

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

УДК 621.315.5/6; 621.318.1

БОГУШ ВАДИМ АНАТОЛЬЕВИЧ

**КОМПОЗИТНЫЕ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИЕ ВОЛОКНИСТЫЕ
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГИБКИХ ЭКРАНОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**05.27.06 – технология полупроводников и материалов электронной
техники**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Минск 2000

Работа выполнена в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники.

Научный руководитель

д.т.н., проф. Лыньков Л.М.

Официальные оппоненты:

д.х.н., проф. Болнарь И.В.

к.т.н., проф. Улановский А.В.

Оппонирующая организация:

ГП "Минский
научно-исследовательский
институт радиоматериалов"

Защита состоится 27 апреля в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д.02.15.03 при Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники (220027, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, БГУИР, ауд. 232, 1 уч. корп., тел. 239-89-89).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Автореферат разослан 24.03 2000 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Электромагнитная энергия широко используется в радиовещании и телевидении, быту, военной технике, в промышленных установках и технологических процессах для нагрева, закалки иковки металлов, термической обработки диэлектриков и полупроводников. Большую роль электромагнитные излучения (ЭМИ) различных диапазонов частот играют в процессах передачи и получения информации в системах связи, радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, а также в ядерной физике, медицине, радиоспектроскопии и многих других областях науки и техники.

Повышенные уровни электромагнитных полей оказывают отрицательное влияние на биологические объекты, организм человека, усложняют функционирование малоомощного высокоточного измерительного оборудования. Тенденции к увеличению количества радиотехнических средств и усилению мощности их передающих устройств остро ставят проблему электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и радиоэкологии. Наличие нежелательных излучений блоков и устройств связанных и вычислительных систем обуславливает необходимость защиты информации.

Источниками ЭМИ являются электровакуумные приборы (магнетроны, клистроны, лампы обратной и бегущей волны, электронно-лучевые трубки), газоразрядные приборы, полупроводниковые генераторы в телевизионных и радиоприемниках и передатчиках, электронно-вычислительные машины, линии электропередач и т.д. Для излучения волн в пространство используются направляющие системы, называемые в радиотехнике антенными устройствами, поэтому электромагнитные поля формируют не только генераторные приборы, но и устройства передачи, фокусировки электромагнитной энергии, линии связи.

Проблема уменьшения уровня нежелательных электромагнитных излучений решается путем использования электромагнитных фильтров и экранов, изготавливаемых из металлических листов. В большинстве конструкций радиоэлектронных средств экраном является металлический корпус блока или устройства, но часто необходимо использование электромагнитного экрана как отдельного конструктивного элемента. Поэтому остается актуальной проблема создания высокоэффективных широкополосных радиопоглощающих материалов и высокотехнологичных воздухопроницаемых гибких конструкций экранов электромагнитного излучения.

В последнее время в качестве материалов для создания различных конструкций экранов и поглотителей электромагнитного излучения используют композиты, содержащие электропроводящие или ферритовые частицы субмикронных размеров. Перспективными методами создания таких материалов являются формирование нанокристаллической структуры в полимерной матрице и использование волокнистых материалов. Исследования в области разработки, синтеза и структурных свойств волокнистых материалов особенно актуальны с точки зрения практических применений, поскольку позволяют реализовать гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники в рамках госбюджетных НИР по проектам Министерства образования РБ ГБЦ 98-3068, ГБЦ 99-3071, ГБЦ 00-3125, где автор является ответственным исполнителем, и проекта Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь "Физико-химические методы наноразмерного модифицирования волоконистых материалов" (1997-2000 гг., № 97-X052М), который выполняется под руководством автора.

Цель и задачи исследования. Целью работы является установление механизмов и закономерностей процессов химического модифицирования материала целлюлозных и полиакрилонитрильных волокон, их металлизации при различных условиях обработки и разработка новых экранирующих волоконистых материалов и технологических процессов формирования экранов ЭМИ.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести сравнительный анализ современных методов создания экранирующих материалов и экранирования ЭМИ;
- разработать способы металлизации волоконистых материалов;
- разработать методы формирования металлизированных экранирующих материалов по трикотажной технологии;
- провести исследования зависимости экранирующих характеристик трикотажных полотен от способа их формирования и условий обработки волоконистых материалов;
- исследовать влияние параметров процессов химического модифицирования волоконистых материалов, химической сорбции ионов металлов и химического осаждения металлов на механические и электрофизические характеристики волокон;
- разработать новые экранирующие материалы и конструкции экранов ЭМИ.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются полиакрилонитрильные и целлюлозные волоконистые материалы. Предметом исследования являются закономерности, механизмы, кинетика физико-химических процессов, протекающих в объеме и на поверхности волоконистых материалов при их металлизации и оказывающих влияние на характеристики экранов ЭМИ.

Методология и методы проведенного исследования. При решении поставленных задач использовали широко известные методы исследования элементного, фазового состава, микроструктуры и сорбционных, электрофизических свойств материалов.

Контроль элементного и фазового состава, структуры материалов осуществляли методами рентгеноструктурного и рентгенофлуоресцентного анализа, Оже-электронной и инфракрасной спектроскопии на установках ДРОН 2.0, РН1-660, JVAR, БРА-15-03. Исследование поверхности проводили методом электронной просвечивающей микроскопии. Сорбционные свойства определяли методами химического анализа. Для определения влияния условий получения материалов на их электрофизические характеристики использовали цепочку векторных анализаторов цепей и антенную измерительную технику.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Разработаны методики химического модифицирования трикотажных полотен из полиакрилонитрила и целлюлозы. Определены механизмы и установлены параметры процессов химического модифицирования полиакрилонитрила, позволяющие получать хемосорбционные волокна с емкостью по отношению к ионам металлов до 5 ммоль/г.

2. Впервые методом химического осаждения никеля с использованием палладирования получены композиционные покрытия на полиакрилонитрильных волокнах и исследованы их структура и электрофизические свойства. Установлено влияние условий получения покрытий на размеры формируемых на поверхности волокон кристаллитов металлического никеля (2-4 нм) и получены волокна с удельным электрическим сопротивлением $\leq 10^{-3}$ Ом·м.

3. Установлено, что при синтезе никельсодержащих волокон из полиакрилонитрила методом химического осаждения никеля с использованием в качестве каталитических центров кластеров никеля, формируются металлсодержащие материалы с мелкодисперсной, слабоупорядоченной структурой, характеризующейся межплоскостными расстояниями $\sim 5,154$ и $2,777$ Å. Удельное электрическое сопротивление полученных волокон $2,5 \cdot 10^{-3}$ Ом·м.

