

сов других типов изображений (лица, небо и облака, животные).

При использовании переменного порога значений, который основан на статистике изображений, повышается эффективность данного метода, что можно увидеть в табл. 1 и 2.

Таблица 1. FDR при использовании переменного порога значений

Класс изображений	Частота ложных обнаружений (FDR)	
	Переменный порог	Переменный порог
Лицо	87	0
Небо и облака	37	0
Животные	0	4,5

Таблица 2. FAR при использовании переменного порога значений

Класс изображений	Частота ложных тревог (FAR)	
	Постоянный порог	Переменный порог
Лицо	5,5	5,5
Небо и облака	0	0
Животные	47	16

По результатам, представленным в таблицах 1 и 2, видно, что применение переменного порога позволяет исключить ложные обнаружения по следующим классам, а именно: лицо, небо и облака (или цветовые оттенки бежевого и синего). Также, следует отметить, что применение переменного порога снижает частоту ложных тревог в классе животные, что существенно повышает точность данного метода. Однако, следует заметить, что постоянный порог дает более высокие результаты по частоте ложных обнаружений при сравнении с переменным порогом значений.

В заключении стоит отметить, что повышение надежности данного способа стегоанализа можно достичь путем использования выбора порога на основе статистики первого и второго порядка, куда также будет включена плотность цвета и корреляция пикселей, что позволит наиболее эффективно проводить анализ наименее значащих битов в графических изображениях. Стоит отметить, что актуальность по разработке методов стегоанализа относительно методов наименее значащих битов сохранится в виду того, что данный метод стеганографии довольно прост и не требует много ресурсов при его реализации, что обуславливает его популярность. Несмотря на популярность алгоритмов стеганографии, основанных на методе LSB, не стоит забывать об алгоритмах, которые построены на основе глубокого обучения, которые реализуются применением сверточных нейронных сетей.

Литература

1. Вильховский, Д. Э. Обзор методов стеганографического анализа изображений в работах зарубежных авторов / Д. Э. Вильховский // Математические структуры и моделирование. – 2020. – С. 75–102.
2. Steganalysis of LSB encoding in uncompressed images by close colour pair analysis / S. Mitra [et al.] // IT Kanpur Hackers' Workshop 2004 (ИТК-НАСК04), 2004.
3. Бирюков А. Стеганография: реализация и предотвращение / А. Бирюков // Системный администратор. – 2015. – С. 24–27.
4. Кочергина, М. А. Стеганография. Метод замены наименее значащего бита / М. А. Кочергина, Н. В. Первов ; под редакцией Калмыкова Б. М. – Чебоксары : Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, – 2014. – С. 86–89.

УДК 535.39

КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Кольчевская М.Н., Парфимович И.Д., Комаров Ф.Ф.

НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Разработка широкополосных экранирующих композитных материалов на основе полимеров, наполненных углеродными наноструктурами, для защиты от электромагнитных излучений, обладающих: высокой износостойкостью, твердостью, селективностью коэффициентов отражения и поглощения электромагнитных излучений в широком спектральном диапазоне, а также снижающих массогабаритное соотношение.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, композитные материалы, антибликовые материалы, радиопоглощающие материалы, безэховые камеры.

COMPOSITE MATERIALS FOR ELECTROMAGNETIC RADIATION PROTECTION SYSTEMS Kolchevskay M., Parfimovich I., Komarov F.

*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of BSU
Minsk, Belarus*

Abstract. development of broadband shielding composite materials based on polymers filled with carbon nanostructures for protection against electromagnetic radiation, possessing: high wear resistance, hardness, selectivity of reflection and absorption coefficients of electromagnetic radiation in a wide spectral range, as well as reducing the weight and size ratio.

Key words: carbon nanotubes, composite materials, anti-glare materials, radio-absorbing materials, echo-free chambers.

*Адрес для переписки: Кольчевская М.Н., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: kolchevskaya.mary@gmail.com*

Воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ) различной природы на технические и биологические объекты является существенным фактором, влияющим на их функционирование. Поэтому разработка новых высокоэффективных широкополосных радиопоглощающих материалов становится весьма актуальной для решения проблемы уменьшения помех и электромагнитной совместимости устройств.

При создании широкополосных (ШП) поглощающих покрытий ключевой задачей является согласование поглощающей структуры с окружающей пространством, при котором эффект отражения минимален.

При разработке поглотителей электромагнитных волн используются различные материалы, обладающие способностью поглощать электромагнитные излучения в определенном диапазоне частот. Способность среды поглощать электромагнитное излучение определяется ее электрическими и магнитными свойствами, к которым относятся удельная электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемости [1].

