

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 621.315.5; 621.3.013

КРИШТОПОВА  
Екатерина Анатольевна

**УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОШКООБРАЗНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ШУНГИТА И ТАУРИТА ДЛЯ  
ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

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

по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства  
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Минск, 2008

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Борботько Тимофей Валентинович**, к.т.н., доцент, докторант кафедры защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Волочко Александр Тихонович**, д.т.н., старший научный сотрудник отдела материаловедения государственного научного учреждения «Физико-технический институт НАН Беларуси»  
**Филатов Сергей Александрович**, к.т.н., заведующий отделением водородной энергетики государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси»

Оппонирующая организация: Государственное научное учреждение «Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси»

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Электромагнитные излучения (ЭМИ), генерируемые приборами электронной техники, используются во многих сферах человеческой деятельности – в телекоммуникациях, технологических процессах обработки и контроля качества материалов, медицине, радиолокации и т.д., создавая значительный положительный эффект. Однако возникает и ряд проблем, таких как негативное воздействие повышенных уровней электромагнитных полей на живые организмы, помехи в работе радиоэлектронного оборудования и появление электромагнитного канала утечки информации. Решение этих проблем может быть найдено за счет ослабления электромагнитных полей, генерируемых электронной техникой, путем включения в ее конструкции экранов ЭМИ.

В качестве экранов ЭМИ используются преимущественно металлы. Однако они имеют ряд недостатков: высокая стоимость, значительная масса конструкции и ее подверженность коррозии, высокое значение коэффициента отражения. Альтернативой являются экраны ЭМИ, выполненные из композиционных материалов на основе порошкообразного наполнителя, закрепленного в полимерном связующем веществе, что позволяет снизить массу конструкции при сохранении ее механической прочности, предотвратить процесс коррозии, снизить значение коэффициента отражения согласованием волновых сопротивлений свободного пространства и экрана.

В настоящей работе в качестве порошкообразных компонентов экранов ЭМИ предложены шунгит, таурит и активированный уголь. Рассматриваемые материалы обладают ингибирующими свойствами, что при их использовании совместно с металлическими компонентами конструкций экранов повышает срок службы последних и обеспечивает стабильность их экранирующих характеристик. Кроме того, повысить эффективность подавления ЭМИ данными углеродсодержащими материалами возможно использованием различных способов модифицирования: контактирование их частиц с водой, химическое осаждение металлов и управление содержанием в них углерода методом жидкостного химического травления.

Для достижения широкодиапазонности экранов ЭМИ целесообразно их выполнять в виде многослойных конструкций. Подбором типа и концентрации порошкообразного углеродсодержащего наполнителя, связующих веществ, количества слоев и порядка их чередования возможно формирование экранов, эффективно подавляющих ЭМИ в широком диапазоне частот с низким значением коэффициента отражения, с невысокой стоимостью и улучшенными массогабаритными характеристиками.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами**

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» № 40-о от 16.03.2006 г. и соответствует подразделу 3.7 «Синтез новых неорганических веществ и материалов с комплексом особых свойств» Приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006-2010 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 17 мая 2005 г. №512.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках заданий Государственной программы фундаментальных исследований «Электроника» - «Разработка математических моделей и программных средств для исследования процессов дифракции и возбуждения волн в электродинамических областях с включениями» (2005 г., № ГР 2002954), Государственной комплексной программы научных исследований «Нанотех» - «Композиционные наноматериалы и структуры для микроволновой электроники на основе раствородержащих пористых порошкообразных и органических матриц» (2006 - наст. вр., № ГР 20063326), Государственной комплексной программы научных исследований «Наноматериалы и нанотехнологии» - «Разработка и исследование поглотителей и экранов электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн, создаваемых на основе наноразмерных металлических, диэлектрических и магнитных нитевидных кристаллов, инкорпорируемых в ячейки волоконообразной гибкой полимерной основы метровых площадей для использования в биозащите и системах защиты информации» (2005 г., № ГР 20056600), отдельного госбюджетного целевого проекта Министерства образования Республики Беларусь «Влияние электромагнитного импульса на радиоэлектронные компоненты и методы их защиты» (2006 г., № ГР 20066217).

### **Цель и задачи исследования**

Цель диссертационной работы состоит в установлении закономерностей физико-химических процессов модификации поверхности порошкообразных углеродсодержащих материалов импульсным термическим отжигом, жидкостным химическим травлением и химическим осаждением металлов из водных растворов, изучение особенностей их структуры и взаимодействия с электромагнитным излучением, а также разработка рекомендаций по их использованию для создания электромагнитных экранов изделий современной электронной техники.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Обосновать выбор порошкообразных пунгита, таурита и активированного угля в качестве дисперсных наполнителей экранов электромагнитного излучения с

пониженными массогабаритными характеристиками. Исследовать влияние их химического состава и структуры на особенности их взаимодействия с электромагнитным излучением. Предложить лабораторные технологии термической и химической модификаций порошкообразных углеродсодержащих материалов с целью управляемого изменения их структуры и экранирующих свойств.

2. Исследовать влияние состава водных растворов, вводимых в поры порошкообразных углеродсодержащих материалов, на характеристики поглощения и отражения электромагнитных волн.

3. Установить закономерности процессов импульсного термического отжига, жидкостного химического травления порошкообразного шунгита и химического осаждения на его поверхность никеля, кобальта и меди. Установить влияние режимов термической и химической модификации порошкообразного шунгита на его взаимодействие с электромагнитным излучением.

4. Разработать технологию изготовления эффективных экранов электромагнитного излучения на основе влагосодержащих и композиционных порошкообразных углеродсодержащих материалов.

В качестве объекта исследования выбраны углеродсодержащие порошкообразные материалы: шунгит, таурит и активированный уголь. Предметом исследования являются физико-химические процессы на поверхности порошкообразных углеродсодержащих материалов при их импульсном термическом отжиге, жидкостном химическом травлении и формировании на них наноразмерных кластеров металлов.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Импульсный (секундный) термический отжиг порошкообразного шунгита при температурах 200... 500 °С длительностью до 5 с приводит к удалению органических компонент и адсорбированных газов, содержащихся в порах материала, что позволяет повысить величину ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 8... 12 ГГц с 9 дБ до 16 дБ при толщине слоя порошкообразного шунгита более 3 мм.

2. Увеличение содержания углерода на поверхности частиц шунгита методом жидкостного химического травления оксида кремния, входящего в состав шунгита, в растворе фторида аммония в серной кислоте за счет уменьшения силикатной составляющей исходного порошкообразного материала позволяет повысить значение ослабления электромагнитного излучения в частотном диапазоне 0,8...118,0 ГГц с 9 дБ до 11...60 дБ.

3. Модифицирование поверхности порошкообразного шунгита методом химического осаждения никеля, кобальта или меди за счет формирования металлических микрокристаллитов приводит к изменению удельного электрического сопротивления порошкообразного шунгита от  $3,5 \cdot 10^{-3}$  до

$5,0 \cdot 10^{-3}$  Ом·м и позволяет увеличить величину ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 8...12 ГГц с 9 до 16 дБ для медьсодержащих материалов и до 17... 18 дБ для никель- и кобальтсодержащих материалов.

4. Порошкообразные шунгит, таурит и активированный уголь с размером частиц 20...30 мкм характеризуются спектральным коэффициентом яркости в пределах 0,006...0,92 и степенью поляризации 0,015...0,6 в диапазоне длин волн 440-700 нм за счет содержания в них оксида кремния до 68 % и углерода до 12 %, что позволяет их использовать для маскирования подвижной техники имитацией дорожных покрытий.

