



Рисунок 2 – Измерительный алгоритм микропроцессорного зонда Кельвина

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 3 и 4. В качестве опытных образцов использованы сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА) и композит на основе СЭВА с содержанием в качестве проводящей фазы 5 мас.% углеродного наноматериала (УНМ). Образцы получены в НИЦПР НАН Беларуси.

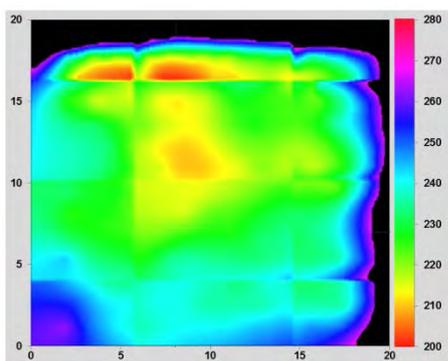


Рисунок 3 – Топология распределения электростатического потенциала у образца СЭВА

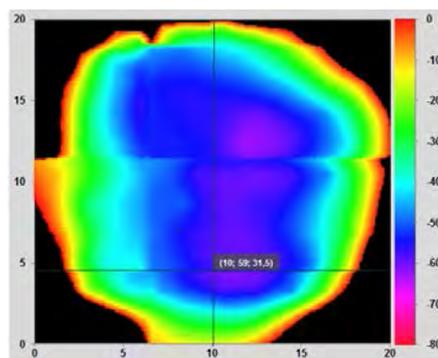


Рисунок 4 – Топология распределения электростатического потенциала у композиционного образца на основе СЭВА с УНМ

У образца СЭВА, характеризующегося диэлектрическими свойствами, электростатический потенциал находится в диапазоне от 200 до 280 мэВ. У композиционного образца СЭВА, наполненного УНМ (в качестве внутреннего антистатика), электростатический потенциал значительно ниже и находится в диапазоне от 0 до – 80 мэВ.

Следует отметить, что неоднородность распределения пространственного заряда может характеризовать не только электрофизические свойства полимеров, но и неравномерность распределения частиц проводящей фазы УНМ в композиционном материале.

1. Subrahmanyam A. The Kelvin Probe for Surface Engineering: Fundamentals and Design / A. Subrahmanyam, S. Kumar. – USA: CRC Press, 2010. – 200 p.
2. Пантелеев К.В. Цифровой измеритель контактной разности потенциалов / К.В. Пантелеев, А.И. Свистун, А. К. Тьяловский, А.Л. Жарин // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 2. – С. 136–144.

УДК 621.316.825

## ТЕРМОРЕЗИСТИВНАЯ СИСТЕМА СВЧ ВАТТМЕТРА НА ОСНОВЕ ОКСИДНЫХ НИОБИЕВЫХ НАНОСТОЛБИКОВ

Плиговка А.Н., Луферов А.Н., Горох Г.Г.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь,

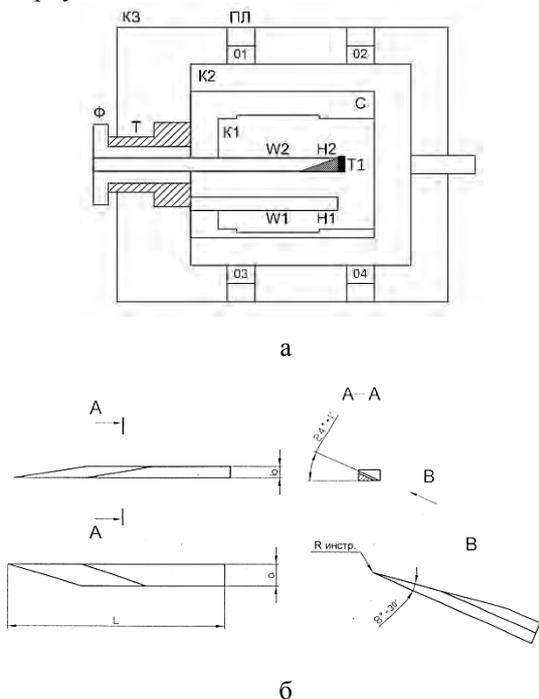
Современные терморезистивные элементы используются в качестве чувствительного элемента калориметрической системы преобразования СВЧ мощности. Такая система может быть применена в составе эталонного измерителя мощности (ваттметра) [1].