4. Установлено, что при синтезе кобальтсодержащих волокон из полиакрилонитрила методом химического осаждения с использованием каталитических центров из кластеров кобальта, формируются материалы с мелкодисперсной, слабоупорядоченной структурой с межплоскостными расстояниями $5,1547$; $4,343$ и $3,571$ Å. Удельное электрическое сопротивление полученных волокон $5 \cdot 10^{-2}$ Ом·м.

5. Установлен характер взаимодействия электромагнитного излучения с синтезированными материалами. Показано, что никельсодержащие материалы эффективно ослабляют электромагнитное излучение на 10-40 дБ в частотном диапазоне от 0,1 МГц до 118 ГГц за счет отражения электромагнитной волны. Установлено, что кобальтсодержащие материалы обладают коэффициентом отражения ЭМИ не превышающем – 15дБ и эффективностью экранирования 5-25 дБ в диапазоне частот 2-118 ГГц.

Практическая значимость полученных результатов.

1. Впервые предложено использование трикотажной технологии для создания наборных элементов гибких конструкций экранов электромагнитного излучения. Разработана технология формирования упорядоченной металлизированной структуры трикотажного полотна с использованием методов вакуумной и химической металлизации, а также методами встраивания металлизированных нитей и микропроводов

2. Разработаны методики синтеза никельсодержащих и кобальтсодержащих волокнистых материалов для наборных элементов гибких конструкций экранов электромагнитного излучения путем химического восстановления ионов металлов из водных растворов и новая методика для стабилизации электрофизических свойств синтезированных материалов поверхностно-активными веществами.

3. Предложены и разработаны объемные конструкции экранов электромагнитного излучения, содержащие в качестве наборных слоев трикотажные полотна из во-

локнистых металлсодержащих материалов, позволяющие создавать гибкие экранирующие и радиопоглощающие и имитирующие материалы с коэффициентом отражения до -25 дБ и эффективностью $10-70$ дБ в диапазоне $0,1$ МГц – 118 ГГц.

Результаты диссертационной работы внедрены в КБ "Прибор" (г. Минск) для разработки элементов конструкции специализированных помещений, и используются в Высшем колледже связи (г. Минск) в учебном процессе в курсах "Охрана труда и промышленная экология" и "Почтовая безопасность".

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Использование хлористого палладия в качестве катализатора при синтезе волокнистых электропроводных металлсодержащих материалов методом химического никелирования волокон полиакрилонитрила позволяет формировать на поверхности волокон металлические кристаллиты никеля размером ~ 4 нм.

2. При синтезе электропроводящих никель- и кобальтсодержащих волокнистых материалов на основе модифицированного полиакрилонитрила путем химической сорбции ионов осаждаемого металла с последующим их восстановлением формируются материалы с мелкодисперсной, слабоупорядоченной структурой с характеристическими межплоскостными расстояниями $\sim 5,154$ и $\sim 5,1547$ Å, соответственно.

3. Обработка металлсодержащих волокнистых материалов в бутаноле и силиконовом масле приводят к стабилизации электропроводящих свойств волокон.

4. Формирование объемных конструкций на основе гибких наборных металлсодержащих элементов из трикотажа позволяют создавать гибкие экраны электромагнитного излучения с эффективностью $5-70$ дБ в диапазоне частот $0,1$ МГц – 118 ГГц.

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации отражает личный вклад автора. Он заключается в подготовке и проведении теоретического анализа методов и средств экранирования электромагнитных излучений, подготовке и постановке экспериментов по химическому синтезу, в проведении измерений электрофизических свойств волокнистых материалов и характеристик трикотажных экранов. Определение цели и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводилось совместно с научным руководителем д.т.н. Л.М. Лыньковым и соавтором работ к.х.н. В.П. Глыбыным.

Апробация результатов диссертации. Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на II, III, IV международных конференциях "Современные средства связи" (Нарочь, 1997г., 1998г., 1999г.), V, VI, VII республиканских научных конференциях аспирантов и студентов "Физика конденсированных сред" (Гродно, 1997г., 1998г., 1999г.), V европейском симпозиуме "Advances in Lignocellulose Chemistry for Ecological Friendly Pulping and Bleaching Technologies" (Aveiro, 1998), III республиканской научно-технической конференции "Новые материалы и технологии" (Минск, 1998), международной научно-технической конференции "Новые информационные технологии в науке и производстве" (Минск, 1998), 14 международной конференции по фосфорной химии (Сцинцинатти, США, 1997), международной конференции "Nanomeeting-99" (Минск, 1999), XIX Всероссийском Чугаевском совещании по химии комплексных соединений (Иваново, Россия, 1999), второй междуна-

родной научно-технической конференции "Проблемы безопасности жизнедеятельности" (Солигорск, 1997), XVI Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (С.-Петербург, 1998), международной конференции ICSSC'98 (Засоране, 1998), I международной научно-технической конференции студентов и аспирантов "Техника и технология связи" (Минск, 1999).

Опубликованность результатов. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 24 печатных работах общим объемом 125 страниц. По материалам диссертационной работы опубликовано 2 статьи в научных журналах, 13 статей в научно-технических журналах и сборниках материалов конференций и 6 тезисов докладов в сборниках тезисов конференций. Подана 1 заявка РБ на изобретение, издано 2 учебных пособия.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из общей характеристики работы, четырех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, списка использованных источников и двух приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 176 страниц, из которых 99 страниц машинописного текста. Она включает 104 рисунка на 49 страницах, 26 таблиц на 10 страницах, библиографию из 177 наименований на 12 страницах и 2 приложения на 2 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы определено основное направление обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задачи работы, изложены положения, выносимые на защиту, охарактеризована научная новизна, научная и практическая значимость полученных в работе результатов.

В первой главе представлен анализ современных методов и средств экранирования электромагнитного излучения, приведена классификация источников и рецентов электромагнитных полей. Описаны основные характеристики электромагнитных полей и их влияние на биологические системы. Из анализа известных литературных данных выявлены следующие механизмы подавления электромагнитного излучения: поглощение электромагнитной энергии за счет магнитных и диэлектрических потерь в материале экрана и отражение электромагнитной волны от границ раздела сред с различными волновыми сопротивлениями. В качестве характеристик материала, определяющих его экранирующие свойства, выделены относительная диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость и проводимость.

Показано, что создание широкополосных высокоэффективных экранов электромагнитного излучения возможно на основе композиционных материалов, представляющих собой смесь проводящих или магнитных частиц в диэлектрическом связующем, а также материалов с контролируемыми электрическими и магнитными свойствами.

Рассмотрены основные конструктивно-технологические особенности создания материалов для электромагнитных экранов. Приведено описание жестких конструкций радиопоглощающих экранов, классифицированные по нескольким признакам: резонансные (четвертьволновые), многослойные с чередованием слоев, с градиентом элек-

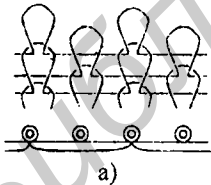
трических и магнитных свойств и экраны с геометрическими неоднородностями. Отмечено, что для получения облегченных конструкций экранов электромагнитного излучения перспективным является использование пористых и волокнистых материалов, формирование неорганических включений, в которых можно осуществить недорогими и простыми методами.

