

2. Lu, Y. Multifunctional Biosensor Based on ZnO Nanostructures / Yicheng Lu // The Journal of the Acoustical Society of America. – American Institute of Physics. – 2012. – Vol. 131. – № 2. – P. 1667–1667.

3. Ya-Shan, Huang. A passive wireless hydrogen surface acoustic wave sensor based on Pt-coated ZnO nanorods / Ya-Shan Huang, Yung-Yu Chen and Tsung-Tsong Wu // Nanotechnology. – 2010. – Vol. 21. – 095503. – P. 6.

4. Synthesis of ZnO Nanorods for Acoustic Wave Sensor / A. Orlov [et al.] // Conference Proceedings «IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO)», Kyiv, april 16-19, 2013. – Kyiv, 2013. – P. 25–27.

5. Morphology and Structure of ZnO Nanorods for SAW Sensors Applications / V.A. Ulianova [et al.] // Conference Proceedings «23rd International Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2013)», September 8-13, 2013. – Sevastopol: Weber Publishing. – 2013. – P. 830–831.

В.А. Банный¹, А.Л. Самофалов², И.В. Семченко², С.А. Хахомов²

¹УО «Гомельский государственный медицинский университет»,
Беларусь,

²УО «Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», Беларусь

ПОГЛОТИТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ И ЭНАНТИОМОРФНЫХ СТРУКТУР

Введение

В 21 веке значительно возросло количество разнообразных источников электромагнитного излучения (ЭМИ) и расширился используемый частотный диапазон. Воздействие ЭМИ на биологические и технические объекты является существенным фактором, влияющим на их жизнедеятельность и функционирование. Разработка систем защиты, экранирования и поглощения широкополосного ЭМИ является сложной теоретической и практической задачей. Технические требования, предъявляемые к таким системам, обуславливают необходимость поиска комплексных

решений задачи защиты от ЭМИ, а также защиты информации, содержащейся в ЭМИ. Такие решения включают использование специальных радиопоглощающих материалов (РПМ) и покрытий, учет распространения радиоволн, оценку электродинамических свойств компонентов поглотителей и окружающей среды, конструктивных особенностей РПМ и электромагнитных экранов (ЭМЭ) и т.п. Многообразие компонентов, связующих, типов и конструкций РПМ и ЭМЭ приводит к необходимости определения целесообразности применения тех или иных устройств для решения конкретных задач.

Цель данной работы состояла в теоретическом обосновании возможности использования энантиоморфных структур как компонентов поглотителей ЭМИ СВЧ-диапазона, исследовании закономерностей взаимодействия СВЧ-излучения с киральными микроэлементами, разработке РПМ и ЭМЭ на основе полимерных композитов и энантиоморфных структур.

1. Физическая модель полимерного слоистого ЭМЭ

Разработана физическая модель полимерного слоистого ЭМЭ (рисунок 1) [1]. В нем реализуются основные механизмы преобразования энергии ЭМИ. Предложено уравнение для описания потерь энергии ЭМИ, проходящего через этот экран.

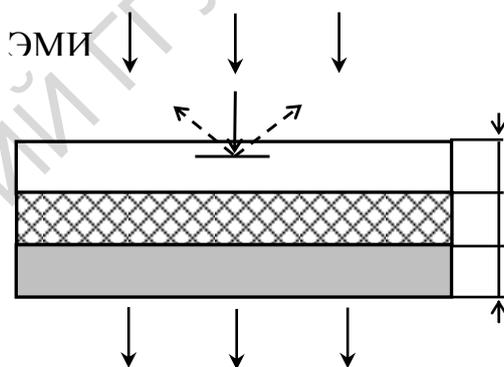


Рисунок 1 – Модель полимерного слоистого ЭМЭ

Экран моделируется тремя слоями: диэлектрическим наружным (D), который обеспечивает согласование волнового сопротивления экрана и атмосферы, магнитным (M) и электропроводящим (C). Потери энергии ЭМИ, прошедшего через него, складываются из потерь в слоях – диэлектрических E_D , магнитных E_M и вызванных электропроводностью E_C , а также ослабления энергии на границе раздела слоев E_{DM} и E_{MC} .

