

УДК 621.37/39-181.4

О термоэлектрической термостабилизации микроболометрических матриц инфракрасных диапазонов

Г. А. Аракелов, А. В. Самвелов

Рассмотрены технические особенности приборов на основе неохлаждаемых микроболометрических матриц инфракрасных диапазонов. Показано, что наилучшим инструментом для прецизионной термостабилизации микроболометрических матриц является термоэлектрическая батарея. Определены конструкционные критерии выбора термоэлектрической батареи для приборов с такой архитектурой.

PACS: 85.60.Gz

Ключевые слова: микроболометрическая матрица, термоэлектрическая батарея, термостабилизация.

Введение

В последнее время дальнейшее развитие техники твердотельной фотоэлектроники во многом определяется массовым внедрением в оптико-электронную аппаратуру неохлаждаемых микроболометрических матриц (МБМ) для ИК-диапазона 8—14 мкм [1]. Отличительной особенностью конструкций этих приборов является, как правило, наличие в их составе прецизионного регулятора температуры МБМ на основе однокаскадной термоэлектрической батареи (ТЭБ). Однако научно-технические публикации по этой тематике практически отсутствуют и, вследствие этого, существует определенный информационный пробел в части обоснованности и необходимости использования для указанной цели ТЭБ, а также специфики приборов с их применением. Настоящая статья посвящена именно этим аспектам.

Технические особенности приборов

Конструктивно МБМ представляют собой набор микромостиков. Каждый из них опирается на кремниевую пластину с помощью двух диэлектрических опор с минимальной теплопроводностью. Такая организация МБМ обеспечивает большое ее тепловое сопротивление относительно подложки. Для этого же МБМ монтируются в вакуумированные корпуса. Таким образом, предотвращается утечка от МБМ накопленной тепловой

энергии поглощенного ИК-излучения [1]. Строго говоря, для функционирования МБМ не требуется ее охлаждения относительно температуры окружающей среды. В то же время предъявляются весьма жесткие требования к стабильности рабочей температуры T_s МБМ. Эти требования определяются оптической схемой прибора, в котором она используется, площадью МБМ, ее температурным коэффициентом сопротивления и величиной тепловой связи с подложкой, а также другими факторами [2].

Необходимая точность термостабилизации определяется тем, что приращение ΔT_s температуры МБМ при изменении $\Delta T_{об}$ температуры объекта соответствует выражению:

$$\Delta T_s(\Delta T_{об}) \approx R_T K_{\Delta\lambda} \mu_{\Delta\lambda} \Delta T_{об} A_B (\partial M_{\Delta\lambda} / \partial T_{об}) / 4F_{\#}^2,$$

где R_T — тепловое сопротивление МБМ, К/Вт;

$K_{\Delta\lambda}$ — эффективное значение коэффициента поглощения излучения МБМ в спектральном интервале $\Delta\lambda$;

$\mu_{\Delta\lambda}$ — эффективное значение коэффициента пропускания объектива в том же интервале;

A_B — площадь МБМ, см²;

$M_{\Delta\lambda}$ — плотность мощности излучения объекта в интервале длин волн $\Delta\lambda$, Вт/см²;

$F_{\#}$ — величина, обратная относительному отверстию объектива.

В рассматриваемом случае величины, входящие в выражение, имеют следующие ориентировочные значения: $R_T \leq 1 \cdot 10^7$ К/Вт; $K_{\Delta\lambda} \approx 0,7$; $\mu_{\Delta\lambda} \approx 1$; $A_B \approx 3,5 \cdot 10^{-5}$ см²; $\partial M_{\Delta\lambda} / \partial T_{об} \approx 2,6 \cdot 10^{-4}$ Вт·см⁻²·К⁻¹ ($\Delta\lambda = 8—14$ мкм); $F_{\#} = 0,7$.

Тогда при $\Delta T_{об} = 1,5 \cdot 10^{-1}$ К точность термостабилизации $\Delta T_B \leq 5 \cdot 10^{-3}$ К.

