

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.793.1

Леонович  
Сергей Сергеевич

«Обработка технологии плазменного осаждения металлических слоев,  
экранизирующих электромагнитное излучение»

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-98 80 01 «Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность»

---

Научный руководитель

Поболь Игорь Леонидович  
доктор технических наук, профессор

---

Минск 2017

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все более актуальной становится необходимость производства и использования металлизированных текстильных материалов, с помощью которых возможно решение важных научно-технических задач:

- изготовление одежды для защиты человека от электромагнитных полей, ИК-излучения;

- создание текстильных изделий с высокой степенью защиты от воздействия микроорганизмов (бактерий, плесневых грибов, и др.) в условиях высокой влажности и биологического загрязнения;

- изготовление изделий, защищающих радиоэлектронные устройства от воздействия внешних электромагнитных полей, ИК-излучения.

Кроме того, в настоящее время в условиях острой конкуренции одной из главных задач текстильных предприятий является необходимость использования новых технологий, обеспечивающих постоянное расширение ассортимента текстильных изделий высокого качества с широким спектром свойств.

Одним из путей решения указанных проблем является создание текстильных материалов с наноразмерными композиционными многослойными покрытиями системы металл – углерод - реакционно-способный газ с использованием экологически чистых и безотходных вакуумно-плазменных технологий.

Создание таких покрытий открывает широкие возможности для производства текстильных изделий с уникальными свойствами. В связи с этим актуальной научно-технической задачей является создание и исследование новых текстильных материалов с наноразмерными композиционными многослойными покрытиями системы металл – углерод - реакционно-способный газ, обладающих специальными свойствами (антистатическими, экранирующими электромагнитные излучения, биозащитными и др.), при этом их можно стирать, сшивать, клеить.

Области применения таких текстильных материалов:

- изготовление защитных устройств для предотвращения утечки информации из служебных помещений;

- изготовление экранов для защиты от ИК-излучений и спецодежды для пожарных и рабочих горячих цехов;

- использование в качестве деталей военного снаряжения для снижения заметности в приборах ИК- и радио- диапазонов;

- изготовление сборно-разборных складных или надувных конструкций для антенн радио и телевизионной связи;

- изготовление бактерицидных материалов;

Целью работы является установление закономерностей формирования наноразмерных вакуумно-плазменных покрытий системы "металл – углерод", полученных в среде реакционно-способных газов, с использованием стационарных и импульсных потоков плазмы на текстильные материалы и

создание базовой технологии для получения изделий специального применения с радиопоглощающими свойствами.

В работе решены следующие задачи: создание наноразмерных композиционных многослойных покрытий, соответствующих требованиям по поглощению электромагнитных излучений, проведены испытания экспериментальных партий текстильных материалов с покрытиями; разработана основа базовой технологии стационарного и/или импульсного вакуумно-дугового нанесения покрытий.

Работа соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016-2020 годы, утвержденных постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2015 г. № 190:

7. Системы и комплексы машин.

12. Междисциплинарные исследования.

Библиотека БГУИР

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Цель работы:**

Целью работы является установление закономерностей формирования наноразмерных вакуумно-плазменных покрытий системы "металл – углерод", полученных в среде реакционно-способных газов, с использованием стационарных и импульсных потоков плазмы на текстильные материалы и создание базовой технологии для получения изделий специального применения с радиопоглощающими свойствами.

### **Задачи исследования:**

В работе решены следующие задачи: создание наноразмерных композиционных многослойных покрытий, соответствующих требованиям по поглощению электромагнитных излучений (ЭМИ), проведены испытания экспериментальных партий текстильных материалов с покрытиями; разработана основа базовой технологии стационарного и/или импульсного вакуумно-дугового нанесения покрытий.

### **Положения выносимые на защиту:**

1. Композиционные материалы, состоящие из металлизированных покрытий, на текстильной основе обеспечивают высокие значения электроотражения ЭМИ в диапазоне 0,7-18 дБ.