### **Личный вклад соискателя**

Обоснование возможности использования порошкообразных углеродсодержащих материалов на основе шунгита, таурита и активированного угля в качестве компонентов экранов ЭМИ; разработка методик термической модификации, жидкостного химического травления и химического восстановления металлов на поверхности порошкообразного шунгита; проведение исследований экранирующих характеристик, эффективной поверхности рассеяния, спектральной плотности энергетической яркости и температурной стабильности экранирующих характеристик влагосодержащих и композиционных экранов ЭМИ на основе углеродсодержащих порошкообразных материалов.

Основными соавторами опубликованных работ являются: научный руководитель канд. техн. наук Т.В. Борботько и д-р техн. наук Л.М. Лыньков, которые принимали участие в планировании работ и обсуждении результатов.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения диссертации обсуждались на II Международной научной конференции по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения «МИЛЕКС 2005» (Минск, Беларусь, 2005 г.); III, IV и V Белорусско-Российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации» (Минск-Нарочь, Беларусь, 2005, 2006, 2007, 2008 г.); XI и XII Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи (Нарочь, Беларусь, 2006, 2007 г.); Международных научно-технических конференциях «Молодежь и современные проблемы радиотехники и коммуникаций» (Севастополь, Украина, 2006, 2008 г.); Международных научно-технических конференциях «Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств» (Новополоцк, Беларусь, 2006, 2008 г.); Международных научно-технических конференциях «Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров» (Минск, Беларусь, 2007, 2008 г.); XVI конференции «Физика конденсированных сред» (Гродно, Беларусь, 2008 г.); The 18th International Conference «Electromagnetic disturbances EMD 2008» (Vilnius, Lithuania, 2008).

## **Опубликованность результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 30 работ: 7 статей в научных журналах, 7 статей в сборниках материалов международных научных конференций, 15 тезисов докладов на международных и республиканских научных конференциях, 1 патент Республики Беларусь на полезную модель.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь, составляет 5,3 авторских листа, из которых 2,2 авторских листа - статьи в научных журналах.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений. В первой главе проведен анализ средств экранирования электромагнитного излучения, представлен обзор порошкообразных материалов и конструкций на их основе, используемых для формирования экранов ЭМИ. Во второй главе содержится обоснование выбора порошкообразных шунгита, таурита и активированного угля в качестве дисперсных наполнителей экранов ЭМИ, изложены методики измерения экранирующих и спектрально-поляризационных характеристик предлагаемых материалов и конструкций, методики импульсного термического отжига, жидкостного химического травления и химического восстановления ионов никеля, кобальта и меди из водных растворов на поверхности порошкообразного шунгита. В третьей главе приведены результаты исследований влияния влагосодержания на экранирующие свойства порошкообразного шунгита, таурита и угля и конструкций экранов на их основе. В четвертой главе рассматривается влияние режимов термической и химической модификации порошкообразных углеродсодержащих материалов на их взаимодействие с ЭМИ. В пятой главе содержатся описания базовых технологических процессов формирования экранов ЭМИ для различных применений на основе порошкообразных углеродсодержащих материалов на основе шунгита, таурита и активированного угля.

Общий объем диссертационной работы составляет 148 страниц, из которых 90 страниц текста, 91 рисунок на 38 страницах, 12 таблиц на 4 страницах, библиографический список из 131 источника и 30 собственных публикаций автора на 14 страницах, 2 приложения на 2 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении определены основные направления исследований, обоснована актуальность темы диссертации, показана необходимость

проведения исследований порошкообразных шунгита, таурита и угля для создания эффективных гибких конструкций экранов электромагнитного излучения, способных эффективно поглощать электромагнитные волны (ЭМВ).

**В первой главе** дан обзор базовых конструкций экранов ЭМИ и рассмотрены порошкообразные материалы для их создания. Показано, что основными процессами, приводящими к ослаблению ЭМВ в экранах ЭМИ, являются отражение, поглощение и многократное переотражение ЭМВ от границ раздела разнородных сред внутри многослойных конструкций. При этом в большинстве случаев возникает необходимость снижения значения коэффициента отражения, что реализуется такими конструктивными решениями, как многослойные конструкции, которые могут представлять собой геометрически неоднородную структуру с градиентным изменением свойств по глубине конструкции. Оптимальным вариантом исполнения широкодиапазонных экранов ЭМИ с пониженными массогабаритными характеристиками, не подверженных коррозии, являются конструкции на основе порошкообразных углеродсодержащих наполнителей, закрепленных в связующем веществе. Подбором типа и концентрации наполнителя, связующего, порядка чередования слоев с различными электропроводностями возможно формирование экранов ЭМИ на основе углеродсодержащих порошкообразных материалов с заранее определяемыми значениями коэффициентов передачи и отражения.

**Во второй главе** приведено обоснование применения порошкообразных шунгита, таурита и активированного угля в качестве дисперсного наполнителя экранов ЭМИ. Активированный уголь состоит на 98 % из микрокристаллического углерода. Шунгит и таурит являются минералами сложного химического состава с углеродсиликатной основой, представленной графитоподобным глобулярным углеродом и оксидом кремния, в основном в форме кварца. Содержание углерода в шунгите составляет 29 %, а содержание оксида кремния – 57 %. Для таурита эти значения соответственно равны 12 % и 68%. Остальными компонентами рассматриваемых минералов являются оксиды алюминия, железа, титана и некоторых других элементов и т.д. Взаимодействие ЭМВ с порошкообразными шунгитом, тауритом и активированным углем выражается в рассеянии энергии отраженного от углерода ЭМИ диэлектрическими прослойками оксида кремния. Для измерений экранирующих характеристик исследуемых материалов в диапазоне частот 8... 12 ГГц использовались волноводные тракты, скалярные и векторные анализаторы цепей, позволяющие проводить измерения с минимальными потерями на распространение излучения в пространстве. При проведении измерений в диапазонах частот 25... 36 ГГц и 80... 120 ГГц дополнительно использовались рупорные антенны. Для исследования свойств образцов в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн (370... 1070 нм)



использовались гониометрическая установка и спектрополяриметр Гемма МС – 09, имеющий разрешение не хуже 1,5 нм с поляризационной насадкой, позволяющий регистрировать спектральную плотность энергетической яркости образцов при различных положениях оси поляроида. Методика измерения температуры поверхности образцов экранов ЭМИ основана на дистанционном измерении тепловизором температурных полей, распределенных на поверхности исследуемого материала, между внутренней и наружной стороной которого создан перепад температур.

В третьей главе приведены результаты изучения взаимодействия ЭМИ с порошкообразными шунгитом, тауритом и активированным углем в диапазоне частот 1... 120 ГГц, показана зависимость характеристик ослабления и поглощения ЭМИ от соотношения в рассматриваемых материалах углерода и диоксида кремния. В диапазоне частот 8... 12 ГГц, выбранном с учетом дальнейшего применения рассматриваемых материалов, значения коэффициента передачи шунгита и активированного угля составляют -8... -9 дБ, что по модулю равно ослаблению ЭМИ, при коэффициентах отражения соответственно равных -2,2... -4,0 дБ и -1,8... -5,0 дБ, для таурита эти коэффициенты равны соответственно -1 дБ и -4,5... -7,0 дБ, что связано с преобладанием в его составе диэлектрических компонент (рисунок 1).