Аракелов Григорий Арамович, ведущий научный сотрудник.
Самвелов Андрей Витальевич, начальник НТЦ.
ФГУП «НПО "Орион"».

Россия, 111123, Москва, Шоссе Энтузиастов, 46/2.
Тел. (495) 399-60-28. E-mail: AGRISHA1945@BK.RU

Статья поступила в редакцию 17 января 2011 г.

Термоэлектрическая термостабилизация МБМ

Вообще говоря, устройства термостабилизации делятся на пассивные и активные. Пассивные устройства не имеют в своем составе каких-либо источников тепла или холода, что определяет невозможность реализации высокой точности термостабилизации в широком диапазоне температуры окружающей среды T_0 .

Напротив, активные устройства включают в свой состав источники тепла или холода (порознь или вместе). При этом в зависимости от уровня T_s активная термостабилизация при изменении температуры T_0 от T_0^{\min} до T_0^{\max} может быть трех типов.

Низкотемпературная термостабилизация, когда $T_s < T_0^{\min}$, характеризуется наличием избытков тепла и в полупроводниковом приборостроении находит ограниченное применение.

Нормальная термостабилизация, когда $T_0^{\min} < T_s < T_0^{\max}$, отличается тем, что в разное время требуется либо подводить тепло, либо его отводить. Этот метод находит наиболее широкое применение при $T_s = 283\text{—}298\text{ К}$.

Высокотемпературная термостабилизация, когда $T_s > T_0^{\max}$, требует постоянного подвода тепла к искомому объекту.

Ввиду того, что для МБМ $T_s = 283\text{—}298\text{ К}$, в дальнейшем рассматривается только вариант нормальной термостабилизации. С учетом этого фактора необходимо признать, что ТЭБ является наилучшим инструментом для прецизионной термостабилизации МБМ. Являясь одновременно возможным источником как тепла, так и холода, ТЭБ обладает целым рядом технических преимуществ, в том числе малыми габаритами, массой, энергопотреблением и временем выхода на режим, простотой конструкции, высокой надежностью, бесшумностью при эксплуатации, отсутствием микрофонного эффекта, независимостью от ориентации в пространстве и т. д. Вышеприведенный комплекс отличий для ТЭБ является совершенно тривиальным, что делает ее наиболее предпочтительной для реализации указанной цели [3].

Активная нормальная термостабилизация с помощью ТЭБ может быть осуществлена одним из следующих способов:

чисто термоэлектрическим, когда нагрев и охлаждение обеспечивается соответствующей полярностью питающего напряжения ТЭБ;

термоэлектрическим охлаждением и электроподогревом;

термоэлектрическим охлаждением или подогревом с дополнительным электроподогревом.

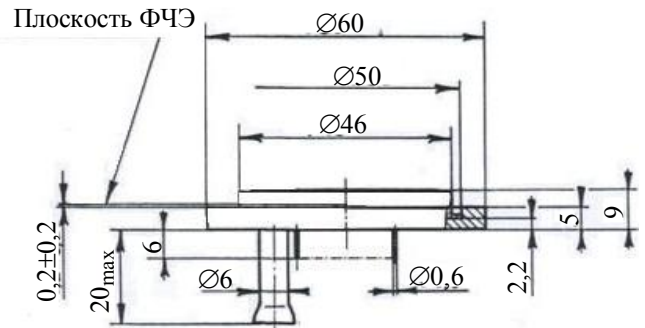
Второй способ находит применение при термостабилизации объектов в широком диапазоне тем-

ператур со значением T_s , близким, но меньшим T_0 . С энергетической точки зрения он уступает первому способу и конструктивно сложнее его.

