

ков, В. К. Кононенко, В. М. Ломако // Электроника инфо. – 2010. – № 3. – С. 58–59.

2. Васьков, О.С. Диагностика технологических характеристик мощных транзисторов с помощью релаксационного импеданс-спектрометра тепловых процессов / О.С. Васьков, В.С. Нисс, В.К. Кононенко, А.С. Турцевич, И.И. Рубцевич, Я.А. Соловьев, А.Ф.

Керенцев // Изв. вузов. Материалы электронной техники. – 2014. № 1. – С. 47–52.

3. Оценка тепловых параметров мощных биполярных транзисторов методом тепловой релаксационной дифференциальной спектроскопии / В.С. Нисс, О.С. Васьков, А.С. Турцевич, А.Ф. Керенцев, В.К. Кононенко // Приборы и методы измерений, 2015. №2(6). – С. 249–256.

УДК 621.315.4/61

## ЭКРАНЫ ЭМИ НА ОСНОВЕ НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА С ФИГУРАМИ ИЗ МЕДНОЙ ФОЛЬГИ

Абдулхади Х.Д.А., Прудник А.М.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

Радиоэлектронные средства, персональные компьютеры, средства сотовой и спутниковой связи, навигационные и радиолокационные системы, бытовая техника, приборы и изделия медицинского назначения, трансформаторные станции, антенны и ретрансляторы излучают электромагнитные волны сверхвысоких частот. Длительное и регулярное воздействие электромагнитного неионизирующего излучения негативно влияют на их функциональное состояние биологических объектов [1].

Также является проблемой защита средств передачи, хранения и обработки информации, а также локализация источников электромагнитного неионизирующего излучения для предотвращения утечки информации по техническим каналам.

Разработка, исследование и создание инновационного ассортимента радиопоглощающих тканых и нетканых материалов для изготовления экранов электромагнитного излучения с целью минимизации отрицательного воздействия электромагнитного излучения является актуальной задачей.

Материалы на основе нетканых материалов широко применяются для создания экранов электромагнитного излучения в широком диапазоне частот, поскольку они характеризуются высоким уровнем совместимости с биологическими объектами [2].

В настоящий момент существует спрос на материалы, применяемые для защиты от излучения диапазона СВЧ, которое создается различными устройствами бытового и промышленного назначения. Одной из актуальных проблем является разработка и создание гибких, воздухопроницаемых материалов, обеспечивающих необходимый уровень защиты от электромагнитного излучения.

Экспериментальные образцы нетканого материала изготавливались из полиэстера, полипропилена и шерсти с добавлением частиц углерода [3]. Для обеспечения необходимых отражающих свойств, на поверхность нетканого материала наклеивали фигуры из медной фольги, которые

представляли собой квадраты 5×5 см из полосок меди шириной 5 мм.

Для анализа коэффициентов отражения и передачи электромагнитного излучения (ЭМИ) производили сравнение значений напряженности электрического поля в одной и той же точке пространства при наличии и отсутствии экранирующего материала.

Для исследования экранирующих характеристик использовался измеритель коэффициентов передачи и отражения, работающий по принципу выделения и детектирования уровней падающей и отраженной волн, по методике, описанной в [6]. Измерительная установка состояла из блоков: обработки измерительных сигналов, генератора качающейся частоты, преобразования и обработки прошедшей волны, а также преобразования и обработки падающей/отраженной волны.

Для поиска оптимального варианта расположения экспериментального образца относительно источника излучения, при проведении измерений коэффициентов отражения и поглощения осуществляли разворот образца относительно пирамидальной рупорной антенны на 0°, 90°, 180° и 270°.

В результате проведенных измерений, показано, что коэффициент отражения в диапазоне частот 0,7–2 ГГц в режиме холостого хода составил –1,0...–16,8 дБ, с максимальными значениями при 90°; (рис 1,а), в то же время коэффициент отражения в диапазоне частот 2–17 ГГц в режиме холостого хода составил –0,7...–17 дБ с максимальными значениями при 270° (рис 1,б).

При этом, коэффициент отражения в диапазоне частот 0,7–2 ГГц в режиме короткого замыкания составил –0,3...–1,7 дБ, с максимальными значениями при 90° и 180° (рис 2,а), в то же время коэффициент отражения в диапазоне частот 2–17 ГГц в режиме короткого замыкания составил –0,0...–8,1 дБ с максимальными значениями при 0° (рис 2,б).

Значения коэффициента передачи в диапазоне частот 0,7–2 ГГц составили –0,2...–25,1 дБ, с максимальными значениями при 0° и 90° (рис 3,а), в

то же время значения коэффициента передачи в диапазоне частот 2–17 ГГц составил –0,3...–15,1 дБ с максимальными значениями при 0° и 90° (рис 3,б).

