

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.3.085.345-026.66

Мукасеев
Дмитрий Александрович

Формирование 2D и 3D структур с использованием электронно – лучевого
воздействия для экранов электромагнитного излучения

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 2018

ВВЕДЕНИЕ

Текстильные материалы с нанесенными на них покрытиями с высокой адгезией к основе необходимы в разных областях техники для обеспечения защиты различных объектов (приборы, изделия, рабочие места и т.д.) от воздействия электромагнитных радиоизлучений в процессе их эксплуатации. Нанесение покрытий на текстильные материалы с экранирующими радиоизлучение характеристиками является важной задачей, успешное решение которой позволит найти новые области применения, и повысить конкурентоспособность продукции.

Получены образцы текстильных материалов из натуральных и синтетических волокон с покрытиями из различных металлов и углерода.

Проведены исследования и получены результаты, на основании которых отлажен процесс формирования тонкопленочных покрытий на текстильных материалах осаждением металлов из высокоэнергетических потоков электродуговой плазмы.

Проведенные исследования экранирующих радиоизлучение характеристики текстильных материалов с металлическими покрытиями являются научным заделом для разработки технологии создания материалов многоцелевого назначения, защищающих человека и радиочастотную технику от воздействия внешних радиоизлучений в ВЧ- и СВЧ-диапазонах частот.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований

Тема диссертационной работы соответствует подразделу 13 «Безопасность человека, общества, государства» приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016-2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 12 марта 2015 г., № 190. Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Цели и задачи исследования

Цель работы – разработка метода осаждения покрытий на текстильные материалы, в том числе на наноразмерном уровне, для экранов электромагнитного излучения.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих методов защиты от электромагнитных излучений.
2. Разработать методику нанесения защитных покрытий на текстильные материалы с использованием электронно-лучевого и электродугового метода.
3. Провести измерения экранирующих радиоизлучение характеристик полученных текстильных материалов с металлическими покрытиями.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертации обсуждались на 53-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (Минск, 2017).

Опубликованность результатов диссертации

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликована 1 работа, в том числе 1 статья в сборнике «Тезисы докладов 53 научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР» (Минск, 2017).

Личный вклад магистранта

1. Проведены исследования и получены результаты, на основании которых отлажен процесс формирования тонкопленочных покрытий на текстильных материалах.
2. Проведены исследования экранирующих радиоизлучение характеристик текстильных материалов с металлическими покрытиями.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Электромагнитные излучения (ЭМИ) представляют собой переменное во времени электромагнитное поле (ЭМП), распространяющееся в пространстве с конечной скоростью, зависящей от свойств среды.

Экранирование электромагнитных волн (ЭМВ) является основой экологической безопасности и одним из самых действенных средств защиты объекта от утечки информации по техническим каналам.

Для создания благоприятной электромагнитной обстановки и для обеспечения требований по электромагнитной безопасности объекта, которая включает в себя и противодействие несанкционированному доступу к информации с использованием специальных технических средств, производится экранирование электромагнитных волн.

Под экранированием в общем случае понимается как защита приборов от воздействия внешних полей, так и локализация излучения каких-либо средств, препятствующая проявлению этих излучений в окружающей среде. В любом случае эффективность экранирования – это степень ослабления составляющих поля (электрической или магнитной), определяемая как отношение действующих значений напряженности полей в данной точке пространства при отсутствии и наличии экрана.

Высокий интерес вызывают конструкции электромагнитных экранов из текстильных материалов отличающихся, с одной стороны, улучшенными механическими характеристиками и гибкостью, а с другой – позволяющих реализовать более высокую эффективность поглощения за счет использования особенностей распространения ЭМВ в волокнистых средах.

Последние разработки в области конструирования гибких электромагнитных экранов и поглотителей ЭМИ, основанные на использовании оборудования легкой промышленности, показали их перспективность и высокую эффективность в СВЧ диапазоне.

В настоящее время наиболее удобным средством защиты человека и приборов от ЭМИ являются металлизированные текстильные полотна, пришедшие на замену металлическим листам и сеткам. Они нашли широкое применение вследствие высокой эффективности экранирования и технологичности применения, т.к. у многих видов сохраняются текстильные свойства. Однако, в зависимости от способа изготовления, металлизированные ткани обладают различными защитными свойствами.

Процесс нанесения вакуумных покрытий на текстильные материалы предполагает реализацию следующих основных стадий:

- образование газовой фазы (генерация паров, летучих продуктов);

- перенос атомов, частиц вещества от источника газовой фазы до покрываемой поверхности;
- взаимодействие частиц газовой фазы с поверхностью и образование покрытия.

Все известные методы нанесения покрытий отличаются способами генерации газовой фазы, режимами и условиями массопереноса и пленкообразования.

