УДК [677.025.071:677.53]:621.3.032.42-714

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРИКОТАЖНЫХ СЕТЕПОЛОТЕН В КАЧЕСТВЕ РАДИАТОРОВ ОХЛАЖДЕНИЯ*

В.А. ЗАВАРУЕВ, О.Ф. БЕЛЯЕВ

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

Часто в технике (например, в радиотехнике) используют приборы, которые при своей работе выделяют большое количество тепла, но сами могут работать лишь в определенном температурном диапазоне. К таким приборам относятся и мощные полупроводниковые приборы. Для того, чтобы температура прибора не превосходила верхнюю границу рабочего диапазона, выделяющееся тепло необходимо отводить.

Пусть за промежуток времени dt от образца отводится количество теплоты dQ. По закону Ньютона для теплообмена количество теплоты dQ/dt, отводимое от образца за единицу времени, пропорционально площади S поверхности образца и разности между температурой образца T и температурой окружающей среды T_c:

$$\frac{dQ}{dt} = \vartheta S(T - T_c). \qquad (1)$$

Коэффициент пропорциональности ϑ называется коэффициентом теплообмена. Его физический смысл – количество теплоты, отводимое за единицу времени с единицы площади поверхности образца на единицу разности температур между образцом и средой. Чем больше dQ/dt, тем в более оптимальных условиях будет работать прибор.

Увеличить dQ/dt можно двумя способами.

1. Увеличивая коэффициент теплообмена ϑ. Этого можно достичь, располагая образец таким образом, чтобы можно было увеличить относительно него скорость потока воздуха за счет конвекции.

2. Увеличивая площадь поверхности образца S.

Используют и сочетание обоих способов, устанавливая образец в пространстве определенным образом и увеличивая поверхность его соприкосновения с окружающей средой.

Однако бывают случаи, когда увеличивать поверхность самого образца, например, по технологическим соображениям, нецелесообразно. Тогда в тепловой контакт с данным образцом приводят другой образец с хорошей теплопроводностью и с развитой наружной поверхностью. Этот второй образец называют радиатором охлаждения.

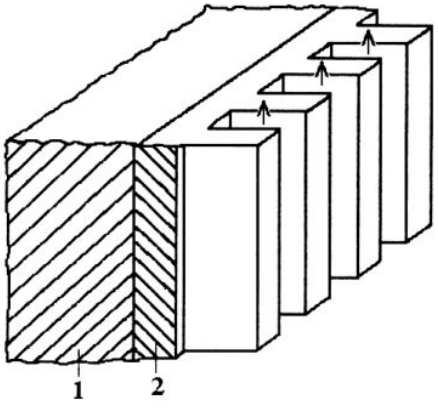

Рис. 1

Схематическое изображение одного из радиаторов охлаждения (2) в контакте с образцом (1) приведено на рис. 1. Развитая поверхность получается за счет использования ребер, а удобное расположение об-

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук Л.А. Кудрявина

разца – путем расположения этих ребер в вертикальном направлении, что облегчает движение конвективных потоков (их направление на рисунке показано стрелками).

Хорошей теплопроводностью и развитой поверхностью обладает металлический трикотаж. Его также можно использовать в качестве радиатора охлаждения. Преимущество такого радиатора перед обычными – большая поверхность соприкосновения с наружной средой при малой массе. В случае металлического трикотажа S представляет собой площадь поверхности всех микропроволок, а ϑ – коэффициент теплообмена между микропроволоками и окружающей микропроволоки средой.

Коэффициент теплообмена зависит от скорости конвективных потоков – чем она выше, тем больше тепла отбирается конвективными потоками от радиатора, тем выше ϑ.

Скорость конвективных потоков зависит от сопротивления радиатора движению конвективных потоков. Например, если для радиатора, изображенного на рис. 1, ребра расположить горизонтально, движение конвективных потоков будет затруднено, коэффициент ϑ уменьшится. К уменьшению коэффициента ϑ приведет и уменьшение ширины щелей. Следовательно, ϑ зависит от конструкции радиатора.

Используя законы газодинамики и теплообмена, можно аналитически для каждой конструкции радиатора рассчитать ϑ и, зная площадь поверхности радиатора и разность между температурами образца и окружающей среды, рассчитать dQ/dt. Однако для практических целей часто удобнее поступать по-другому – под S понимать не площадь поверхности соприкосновения радиатора с окружающей средой, а площадь соприкосновения между радиатором и образцом.

Тогда под ϑ будем понимать количество теплоты, отдаваемое окружающей среде за единицу времени на единицу разности температур между образцом и окружающей средой, но не с единицы площади поверхности соприкосновения радиатора с окружающей средой, а с единицы площади поверхности соприкосновения между радиатором и образцом. В этом случае ϑ легко определяется экспериментально.

Именно в таком понимании мы и будем использовать S и ϑ. Величину ϑ будем определять экспериментально.

Для определения ϑ используем следующий метод. Возьмем медный пруток в форме параллелепипеда размером A×B×L(A=9,5 мм; B = 15,1мм; L = 50 мм), массой m (m = 64,6г) с зачеканенной термопарой и покрытый со всех сторон одним или несколькими слоями исследуемого металлического трикотажа. Этот пруток с трикотажем поместим в воздушный термостат с заданной температурой на 20 мин. Затем вынем его из термостата, охладим на воздухе в отсутствие принудительного теплообмена и запишем зависимость разности ΔT температур между образцом и окружающим воздухом от времени t.