В основу работы системы положен принцип

преобразования мощности СВЧ сигнала в тепловую энергию с последующим измерением величины изменения сопротивления терморезистора, которая пропорциональна падающей на него мощности СВЧ сигнала.

В работах [2, 3] методом магнетронного напыления, электрохимического анодирования и

химического травления были изготовлены и описаны терморезистивные элементы на основе оксидных ниобиевых наностолбиков. Система преобразования на их основе представляет собой выносной блок, соединенный с измерительным прибором (вольтметром), и содержит (рисунок 1а) два тонкостенных никелевых волновода W1 и W2, обращенных медью в нагрузочных частях Н1 и Н2. Волноводы впаяны в латунный корпус К1.



а – конструкция преобразователя;  
б – объемная клиновидная поглощающая нагрузка

Рисунок 1 – Калориметрический преобразователь СВЧ мощности

Волноводы имеют размеры поперечного сечения 2,4x1,2 мм и используются в диапазоне частот 78,33-118,1 ГГц.

Преобразуемая мощность подается на волновод W2. Волновод W1 является опорным, и мощность СВЧ в него не поступает. Волновод W1 можно использовать для целей термокомпенсации изменения температуры окружающей среды. На основной волновод W2 наклеен эпоксидным клеем со слюдяной прокладкой экспериментальный терморезистор Т1. Внутри основного волновода W2 расположена объемная клиновидная поглощающая нагрузка (рисунок 1б).

Основной волновод W2 проходит через текстолитовую трубку Т, приклеенную эпоксидной смолой и укрепленную винтами к корпусу К3, и заканчивается фланцем Ф, к которому присоединяется выходной фланец объекта измерения. Волноводы W2 и W1, впаянные в латунный корпус К1, вместе с тепловым экраном представ-

ляют собой волноводный компенсатор, который заключен в дюралюминиевый стакан С, установленный внутри дюралюминиевого корпуса К2. Корпус К2 на опорах О1 и О2 установлен на плите ПЛ внутри кожуха К3.

Для измерения параметров терморезистивной системы используется следующее оборудование:

1. Генератор сигналов высокочастотный программируемый Г4-161;
2. Ваттметр поглощаемой мощности М534;
3. Атенюатор поляризационный;
4. Вольтметр В7-34А.

Для привязки значения сопротивления терморезистора к уровню падающей мощности была собрана схема, состоящая из генератора, аттенюатора и ваттметра поглощаемой мощности. На генераторе был выставлен максимальный уровень мощности. Частота выходного сигнала равна 95 ГГц. Значение ослабления аттенюатора установлено в положение 0 дБ. При помощи ваттметра поглощаемой мощности была измерена величина мощности входного сигнала СВЧ.

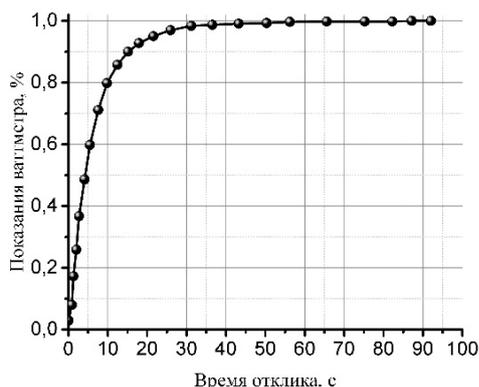
Для измерения сопротивления терморезистора в зависимости от уровня входной СВЧ мощности к выходу аттенюатора была подключена исследуемая преобразовательная система, содержащая экспериментальный терморезистивный элемент. Управляя ослаблением аттенюатора измерялась падающая на систему мощность, и при помощи вольтметр измерялось значение сопротивления терморезистора.