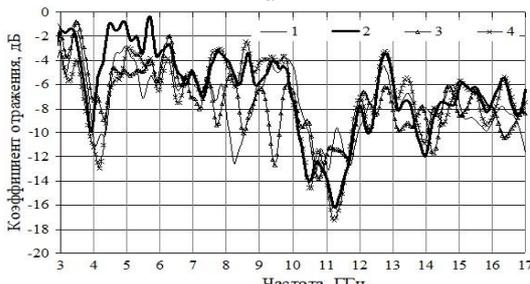
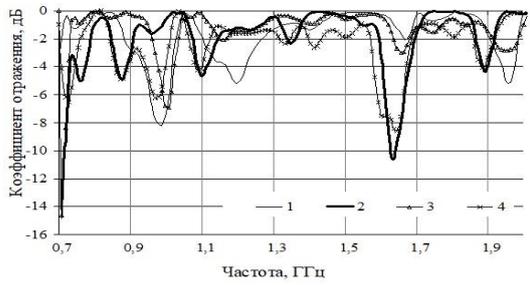


Рисунок 1 – Частотные зависимости коэффициентов отражения образцов экранов в режиме холостого хода в диапазонах частот:  
а – 0,7–2 ГГц; б – 2–17 ГГц; 1 – 0°; 2 – 90°; 3 – 180°; 4 – 270°

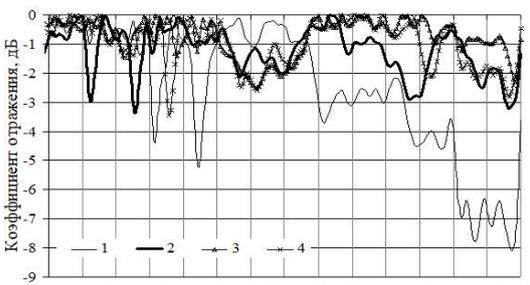
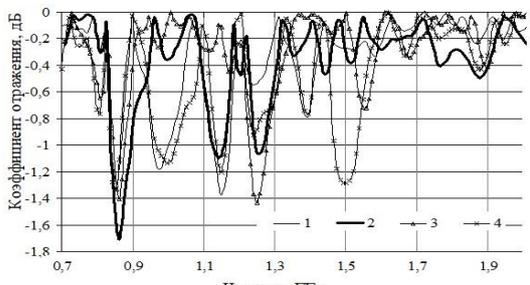


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов отражения образцов экранов в режиме короткого замыкания в диапазонах частот:  
а – 0,7–2 ГГц; б – 2–17 ГГц;  
1 – 0°; 2 – 90°; 3 – 180°; 4 – 270°

Из представленных результатов видно, что данные материалы по своим экранирующим характеристикам являются пригодными для использования в качестве экранирующих материалов в диапазоне частот 0,7–17 ГГц. При использовании по целевому назначению полученных материалов могут изготавливаться специальные защитных чехлы или накидки по индивидуальному проекту. Процентное содержание углеродных добавок будет определяться техническими требованиями к диапазону частот, в котором должно обеспечиваться необходимые значения экранирующих характеристик. Материалы такого рода не будут нуждаться в транспортной упаковке, что позволит увеличить их технологичность и уменьшить стоимость для конечного потребителя.

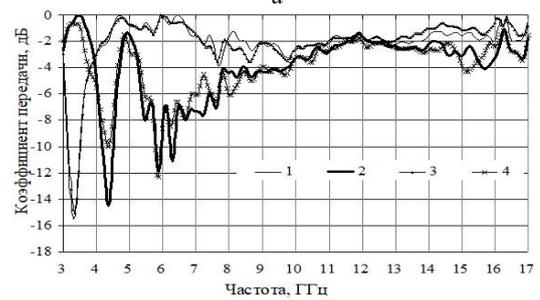
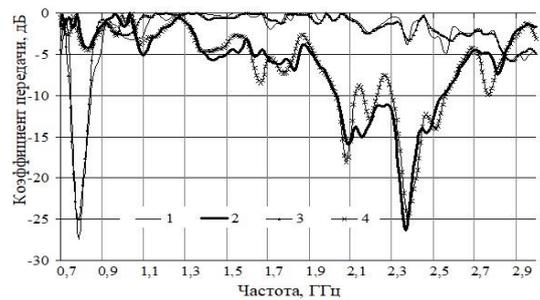


Рисунок 3 – Частотные зависимости коэффициентов передачи образцов экранов в диапазонах частот:  
а – 0,7–2 ГГц; б – 2–17 ГГц; 1 – 0°; 2 – 90°; 3 – 180°; 4 – 270°

В качестве одного из главных достоинств нетканого материала можно назвать его пригодность для изготовления средств индивидуальной защиты и разнообразных укрывных материалов благодаря гибкости, легкости и воздухопроницаемости.