2. Покрытия из наноструктурированных пленок Cu и Ti толщиной до 0,8 микрон позволяют увеличить коэффициент поглощения ЭМИ до 14 дБ.

### **Личный вклад соискателя:**

- методика проведения экспериментальных исследований;
- проведение экспериментальных исследований на скалярном анализаторе цепей;
- анализ полученных результатов.

### **Структура и объем диссертации:**

Работа состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных литературных источников. Общий объем диссертационной работы составляет 64 страниц, 37 иллюстраций, 6 таблиц, 31 наименования литературных источников.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, поставлена цель и сформулированы задачи, сформулирована научная новизна и практическая значимость выносимых на защиту результатов.

В общей характеристике работы сформированы цели и задачи работы, охарактеризована научная значимость полученных результатов, изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту, объяснен личный вклад автора.

В первой главе рассматриваются виды электромагнитных волн, их длины, частоты, источники возникновения.

В таблице 1 приведены виды электромагнитных волн.

Таблица 1 – Виды электромагнитных волн

| Название диапазона   | Длины волн   | Частоты   | Источники  |
|--|--|---|--|
| Радиоволны<br>Сверхдлинные<br>Длинные<br>Средние<br>Короткие<br>Ультракороткие | более 10 км<br>10 км ... 1 км<br>1 км ... 100 м<br>100 м ... 10 м<br>10 м ... 1 мм | Менее 30 кГц<br>30 кГц ... 300 кГц<br>300 кГц ... 3 МГц<br>3 МГц ... 30 МГц<br>30 МГц ... 300 ГГц | Атмосферные явления.<br>Переменные токи в проводниках и электронных потоках (колебательные контуры). |
| Инфракрасное излучение   | 1 мм ...<br>780 нм   | 300 ГГц ...<br>429 ТГц  | Излучение атомов при тепловых и электрических воздействиях   |
| Видимое (оптическое) излучение   | 780 ...<br>380 нм  | 429 ТГц ...<br>750 ТГц  | Солнце, электролампы, люминесцентные лампы, лазеры   |
| Ультрафиолетовое   | 380 ... 10 нм  | $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц ...<br>$3 \cdot 10^{16}$ Гц  | Излучение атомов под воздействием ускоренных электронов.   |
| Рентгеновские  | 10 ...<br>$5 \cdot 10^{-3}$ нм   | $3 \cdot 10^{16}$ ... $6 \cdot 10^{19}$ Гц  | Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц.                                       |
| Гамма  | менее<br>$5 \cdot 10^{-3}$ нм  | более $6 \cdot 10^{19}$ Гц  | Ядерные и космические процессы.  |

Также в главе описано взаимоотношение электромагнитных волн с материалами и средой путем отражения и поглощения.

На рисунке 1 представлено схематическое изображение падающего, отраженного и преломленного лучей.



Рисунок 1 – Схематическое изображение падающего, отраженного и преломленного лучей

Во второй главе приведен обзор антропогенных источников ЭМИ.

Антропогенные источники ЭМИ можно разделить на следующие группы:

- системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии постоянного и переменного тока (0-3 кГц): электростанции, линии электропередачи, трансформаторные подстанции, системы электроснабжения, бытовые приборы;

- транспорт на электроприводе (0-3 кГц): железнодорожный транспорт и его инфраструктура, городской транспорт - метрополитен, троллейбусы, трамваи и т. п. – является относительно мощным источником магнитного поля в диапазоне частот от 0 до 1000 Гц. Максимальные значения плотности потока магнитной индукции  $B$  в пригородных "электричках" достигают 75 мкТл при среднем значении 20 мкТл;

- функциональные передатчики: радиовещательные станции низких частот (30 - 300 кГц), средних частот (0,3 - 3 МГц), высоких частот (3 - 30 МГц) и сверхвысоких частот (30 - 300 МГц); телевизионные передатчики; базовые станции систем подвижной (в т. ч. сотовой) радиосвязи; наземные станции космической связи; радиорелейные станции; радиолокационные станции.