Из рисунка 2 видно, что показания ваттметра достигают величины в 90% от максимальной за период 15,5 секунд, и 99% за период 40 секунд. Исходя из этих данных, применение такого типа системы в ваттметрах СВЧ общего назначения является затруднительным. Однако можно сделать вывод о возможности применения таких терморезистивных чувствительных элементов в приёмных преобразователях для эталонных прецизионных ваттметров, и установок хранения единицы мощности [4].

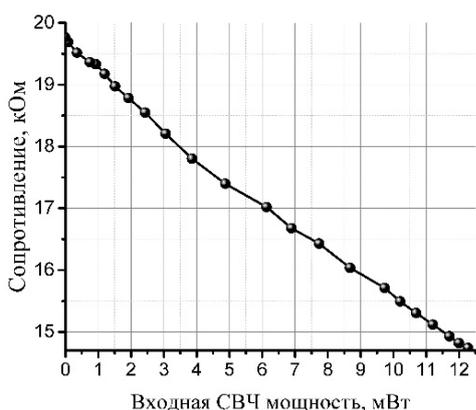
Может быть предложена следующая структурная схема построения эталонного прецизионного ваттметра, использующего чувствительный элемент в форме терморезистора на основе оксидных ниобиевых наностолбиков (рис. 3).

Для реализации такой системы преобразования используются два тонкостенных никелевых волновода толщиной 0,05 мм. Волноводы впаяны в латунный корпус. Пассивная термостабилизация обеспечивается алюминиевыми оболочками, окружающими корпус, и заполнением внутреннего пространства корпуса теплоизоляционным наполнителем. Элементы электрической схемы установлены на волноводных насадках и на печатной плате [2]. На основной и вспомогательный волноводы наклеены эпоксидным клеем со слюдяной прокладкой терморезисторы и рези-

стивные нагреватели, представляющие собой диски диаметром 2,5 и толщиной 0,1-0,15 мм. Выводы элементов припаяны к контактам на печатной плате. Внутри основного волновода расположена объемная клиновидная поглощающая нагрузка. Основной волновод проходит через текстолитовую трубку, посаженную на эпоксидной смоле и укрепленную винтами к корпусу, и заканчивается соединительным фланцем, к которому присоединен входной волноводный переход [4].



а



б

Рисцнок 2 – Зависимость поглощаемой мощности от времени отклика преобразователя при подаче на вход ваттметра мощности СВЧ величиной 10 мВт на частоте 95 ГГц (а) и сопротивления терморезистора от входной мощности ваттметра (б)

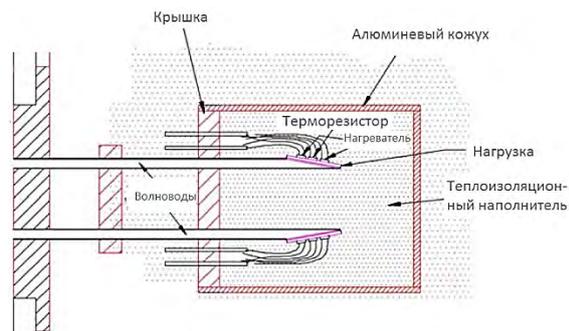


Рисунок 3 – Распределение температурного поля в конструкции сенсора на двухслойной мембране

Построение такой системы должно базироваться на терморезисторах с линейной характеристикой преобразования в максимально широком диапазоне температуры с целью расширения динамического диапазона измерителя мощности, чем и обладают терморезисторы на основе оксидных ниобиевых наностолбиков (рис. 2, б). Уникальность терморезисторов на основе ниобиевых оксидных наностолбиков заключается в возможности изменять их морфологию, наногеомерию и состав путем корректировки условий формирования, тем самым получая требуемые электрофизические характеристики.

1. Vopalens M. et al. // Sensors and Actuators A. 123, 303. (2005).
2. А.Н. Плиговка и др. / В сб. науч. ст. Наноструктуры в конденсированных средах. Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск. (2015). С. 120.
3. А.Н. Плиговка и др. / В сб. тез. докл. V Всероссийского конгресса молодых ученых. Ин-т тепло- и массообмена, Санкт-Петербург. (2016). <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/3197/3197.pdf>.
4. Гусинский А.В. и др. // Метрология и приборостроение. 3, 12 (2010).