При электродуговом нанесении покрытия испарение металла осуществляется в зоне горения дуги вследствие эрозии электрода. Наиболее широкое применение находит дуговое испарение с холодного расходуемого катода.

Магнетронное нанесение покрытий – разновидность диодного катодного распыления. Образование паров распыляемого вещества происходит в результате бомбардировки мишени ионами рабочего газа, которые образуются в плазме аномального тлеющего разряда

При электронно-лучевом нанесении вакуумных покрытий нагрев и испарение вещества осуществляются в результате теплового действия электронов, бомбардирующих испаряемую мишень. Данным методом получают покрытия из сплавов металлов, полупроводников и даже диэлектриков.

На основании анализа текстильных материалов были выбраны наиболее перспективные для использования в качестве основы для построения экранов ЭМИ. Такими являются текстильные материалы из натуральных волокон (лен), а также смеси натуральных и синтетических волокон (хлопок + полиэфир), а также из синтетических волокон.

Для осаждения покрытий использовалась установка вакуумного плазменного нанесения покрытий УВНИПА 1-001, оборудованная штатным плазменным ускорителем непрерывного сепарированного потока плазмы с катодом из титана (СПУ - Ti) или меди (СПУ - Cu), оснащенная специализированной оснасткой для закрепления образцов и ускорителем импульсной плазмы с катодом из углерода (ИПУ - C). Также установка оснащена системой напуска технологического газа, позволяющая использовать до двух различных газов в одном технологическом процессе.

Для исследований влияния количественного соотношения металла и углерода в потоках плазмы на радиозащитные свойства тканого материала с покрытием использовались покрытия из титана, так как медь не образует химические соединения с углеродом.

Измерения экранирующих характеристик проводились с помощью панорамного измерителя коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01-18 в диапазоне от 0,01 до 18 ГГц. Измеритель имеет коаксиальный СВЧ

измерительный тракт сечением 7/3,04 мм. Полосы качания частоты измерителя: при измерении S11 — 0,01–2,15 ГГц и 2–18 ГГц, а при измерении S21 — 0,01–3,0 ГГц и 2–18 ГГц.

По результатам исследований было установлено, что увеличение содержания углерода в покрытии из титана приводит к уменьшению величины коэффициента отражения.

Изготовлены экспериментальные образцы на основе льняной и полиэфирной ткани с покрытиями, сформированными при различных величинах давления реакционно-способного газа (CO₂) (от 0,1·10⁻¹ Па до 2,0·10⁻¹ Па) и времени осаждения покрытий (от 10 мин до 60 мин) для исследования влияния условий осаждения на экранирующие свойства образцов.

Для измерения экранирующих характеристик (коэффициента передачи и коэффициента отражения) материалов использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01-18 с диапазоном от 0,01 до 18 ГГц.

Все измерения делались по одному алгоритму: закрепление образца на оснастке, калибровка оборудования, измерение, сохранение результатов.

При исследовании влияния параметров осаждения на радиозащитные свойства текстильных материалов из зависимостей видно, что увеличение времени осаждения (толщины покрытия) образцы с покрытиями из меди, осаждённой в вакууме, и меди, осаждённой в среде реакционноспособного газа с давлением газа 0,4 Па, приводит к снижению коэффициента передачи образцов от -2,7 до -4,1 дБ. При более высоких значениях давления реакционноспособного газа внутри камеры нанесение покрытий приводит к увеличению коэффициента передачи за счет того, что ионы металла встречают на своём пути больше препятствий (молекул газа), тем самым приводит к снижению скорости осаждения и в следствие чего снижается толщина покрытия.

С точки зрения эффективности защиты объектов от воздействия радиоизлучений лучше использовать текстильные материалы с титановыми покрытиями, осаждёнными в среде реакционноспособного газа.

При анализе результатов исследований установлено, что для увеличения величины ослабления (уменьшения коэффициента передачи) наиболее подходят образцы, осаждённые в вакууме либо в атмосфере реакционноспособного газа, при величине давления газа 0,4 Па. Если при времени нанесения 10 минут величины коэффициентов передачи у всех образцов были практически равными, то увеличение времени нанесения покрытий при давлениях реакционно-способного газа 0,8 и 1,2 Па, привело к наиболее низким величинам ослабления

во всём диапазоне измерений. Исходя из этого выдвинуто несколько предположений:

1. С увеличением времени осаждения покрытий величина коэффициента ослабления увеличится.

2. При уменьшении величины давления реакционноспособного газа величина ослабления, в общем случае, увеличится.

Для подтверждения выдвинутых предположений изготовлены образцы текстильных материалов при уточнённых режимах осаждения покрытий.