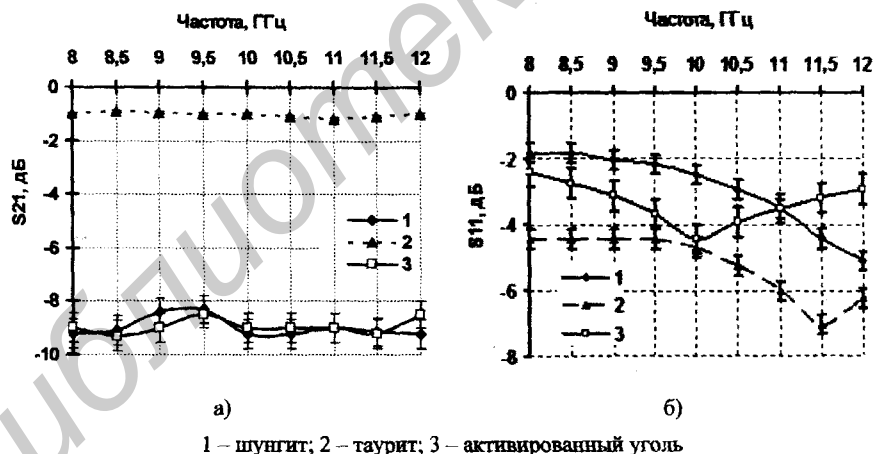


Рисунок 1 – Частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения порошкообразных углеродсодержащих материалов в диапазоне частот 8... 12 ГГц

В диапазоне частот 80... 120 ГГц значение коэффициента передачи для активированного угля составляет -40... -55 дБ, для шунгита -10... -20 дБ и для таурита -7 дБ при значениях коэффициентов отражения соответственно

равных -15... -28 дБ, -10... -20 дБ, -5... -20 дБ.

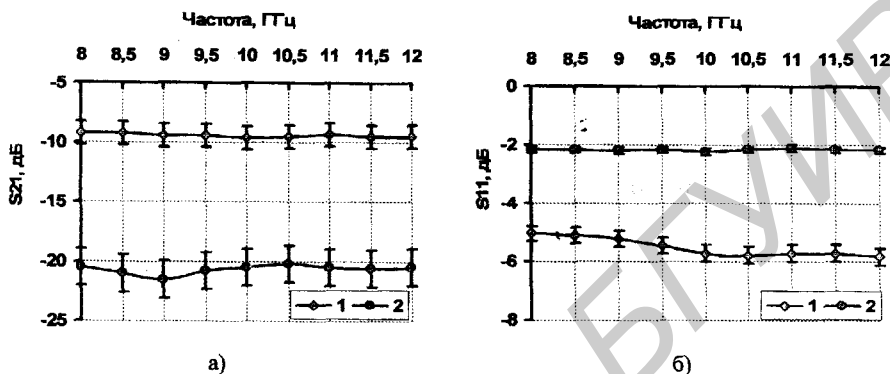
Исследована динамика изменения влагосодержания порошкообразного шунгита, таурита и активированного угля при температуре воздуха 20 °С в течение двух месяцев. Установлено, что влагосодержание данных материалов зависит от концентрации в них углерода, диоксида кремния, серы и состава жидкостного наполнителя, что в совокупности позволяет обеспечить испарение влаги от 0,04 до 0,08 % в день. Показано, что использование в качестве наполнителя 10%-го водного раствора NaCl ускоряет ее испарение на 0,02... 0,04 % в день. По результатам экспериментальных исследований установлено, что при влагосодержании 25... 50 % и использовании в качестве жидкостного наполнителя воды, обеспечивается снижение значения коэффициента передачи для порошкообразного шунгита с -9 дБ до -35... -40 дБ, таурита с -1,5 дБ до -12,0 дБ и активированного угля с -10 дБ до -40 дБ при толщинах образцов более 3 мм.

Рассмотрены конструкции гибких экранов ЭМИ с влагосодержащими порошкообразными шунгитом, тауритом и активированным углем, закрепленных на полиакрилонитриловых машинно-вязаных и целлюлозных полотнах. Показано, что оптимальным вариантом конструкции с точки зрения снижения величины коэффициента отражения является расположение экрана ЭМИ полотном по направлению распространения электромагнитных волн. В этом случае коэффициент передачи экрана ЭМИ составляет не более -40 дБ при значениях коэффициента отражения -3... -6 дБ для шунгита, -3... -4 дБ для таурита, -5,5... -8,0 дБ для активированного угля в диапазоне частот 8... 12 ГГц при толщине экрана ЭМИ 3 мм. В диапазоне частот 0,8... 141,2 ГГц значения коэффициентов передачи и отражения влагосодержащих экранов ЭМИ на основе порошкообразного шунгита достигают соответственно -40 дБ и -15 дБ.

**В четвертой главе** приведены исследования влияния процессов термической и химической модификаций порошкообразного шунгита на особенности его взаимодействия с ЭМИ. Установлено, что отжиг при температуре 500 °С длительностью 3 с приводит к удалению органических компонент, кристаллической воды и адсорбированных газов, содержащихся в порах материала, что позволяет повысить величину ослабления ЭМИ в диапазоне частот 8... 12 ГГц с 9 до 16 дБ при толщине слоя порошкообразного шунгита более 3 мм.

Показана возможность формирования новых порошкообразных материалов для экранов ЭМИ на основе шунгита, модифицированного путем жидкостного химического травления диоксида кремния, имеющего наибольший удельный вес в его составе, фторидом аммония, растворенном в серной кислоте, при обеспечении соотношения фторид- и сульфат-ионов 1:4, что позволяет добиться снижения значения коэффициента передачи слоя порошкообразного материала толщиной более 3 мм с -9... -10 дБ до

-19... -22 дБ при увеличении коэффициента отражения на -2,1 дБ в диапазоне частот 8... 12 ГГц (рисунок 2). В диапазоне частот 80... 120 ГГц эти образцы имеют коэффициент передачи -44... -60 дБ при величине коэффициента отражения -1... -16 дБ.



1 - шунгит; 2 – шунгит после обработки раствором фторида аммония в серной кислоте

**Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов передачи (а) и отражения (б) порошкообразных материалов в диапазоне частот 8... 12 ГГц**

С использованием методики химического восстановления впервые получены никель-, кобальт- и медьсодержащие материалы на основе шунгита с удельным электрическим сопротивлением  $3,5... 5,0 \cdot 10^{-3}$  Ом·м, эффективно подавляющие ЭМИ в диапазоне частот 0,3... 40 ГГц на величину 12 дБ... 18 дБ при значениях коэффициента отражения от -1,5 до -5 дБ для толщины слоя порошкообразного материала более 3 мм. Сформированные материалы содержат наноразмерные (~4 нм) кластеры никеля, кобальта и меди на поверхности шунгита (рисунки 3 - 6).

Выбор никеля и кобальта для формирования новых материалов на основе шунгита обусловлен их ферромагнитными свойствами, а также тем, что химически осажденные никель и кобальт устойчивы к коррозии, стойки к агрессивным средам. Выбор меди объясняется тем, что процесс меднения менее зависим от температурно-временных режимов, чем никелирования или кобальтирования, и может протекать при комнатной температуре. В общем виде реакции восстановления по автокаталитическому методу могут быть записаны следующим образом:



где Me – металл.