В третьей главе описан процесс экранирования ЭМИ. Представлены пассивные методы защиты информации, предназначенные для предотвращения или существенного затруднения перехвата информации по техническим каналам за счет снижения соотношения сигнал/шум на входе средства технической разведки путем уменьшения уровня сигнала.

Процесс экранирования электромагнитного поля при падении плоской волны на бесконечно протяженную металлическую пластину толщиной  $d$ , находящуюся в воздухе (рисунок 2).

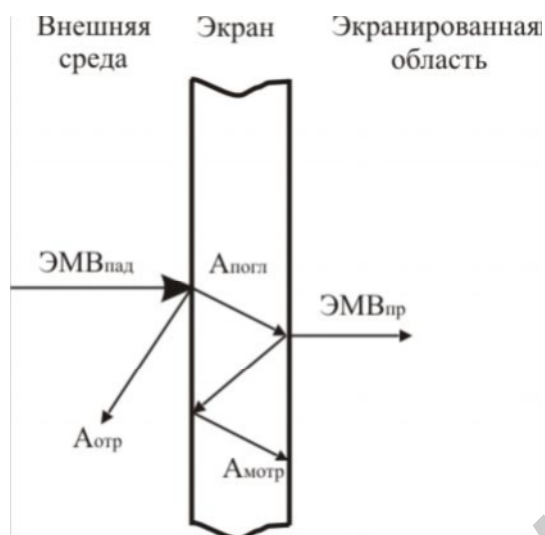


Рисунок 2 – Экранирование электромагнитного поля металлическим экраном

Общая эффективность экранирования (величина потерь энергии электромагнитной волны) металлической пластиной определяется суммой потерь за счет поглощения (затухания) энергии в толще материала  $A_{\text{погл}}$ , отражения энергии от границ раздела внешняя среда–металл и металл–экранируемая область  $A_{\text{отр}}$  и многократных внутренних отражений в стенках экрана  $A_{\text{мотр}}$  (формула 1):

$$A_{[\text{дБ}]} = A_{\text{погл}} + A_{\text{отр}} + A_{\text{мотр}}. \quad (1)$$

В главе приведена классификация материалов, используемых для изготовления экранов ЭМИ (рисунок 3).



Рисунок 3 – Классификация конструкций экранов электромагнитного излучения.

В четвертой главе описаны материалы, методики и оборудование для проведения исследований.

Для создания экспериментальных образцов экранирующих материалов были использованы: льняная, хлопкополиэфирная, полиамидная и полиэфирная ткани.

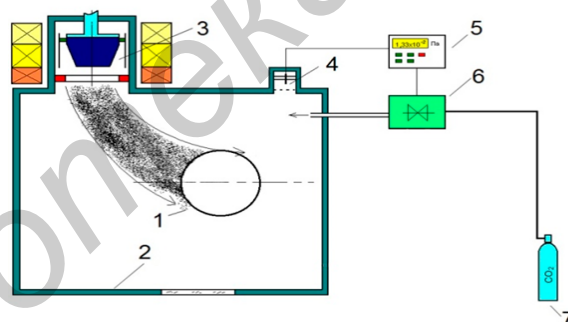
Исследование режимов нанесения материалов выполнялось с использованием метода конденсации с ионной бомбардировкой в вакууме. Технология реализована на установке УВНИПА-1-001, оборудованной импульсными плазменными ускорителями с четверть - тороидальными сепараторами плазменного потока, источником питания для подачи напряжения смещения на подложки, оснасткой для установки подложек в вакуумной камере (рисунок 4). Установка включает вакуумную рабочую камеру для нанесения покрытий и все необходимые системы - вакуумную, электрическую, газовую, водную (рисунок 5). Конструкция установки предусматривает возможность нанесения различных по составу покрытий на разнообразные основания - от плоских подложек до конструкций сложной формы. В вакуумной камере размещены катоды, выполненные из необходимых материалов. Между корпусом камеры и катодом создается электрическая дуга. Из катодного пятна испускаются ионы, электроны и нейтральные частицы, которые направленным потоком бомбардируют изделие.

