

3. Андрианов, К.А. Кремнийорганические соединения / К.А. Андрианов. – М.: ГХИ, 1955. – 521 с.

4. Инфракрасные спектры лакокрасочных покрытий автотранспортных средств (эмали, грунтовки, шпатлёвки, мастики и пластизоли) / под ред. В.А. Коптюга. – Новосибирск, 1987. – 209 с.

**М.В. Ермоленко, Д.Д. Котинго, С.М. Завадский, Д.А. Голосов**

УО «Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники», Минск, Беларусь

## **ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТЕКСТИЛЬНОЙ ОСНОВЕ, НАНЕСЕННЫЕ ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ**

### **Введение**

Широко распространенные радиотехнические системы локации, навигации, передачи информации и энергии, а также системы связи используют электромагнитное излучение (ЭМИ) для формирования, обработки и передачи сигналов. Кроме того, энергия ЭМИ применяется в промышленности и в быту, поэтому высокочувствительной радиотехнической аппаратуре приходится функционировать на фоне высокого уровня искусственных и естественных помех [1].

В связи с этим, особенно актуальной становится задача разработки высокоэффективных и технологичных экранирующих и поглощающих материалов и покрытий.

В последнее время особый интерес вызывают технологии создания материалов на основе частиц субмикронных размеров. Такие материалы имеют развитую поверхность и обладают пониженной отражательной способностью при наклонном падении электромагнитной волны.

Перспективными являются методы создания эластичных радиопоглощающих материалов, основанные на использовании широко распространенного трикотажного оборудования, и отличающиеся низкой стоимостью и материалоемкостью.

Использование процессов ионно-лучевого и ионно-стимулированного магнетронного распыления позволяет получать покрытия из металлов, сплавов и диэлектриков с высокой адгезией покрытия к подложке и при малых температурных нагрузках, с высокой производительностью и использовать «рулонные» технологии.

В данной работе представлена технология нанесения тонких металлических и диэлектрических пленок на поверхность текстильных материалов на трикотажной основе для использования в качестве экранов и поглотителей электромагнитной энергии.

## 1. Методика исследований

Нанесение многослойного покрытия осуществлялось на вакуумной установке ВУ-2Мп, оборудованной интегрированными распылительными устройствами второго типа интеграции. Перед нанесением рабочая камера откачивалась до давления  $2 \times 10^{-3}$  Па и затем проводилась ионная очистка поверхности подложки (трикотажного полотна).

Многослойное покрытие формировалось в едином вакуумном цикле без промежуточной разгерметизации вакуумной камеры. Пленка Ni получалась распылением Ni мишени ионно-лучевым источником при параметрах разряда  $U_p = 5$  кВ,  $I_p = 200$  мА, рабочее давление в камере  $P = 2 \times 10^{-2}$  Па.

При формировании диэлектрического слоя использовался способ дифференцированного газоснабжения распылительного оборудования. При этом распыление Ti мишени осуществлялось ионами Ag, а реактивный газ (кислород) подавался непосредственно в вакуумную камеру.

Экранирующие свойства материалов исследовали с помощью комплекса векторных анализаторов цепей, измеряющих S-параметры четырехполюсников в СВЧ диапазоне (1,5–18 ГГц и 18–37 ГГц).

Исследуемый образец, представляющий собой квадратобразное трикотажное полотно размером  $15 \times 15$  см, закрепляли между приемником и излучателем, в качестве которых использовались рупорные антенны или фланцы волноведущей системы. В качестве измеряемых параметров выбрали коэффициенты передачи и отражения ( $S_{21}$  и  $S_{11}$ , соответственно). Полотно натягивали равномерно со всех сторон для предотвращения перекоса структуры трикотажа и размещали в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. При изучении рассматривали случай падения ЭМИ как на лицевую, так и на изнаночную сторону полотна.

## 2. Результаты и обсуждение

Можно отметить, что характеристики (рисунки 1, 2) имеют гребенчатый характер в области нижних частот (1,5–18 ГГц), что связано с особенностями измерительного оборудования и относительно малой толщиной применяемых полотен, так что поглощение в этом диапазоне носит преимущественно резонансный характер.

При увеличении частоты характеристика сглаживается благодаря тому, что трикотажный экран на этих частотах проявляет в основном отражающие свойства, что связывается с уменьшением толщины скин-слоя и приближении ее к тол-

щине нанесенного покрытия. При этом, значение коэффициента отражения  $S_{11}$  не превышает уровень  $-8$  Дб, что подтверждает способность пленок металлов отражать ЭМИ.