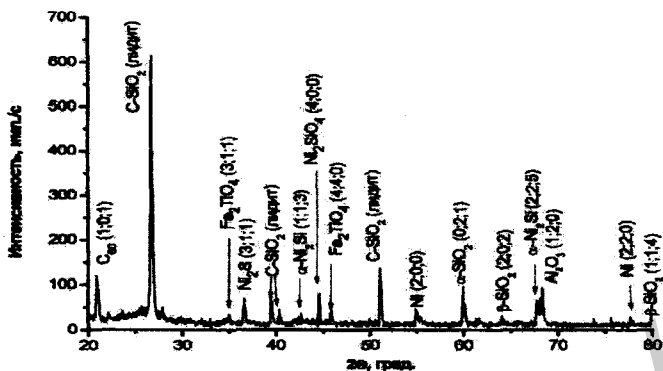


Рисунок 3 - Дифрактограмма никельсодержащего материала на основе шунгита, синтезированного из водного раствора сульфата никеля

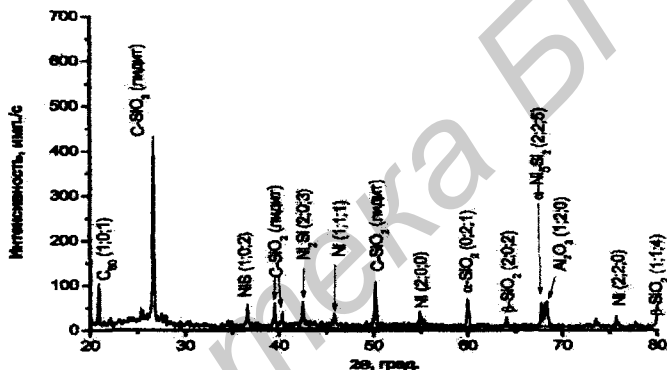


Рисунок 4 - Дифрактограмма никельсодержащего материала на основе шунгита, синтезированного из водного раствора хлорида никеля

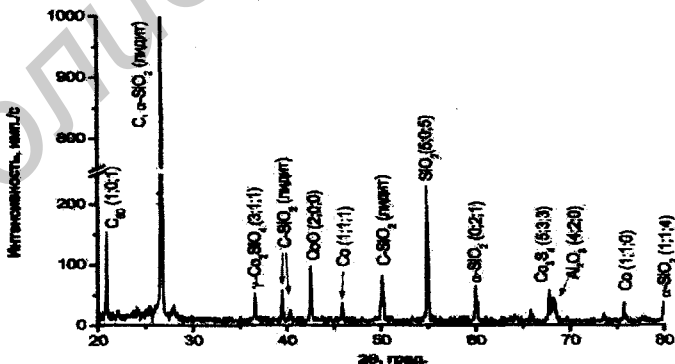
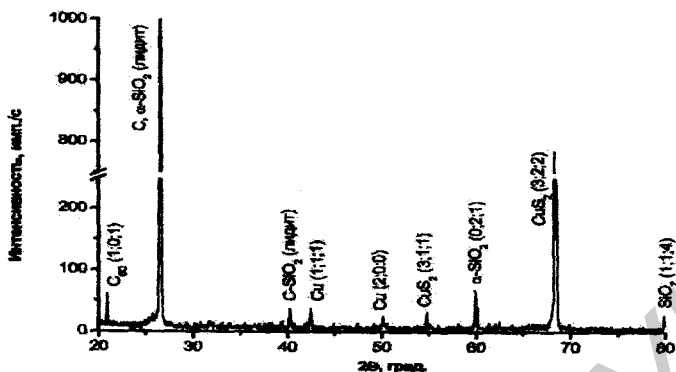


Рисунок 5 - Дифрактограмма кобальтсодержащего материала на основе шунгита, синтезированного из водного раствора сульфата кобальта



**Рисунок 6 - Диффрактограмма медьсодержащего материала на основе шунгита, синтезированного из водного раствора сульфата меди**

Изучены спектрально-поляризационные свойства порошкообразных шунгита, таурита и активированного угля с размером фракции до 20 мкм в диапазоне длин волн 490... 790 нм. Установлено, что значения коэффициента спектральной яркости (СКЯ) и степени поляризации в данном диапазоне длин волн не зависят от углов падения света и незначительно возрастают с увеличением угла визирования. Полученные значения СКЯ свидетельствуют о диффузном рассеивании света материалами и определяются соотношением в них углерода и оксида кремния: при увеличении содержания углерода и уменьшении содержания кварца СКЯ снижается с 0,055... 0,92 для таурита до 0,02... 0,05 для шунгита и до 0,006... 0,016 для активированного угля. Значение степени поляризации с ростом содержания углерода увеличивается с 0,015... 0,23 для таурита до 0,05... 0,46 для шунгита и до 0,05... 0,6 для активированного угля при одновременном ее увеличении с ростом угла визирования.

В пятой главе представлены разработанные конструкции и технологии изготовления многослойных экранов ЭМИ с порошкообразными шунгитом, тауритом и активированным углем в качестве дисперсных наполнителей для различных применений и объяснены механизмы подавления ими электромагнитного излучения.

Исследованы закономерности взаимодействия с ЭМИ слоя порошкообразного шунгита толщиной 3 мм, закрепленного в различных связующих веществах. При использовании электропроводного водного раствора силиката натрия, создается слабый электрический контакт между частицами шунгита, что увеличивает электропроводность слоя в целом и обеспечивает величину коэффициента передачи -20 дБ при значении коэффициента отражения -12... -13 дБ. Для образца с силиконом в качестве

связующего значение коэффициента передачи составляет -9 дБ (как у порошкообразного шунгита без связующего вещества), но при более низком значении коэффициента передачи, равном -8 дБ, что свидетельствует о большем поглощении ЭМИ. Эпоксидная смола является диэлектриком, поэтому при ее использовании для связывания частиц порошкообразного шунгита в слой толщиной 3 мм они электрически изолируются, что приводит к снижению эффективности подавления ЭМИ до 1 дБ.

Разработаны две базовых многослойных конструкции экранов ЭМИ (четвертьволновой и градиентный экраны) на основе порошкообразных углеродсодержащих наполнителей, распределенных в полимерном диэлектрическом связующем веществе (поливинилацетатном или акриловом), закрепленных слоем 1 мм на полиакрилонитриловом машинно-вязаном (толщиной 1,5 мм) или целлюлозном (толщиной 3 мм) полотне. Последним слоем конструкции является металлический отражатель (алюминиевая фольга толщиной 9 мкм). Предлагаемые экраны ЭМИ обеспечивают ослабление ЭМИ на величину 35... 40 дБ вследствие диэлектрических потерь в полотне и слое порошкообразного материала в связующем веществе и потерь на проводимость в металлическом отражателе, многократных переотражений электромагнитных волн от различных слоев и их взаимной компенсации (рисунок 7).