Определены проблемы получения композиционных волокнистых материалов, способных подавлять электромагнитные излучения, а также создания гибких эластичных экранирующих и поглощающих конструкций электромагнитных экранов, сформулированы основные задачи диссертационной работы.

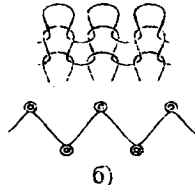
Во второй главе приведены методика и результаты исследования экранирующих характеристик металлизированных трикотажных полотен. Дана сравнительная характеристика различных способов получения полотен из волокнистых материалов и отмечены преимущества трикотажной технологии формирования материалов по сравнению с тканой и нетканой.

На основании анализа существующих методов изготовления продукции легкой промышленности определены перспективные способы формирования гибких конструкций экранов электромагнитного излучения, использующие высокопроизводительное, неприхотливое к сырью и высокотехнологичное трикотажное оборудование. Показана возможность создания большого многообразия пространственных конфигураций составляющих полотно нитей и высокоэластичных конструкций экранов.

Разработана и предложена методика формирования гибких конструкций экранов путем вакуумной металлизации трикотажных полотен или с использованием металлического микропровода. Исследованы экранирующие свойства экспериментальных образцов, представляющих собой отрезки трикотажных полотен, сформированных переплетениями "производная гладь" и "ластик" (рис.1), при изготовлении которых использован микропровод различного диаметра из нескольких материалов (нержавеющая сталь, никель, медь). Предложены способы введения металла в структуру полотна (рис.2).



а)



б)

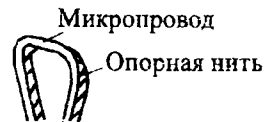


Рис.2. Петля из микропровода
с ассистирующей нитью

Рис.1. Переплетения а) производная гладь,
б) ластик

Исследованы основные закономерности взаимодействия электромагнитных излучений с трикотажными экранирующими полотнами. Показано, что основными факторами, влияющими на эффективность трикотажных экранов, являются вид и геометрические параметры используемого переплетения, диаметр и материал используемого микропровода (рис. 3, 4).

Установлено, что широкополосными и эффективными являются экраны, полученные на вязальных машинах высокого класса и, следовательно, имеющие высокую плотность и обладающие высокой электропроводностью. В диапазоне нижних частот 0,1-100 МГц более эффективными оказываются полотна, содержащие микропровод большего диаметра (0,08 мм), однако при увеличении частоты эффективность образцов снижается.

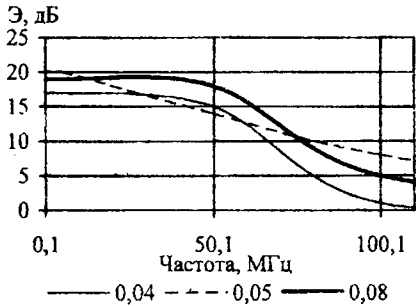


Рис.3. Зависимость характеристик трикотажных экранов от диаметра микропровода (диаметр в мм)

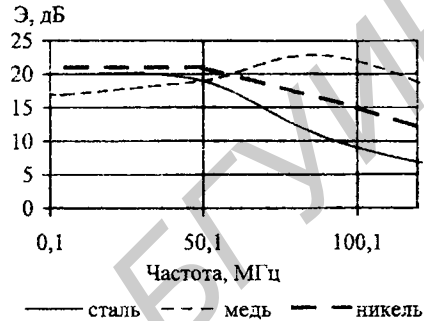


Рис.4. Зависимость характеристик трикотажных экранов от материала микропровода

При исследовании характеристик материалов, изготовленных с ассистирующей нитью и без нее, определено, что эффективность материалов из одиночного микропровода выше, что обусловлено обеспечением электрического контакта в местах переплетения проводников и уменьшением активного сопротивления полотна.

Разработана методика исследования экранирующих свойств материалов в диапазоне частот 1,5-118 ГГц с помощью векторных анализаторов цепей, заключающаяся в измерении S-параметров пассивного четырехполюсника, в качестве которого выступает трикотажный экран. Определены погрешности измерения амплитуды и фазы коэффициентов передачи и отражения (S_{21} и S_{11}).

Предложена методика создания гибких металлизированных трикотажных экранов с тонкопленочными покрытиями железа и никеля, нанесенными методами вакуумного распыления. Установлены режимы формирования покрытий на трикотажной основе, обладающих высокой адгезией к подложке. В результате изучения электромагнитных свойств обнаружено, что эффективность экранирования электромагнитного излучения повышается при формировании на поверхности материала многослойных металл-диэлектрических покрытий и использовании нескольких слоев трикотажного полотна с металлическим покрытием. Эффективность трикотажных экранов с покрытием из никеля достигает 15 дБ.

При исследовании экранирующих свойств трикотажных полотен комбинированного переплетения ластик-гладь, на лицевую сторону которых было нанесено покрытие содержащее тонкие слои нитрида и оксида никеля, никеля и оксида титана, было обнаружено уменьшение коэффициента отражения таких материалов в диапазоне

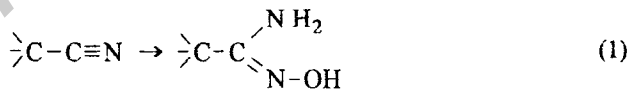
частот 17-27 ГГц при падении ЭМИ с изнаночной стороны полотна. Предложено создание градиентной металл-диэлектрической многослойной структуры в трикотажном экране для уменьшения коэффициента отражения электромагнитной волны от границы раздела воздух-экран.

В третьей главе разработаны методика модифицирования волокнистого полиакрилонитрила и целлюлозы, методики химического никелирования полиакрилонитрильных волокон и установлены оптимальные режимы синтеза электропроводящих волокнистых материалов, содержащих никель; кобальт, сплавы Ni-Co и Ni-Fe, а также сульфиды меди (I) и (II).

Представлен анализ физико-химических свойств полиакрилонитрильных и целлюлозных волокон, определены возможности модифицирования их материала. Установлены закономерности процессов химического модифицирования волокнистых материалов. Впервые применена методика обработки полиакрилонитрила (ПАН) в гидроксиламине и фосфорилирования целлюлозы для модифицирования материала волокон. Экспериментально установлены оптимальный состав растворов для химической обработки ПАН и хлопка. Обнаружено, что модифицированные волокна проявляют сорбционные свойства по отношению к ионам металлов: Cu^+ , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Ti^{2+} , Ti^{3+} . Показано, что статическая ионообменная емкость модифицированных волокон достигает уровня 5 ммоль/г по отношению к ионам Cu^{2+} .