Для напыления использовались медь и титан. Напыление выполняли при следующих параметрах: остаточное давление  $3 \cdot 10^{-3}$  Па, давление газа  $1,5 \cdot 10^{-1}$  Па, ток катодной дуги 55 А, время осаждения 5–20 мин, толщина покрытия 0,1–1,5 мкм.





Рисунок 4 – Установка УВНИПА-1-001



- 1- основа;
- 2- вакуумная камера;
- 3- источник металлической плазмы;
- 4 -датчик вакуума;
- 5 – вакуумметр;
- 6 - система напуска газа;
- 7 – газовый баллон;

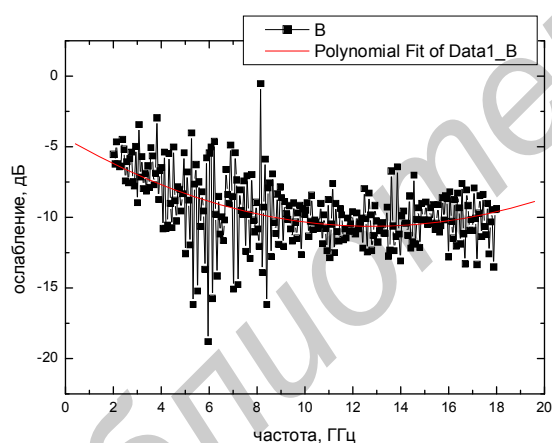
Рисунок 5 – Схема процесса нанесения

На анализаторе скалярных цепей Р2М -18/2 проводились исследования экранирующих характеристик (коэффициентов ослабления и отражения) полученных текстильных материалов с металлическими покрытиями (рисунок 6).



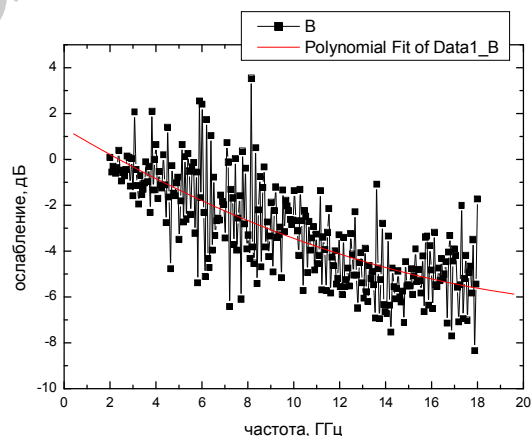
Рисунок 6 – Анализатор цепей скалярный P2M -18/2

Значения коэффициентов ослабления и отражения льняной ткани, покрытой  $\text{Cu}$ , в диапазонах 2–18 ГГц, показаны на рисунках 7 и 8, соответственно.



а

а — осажденным в вакууме



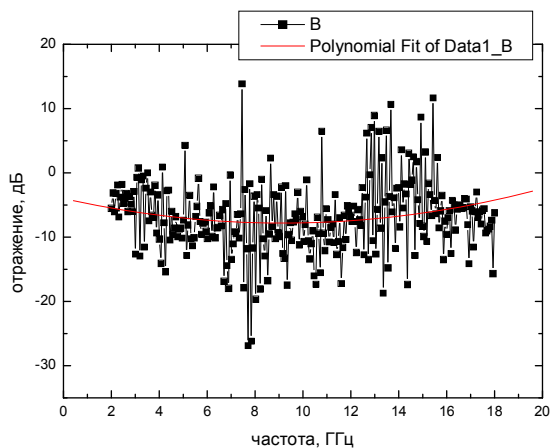
б

б — осажденным в среде  $\text{CO}_2$

Рисунок 7 – Значения коэффициентов ослабления льняной ткани с покрытием из  $\text{Cu}$  в диапазоне 2–18 ГГц