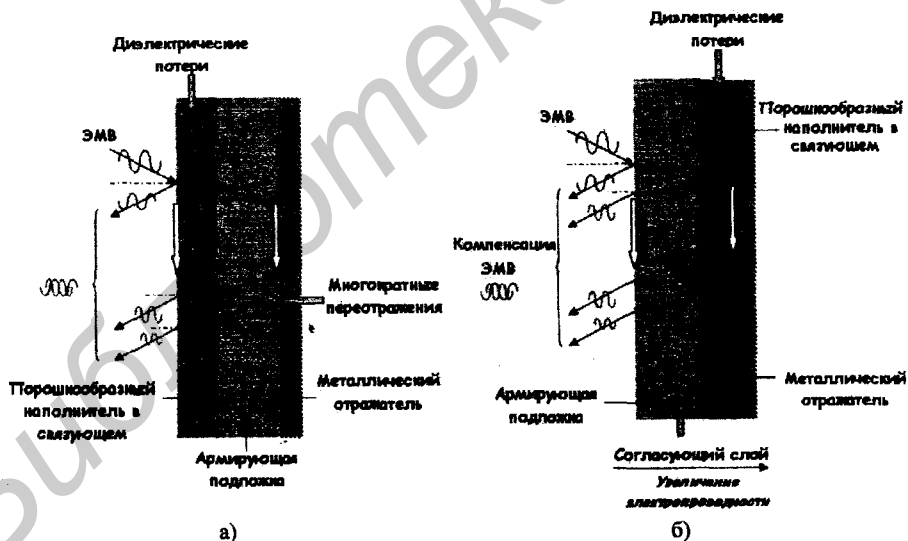


Рисунок 7 – Взаимодействие электромагнитных волн с многослойными экранами ЭМИ: а) четвертьволновым; б) градиентным

На примере частотного диапазона 8... 12 ГГц показана возможность управления значением коэффициента отражения формируемых

четвертьволновых и градиентных экранов ЭМИ путем контроля в них концентрации порошкообразного углеродсодержащего наполнителя.

Установлено, что с точки зрения снижения величины коэффициента отражения, наиболее эффективно использование в качестве порошкообразного наполнителя приведенных на рисунке 7 конструкций экранов ЭМИ в диапазоне частот 8... 12 ГГц:

- шунгита в концентрации  $25 \pm 5$  объем.% в четвертьволновом экране ЭМИ, что обеспечивает значение коэффициента отражения -14 дБ;

- таурита в концентрации  $25 \pm 5$  и  $75 \pm 5$  объем.% в четвертьволновом экране ЭМИ, для которого коэффициент отражения составляет -14 дБ;

- активированного угля в концентрации  $25 \pm 5$  и  $75 \pm 5$  объем.% для градиентной конструкции экрана ЭМИ получено значение коэффициента отражения -15 дБ;

- шунгита, обработанного раствором фторида аммония в серной кислоте, для концентрации 45... 55 объем.% в градиентном экране ЭМИ, что обеспечивает значение коэффициента отражения -7... -13 дБ;

- шунгита с кластерами меди при концентрации 50... 65 объем.% в четвертьволновом экране ЭМИ, что обеспечивает значение коэффициента отражения -8... -17 дБ, а в градиентном экране ЭМИ -11... -11,5 дБ.

Установлены закономерности взаимодействия с ЭМИ экранов на основе порошкообразного шунгита, таурита и активированного угля в диапазоне частот от 8... 12 ГГц в интервале температур -10... +55 °С (рисунок 8).

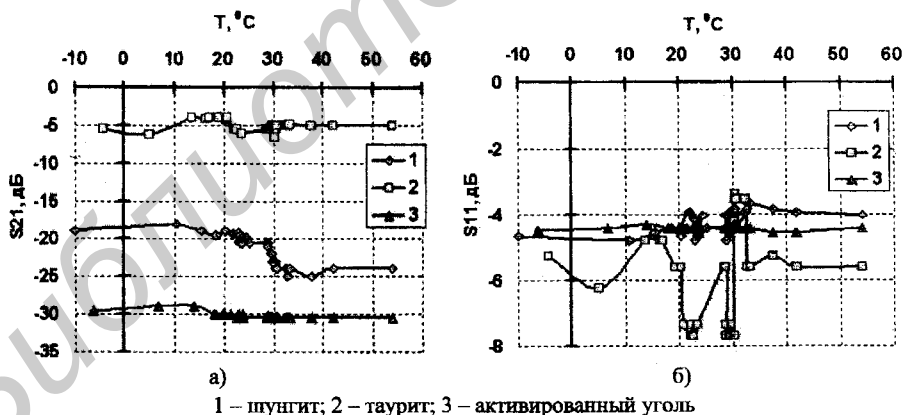


Рисунок 8 – Зависимости коэффициентов передачи (а) и отражения (б) для порошкообразных углеродсодержащих материалов в диапазоне частот 8... 12 ГГц от температуры

Показано, что экранирующие свойства активированного угля стабильны во всем рассматриваемом диапазоне температур. Для шунгита наблюдается

увеличение коэффициента передачи с ростом температуры при неизменном значении коэффициента отражения. Для таурита при стабильном значении коэффициента передачи наблюдается неравномерная зависимость коэффициента отражения от температуры. Полученные результаты могут быть объяснены тем, что графитоподобный глобулярный и микрокристаллический углерод стабилен при температурах  $-10...+55$  °С, а экранирующие характеристики оксида кремния и других составляющих шунгита и таурита более критичны к температуре окружающей среды.

**В приложениях** представлены акты использования результатов диссертационной работы в области разработки защитных экранов электромагнитного излучения для электронной аппаратуры и экранирующих чехлов для мобильных телефонов на НПК «Карбон-Шунгит» (Россия) и в учебном процессе учреждения образования «Высший государственный колледж связи».

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Показано, что в качестве порошкообразных наполнителей экранов ЭМИ широко используются материалы, обладающие магнитными свойствами, имеющие высокую электропроводность, диэлектрики с высокими значениями магнитной проницаемости и полупроводники, что позволяет создавать композиционные материалы с требуемым значением ослабления ЭМИ в рабочем диапазоне частот и температур. Впервые предложено совместно использовать порошкообразные углеродсодержащие материалы с влагосодержащим наполнителем и их последующей герметизацией для создания широкодиапазонных экранов ЭМИ. Установлено, что после пропитки порошкообразных шунгита, таурита и активированного угля до значений влагосодержания от 25 до 50 масс.%, ослабление ЭМИ в диапазоне частот 8... 12 ГГц увеличивается с 1 до 12 дБ для таурита и с 8... 9 до 35 дБ для активированного угля и шунгита при толщине слоя порошкообразного материала более 3 мм [16-А, 22-А, 26-А, 27-А].

2. Для увеличения эффективности подавления ЭМИ порошкообразным шунгитом разработана методика его импульсного термического отжига при температурах 200... 500 °С длительностью до 5 с. Установлено, что оптимальным режимом с точки зрения роста величины ослабления ЭМИ является импульсный термический отжиг шунгита при температуре 500 °С длительностью 3 с, в результате которого происходит удаление органических компонент и адсорбированных газов, содержащихся в порах материала, что приводит к снижению коэффициента передачи с -9 до -16 дБ при неизменном



значении коэффициента отражения, равном 2,2... -4,0 дБ в диапазоне частот 8... 12 ГГц при толщине слоя порошкообразного материала более 3 мм, что свидетельствует о росте поглощения им ЭМИ [2-А, 8-А].

3. Показано, что применение разработанной методики селективного жидкостного химического травления оксида кремния, содержащегося в порошкообразном шунгите, в водном растворе сульфат- и фторид-ионов, позволяет уменьшить значение коэффициента передачи слоя порошкообразного материала толщиной более 3 мм с -9 до -19... -22 дБ в диапазоне частот 8... 12 ГГц за счет одновременного снижения силикатной компоненты и увеличения доли углерода на поверхности шунгита [25-А, 28-А, 29-А].