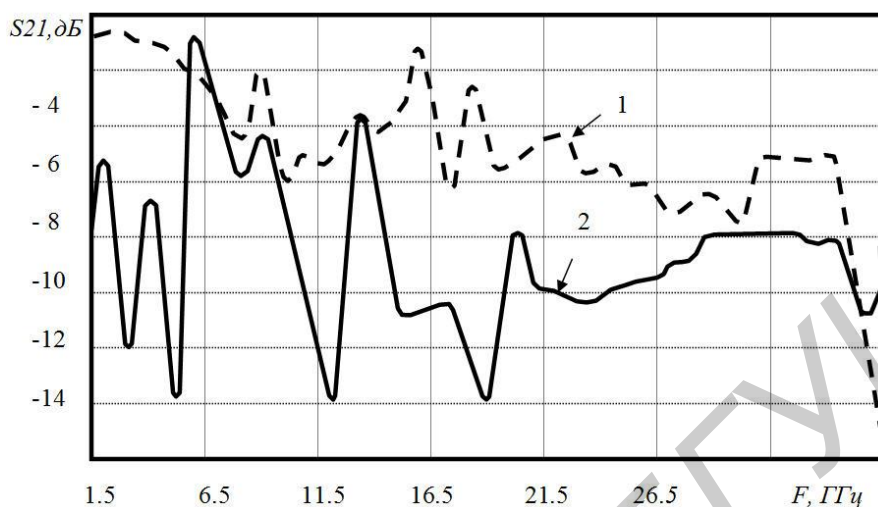


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента передачи трикотажного полотна от частоты, где 1 – образец с никелевым покрытием, 2 – образец с чередующейся структурой металл – диэлектрик

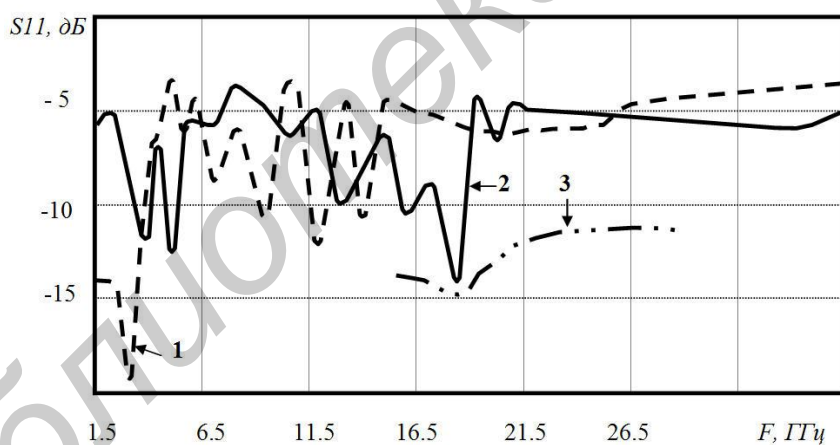


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента отражения трикотажных полотен от частоты, где 1 – образец с никелевым покрытием, 2 – образец с чередующейся структурой металл – диэлектрик (лицевая сторона), 3 – образец с чередующейся структурой металл – диэлектрик (изнаночная сторона)

Определено, что полотна, на которые было нанесено никелевое покрытие имеют почти одинаковые характеристики с лицевой и изнаночных сторон, а для полотна с многослойным покрытием отмечено значительное уменьшение коэффициента отражения в диапазоне частот 16–27 ГГц при падении электромагнитной волны с изнаночной стороны. При этом отмечено, что эффектив-

ность такого экрана повышается незначительно по сравнению с падением электромагнитной волны на лицевую сторону полотна.

При нанесении металлических покрытий на пористую волокнистую массу возможно создание градиентной структуры, позволяющей уменьшить отражение ЭМИ за счет плавного перехода от волнового сопротивления среды распространения излучения к характеристикам металлизированного слоя. В данном случае, эффективность такой конструкции повышена за счет использования чередования слоев металл-диэлектрик, где в качестве диэлектрика используется материал с высокими диэлектрическими потерями. Кроме того, применение многослойного металл-диэлектрического покрытия позволяет создавать изменение магнитных и проводящих свойств структуры с меньшим градиентом и обеспечивать дополнительное подавление ЭМИ за счет магнитных потерь в материале экрана.

### **Выводы**

В результате исследований обнаружено, что трикотажные полотна, с нанесенными металлическими и многослойными покрытиями, экранируют ЭМИ. Обнаруженные особенности взаимодействия эластичных конструкций, полученных методом распыления материала на трикотажную основу, с ЭМИ, позволяет применять их при разработке высокоэффективных широкополосных радиопоглощающих покрытий.

### **Литература**

1. Chung, D.D.L. Materials for electromagnetic interference shielding / D.D.L. Chung // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2000. – Vol. 9. – № 3. – P. 6–7.

**И.В. Ивашкевич, В.В. Филиппов, Б.Г. Шулицкий**

УО «Могилевский государственный университет  
имени А.А. Кулешова», Могилев, Беларусь

### **ДИСПЕРСИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК FTO**

#### **Введение**

В настоящее время одними из самых перспективных тонкопленочных покрытий являются прозрачные проводящие покрытия на основе оксидов металлов. Прозрачные проводящие оксиды (transparent conductive oxide, TCO) принадлежат к классу полупроводников с широкой запрещенной зоной. Интерес к ним обусловлен сильно возросшим применением прозрачных электродов