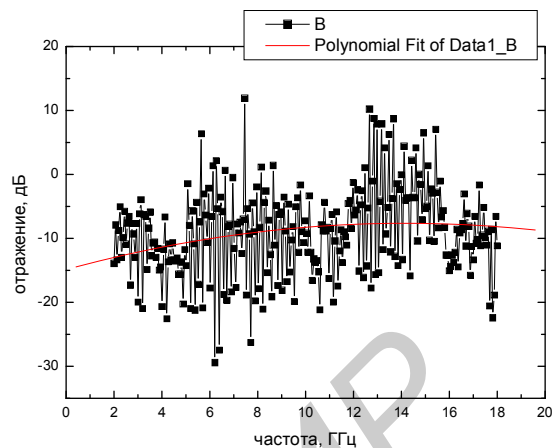
При осаждении в вакууме значение коэффициента ослабления на частотах от 2-11 ГГц изменяется от -6дБ до -10дБ, начиная с частоты 11ГГц изменяется от -10дБ до -8дБ.

При осаждении в среде  $\text{CO}_2$  значение коэффициента ослабления на всех частотах изменяется от 0 до -5дБ.



а

а — осажденным в вакууме



б

б — осажденным в среде CO<sub>2</sub>

Рисунок 8 – Значения коэффициентов отражения льняной ткани с покрытием из Si в диапазоне 2–18 ГГц

При осаждении в вакууме значение коэффициента отражения на частотах от 2 до 10 ГГц изменяется от -5дБ до -6дБ, от 10 до 18ГГц изменяется -6дБ до -5дБ.

При осаждении в среде CO<sub>2</sub> значение коэффициента отражения на всех частотах изменяется -14 дБ до -8 дБ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали перспективность использования гибких электромагнитных экранов и поглотителей электромагнитного излучения на основе текстильных материалов с металлическими покрытиями и их высокую эффективность в диапазоне 0,7-18 дБ:

1. Композиционные материалы, состоящие из металлизированных покрытий, на текстильной основе обеспечивают высокие значения электроотражения ЭМИ в диапазоне 0,7-18 дБ.

2. Покрытия из наноструктурированных пленок Cu и Ti толщиной до 0,8 микрон позволяют увеличить коэффициент поглощения ЭМИ до 14 дБ.

Из всех исследуемых образцов ткани наилучшим образом проявил себя лен с покрытием из Cu, осажденным в вакууме. Такой материал имеет наибольший коэффициент ослабления до -10 дБ в диапазоне частот от 2-18 ГГц. Лен с покрытием из Cu, осажденным в среде CO<sub>2</sub>, показал значение коэффициента отражения: до -14 дБ в диапазоне частот от 2-18 ГГц.

Взаимодействие ЭМИ с тонким металлическим слоем обеспечивает его эффективность поглощения, благодаря многократному отражению внутри его металлического слоя меди и титана и уменьшению соотношения сигнал/шум.

Основные преимущества тонкопленочных радиопоглощающих покрытий, состоящих из наноструктурированных пленок меди и титана на основе из ткани: использование одного вида покрытий с высокими значениями коэффициентов отражения в диапазоне частот 0,7–18 ГГц; высокие механическая прочность и термостойкость; экологически чистая и безотходная технология получения.

Полученные результаты помогут создать экранирующие материалы, которые могут быть использованы в защите информации, защите техники. Важно то, что для формирования композитов используются достаточно дешевые материалы, как основы, так и осаждаемого материала. Такая технология может быть легко масштабирована для изготовления как опытных, так и промышленных партий материалов.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

Поболь И.Л., Поболь А.И., Леонович С.С. Современные электронно-лучевые технологии получения соединений и инженерии поверхности / МНТК «Новые технологии и материалы, автоматизация производства». Брест, 2-3 ноября 2016 г. с. 141-144.

Библиотека БГУИР