$$\Delta E = E_0 - E_h = E_D + E_M + E_C + E_{DM} + E_{MC}. \quad (1)$$

С учетом физических параметров слоев (ε и μ – диэлектрическая и магнитная проницаемости, γ – удельная электропроводность), их толщины (h) и межфазного взаимодействия выражение (1) можно представить в виде суммы функций:

$$\Delta E = F_D(\varepsilon_D, h_D) + F_M(\mu_M, h_M) + F_C(\gamma_C, h_C) + F_{DM}(\varepsilon_{DM}, \mu_{DM}) + F_{MC}(\mu_{MC}, \gamma_{MC}). \quad (2)$$

Функции F_{DM} и F_{MC} определяют ослабление энергии вследствие поглощения и рассеяния электромагнитных волн (ЭМВ) на границах слоев. Оно зависит от диэлектрических (ε_{DM}) и магнитных (μ_{DM} , μ_{MC}) параметров границ раздела, являющихся функцией межфазного взаимодействия слоев и электропроводности (γ_{MC}) границы MC .

Модель показывает, что при разработке ЭМЭ необходимо учитывать как электромагнитные параметры каждого из слоев, так и их физико-химическое взаимодействие.

2. Способы формирования экспериментальных образцов РПМ и ЭМЭ

При проведении технологических экспериментов полиэтиленовое связующее механически смешивали с функциональным наполнителем и затем подвергали гранулированию на экструзионной линии ЭК-75/1200, снабженной двухшнековым экструдером. Гранулят перерабатывали в листовые конструкционные РПМ с использованием типовых технологий формирования изделий из термопластов. Листовые монолитные РПМ формировали методами «горячего» прессования, волокнистые РПМ в виде нетканых полотен и конструкционных элементов – методом экструзии с пневматическим напылением полимерного расплава на формообразующую подложку (метод melt blowing) [1, 2]. В состав полимерной матрицы в процессе их производства были введены углеродные и металлические нити, металлические спирали, углеродные ткани и металлические сетки (рисунок 2) различной структуры и электропроводности.

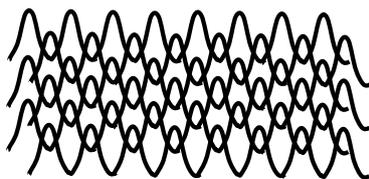


Рисунок 2 – Структура металлической сетки, введенной в состав комбинированного волокнистого РПМ

Указанные операции были объединены в технологическом цикле и не требовали дополнительных приемов по скреплению волокон с компонентами.

На рисунках приведены схема расположения слоев в комбинированном волокнистом материале (рисунок 3) и изображения участков образцов волокнистых РПМ, армированных углеродными нитями (рисунок 4 *а*) и углеродной тканью (рисунок 4 *б*).

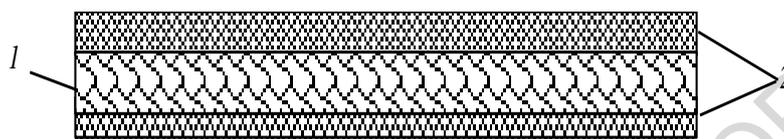


Рисунок 3 – Схема расположения слоев в комбинированном волокнистом материале: 1 – металлическая сетка; 2 – нетканый полимерный melt-blown материал



Рисунок 4 – Оптические изображения участков образцов волокнистых РПМ, армированных углеродными нитями (*а*) и углеродной тканью Бусофит ТР 3/2 (*б*) (масштаб 2:1)

Изготовлены комбинированные РПМ, типа «сэндвич», состоящие из чередующихся слоев волокнистого термопласта и углеродных тканей различной структуры и электропроводности. Толщина полимерных волокнистых слоев выбиралась кратной четверти средней длины волны из диапазона воздействующего ЭМИ. Слои адгезионно склеены или прошиты в многослойный композитный лист толщиной, не превышающей 14 мм.

3. Экспериментальное исследование

Частотные зависимости коэффициентов отражения (R) и ослабления (S) энергии нормально падающей плоской ЭМВ для экспериментальных образцов РПМ измерены в волноводных линиях и в безэховой камере.