Если за промежуток времени dt температура образца уменьшилась на dT, то количество теплоты dQ, отданное образцом окружающей среде за этот промежуток времени, определяется выражением

$$dQ = -cmdT, \qquad (2)$$

где c – удельная теплоемкость образца [для меди c = 0,39 Дж/(кг·град)]; m – его масса. Знак минус означает, что температура образца со временем уменьшается (здесь мы пренебрегли теплоемкостью трикотажного сетеполотна, считая ее массу малой по сравнению с массой образца).

Подставив (2) в уравнение (1), получим

$$-cm\frac{dQ}{dt} = \upsilon S(T - T_c). \qquad (3)$$

Решая это дифференциальное уравнение, записываем:

$$(T - T_c) = (T_0 - T_c)\exp\left(-\frac{\vartheta S}{cm}t\right). \qquad (4)$$

Здесь T_0 – температура образца в начальный момент времени измерения.

Если ввести обозначения: $\Delta T = T - T_c$;

$\Delta T_0 = T_0 - T_c$, то вместо (4) будем иметь:

$$\Delta T = \Delta T_0 \exp\left(-\frac{\vartheta S}{cm} t\right). \qquad (5)$$

Из формул (3…5) видно, что разность температур ΔT между образцом и окружающей средой (а именно ее и регистрирует термопара) экспоненциально уменьшается с течением времени.

Получив экспериментальную зависимость ΔT от t и используя метод наименьших квадратов, можно определить $\vartheta S/(cm)$.

Затем, зная S, c, m, можно рассчитать ϑ. Величина S при этом определяется по формуле

$$S = 2(AB + BL + AL). \qquad (6)$$

При экспериментальных исследованиях в качестве образцов использовали два принципиально различных с точки зрения теплообмена типа образцов трикотажа – трикотаж с ровной поверхностью и трикотаж с рифленой поверхностью. В качестве представителя первого типа использовался кулирный трикотаж переплетения гладь, в качестве второго типа – трикотаж переплетения ластик.

Кулирный трикотаж переплетения гладь был изготовлен из стальных микропроволок диаметром 50 мкм, ластик – из вольфрамовых микропроволок диаметром 30 мкм. Поверхность ластика сходна с поверхностью радиатора, изображенного на рис. 1.

Зависимости ΔT от t получены при использовании одного и семи слоев указанных двух типов трикотажа, а также (для сравнения) в отсутствие трикотажа. Эти данные приведены на рис. 2.

Точки представляют собой экспериментальные данные; сплошные кривые рассчитаны по формуле (5), где коэффициенты ΔT_0 и $\vartheta S/(cm)$ определены по методу наименьших квадратов.

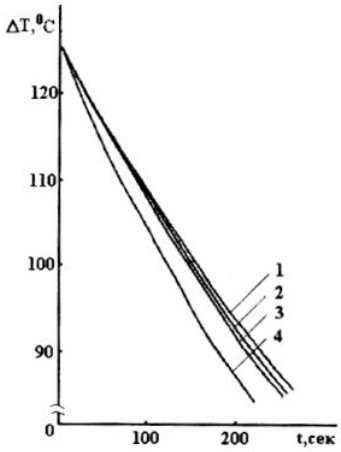

Рис. 2

На рис. 2 кривая 1 – для семи слоев кулирного трикотажа; 2 – для одного слоя кулирного трикотажа и в отсутствие трикотажа; 3 – для одного слоя трикотажа ластик; 4 – для семи слоев такого трикотажа.

Величины ΔT_0 и $\vartheta S/(cm)$ оказались соответственно равны: для кривой 1 – 125,1°C и $1{,}41 \cdot 10^{-3}$ c^{-1}; 2 – 125,4°C и $1{,}49 \cdot 10^{-3}$ c^{-1}; 3 – 125,5°C и $1{,}54 \cdot 10^{-3}$ c^{-1}; 4 – 125,3°C и $1{,}81 \cdot 10^{-3}$ c^{-1}.

Сопоставление экспериментальных данных и расчетных кривых показывает, что они довольно хорошо совпадают, то есть во всем исследованном температурном диапазоне закон Ньютона хорошо описывает экспериментальные данные.

Из значений $\vartheta S/(cm)$ были определены ϑ. Они соответственно составляли: для кривой 1 – 12,9 Дж/(град·м^2·с); 5 – 13,7 Дж/(град·м^2·с); 3 – 14,1 Дж/(град·м^2·с); 4 – 16,6 Дж/(град·м^2·с).

Сопоставление между собой кривых и коэффициентов теплообмена позволяет заключить следующее.

1. Один слой кулирного трикотажа переплетения гладь практически не влияет на теплообмен охлаждаемого образца со средой. Увеличение количества слоев этого трикотажа теплообмен образца со средой ухудшает. Это может быть связано с тем, что в кулирном трикотаже каждая петля образует ячейку. При наложении слоев трикотажа друг на друга эти ячейки становятся замкнутыми, что изолирует воздух в них друг от друга и от окружающей среды,

приводит к ослаблению конвективных потоков и, как следствие, – к ухудшению теплообмена и к уменьшению коэффициента ϑ теплообмена.

2. Трикотаж ластик улучшает теплообмен охлаждаемого образца со средой, причем чем больше слоев, тем теплообмен лучше. Улучшение теплообмена вызвано, очевидно, тем, что трикотаж данного типа подобен радиатору охлаждения, изображенному на рис. 1. При наложении слоев друг на друга образуется конструкция со сквозными каналами внутри. В результате конвективные потоки почти не ослабляются, но количество их растет, растет теплообмен, увеличивается и ϑ.

Таким образом, металлический трикотаж типа ластик может быть использован в качестве радиатора охлаждения. Если вольфрам в нем заменить на медь, его эффективность еще более повысится.

Рекомендована кафедрой технологии трикотажного производства. Поступила 03.10.03.