Проведены исследования структуры экспериментальных образцов, представляющих собой отрезки полиакрилонитрильных или целлюлозных трикотажных полотен, на различных этапах обработки. Исследования проводили методами дифракции рентгеновского излучения на установке ДРОН 2.0 с использованием фильтрованного $\text{Cu}_{K\alpha}$ (длина волны $\lambda=1,5417737 \text{ \AA}$) и $\text{Co}_{K\alpha}$ излучения. Установлено, что полиакрилонитрильные волокна имеют рентгеноаморфное строение, при модифицировании хлопка образуется фосфат целлюлозы.

Методами ИК-спектроскопии (рис.5) показано, что модифицирование полиакрилонитрила происходит за счет активации связей углерод-азот в молекулах полимера по схеме:



Исследовано влияние модифицирования полиакрилонитрила на механические характеристики волокон. Показано, что разрывная нагрузка и разрывное удлинения уменьшаются в процессе обработки волокнистого полиакрилонитрила. Установлена оптимальная температура модифицирования, равная 75°C, при которой достигается максимальная ионообменная емкость (2 ммоль/г) при сохранении гибкости и прочности волокон.

Разработана методика химического осаждения никеля из водных растворов с использованием в качестве катализатора хлористого палладия и описаны режимы синтеза волокнистых материалов, содержащих наноразмерные частицы никеля. Восстановление никеля в растворе осуществляли гипофосфитом при температуре 80-90°C,

при этом скорость осаждения составляет 5 мкм/час. Методами анализа дифракции рентгеновского излучения осуществлена идентификация металлического никеля по параметрам кристаллической решетки (рис.6). Показано, что синтезированные волокна содержат мелкодисперсные кристаллиты металлического никеля. Установлено, что при длительности синтеза 90 минут синтезируются металлические кристаллиты размером ~4 нм.

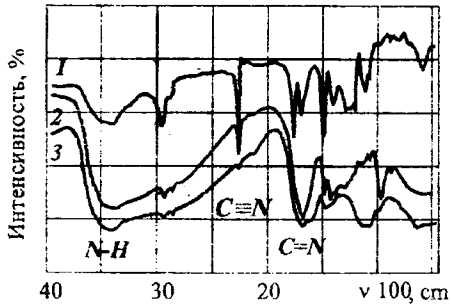


Рис.5. ИК-спектр образцов полиакрилонитрильных волокон на различных этапах обработки: 1-исходное волокно, 2-модифицированное волокно, 3-волокно после сорбции Cu^{2+}

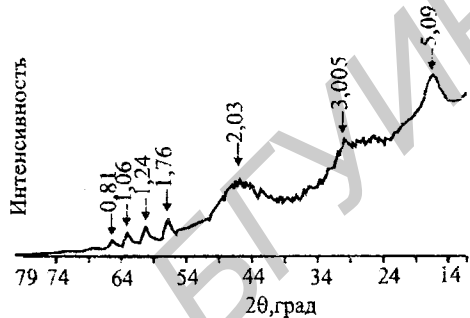


Рис.6. Дифрактограмма модифицированного полиакрилонитрила после химического осаждения никеля (катализатор Pd)

Определены зависимости электрофизических свойств синтезированных материалов от параметров технологического процесса осаждения, и показана возможность изменения электропроводящих свойств композитных волокнистых материалов за счет увеличения концентрации осаждаемого металла. Установлено, что электрическое сопротивление полиакрилонитрильных волокон, содержащих 17% масс никеля, составляет $2,5 \cdot 10^{-3}$ Ом·м.

Разработана методика осаждения никеля и кобальта на поверхность волокнистого полиакрилонитрила и хлопка, и проведены исследования элементного состава, структуры, поверхности, электрофизических свойств синтезированных материалов. Особенности осаждения заключаются в создании каталитических центров путем предварительной химической сорбции и восстановления ионов осаждаемого металла из водного раствора. Осаждение осуществляли из водных растворов с использованием в качестве восстановителя дитионита натрия при температуре 40-50°C.

Исследования элементного состава и структуры синтезированных материалов проводили методами Оже-спектроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа. Экспериментально установлено присутствие атомов никеля и кобальта в синтезируемом волокнистом материале (рис.7).

Методами рентгеновской дифрактометрии установлен слабоупорядоченный, мелкодисперсный, поликристаллический характер структуры синтезируемого вещества. Межплоскостные расстояния кристаллитов, соответствующие характерным пикам

на дифрактограммах, равны $\sim 5,154$ и $2,777$ Å для никельсодержащих волокон и $5,1547$; $4,343$ и $3,571$ Å для кобальтсодержащих волокон, соответственно (рис. 8,9).

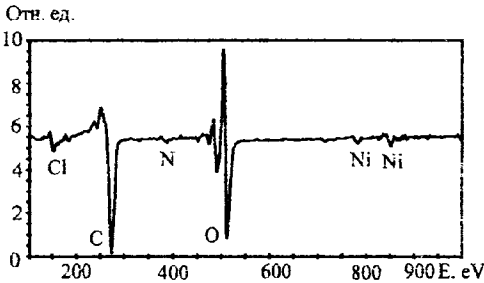


Рис.7. Оже-спектр волоконистого материала, полученного осаждением никеля на модифицированный полиакрилонитрил путем химической сорбции

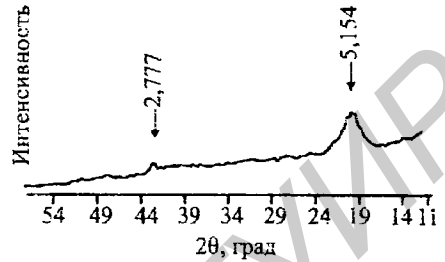


Рис.8. Дифрактограмма модифицированного полиакрилонитрила после химического осаждения никеля по сорбционной методике

Проведены исследования поверхности волокон. Установлено, что осадок никеля и кобальта, полученный методом химической сорбции, имеет неоднородную кластерную структуру (рис.10).

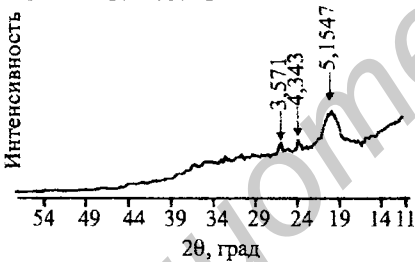


Рис.9. Дифрактограмма модифицированного полиакрилонитрила после химического осаждения кобальта по сорбционной методике



Рис.10. Внешний вид модифицированных волокон ПАН с кластерами кобальта, полученных по сорбционной технологии

Представлены результаты исследований электрофизических характеристик металлсодержащих материалов, в результате которых установлена взаимосвязь между параметрами процесса осаждения никеля и величиной удельной электропроводности материала, а также определены факторы, оказывающие влияние на временную стабильность характеристик материалов. Разработаны методики синтеза волоконистых никель- и кобальтсодержащих материалов с удельным электрическим сопротивлением $2,5 \cdot 10^{-3}$ Ом·м и $5 \cdot 10^{-2}$ Ом·м, соответственно.