4. Химическим осаждением никеля, кобальта и меди из водных растворов впервые синтезированы порошкообразные материалы на основе шунгита, содержащие наноразмерные частицы никеля, кобальта и меди. Методами анализа дифракции рентгеновского излучения установлено, что при длительном синтезе формируются металлические кристаллиты размером ~4 нм. Определены зависимости экранирующих свойств синтезированных материалов от параметров процесса осаждения и показана возможность изменения их электропроводящих свойств за счет увеличения концентрации осаждаемого металла. Установлено, что эффективность экранирования за счет отражения ЭМИ в диапазоне частот 8... 12 ГГц для слоя порошкообразного материала толщиной более 3 мм по сравнению с исходным шунгитом увеличивается с 9 до 16,5 дБ для медьсодержащего материала, до 17... 18 дБ для никель- и кобальтсодержащего материала [5-А, 6-А, 21-А, 23-А, 24-А].

5. Установлена зависимость спектрально-поляризационных характеристик порошкообразных шунгита, таурита и активированного угля в диапазоне длин волн 490... 790 нм от их химического состава, соотношения в них углерода и оксида кремния (преимущественно кварца). Показано, что увеличение содержания углерода и одновременное снижение концентрации кварца приводит к уменьшению коэффициента спектральной яркости с 0,055... 0,92 для таурита до 0,02... 0,05 для шунгита и до 0,006... 0,016 для активированного угля за счет диффузного рассеяния света; при этом значение степени поляризации увеличивается с 0,015... 0,23 для таурита до 0,05... 0,46 для шунгита и до 0,05... 0,6 для угля. Установлено увеличение СКЯ с ростом угла визирования, при этом яркость отраженного света и степень поляризации практически не зависят от углов падения (40... 50°) [7-А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Показана возможность снижения массогабаритных характеристик влагосодержащих экранов ЭМИ при использовании в качестве основы для их построения порошкообразных углеродсодержащих материалов. Установлено, что значение коэффициента передачи гибких влагосодержащих экранов ЭМИ

на основе порошкообразного шунгита в диапазоне частот 0,8... 141,2 ГГц достигает -40 дБ при значениях коэффициента отражения до -14 дБ [3-А, 11-А, 15-А, 24-А]. Предлагаемые конструкции могут быть использованы для создания защитной одежды для персонала, вкладышей чехлов мобильных телефонов, экранирования помещений и противорадиолокационной маскировки объектов [4-А, 20-А, 30-А].

2. Предложены технологии изготовления композиционных экранов ЭМИ на основе порошкообразных углеродсодержащих материалов, контактирующих с влагосодержащим наполнителем или закрепленных в связующем веществе, позволяющие создавать гибкие многослойные конструкции четвертьволнового и градиентного типов, характеризующиеся высокими эксплуатационными показателями и возможностью варьирования экранирующих свойств [1-А, 10-А, 19-А, 22-А]. Для увеличения гибкости конструкций экранов ЭМИ в их состав вводится полиакрилонитриловое машинно-вязаное или целлюлозное полотно, которое позволяет фиксировать порошкообразный наполнитель, обеспечивает высокую гибкость конструкции и может выступать в качестве слоя, согласующего волновые сопротивления экрана ЭМИ и свободного пространства. С целью изменения характеристик поглощения и отражения, предложено использовать в составе экранов металлические включения в виде фольги или производить термическую и химическую модификацию порошкообразного материала [9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 19-А].

3. Экспериментально установлено, что в интервале температур  $-10^{\circ}\dots +55^{\circ}\text{C}$  эффективность подавления ЭМИ конструкциями экранов на основе порошкообразного шунгита, таурита и активированного угля не ухудшается в диапазоне частот 8... 12 ГГц [18-А].

4. Разработаны способы применения экранов ЭМИ на основе порошкообразных углеродсодержащих материалов для защитного экранирования узлов, блоков и элементов электронных средств, сотовых телефонов и персональных компьютеров, создания защитной одежды для персонала, экранирования помещений, обеспечивающие ослабление ЭМИ на величину более 30 дБ при значении коэффициента отражения -10... -15 дБ, на которые имеется акт о практическом использовании в производстве НПК «Карбон-Шунгит» [3-А, 9-А, 10-А, 12-А, 13-А, 16-А, 19-А, 20-А, 26-А].

5. Предложены перспективные методы создания гибких укрывных материалов для маскировки объектов на земной поверхности под асфальтное покрытие, снижающие дальность обнаружения не менее чем в 3 раза в диапазоне частот 1... 40 ГГц [5-А].

# СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

## Статьи в научных журналах

1-А. Криштопова, Е.А. Влияние свойств выбранного связующего на эффективность поглотителей ЭМИ, изготовленных из порошкообразного шунгита / Е.А. Криштопова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. - 2007. - №6. - С. 3 - 8.

2-А. Лыньков, Л.М. Влияние термического отжига на характеристики ослабления электромагнитного излучения порошкообразным шунгитом / Е.А. Криштопова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2008. - № 3. - С. 64-68.

3-А. Криштопова, Е.А. Поглотители электромагнитного излучения с наполнителем из порошкообразного таурита / Е.А. Криштопова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. - 2008. - №6. - С. 79-83.

4-А. Лыньков, Л.М. Радиопоглощающие свойства гибких экранов электромагнитного излучения на основе порошкообразных шунгита и таурита / Л.М. Лыньков, Е.А. Криштопова, Т.В. Борботько, Е.И. Хижняк // Сборник научных статей Военной академии Республики Беларусь. - 2008. - №15. - С. 57-61.

5-А. Лыньков, Л.М. Синтез и структура медьсодержащих материалов на основе порошкообразного шунгита / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, Е.А. Криштопова // Доклады НАН Беларуси. - 2009. - Т.53. - №1. - С. 109-110.

6-А. Лыньков, Л.М. Радиопоглощающие свойства никельсодержащего шунгита / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, Е.А. Криштопова // Письма в ЖТФ. - 2009. - Т.35. - вып. 9. - С. 44-48.

7-А. Криштопова, Е.А. Спектрально-поляризационные свойства углерода, шунгита и таурита / Е.А. Криштопова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. - 2009. - №2. - С.238.

## Статьи в материалах конференций

8-А. Лыньков, Л.М. Экранирующие свойства термически модифицированного порошкового шунгита / Л.М. Лыньков, Е.А. Криштопова, Т.В. Борботько // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы III Междунар. науч.-тех. конф., Новополоцк, 25-26 мая 2006 г.: в 2 т. / ПГУ; редкол.: М.Л. Хейфец [и др.]. - Новополоцк, 2006. - Т 1. - С. 28-30.

9-А. Криштопова, Е.А. Шунгитсодержащие поглотители ЭМИ на трикотажной основе / Е.А. Криштопова // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 29 марта 2007 г.: в 3 ч. / МГРПК; редкол.: Н.А. Цырельчук [и др.]. - Минск, 2007. - С. 167-170.

10-А. Криштопова, Е.А. Шунгитсодержащий гибкий радиопоглощающий

материал на трикотажной основе / Е.А. Криштопова, Т.В. Борботько // Милекс-2007: материалы 4-й Междунар. науч. конф. по воен.-тех. проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения, Минск, 22-25 мая 2007 г. / Минобороны РБ; редкол.: В.Е. Кратенок [и др.]. – Минск, 2007. – С. 78-79.

11-А. Криштопова, Е.А. Влияние химического состава на электромагнитные характеристики шунгита / Е.А. Криштопова // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 23-24 апреля 2008 г. / МГВРК; редкол.: Н.А. Цырельчук [и др.]. – Минск, 2008. – С. 78-80.