#### Литература

1. Борботько Т.В., Колбун Н.В., Лыньков Л.М. Электромагнитные излучения средств телекоммуникаций. Методы защиты, безопасность организма человека. Минск: Тонпик, 2004.
2. Банный В.А., Ходакова И.Н., Макаревич А.В. Электромагнитные экраны на основе нетканых композиционных материалов // Химические волокна. 2002. № 4. С. 54–57.

3. Prudnik A., Beloglazov A., Kudryavtseva T., Lynkou L. Production technology and shielding properties of the needle-punched non-woven fabrics with carbon additives. (20–22 September 2017). Electromagnetic disturbances EMD 2017: Proceedings of the 24<sup>th</sup> International conference, Poland, Białystok, Białystok, 2017. P. 108–111.

4. Абудхади Х.Д.А., Аль-Машатт Е.А.А., Алсайх Н.Б.А., Бойправ О.В., Прудник А.М. Электромагнитные характеристики углеродсодержащего нетканого материала с геометрическими неоднородностями // Доклады БГУИР. 2017. № 1 (95). С. 87–90.

УДК 621.382

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ КТД8307

Бумай Ю.А.<sup>1</sup>, Васьков О.С.<sup>1</sup>, Нисс В.С.<sup>1</sup>, Грибович В.В.<sup>2</sup>, Цивако А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

Минск, Республика Беларусь

С использованием релаксационного импеданса – спектрометра тепловых процессов [1] исследована структура внутреннего  $R_{jc}$  и внешнего  $R_{ca}$  тепловых сопротивлений составного транзистора КТД8307 (производства ОАО Интеграл) в пластмассовом корпусе SOT-223 с посадкой кристалла на клей ХН9889-1 (5 образцов) и клей SK70-N (5 образцов). Для сравнения определялась также структура теплового сопротивления биполярных транзисторов КТ817Г в пластмассовом корпусе TO-252 (DPAK), с посадкой кристалла на припой.

Анализ структуры теплового сопротивления образцов проводился методом тепловой релаксационной дифференциальной спектрометрии [2, 3] во временной области  $10^{-4} - 10^2$  с. В качестве источника разогрева и активного элемента использовался защитный диод перехода “коллектор-эмиттер”. Ток накачки составлял 0.5 А, а измерительный 1 мА.

Из анализа временной зависимости прямого напряжения на активной области (пересчитанного в температуру с использованием температурного коэффициента) находится внутреннее тепловое сопротивление транзистора и его структура в виде непрерывного (дифференциального) и дискретного спектра (зависимости теплового сопротивления элементов структуры транзистора и внешнего теплоотвода от времени тепловой релаксации). Дифференциальный спектр определяется на основе производных высшего порядка от динамического теплового импеданса и соответствует модели Фостера, а дискретный – модели Кауера. При построении структуры внутреннего теплового сопротивления образцов было выбрано разрешение достаточное для построения 7-извеной (7-го порядка) электротепловой RC-модели.

Анализ растекания теплового потока в исследуемых транзисторах проводился на основе концепции тепловой эффузии (effusivity). Из послойных значений компонентов теплового сопротивления и тепловой емкости, определялось значение

эффективной площади  $S_e$  (площади сечения теплового потока) в транзисторе и элементах внешнего теплоотвода.

Конструкции транзисторов и пути растекания теплового потока в корпусах SOT-223 и TO-252 показаны на рис. 1.

Для корпуса SOT-223 определяющим является поперечное к кристаллу, через выводы корпуса тепловое растекание в окружающую среду (рис. 1а). Для корпуса TO-252 характерно продольное через подложку рамки выводной растекание тепла (рис. 1б).

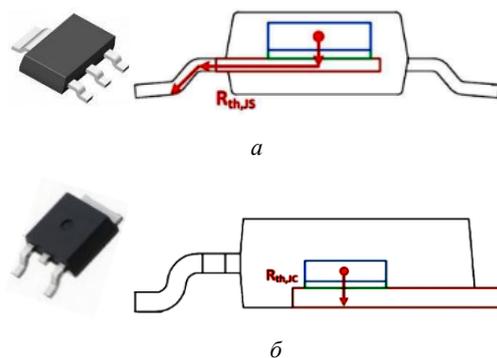


Рисунок 1 – Внешний вид и конструкция исследованных образцов с корпусами SOT-223 (а) и TO-252 (б). Стрелками показано направление растекания тепла для корпусов обоих типов

На рис. 2 и 3 приведены дифференциальный и дискретный спектры теплового сопротивления  $R_{th}$  и профили растекания теплового потока  $S_e$  в исследованных образцах. Дифференциальный спектр соответствует электротепловой модели Фостера, а дискретный – Кауера.

Из анализа спектров образцов КТД8307 с разным качеством посадки кристалла можно идентифицировать R2 и R3 как тепловые сопротивления области посадки кристалла с сопротивлением R1, а тепловые сопротивления R4 – R7 соответствуют растеканию тепла от выводной рамки в окружающую среду.