Установлено, что происходит окисление осажденного металла кислородом воздуха, и уменьшение электропроводности материала в течение 5 ч с окончания синтеза. Определен лимитирующий фактор в процессе окисления металлической фазы мате-

риалов, которым является транспорт кислорода к реакционным центрам на начальном этапе и диффузия кислорода на установившемся участке. Длительность первой стадии составляет от нескольких секунд до 1,5 ч в зависимости от размеров металлических частиц.

Предложена методика стабилизации электрофизических свойств синтезированных веществ с помощью поверхностно-активных веществ. Экспериментально показано, что наиболее эффективным является использование низкомолекулярных поверхностно-активных веществ, в частности бутанола.

Показана возможность осаждения на поверхность волокнистых материалов сплавов металлов Ni-Co и Ni-Fe из водных растворов путем совместной сорбции и восстановления ионов. Установлены оптимальные режимы синтеза волокнистых материалов, содержащих сплавы металлов. Исследован элементный состав материалов и определено соотношение атомов металлов в осажденном на поверхность полиакрилонитрильных волокон сплаве.

Предложена методика формирования волокнистого полиакрилонитрила, содержащего наноразмерные частицы сульфида меди (II) и сульфида меди (I). Исследована структура волокон и установлено, что в материале формируются кристаллиты соединений CuS и $Cu_{1,96}S$. Удельное электрическое сопротивление CuS содержащих материалов, определенное двухзондовым методом, равно $86 \cdot 10^{-3}$ Ом-м, а содержащих $Cu_{1,96}S$ - $31,5 \cdot 10^{-3}$ Ом-м.

В четвертой главе представлены результаты исследования экранирующих и радиопоглощающих в частотном диапазоне 0,1 МГц – 118 ГГц свойств волокнистых материалов, содержащих никель, кобальт, сплавы никеля с кобальтом и железом, а также сульфиды меди.

Установлено, что эффективность экранирования электромагнитных излучений в диапазоне частот 10-1000 МГц материалами, полученными химическим никелированием волокон полиакрилонитрила с использованием палладия в качестве катализатора, составляет ~20 дБ, и увеличивается при повышении частоты, достигая значения ~50 дБ в диапазоне 15-118 ГГц. Показано, что подавление излучения обеспечивается в основном за счет отражения электромагнитной волны.

Исследована частотная зависимость эффективности экранирования и поглощения электромагнитного излучения никельсодержащими материалами, синтезированными путем химической сорбции. Установлено, что в частотном диапазоне 0,1 МГц – 118 ГГц, эффективность экранирования изменяется от 10 до 40 дБ, из которых не более 10 дБ обеспечивается за счет поглощения энергии электромагнитного поля. Экспериментально показано, что частотная характеристика эффективности трикотажного экрана из никель- и кобальтсодержащих волокон не зависит от поляризации падающей электромагнитной волны.

Исследованы экранирующие свойства трикотажных полотен, сформированных из кобальтсодержащих волокнистых полиакрилонитрила и хлопка, в зависимости от условий их синтеза. Экспериментально показано, что материалы обладают коэффициентом отражения ЭМИ в диапазоне частот 2-118 ГГц не превышающем -15 дБ. Уста-

новлено, что эффективность экранирования кобальтсодержащих материалов не превышает уровня 5 дБ на частотах до 25 ГГц, и увеличивается с повышением частоты.

Исследованы зависимости характеристик трикотажных экранов от их конструкции. Установлено, что использование в качестве первого слоя многослойной наборной конструкции полотна из кобальтсодержащего материала, позволяет увеличить уровень поглощаемой в экране электромагнитной энергии.

Впервые предложены и разработаны гибкие трикотажные конструкции экранов электромагнитных излучений, представляющие собой объемную структуру, в которой в качестве наборных слоев использованы трикотажные полотна из металлсодержащих материалов: согласующий слой – полотно из кобальтсодержащего материала, рабочий слой – из никельсодержащего материала (рис. 11). Установлены амплитудно-частотные характеристики эффективности подавления и поглощения ЭМИ в частотном диапазоне 1,5-118 ГГц, имеющие резонансный характер на частотах 1,5-20 ГГц, при этом эффективность подавления колеблется от 5 до 25 дБ. Показано, что введение вспомогательного отражающего слоя – полотна с осажденным металлическим никелем – позволяет повысить эффективность экранирования на 10 дБ при той же характеристике коэффициента отражения (рис.12).

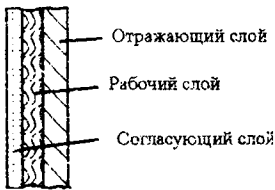


Рис. 11. Конструкция гибкого радиопоглощающего покрытия

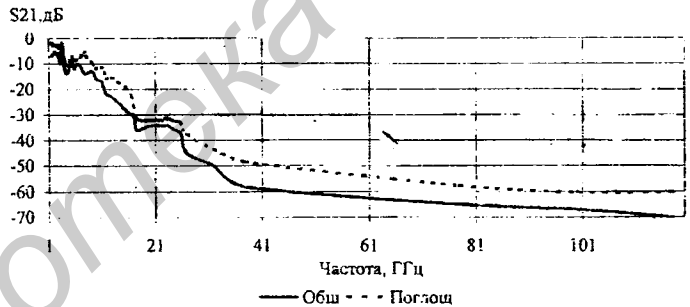


Рис. 12. Эффективность экранирования гибкого экрана

Предложено возможное применение трикотажных экранов для сигнального и защитного экранирования узлов и блоков РЭС, а также в качестве элементов конструкции внутренних стен специализированных помещений, для экранирования вентиляционных отверстий в блоках радиоэлектронной аппаратуры, включая персональные компьютеры.

Показана перспектива создания укрывных имитирующих трикотажных материалов для маскировки объектов на земной поверхности, для имитации активных РЭС в радиочастотном диапазоне.

Предложено использование модифицированных ионообменных волокнистых материалов для синтеза сорбентов радиоактивных ионов Cs и Sr, а также для формирования трикотажных фильтрующих и каталитических элементов для различных применений в области экологии, химической технологии и многих других.

В приложениях представлены акты о внедрении результатов диссертационной работы в производство и учебный процесс. В производство внедрена методика созда-

ния содержащих микропровод трикотажных экранов для повышения помехоустойчивости специализированных изделий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые предложено изготовление гибких элементов экранов электромагнитного излучения из трикотажных полотен, используемых в качестве наборных слоев. Показано, что элементы могут формироваться с использованием вакуумной металлизации, химической металлизации и осаждения металлов из водных растворов, а также методами встраивания металлизированных нитей и микропроводов [6, 7, 8, 11, 12, 14, 23, 24].