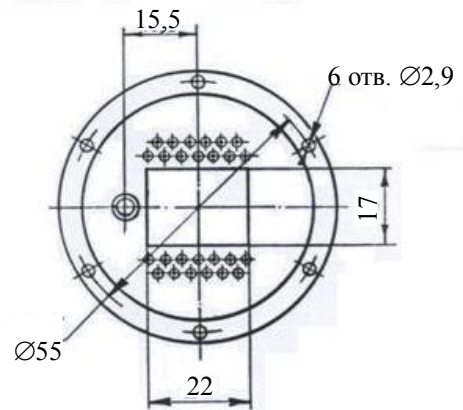
Третий способ является комбинацией предыдущих. Он предназначен для термостабилизации в условиях, характерных для второго способа при форсировании режима нагрева. Энергетически по сравнению с другими способами он менее выгоден, а конструктивно аналогичен предыдущему.

Среди способов активной нормальной термостабилизации при обычных к ней требованиях оптимальным является чисто термоэлектрический. Этот тезис действителен и в случае приборов с МБМ.

На рисунке в качестве примера приведен общий вид ИК-прибора на основе МБМ с однокаскадной ТЭБ фирмы Infrared Components Corporation (США).



Крышка и газопоглотитель условно не показаны



Общий вид ИК-прибора на основе МБМ с однокаскадной ТЭБ фирмы Infrared Components Corporation (США)

Выбор ТЭБ в таких и аналогичных приборах определяется как заданным уровнем термостабилизации МБМ, так и ее геометрическими размерами. В то же время в таких приборах, как правило, необходимо дополнительно обеспечивать высокую степень однородности термостабилизации по площади МБМ ($\leq 2 \cdot 10^{-2}\text{ К}$). Столь жесткое требование соответственно определяет конструкцию и общую архитектуру ТЭБ. Очевидно, что ТЭБ

должна содержать повышенное количество термоэлементов с относительно высокой их упаковкой, т. е. с минимальными расстояниями между собой. Тем самым на рабочей площадке ТЭБ организуется большое количество расположенных вблизи друг от друга дискретных источников холода или тепла, что объективно способствует реализации поставленной технической задачи. Дополнительное выравнивание температурного поля обеспечивает изготовление рабочей площадки ТЭБ из керамического материала с высокой теплопроводностью, например, окиси бериллия или нитрида алюминия. В некоторых случаях для той же цели используется медная пластина, смонтированная на рабочей площадке ТЭБ.

Необходимые точность поддержания и контроль температуры МБМ осуществляются с помощью соответствующей элементной базы и аппаратного обеспечения, в том числе термодатчиком. В [2] описаны результаты испытаний разработанной системы термостабилизации МБМ на базе однокаскадной ТЭБ, которая обеспечила выбор T_s в диапазоне 283—298 К с точностью поддержания $\pm 2,5 \cdot 10^{-3}$ К при $T_0 = 288—303$ К. Эти

данные вполне соответствуют сформулированным выше техническим требованиям к системам термостабилизации МБМ.

Заключение

Настоящая статья не претендует на всеобъемлющее и детальное освещение всех тех проблем, с которыми сталкиваются разработчики ИК-техники при создании систем термостабилизации МБМ. Авторы обозначили только некоторые ключевые аспекты, которые подлежат учету в обязательном порядке, и планируют продолжить публикации по этой тематике.

Литература

1. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Современное состояние и магистральные направления развития современной фотозлектроники. — М.: Физматкнига, 2010.
2. Козлов А. Б., Куликов Ю. В., Маляров В. Г., Хребтов И. А. // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 1. С. 70.
3. Араkelов Г. А. // Прикладная физика. 2002. № 6. С. 78–84.

Thermoelectric thermostabilization of the IR microbolometric arrays

G. A. Arakelov, A. V. Samvelov

Orion R&P Association, 46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia

E-mail: AGRISHA1945@BK.RU

There are considered features of devices which based on uncooled microbolometric arrays (MBA) of infrared ranges. It's shown that a thermoelectric battery (TEB) represents the best tool for precision thermostabilization of the MBA. Construction criterias for a choice of the TEB with such architecture are defined.

PACS: 85.60.Gz

Keywords: microbolometric array, thermoelectric battery, thermostabilization.

Bibliography — 3 references.

Received January 17, 2011