Результаты исследований подтвердили, что с увеличением времени нанесения покрытия из титана с 40 до 60 минут коэффициент передачи снижается 2,0 дБ до 3,0 дБ на частотах выше 6 ГГц.

Также было подтверждено предположение о том, что при уменьшении величины давления реакционно-способного газа величина коэффициента передачи снижается. Однако влияние давления газа на величину ослабления не значительно, т.е. при уменьшении давления газа от $4,0 \cdot 10^{-1}$ Па до $1,0 \cdot 10^{-1}$ Па коэффициент передачи снижается в среднем на 0,3 дБ.

Проведены исследования экспериментальных конструкций, выполненных в виде однослойных экранов ЭМИ с временем нанесения покрытий 40 минут и двухслойных, которые были получены путём склеивания отдельных образцов из тканых материалов с разным временем нанесения покрытий - 10 мин и 30 мин. Установлено, что при одинаковом эквивалентном времени напыления 40 минут устройства в два слоя позволяют снизить коэффициент передачи до -3,5 дБ с покрытием меди и -4,0 дБ с покрытием титана. Однослойные соответственно – до -3,0 дБ и -3,7 дБ в диапазоне радиочастот 2-17 ГГц. На основании полученных результатов исследований показано, что чередование слоев с разным временем нанесения покрытий дают более эффективный результат, чем однослойные, но за счет увеличения процесса подготовки основы для нанесения покрытий однослойные более предпочтительны.

По результатам процесса нанесения покрытий составлен алгоритм нанесения покрытий на текстильные материалы.

Алгоритм процесса нанесения покрытий включает:

1. Входной контроль изделий, предназначенных для нанесения покрытия.

2. Загрузка изделий в камеру.

3. Включение привода карусели. Выведение установки на рабочий режим.

4. Нанесение покрытия

5. Выгрузка изделий из камеры

6. Контроль качества покрытия.

Для измерения экранирующих характеристик (коэффициента передачи и коэффициента отражения) полученных текстильных материалов с покрытием проводится на панорамном измерителе коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01 18 с диапазоном от 0,01 до 18 ГГц в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке 5. Генератор качающейся частоты прибора при измерении коэффициента отражения (S_{11}) выставляется в диапазоне частот 0,01–2,15 ГГц и 2–18 ГГц, а при измерении коэффициента передачи (S_{21}) — 0,01–3,0 ГГц и 2–18 ГГц. Количество частотных точек, в которых проводятся измерения, задается равным 256 в каждом из указанных диапазонов.

Все измерения проводятся в следующей последовательности:

- закрепление образца на оснастке;
- калибровка оборудования;
- измерение;
- сохранение полученных результатов измерений.

По полученным результатам измерений делают вывод об эффективности радиозащитных свойств текстильных материалов, от области применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных работ проведен анализ используемых текстильных материалов. Выбраны текстильные материалы, перспективные для использования в качестве основы экранов от радиоизлучений. Критериями выбора текстиля служили состав (натуральные, искусственные, синтетические волокна или нити) материала с учётом его поверхностной плотности.

Изготовлены образцы текстильных материалов из различных материалов основы (лён, хлопкополиэфир, полиэфир) с наноструктурированными металлосодержащими покрытиями для последующего исследования их экранирующих характеристик (коэффициента отражения и коэффициента передачи) в СВЧ диапазоне.

Установлено, что увеличение частоты следования импульсов плазменного потока приводит к увеличению количества углерода в покрытии, что повышает экранирующие свойства текстильных материалов с титан - углеродными покрытиями.

Образцы с покрытиями из чистых металлов лучше использовать в тех случаях, когда важно обеспечить ослабление ЭМИ от защищаемого объекта, в то время как образцы с покрытиями, осаждёнными в среде реакционно-способного газа, больше подходят для отражения ЭМИ.

Установлено, что с точки зрения эффективности защиты объектов от воздействия радиоизлучений лучше использовать текстильные материалы с титановыми покрытиями, осаждёнными в среде реакционноспособного газа.

Установлено, что с увеличением времени нанесения покрытия из титана с 40 до 60 минут коэффициент передачи снижается 2,0 дБ до 3,0 дБ на частотах выше 6 ГГц.

Проведенные исследования текстильных материалов с металлическими покрытиями являются научным заделом для разработки и создания материалов многоцелевого назначения, защищающих человека и технику от радиоизлучений в ВЧ- и СВЧ- диапазонах частот.

СПИСОК ОБУПЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Мукасеев, Д. А. Формирование 2D и 3D структур с использованием электронно–лучевого воздействия для экранов электромагнитного излучения/ Д. А. Мукасеев // Тезисы докладов 53-й науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 2-6 мая 2017 г. – Минск : БГУИР, 2017.