2. Методом химического осаждения никеля из водных растворов с использованием в качестве катализатора хлористого палладия впервые синтезированы волокнистые материалы, содержащие наноразмерные частицы никеля. Методами анализа дифракции рентгеновского излучения установлено, что при длительном синтезе формируются металлические кристаллиты размером ~4 нм. Определены зависимости электрофизических свойств синтезированных материалов от параметров технологического процесса осаждения, и показана возможность изменения электропроводящих свойств композитных волокнистых материалов за счет увеличения концентрации осаждаемого металла. Проведены исследования экранирующих свойств синтезированных волокнистых материалов в зависимости от частоты в диапазоне от 0,1 МГц до 118 ГГц. Установлено, что эффективность экранирования за счет отражения электромагнитных излучений в диапазоне частот 10-1000 МГц составляет ~20 дБ, и увеличивается при повышении частоты, достигая значения ~50 дБ в диапазоне 15-118 ГГц [2, 4, 8, 11, 12, 13, 17, 19].

3. С использованием методов химической сорбции ионов металлов модифицированными волокнами полиакрилонитрила и их восстановления впервые синтезированы никельсодержащие волокнистые материалы и исследована их структура. Методами рентгеновской дифрактометрии установлен слабоупорядоченный, микродисперсный, поликристаллический характер структуры синтезируемого вещества с межплоскостными расстояниями ~5,154 и 2,777 Å. Исследована частотная зависимость эффективности экранирования электромагнитных излучений никельсодержащими материалами. Установлено, что в частотном диапазоне 0,1 МГц – 118 ГГц эффективность экранирования изменяется от 10 до 40 дБ, из которых не более 10 дБ обеспечивается за счет поглощения электромагнитного излучения. Экспериментально показано, что частотная характеристика эффективности трикотажного экрана из никельсодержащих волокон не зависит от поляризации электромагнитной волны [5, 8, 11, 12, 13, 16, 18, 19].

4. Впервые осуществлен синтез кобальтсодержащих волокнистых материалов осаждением кобальта из водного раствора с предварительной сорбцией и восстановлением ионов осаждаемого вещества. Показано, что синтезированные материалы имеют слабоупорядоченную и микродисперсную структуру (межплоскостные расстояния составляют 5,1547; 4,343 и 3,571 Å). Показана необходимость и разработана методика стабилизации электрофизических свойств металлсодержащих материалов поверхност-

но-активными веществами. Исследованы экранирующие свойства трикотажных полотен, сформированных из кобальтсодержащих волокнистых полиакрилонитрила и хлопка, в зависимости от условий их синтеза. Экспериментально показано, что материалы обладают коэффициентом отражения ЭМИ в диапазоне частот 2-118 ГГц не превышающем -15дБ. Установлено, что эффективность экранирования кобальтсодержащих материалов не превышает уровня 5 дБ на частотах до 25 ГГц, и увеличивается с повышением частоты [5, 8, 11, 12, 16, 18, 19].

5. На основе установленных электрофизических свойств металлсодержащих волокнистых материалов впервые предложены и разработаны гибкие трикотажные конструкции экранов электромагнитного излучения, представляющие собой объемную структуру, в которой в качестве наборных слоев использованы трикотажные полотна из металлсодержащих материалов: согласующий слой – полотно из кобальтсодержащего материала, рабочий слой – из никельсодержащего материала. Установлены амплитудно-частотные характеристики эффективности подавления и поглощения ЭМИ в частотном диапазоне 1,5-118 ГГц, имеющие резонансный характер на частотах 1,5-20 ГГц, при этом эффективность подавления колеблется от 5 до 25 дБ. Показано, что введение вспомогательного отражающего слоя – полотна с осажденным металлическим никелем – позволяет повысить эффективность экранирования на 10 дБ при той же характеристике коэффициента отражения [5, 7, 8, 14, 24].

6. Разработана методика модифицирования волокон полиакрилонитрила и целлюлозы. Предложены перспективные направления применения сорбционных свойств модифицированных полиакрилонитрильных и целлюлозных волокон. Показана возможность применения модифицированного волокнистого полиакрилонитрила и целлюлозы для синтеза хемосорбционных волокон. Предложено формирование трикотажных фильтрующих элементов, для которых процент сорбции радиоактивных ионов Cs и Sr из воды составляет ~99% [1, 3, 10, 15, 20, 21, 22].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи и материалы конференций

1. Synthesis of the thin-film acidic Ti (IV) and Zr(IV) phosphates deposited on surface of fiber and investigation their properties / L. Lynkov, V. Glybin, T. Selivyorstova, V. Bogush // Phosphor, Sulphur and Silicon. – 1999. - Vol.147. - P. 37.
2. Лыньков Л.М., Глыбин В.П., Богуш В.А. Особенности структуры и электрофизических свойств частиц никеля и сульфидов меди, закрепленных в волокнистых комплексах // Доклады НАН РБ. – 1999. – Т. 43, № 6. – С. 106-107.
3. Синтез и ионообменные свойства тонкослойных ферроцианидов Fe(III) и Cu(II) / В.П. Глыбин, Л.М. Лыньков, Т.С. Селиверстова, Л.К. Свирко, В.А. Богуш // Неорганические материалы. – 1999. - Т. 35, №8. - С. 949-952.
4. Bogush V., Glybin V., Lynkov L. Synthesis of inorganic nanoparticles in fiber polymers and their properties // Physics, Chemistry and Application of Nanostructure: Re-

views and Short Notes to Nanomeeting'99. - World Scientific Publishing Co. Pte Ltd. - 1999. - P.251-254.

5. Исследования экранирующих свойств эластичных материалов на основе дисперсных никеля и кобальта / Л.М. Лыньков, В.П. Глыбин, В.А. Богуш, Д.Н. Прокопович // Радиотехника и электроника. – 1999. - Вып. 24. – С. 102-105.

6. Богуш В.А., Глыбин В.П. Эластичные экранирующие материалы, их структура и свойства // Веснік Сувязі. – 1999. - № 1. - С. 126-129.

7. Осаждение тонких пленок на гибкие трикотажные полотна для формирования радиопоглощающих экранов / В.А. Богуш, С.М. Завадский, Л.М. Лыньков, В.А. Петрова // Известия Белорусской инженерной академии. –1999. - № 1(7)/2. - С. 171-173.

8. Исследование поглощающих свойств трикотажных полотен из композитных волокнистых материалов / В.А. Богуш, В.П. Глыбин, Л.М. Лыньков, А.В. Гусинский, А.Б. Дзисяк // Известия Белорусской инженерной академии. – 1999. - № 1(7)/2. - С. 174-176.