Результаты исследования показали, что при замене металлической

подложки на исследуемые образцы композитных РПМ на основе термопластов, эффективная площадь рассеяния (ЭПР) уменьшается в 3-6 раз. При замене металлической подложки на исследуемые образцы композитных волокнистых РПМ ЭПР уменьшается в 1,1-2,3 раза. Во многих случаях такое уменьшение значения ЭПР достаточно, чтобы дезинформировать электронную систему радиолокационного наведения объектов военной техники.

Измерения радиофизических параметров экспериментальных образцов РПМ и ЭМЭ, содержащих различные по природе, размерам и форме функциональные наполнители, показали, что практически все механизмы поглощения энергии ЭМИ (диэлектрические, магнитные, джоулевы потери и т.д.) могут быть реализованы в полимерных композитах. Хаотично распределенные в полимерном композите металлические спирали также вносят вклад в общую величину ослабления энергии СВЧ-излучения. Их вклад может быть более весомым при оптимизации размеров спиралей, направления и угла закрутки витков, количества витков, упорядочении их расположения в полимерной матрице и т.п. Перспективный путь совершенствования ЭМЭ – создание энантиоморфных (киральных) поглощающих сред [3, 4]. В каждой из этих спиралей под действием ЭМВ индуцируются одинаково значимые электрический дипольный момент и магнитный момент, направленные вдоль оси спирали. Поэтому материал, созданный на основе оптимальных спиралей, проявляет не только диэлектрические, но и магнитные свойства. Вблизи резонансной частоты относительная диэлектрическая проницаемость и относительная магнитная проницаемость метаматериала имеют приблизительно равные значения. Это равенство обеспечивает согласование входного импеданса поглотителя с волновым импедансом свободного пространства, то есть отсутствие отраженной волны.

Литература

1. Банний, В.А. Взаимодействие радиоволн СВЧ диапазона с полимерными гетерогенными системами и разработка электромагнитных экранов на основе полиэтилена: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.07 / В.А. Банний. – Гомель, 2005. – 132 с.

2. Банний, В.А. Физико-химические и технологические особенности формирования полимерных композитных радиопоглощающих материалов / В.А. Банний, Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде // Материаловедение. – 2007. – № 6. – С. 17–24.

3. Семченко, И. В. Использование парных спиралей оптимальной формы для создания слабо отражающих покрытий в СВЧ диапазоне / И. В. Семченко, С. А. Хахомов, А. Л. Самофалов // Проблемы физики, математики и техники. – 2009. – № 1. – Р. 33–39.

4. Semchenko, I. V. Helices of optimal shape for nonreflecting covering / I. V. Semchenko, S. A. Khakhomov, A. L. Samofalov // The European Physical Journal. Applied Physics. – 2010. – Vol. 49. – P.33002.

¹В.С. Бураков, ¹А.В. Буцень, ¹Н.Н. Тарасенко,
²Н.А. Соболев, ¹Н.В. Тарасенко

¹ГНУ «Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси»,
Беларусь,

²Университет г. Авейро, Португалия

ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫЙ СИНТЕЗ ЛЕГИРОВАННЫХ НАНОСТРУКТУР ОКСИДА ЦИНКА

Введение

Несмотря на то, что ZnO не является «новым» материалом для микроэлектроники и исследуется на протяжении нескольких десятилетий, интерес к исследованию и получению структур ZnO, в том числе наноразмерных, существенно возрос в последнее время [1]. Это обусловлено тем, что в сравнении с другими полупроводниковыми материалами, ZnO имеет более высокую энергию экситонного возбуждения, более устойчив к радиации и является многофункциональным материалом, обладая пьезоэлектрическими, ферроэлектрическими и ферромагнитными свойствами.

Особенности физико-химических свойств оксида цинка делают его перспективным материалом при создании светодиодов, излучающих в синей и УФ областях спектра, варисторов, пьезоэлектрических преобразователей, газовых сенсоров, и т.д. Обычно ZnO обнаруживает проводимость n-типа, поэтому получить образцы с дырочной проводимостью гораздо сложнее. Проблема легирования ZnO для получения образцов с проводимостью p-типа может быть связана с высокой энергией активации акцепторов, низкой растворимостью акцепторной примеси и влиянием эффекта