего слоя, t_1 – значение температуры на теплоотдающей поверхности, t_2 – значение температуры на тепловыделяющей поверхности с нагревательным элементом.



Будем считать, что площадь теплопроводящей поверхности, значение температуры на теплоотдающей поверхности и количество теплоты, передаваемое через теплопроводящую поверхность для нагревателей на двух типах подложек одинаковы. При включенном электропитании нагревателя электроэнергия преобразуется в тепловую энергию, и начинаются процессы теплообмена, т.е. переноса тепла от нагреваемой поверхности к теплоотдающей поверхности. Будем считать, что теплообмен осуществляется в основном за счет теплопроводности. В этом случае количество тепла, переносимого за счет теплопроводности, из-за разности температур на поверхностях плоского нагревателя можно определить, как

$$Q = \frac{\lambda}{d} (t_2 - t_1) S \quad (1)$$

где λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м К), $\frac{\lambda}{d}$ - термическое сопротивление, Вт/(м² К), d - толщина подложки, м, $t_2 - t_1$ - разность температур между тепловыделяющей и теплоотдающей поверхностью, °С.

Тогда для нагревателя на подложке из ситалла (без индекса) и на подложке из основания из анодированного алюминия (индекс ') с учетом (1) можно записать

$$\frac{\lambda}{d} (t_2 - t_1) = \frac{\lambda'}{d'} (t_2' - t_1') \quad (2)$$

Теплопроводность ситалла равна 2,5 Вт/(м К), теплопроводность основания из анодированного алюминия равна 210 Вт/(м К). Толщина подложки из ситалла равна 0,001 м, основания из анодированного алюминия - 0,0005 м.

Из формулы (2): термическое сопротивление плоского нагревателя на основании из анодированного алюминия в 168 раз больше, чем термическое сопротивление плоского нагревателя на ситалле. Таким образом, при минимальном значении заданной разности температур между тепловыделяющей и теплоотдающей поверхностью плоского нагревателя на основании на анодированном алюминии равной 2 °С, для подложки из ситалла это значение составит 336 °С. Если принять температуру теплоотдающей поверхности равной 50 °С, то температура тепловыделяющей поверхности в случае основания из анодированного алюминия согласно расчетам составит 52 °С, в то время, как для подложки из ситалла - 386 °С. Несмотря на то, что значения температур для тепловыделяющей поверхности, вычисленные для различных подложек, являются немного завышенными из-за принятых нами приближений для механизма теплового обмена, в целом они дают объективную информацию о градиентах температур, возникающих в плоском нагревателе при его работе.



Результаты:

Применение оснований из анодированного алюминия для изготовления плоских нагревателей позволяет снизить потребляемую электрическую мощность, обеспечить более эффективную работу и повысить надежность работы плоских нагревательных элементов. Плоские нагреватели на основании из анодированного алюминия характеризуются высокой механической прочностью, устойчивостью к вибрирующим нагрузкам, плоской поверхностью и минимальной толщиной, быстрым и равномерным нагревом теплоотдающей поверхности.

4. Выводы

- Тепловое поле на тепловыделяющей поверхности нагревателя на основании из анодированного алюминия характеризуется высокой равномерностью.
- Использование оснований из анодированного алюминия обеспечивает более эффективную работу плоских нагревательных элементов из-за снижения потребляемой электрической мощности.

Литература:

1. Сокол, В.А., Паркун, В.М., Врублевский, И.А., Видеков, В.Х. Высокоэффективные плоские нагреватели на основе нанопористого оксида алюминия, Доклады БГУИР, Минск, 2006, №5, 19-23 стр. ISBN 1729-7648.
2. Исаченко, В.П., Осипова, В.А., Сукомол, А.С. Теплопередача, Москва, „Энергия“, 1975. 486 стр.

COMPARATIVE ANALYSIS OF OPERATION OF PLANE HEATING ELEMENT ON ANODIZED ALUMINUM

Igor Vrublevsky, Katerina Chernyakova, Valentin Videkov, Alexandr Tuchkovsky

***Abstract:** This paper presents the results of studies of electrical characteristics of plane heaters on the anodized aluminum and thermal field on the heat-generating surface. It is shown that the applying of anodized aluminum for the fabrication of heaters allows reducing power consumption, ensuring the uniformity of the heating for heat-generation surface and increasing in their efficiency.*

Данни за авторите:

Игорь А. Врублевский, доцент д-р инж., воедщ н.с. НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии, e-mail: vrublevsky@bsuir.edu.by



XXIV МНТК „АДП-2015”

Катерина В. Чернякова, д-р фмн., старши научен сотрудник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии, e-mail: katerinach_85@mail.ru

Валентин Христов Видеков - преподавател Технического университета – Софии. Область интересов: гибридные схемы, поверхностный монтаж, МЭМС, нанотехнологии, тел.: 02-9653101 e-mail : videkov@tu-sofia.bg

Александр К. Тучковский, научен сотрудник НИС Беларуски държавен университет по информатика и радиоелектроника, Беларус, Минск, ул. П. Бровки, 6. Область интересов: анодные пленки, сенсоры, нанотехнологии.

Библиотека БГУИР