9. Особенности взаимодействия СВЧ излучения с трикотажными конструкциями, содержащими водяные наполнители / В.А. Богуш, Д.Н. Прокопович, Л.М. Лыньков, В.А. Петрова // Известия Белорусской инженерной академии. – 1999. - № 1(7)/2. - С. 195-196.

10. Sorbents from cellulosic fibres synthesis with the use of ion-molecular layering method / L. Lynkov, V. Glybin, T. Selivyorstova, V. Bogush // Proceedings of EWLP'98, Aveiro, August 30 – September 2, 1998. – Portugal. – 1998. - P.207-208.

11. Радиозащитные материалы на основе металлических кластеров в полимерных матрицах / Л.М. Лыньков, В.А. Богуш, В.П. Глыбин, Т.С. Селиверстова // Материалы, технологии, инструменты. – 1998. - Том 3, № 2. - С. 61.

12. Радиоподавляющие свойства материалов на основе модифицированных полимерных волокон / В.А. Богуш, Л.М. Лыньков, В.П. Глыбин, А.И. Гуров, В.И. Захаров // Известия Белорусской инженерной академии. – 1998. - № 2(6)/1. - С. 79-83.

13. Лыньков Л.М., Глыбин В.П., Богуш В.А. Кластерные материалы на основе модифицированных полимерных волокон // Материалы МНТК "Новые информационные технологии в науке и производстве", Минск, 25-27 ноября 1998 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – 1998. - С. 345-346.

14. Применение эластичных материалов с упорядоченной структурой для повышения помехоустойчивости средств связи / В.А. Богуш, Л.М. Лыньков, Н.А. Титович, В.А. Петрова // Известия Белорусской инженерной академии. – 1997. - № 1(3)/3. - С. 253-255.

15. Фильтровальные полотна на основе волокон с наномолекулярными слоями неорганических ионитов / Л.М. Лыньков, В.П. Глыбин, В.А. Петрова, В.А. Богуш // Материалы Второй МНТК "Проблемы безопасности жизнедеятельности" / Под общ. ред. А.Д. Смычника, М.Ф. Блюма, А.М. Лазаренкова. - Мн.: Белорусская академия наук безопасности жизнедеятельности. – 1997. - С. 86-87.

Тезисы докладов

16. Богуш В.А., Глыбин В.П., Лыньков Л.М. Применение комплексов d-металлов на волокнистых комплекситах для синтеза материалов с электропроводящими и помехоподавляющими свойствами // XIX Всероссийское Чугаевское совещание по химии комплексных соединений: Тез. докл. – Иваново, 1999. – С. 340.

17. Radioprotective materials based on nanosize metal clusters in polymeric matrixes / L. Lynkov, V. Glybin, T. Selivyorstova, V. Bogush, A. Smirnov // Abstracts of ICSSC'98. - Zakopane, Poland. – 1998. - P. 230.

18. Богуш В.А. Применение комплексов d-металлов, закрепленных на полимерных волокнах для синтеза материалов с электропроводящими и помехоподавляющими свойствами // Тезисы докладов VII Республиканской НК студентов и аспирантов по физике конденсированных сред, Гродно, 5-7 мая 1999 / Под. ред. В.А.Лиопо. – Гродно:ГрГУ. – 1999. - С. 25-27.

19. Богуш В.А. Синтез кластерных материалов на основе полимерных матриц // Тезисы докладов VI Республиканской НК студентов и аспирантов, Гродно, 22-24 апреля 1998 / Под. ред. В.А.Лиопо. – Гродно:ГрГУ. – 1998. - С. 18.

20. Волокнистые композиционные неорганические иониты на базе ферроцианидов и фосфатов некоторых d-элементов / В.А. Богуш, Л.М. Лыньков, В.П. Нестеренко и др. // Материалы XVI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, С.Петербург, 23-28 мая 1998 / Российская академия наук. – Москва. – 1998. - Том 2. - С. 415.

21. В.А. Богуш. Синтез и свойства волокон с наномолекулярными слоями неорганических ионитов // Тезисы докладов V Республиканской НК студентов и аспирантов, Гродно, 21-25 апреля 1997 / Под. ред. В.А.Лиопо. – Гродно:ГрГУ. – 1997. - С. 12.

Изобретения

22. Способ получения волокнистого ионообменного материала / Л.М. Лыньков, В.А. Богуш, В.П. Глыбин, Т.С. Селиверстова // Официальный бюллетень изобретений № 4.–30.12.1998.– Заявка РБ на изобретение № 970240, 1997.-С. 52.

Учебные пособия

23. Воздействие низких доз электромагнитных излучений и способы защиты / Л.М. Лыньков, В.А. Богуш, В.В. Соловьев, С.Л. Прищепа, Л.М. Новикова // Уч. пособие по дисциплине "Охрана труда и промышленная экология " для студ. спец. Т 12.02.00 "Почтовая связь". – 1998. – ВКС, Минск. – 26 с.

24. Электронные и оптические методы и средства обеспечения информационной и производственной безопасности / Л.М. Лыньков, С.Л. Прищепа, В.А. Богуш, Л.М. Новикова // Уч. пособие по дисциплине "Почтовая безопасность" для студ. спец. Т 12.02.00 "Почтовая связь". – 1999. – ВКС, Минск. – 53 с.



РЭЗЮМЕ

Богуш Вадзім Анатольевіч

**Кампазітныя металзмяшчаючыя валакністыя матэрыялы для гібкіх экранаў
электрамагнітнага выпраменьвання**

Ключавыя словы: экраны электрамагнітнага выпраменьвання, экранавальныя матэрыялы, валакно, трыкатаж, хімічная металізацыя, асаджэнне металлаў, мадзіфіцыраванне, хімічная сорбцыя, электрафізічныя ўласцівасці.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца поліакрыланітрыльныя і целюлозныя валакністыя матэрыялы. Прадметам даследавання з'яўляецца распрацоўка метадык сінтэзу металзмяшчаючых валакністых матэрыялаў і гібкіх канструкцый экранаў электрамагнітнага выпраменьвання.

Мэтай работы з'яўляецца вынайдзенне механізмаў працэсаў хімічнага мадзіфіцыравання матэрыялу целюлозных і поліакрыланітрыльных валокнаў і іх металізацыя пры розных умовах апрацоўкі і распрацоўка на іх аснове новых экранавальных валакністых матэрыялаў і тэхналагічных працэсаў фарміравання экранаў электрамагнітнага выпраменьвання.