12-А. Криштопова, Е.А. Двухслойные конструкции поглотителей электромагнитного излучения на основе порошкообразного шунгита / Е.А. Криштопова // Современная радиоэлектроника: научные исследования и подготовка кадров: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 23-24 апреля 2008 г. / МГВРК; редкол.: Н.А. Цырельчук [и др.]. – Минск, 2008. – С. 80-81.

13-А. Криштопова, Е.А. Радиопоглощающие материалы для радиоэлектронной аппаратуры с порошкообразными шунгитами в качестве наполнителя / Л.М. Лыньков, Е.А. Криштопова, Т.В. Борботько // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы III Междунар. науч.-тех. конф., Новополоцк, 29–30 мая 2008 года / ПГУ; редкол.: М.Л. Хейфец [и др.]. – Новополоцк, 2008. – Т 1. – С. 90-93.

14-А. Krishtopova, E. Shielding effectiveness of powdery shungite with metal clusters on it / E. Krishtopova // Electromagnetic disturbances EMD 2008: proceedings of the 18th International Conference, September 25–26 2008 Vilnius, Lithuania / Vilnius Gediminas Technical University; edited: R. Rinkeviciene [and others]. – 2008. – Vilnius, Lithuania. – P. 233-237.

#### **Тезисы докладов на научных конференциях**

15-А. Криштопова, Е.А. Экраны электромагнитного излучения на основе неорганических порошковых материалов / Е.А. Криштопова // Молодежь и современные проблемы радиотехники и коммуникаций «РТ-2006»: материалы Междунар. науч.-тех. конф. студентов, аспирантов и ученых, Севастополь, 17-21 апреля 2006 г. / СевНТУ; редкол.: Ю.Б. Гампилевич [и др.]. – Севастополь, – 2006. – С. 214.

16-А. Криштопова, Е.А. Поглотители электромагнитного излучения на основе шунгита с влагосодержащим наполнителем / Е.А. Криштопова // Технические средства защиты информации»: материалы II Белорусско-российской науч.-тех. конф., Минск-Нарочь, 29 мая – 2 июня 2006 г. / Минобразования РБ, Гос. центр безопасности инф.; редкол.: В.Ф. Голиков [и др.]. – Минск, 2006. – С. 71.

17-А. Криштопова, Е.А. Влияние связующих компонентов на экранирующие свойства композиционных материалов на основе порошкообразного шунгита / Е.А. Криштопова // Современные средства связи: материалы VIII Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 29 мая – 2 июня 2006 г. / БГУИР, ВГКС; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2006. - С. 64.

18-А. Криштопова, Е.А. Стабильность экранирующих характеристик порошкообразного шунгита в условиях воздействия отрицательных температур / Е.А. Криштопова // Современные средства связи: материалы VIII Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 29 мая – 2 июня 2006 г. / БГУИР, ВГКС; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2006. - С. 65.

19-А. Криштопова, Е.А. Многослойные шунгитсодержащие радиопоглощающие материалы/ Е.А. Криштопова // Технические средства защиты информации: материалы III Белорусско-российской науч.-тех. конф., Минск-Нарочь, 22–25 мая 2007 г. / Мин. обр. РБ, Гос. центр безопасности инф.; редкол.: В.Ф.Голиков [и др.]. – Минск, 2007. - С. 85.

20-А. Криштопова, Е.А. Радиопоглощающие свойства шунгитсодержащего керамзита / Е.А. Криштопова, М.С. Павлович // Технические средства защиты информации: материалы III Белорусско-российской науч.-тех. конф., Минск-Нарочь, 22–25 мая 2007 г. / Минобразования РБ, Гос. центр безопасности инф.; редкол.: В.Ф.Голиков [и др.]. – Минск, 2007. - С. 86.

21-А. Криштопова, Е.А. Изменение коэффициента передачи порошкообразного шунгита в диапазоне частот 8... 12 ГГц после получения на его поверхности металлических кластеров / Е.А. Криштопова, А.Н. Бинжук // Молодежь и современные проблемы радиотехники и коммуникаций «РТ-2008»: материалы IV Междунар. науч.-тех. конф. студентов, аспирантов и ученых, Севастополь, 21-25 апреля 2008 г. / СевНТУ; редкол.: Ю.Б. Гампилевич [и др.]. – Севастополь, 2008. -- С. 196.

22-А. Криштопова, Е.А. Влияние типа и концентрации жидкости на значения коэффициента отражения порошкообразного шунгита / Е.А. Криштопова, А.Н. Бинжук // Молодежь и современные проблемы радиотехники и коммуникаций «РТ-2008»: материалы Междунар. науч.-тех. конф. студентов, аспирантов и ученых, Севастополь, 21-25 апреля 2008 г. / СевНТУ; редкол.: Ю.Б. Гампилевич [и др.]. – Севастополь, 2008. - С. 197.

23-А. Криштопова, Е.А. Радиопоглощающие свойства порошкообразного шунгита с включениями меди, никеля и кобальта/ Е.А. Криштопова // Технические средства защиты информации: материалы IV Белорусско-российской науч.-тех. конф., Минск, 21-22 мая 2008г. / Минобразования РБ, Гос. центр безопасности инф.; редкол.: В.Ф.Голиков [и др.]. – Минск, 2008. - С. 81.

24-А. Криштопова, Е.А. Порошкообразный шунгит как дисперсный наполнитель экранов электромагнитного излучения / Е.А. Криштопова, А.Н. Бинжук // Физика конденсированного состояния: материалы XVI науч.-практ.

конф., Гродно, 23 - 25 апреля 2008 г. В 2 ч. / ГрГУ; редкол.: Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно, 2008. - Ч. 2. — С. 184-185.

25-А. Криштопова, Е.А. Изменение эффективности ослабления электромагнитного излучения шунгитом после обработки его серной кислотой / Е.А. Криштопова, А.Н. Бинжук // Физика конденсированного состояния: материалы XVI науч.-практ. конф., Гродно, 23 - 25 апреля 2008 г. В 2 ч. / ГрГУ; редкол.: Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно, 2008. – Ч.2 — С. 186-187.

26-А. Криштопова, Е.А. Поглотители электромагнитного излучения на основе шунгита с жидкостным наполнителем / Е.А. Криштопова, А.Н. Бинжук // Технические средства защиты информации: материалы IV Белорусско-российской науч.-тех. конф., Минск, 21-22 мая 2008 г. / Мин. обр. РБ, Гос. центр безопасности инф.; редкол.: В.Ф. Голиков [и др.].– Минск, 2008. - С. 81.

27-А. Криштопова, Е.А. Влияние влагосодержания на экранирующие свойства порошкообразных углеродсодержащих материалов / Е.А. Криштопова, Т.В. Борботько // Современные средства связи: материалы XIII Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 7-9 октября 2008 г. / БГУИР, ВГКС; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2008. - С. 94.

28-А. Криштопова, Е.А. Влияние химического травления порошкообразного шунгита на его экранирующие свойства / Е.А. Криштопова, Т.В. Борботько // Современные средства связи: материалы XIII Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 7-9 октября 2008 г. / БГУИР, ВГКС; редкол.: М.А. Баркун [и др.].– Минск, 2008. - С. 95.

29-А. Криштопова, Е.А. Формирование методом жидкостного химического травления новых материалов для электронной техники / Е.А. Криштопова // Междунар. науч.-тех. конф., посвящ. 45-летию МРТИ-БГУИР: тез. докл. Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 19 марта 2009 г. / БГУИР; авт. ред. – Минск, 2009. – С. 177-178.