Прапанавана выкарыстанне трыкатажнай тэхналогіі для ўтварэння наборных элементаў гібкіх канструкцый экранаў электрамагнітнага выпраменьвання. Распрацавана тэхналогія фарміравання упарадкаванай металізаванай структуры трыкатажнага палатна з выкарыстаннем вакуумнай металізацыі, хімічнай металізацыі і асаджэння металаў з водных раствораў, а таксама метадамі ўраблення металізаваных ніцей і мікраправадоў.

Распрацавана метадыка сінтэзу нікельзмяшчаючых і кобальтзмяшчаючых валакністых матэрыялаў для наборных элементаў гібкіх канструкцый экранаў электрамагнітнага выпраменьвання шляхам хімічнай сорбцыі іонаў асаждальнага матэрыялу з наступным аднаўленнем і асаджэннем з водных раствораў і распрацавана метадыка для стабілізацыі электрафізічных уласцівасцей матэрыялаў паверхнева-актыўнымі рэчывамі. Вызначаны механізмы і вынайдзены аптымальныя параметры працэса мадзіфіцыравання поліакрыланітрылу, дазваляючыя атрымываць хемасарбцыённыя валокны з ёмістасцю адносна іонаў металаў да 5 ммоль/г.

Метадамі рэнтгенафазавага і рэнтгенафлуарысцэнтнага аналізу, Ажэ-электроннай і інфрачырвонай спектраскапіі, электроннай прасвечваючай мікраскапіі даследаваны элементы склад і крышталевая структура сінтэзіраваных металзмяшчаючых матэрыялаў, вызначаны яе параметры.

Прапанаваны і распрацаваны аб'ёмныя канструкцыі экранаў электрамагнітнага выпраменьвання, змяшчаючыя у якасці наборных слаёў трыкатажныя палотны з валакністых металзмяшчаючых матэрыялаў, дазваляючыя ўтвараць гібкія экранавальныя і укрываальныя радыёпаглынальныя і імітацыйныя матэрыялы з каэфіцыентам адлюстравання да -25 дБ і эфектыўнасцю 10-70 дБ у дыяпазоне 0,1 МГц-118 ГГц.

РЕЗЮМЕ

Богуш Вадим Анатольевич

Композитные металлсодержащие волокнистые материалы для гибких экранов электромагнитного излучения

Ключевые слова: экраны электромагнитного излучения, экранирующие материалы, волокно, трикотаж, химическая металлизация, осаждение металлов, модифицирование, химическая сорбция, электрофизические свойства.

Объектом исследования являются полиакрилонитрильные и целлюлозные волокнистые материалы. Предметом исследования является разработка методик синтеза металлсодержащих волокнистых материалов и гибких конструкций экранов электромагнитного излучения.

Целью работы является установление механизмов процессов химического модифицирования материала целлюлозных и полиакрилонитрильных волокон и их металлизации при различных условиях обработки и разработка на их основе новых экранирующих волокнистых материалов и технологических процессов формирования экранов электромагнитного излучения.

Предложено использование трикотажной технологии для создания наборных элементов гибких конструкций экранов электромагнитного излучения. Разработана технология формирования упорядоченной металлизированной структуры трикотажного полотна с использованием вакуумной металлизации, химической металлизации и осаждения металлов из водных растворов, а также методами встраивания металлизированных нитей и микропроводов

Разработана методика синтеза никельсодержащих и кобальтсодержащих волокнистых материалов для наборных элементов гибких конструкций экранов электромагнитного излучения путем химической сорбции ионов осаждаемого материала с последующим восстановлением и осаждением из водных растворов и разработана методика для стабилизации электрофизических свойств материалов поверхностно-активными веществами. Определены механизмы и установлены оптимальные параметры процесса модифицирования полиакрилонитрила, позволяющие получать хемосорбционные волокна с емкостью по отношению к ионам металлов до 5 ммоль/г.

Методами рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализа, Оже-электронной и инфракрасной спектроскопии, просвечивающей электронной микроскопии исследованы элементный состав и кристаллическая структура синтезированных металлсодержащих материалов, установлены ее параметры.

Предложены и разработаны объемные конструкции экранов электромагнитного излучения, содержащие в качестве наборных слоев трикотажные полотна из волокнистых металлсодержащих материалов. Предложено применение разработанных конструкций для создания гибких экранирующих и укрывных радиопоглощающих и имитирующих материалов с коэффициентом отражения до -25 дБ и эффективностью 10-70 дБ в диапазоне 0,1 МГц – 118 ГГц.

SUMMARY

Bogush Vadim Anatolyevich

Composite metal containing fiber materials for flexible electromagnetic shields

Key words: electromagnetic shields, shielding material, fiber, knit, chemical metallization, metal deposition, modification, chemical sorption, electrophysical properties

The researches are concerned with polyacrylonitrile and cellulose fibers. The investigation subject is development of method of synthesis of metal containing fiber materials and flexible design of electromagnetic shields.

The aim of the work is investigate the mechanism characteristics of the polyacrylonitrile and cellulose fibers modification process and the fiber metallization at different treatment conditions and to use them as the basis for development of shielding fiber materials and technological processes for formation of electromagnetic shields.

The using of knitted technology for development of the multiple elements of flexible electromagnetic shields design is suggested. Technology for formation ordered metallized structure of knitted fabric using vacuum metal deposition, chemical metallization and deposition of metals from aqueous solution and methods of integration of the metal yarn and flywire is developed.

The method of synthesis of nickel and cobalt containing fiber materials for the multiple elements of flexible electromagnetic shield constructions by the means of deposited material ions chemical sorption with its further reduction and deposition from the aqueous solution is developed. The technique is worked out for stabilization of material electrophysical properties by surface-active substances. Mechanism and optimum parameters of polyacrylonitrile modification which are the base to obtain the chemisorption fibers with exchange capacity up to 5 mmol/g on metal ions.

Elements composition and crystalline structure of synthesised metal containing materials is investigated by the means of X-ray structure and X-ray spectrum analysis, Auger-electron and infrared spectroscopy and transmission electron microscopy. Parameters of structure is determined.

Volume constructions of electromagnetic shields containing as multiple elements the knitted fabrics from the fiber metallised materials are suggested and developed. Application of the developed construction for flexible shielding and covering electromagnetic wave absorbing and simulating materials with the reflection coefficient up -25 dB and efficiency 10-70 dB in 0,1 MHz-118GHz frequency range.

БОГУШ ВАДИМ АНАТОЛЬЕВИЧ

КОМПОЗИТНЫЕ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИЕ ВОЛОКНИСТЫЕ
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГИБКИХ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

Специальность 05.27.06 — Технология полупроводников и материалов
электронной техники

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Подписано в печать	15.03.2000.	Формат 60×84 1/16	
Бумага	целлюлозная.	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. I, 39.
Уч.-изд. л.	I, С.	Тираж 90 экз.	Заказ 109.

Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники. Отпечатано в БГУИР. Лицензия ЛП № 156.
220027, Минск, П.Бровки, 6