### Патенты

30-А. Поглотитель электромагнитного излучения: пат. 4663 Республики Беларусь, МПК7 H01Q17/00 / Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько, Е.А. Криштопова; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». - № u20080049; заявл. 25.01.2008, опубл. 30.06.2008 // Офиц. бюл. / Нац. центр интелл. собственности. – 2008. - № 5(64). – С. 228.



## РЭЗЮМЭ

Крыштопава Кацярына Анатольеўна

### Вугляродзмяшчальныя парашкападобныя матэрыялы на аснове шунгіту, таурыту і вугалю для экранаву электрамагнітнага выпраменьвання

*Ключавыя словы:* электрамагнітнае экраніраванне, парашкападобныя вугляродзмяшчальныя матэрыялы, шунгіт, таурит, вугаль, экраны электрамагнітнага выпраменьвання.

*Мэта працы* заключаецца ў даследаванні працэсаў мадыфікацыі паверхні парашкападобных вугляродзмяшчальных матэрыялаў, стварэнні кампазітаў на іх аснове і распрацоўцы экранаву электрамагнітнага выпраменьвання.

*Метады даследавання і апаратура:* эксперыментальнае даследаванне саставу, паверхні і экраніруючых уласцівасцяў матэрыялаў і канструкцый на аснове парашкападобных шунгіту, таурыту і вугалю метадамі рэнтгенаўскай спектраметрыі пры дапамозе спецыяльнага тэхналагічнага і вымяральнага абсталявання.

*Атрыманая вынікі і іх навізна:* прапанаваны імпульсны тэрмічны вогжыг ппарашкападобнага шунгіту пры тэмпературах 200... 500 °С і працягласцю да 5 с, што дазваляе атрымаць велічыню аслаблення электрамагнітнага выпраменьвання ў дыпазоне частот 8... 12 ГГц да 16 дБ.

Паказана, што выкарыстанне метада жыдкаснага хімічнага травлення аксиду крэмнія на паверхні шунгіту прыводзе к росту велічыні аслаблення электрамагнітнага выпраменьвання ў частотным дыпазоне 0,8... 118,0 ГГц з 9 да 11... 60 дБ

Устаноўлена, што пры сінтэзе нікель-, кобальт- і медзьзмяшчальных парашкападобных матэрыялаў на аснове шунгіту метадам хімічнай сорбцыі фарміруюцца матэрыялы з удзельным электрычным супраціўленнем  $3,5... 5,0 \cdot 10^{-3}$  Ом·м і эфектыўнасцю падаўлення электрамагнітнага выпраменьвання да 16,5... 18 дБ

Устаноўлены асаблівасці спектральна-палярызацыйных характарыстык парашкападобных шунгіту, таурыту і вугалю, якія заключаюцца ў павелічэнні спектральнага каэфіцыенту яркасці ў межах 0,006... 0,92 і ступені палярызацыі 0,015... 0,6 ў дыпазоне даўжыні хваль 440... 700 нм.

*Ступень выкарыстання:* прапанаваныя матэрыялы ўжыты ў сферы распрацоўкі экранаву электрамагнітнага выпраменьвання ў НПК «Карбон-Шунгіт» (Расія) і ў вучэбным працесе ўА «Вышэйшы дзяржаўны каледж сувязі».

*Вобласць ўжывання:* вырабы прадпрыемстваў электроннай і радіэтэхнічнай прамысловасці.

## РЕЗЮМЕ

Криштопова Екатерина Анатольевна

### Углеродсодержащие порошкообразные материалы на основе шунгита и таурита для экранов электромагнитного излучения

*Ключевые слова:* электромагнитное экранирование, порошкообразные углеродсодержащие материалы, шунгит, таурит, уголь, экраны электромагнитного излучения.

*Цель работы* состоит в исследовании процессов модификации поверхности порошкообразных углеродсодержащих материалов, создании композитов на их основе и разработке экранов электромагнитного излучения.

*Методы исследования и аппаратура:* экспериментальное исследование состава, поверхности и экранирующих свойств материалов и конструкций на основе порошкообразных шунгита, таурита и угля методами рентгеновской спектроскопии при помощи специального технологического и измерительного оборудования.

*Полученные результаты и их новизна:* предложен импульсный термический отжиг порошкообразного шунгита при температурах 200... 500 °С и длительностью до 5 с, что позволяет получить величину ослабления электромагнитного излучения в диапазоне частот 8... 12 ГГц до 16 дБ.

Показано, что применение метода жидкостного химического травления оксида кремния на поверхности шунгита приводит к росту величины ослабления электромагнитного излучения в частотном диапазоне 0,8... 118,0 ГГц с 9 до 11... 60 дБ.

Установлено, что при синтезе никель-, кобальт- и медьсодержащих порошкообразных материалов на основе шунгита методом химической сорбции формируются материалы с удельным электрическим сопротивлением  $3,5-5,0 \cdot 10^{-3}$  Ом·м и эффективностью подавления электромагнитного излучения до 16,5... 18 дБ.

Установлены особенности спектрально-поляризационных характеристик порошкообразных шунгита, таурита и угля, заключающиеся в увеличении спектрального коэффициента яркости в пределах 0,006... 0,92 и степени поляризации 0,015... 0,6 в диапазоне длин волн 440... 700 нм.

*Степень использования:* предложенные материалы применены в области разработки экранов электромагнитного излучения в НИК «Карбон-Шунгит» (Россия) и в учебном процессе УО «Высший государственный колледж связи».

*Область применения:* изделия предприятий электронной и радиотехнической промышленности.



## SUMMARY

Krishtopova Ekatherina Anatolevna

### **Carbonaceous powdery-like materials based on shungite and taurite for electromagnetic shields**

*Key words:* electromagnetic shielding, powdery-like carbonaceous materials, shungite, taurite, charcoal, electromagnetic shields.

*Aim of the work* is research of process carrying during the modifications of surface of powdery-like carbonaceous materials, processing the composites based on them and designing electromagnetic shields.

*Research methods and equipment:* experimental research, surface and shielding properties of materials and constructions based on powdery-like shungite, taurite and charcoal with methods of X-ray spectrometry using special technical and measuring equipment and test benches.

*The results obtained and their novelty:* offered pulse heat treatment of powdery-like shungite with 200... 500 °C and duration till 5 s that gives the value of electromagnetic radiation attenuation till 16 dB in frequency range 8... 12 GHz.

Have shown that liquid chemical etching of silicon oxide on shungite surface gets increasing of the attenuation of electromagnetic radiation till 11... 60 dB in frequency range 0,8... 118 GHz.

Have established that by using synthesis of nickel-, cobalt- and copper-bearing powdery-like materials based on shungite with method of chemical sorption have been formed materials with resistivity 3,5... 5,0·10<sup>-3</sup> Ωm·m and electromagnetic radiation attenuation effectiveness 16,5... 18 dB.

Have gained features of spectral and polarization characteristics of powdery-like shungite, taurite and charcoal that consist increasing spectral brightness coefficient till 0,006... 0,92 and degree of polarization till 0,015... 0,6 in wavelength range 440... 700 nm.

*Extent of usage:* the proposed materials are used in the field of design of electromagnetic shields in SPE «Carbon-Shungite» and in study process in Higher state college of communication.

*Field of application:* production of electronics and radioelectronics enterprises.

*Научное издание*

Криштопова Екатерина Анатольевна

**УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОШКООБРАЗНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ШУНГИТА И ТАУРИТА ДЛЯ  
ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства  
полупроводников, материалов и приборов электронной техники

---

Подписано в печать 06.07.2009.	Формат 60×84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 480.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛП №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П. Бровки, 6.