Такие материалы интересны для применения и в качестве защитного покрытия для экранирования уникальных электронных систем от электромагнитного излучения СВЧ-диапазона [2], включая системы на космических аппаратах. В настоящее время, существует большой интерес к исследованиям процессов поглощения и отражения ЭМИ полимеров с УНТ в широком диапазоне длин волн [3, 4]. Возрастание уровня микроволнового излучения и, так называемого, «электромагнитного загрязнения окружающей среды» объясняет интерес к разработке таких материалов. Кроме того, использование полимеров в качестве матрицы для углеродных нанотрубок позволит значительно улучшить такие физико-механические свойства экранирующих материалов как эластичность и устойчивость к внешним воздействиям, в достаточной мере сохранив экранирующие свойства по сравнению с материалом, состоящим непосредственно из УНТ [5].

Радиопоглощающие покрытия пирамидального (РПМ) типа широко используются на практике при построении высококачественных широкопо-

лосных безэховых камер [6]. Наиболее технологичным в производстве и эксплуатации радиопоглощающих материалов (РПМ) является пенополиуретан. Поглощение электромагнитного излучения в материале обеспечивается углеродосодержащей пропиткой, содержащей частицы углерода либо смесь частиц углерода и феррита. Конструктивно он представляет собой квадратные блоки с периодически профилированной поверхностью [7].

Для достижения требуемого уровня ослабления электромагнитных помех, необходимо большое количество наполнителя – не менее 60 вес.%, что сказывается на ухудшении механических характеристик материала и его долговечности. Использование многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) позволяет уменьшить концентрацию наполнителя для достижения эффективных поглощающих характеристик и, следовательно, позволит сохранить механические свойства исходной полимерной матрицы.

На рис. 1 продемонстрированы части пирамидальных РПМ в разрезе. Экспериментальным методом было определено, что степень окрашивания зависит от количества раствора и метода пропитки, а не от количества наполнителя. Для лучшего результата образец пирамидального РПМ необходимо полностью погружать в раствор композита с добавлением МУНТ и высушивать, периодически переворачивая пирамидками вниз. В противном же случае, раствор не успеет впитаться, и мы получаем или покрытие только на поверхностном слое или неравномерное окрашивание, что значительно ухудшает характеристики безэховости.



Рисунок 1 – Пирамидальные РПМ в разрезе, изготовленные различными методами

Разработанные пирамидальные РПМ непосредственно могут быть использованы в качестве

элементов для радиочастотных безэховых камер, обеспечивающих высокоточное тестирование работоспособности радиолокационных и телекоммуникационных систем, построения диаграмм эффективной площади рассеяния наземных, летательных и космических объектов, проведения испытаний на электромагнитную совместимость электронных устройств.



Рисунок 2 – Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров материалов на базе векторного анализатора цепей N5290A фирмы Keysight Technologies (США)

Исследование процессов взаимодействия электромагнитного излучения с радиопоглощающими материалами проводилось в диапазоне от 14 ГГц до 50 ГГц с использованием векторного анализатора цепей (рис. 2). Для перекрытия частотной полосы был использован метод исследований с использованием антенной линии передач. Выходными параметрами выступали отношения амплитуд отраженной электромагнитной волны к падающей, а также прошедшей к падающей и выраженные в децибелах. В качестве объекта сравнения выступал промышленно выпускаемый РПМ. Демонстрируемый уровень безэховости не уступает существующим промышленным образцам, а низкая концентрация

добавки МУНТ незначительно увеличивает массу образцов, а также благоприятно сказывается на сохранении исходных эластичных свойств пенополиуретановой матрицы. За счет дополнительного использования пирамидальных поглотителей с увеличенными размерами, планируется расширение частотного диапазона до 1 ГГц и создание на основе комбинированных пирамидальных РПМ передвижной миниатюрной безэховой камеры.

Литература

1. Латыпова, А. Ф. Анализ перспективных поглощающих материалов / А. Ф. Латыпова, Ю. Е. Калинин // Воронежский государственный университет. – 2012. – С. 70–76.
2. Attenuation of electromagnetic waves by carbon nanotube composites / B. Hornbostel [et al.] // Physica E. – 2008. – Vol. 40, № 7. – P. 2425–2429.
3. Carbon nanotubes filled with ferromagnetic alloy nanowires: Lightweight and wide-band microwave absorber / L. V. Ruitao [et al.] // Applied Physics Letters. – 2008. – Vol. 93, № 22. – P. 223105 (1–3).
4. Островский, О. С. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн / О. С. Островский, Е. Н. Одаренко, А. А. Шматько // Физическая Инженерия Поверхности. – 2003. – Т 1, № 2. – С. 161–173.
5. Ослабление электромагнитного излучения СВЧ-диапазона бумагой из углеродных нанотрубок / Комаров Ф. Ф. [и др.] // Журнал технической физики. – 2011. – Т. 81, № 11. – С. 140–145.
6. Мицмахер, М. Ю. Безэховые камеры СВЧ / М. Ю. Мицмахер, Торганов В. А. – М.: Радио и связь, 1982. – 128 с.
7. Структурная оптимизация радиопоглощающих покрытий пирамидального типа / А. Г. Будай [и др.] // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния : материалы междунар. науч.-практ. конф., 27–28 февраля 2013 г. – Минск: НИИ ПФП имени А. Н. Севченко, 2013. – С. 130–132.

УДК 538.915

МЕМРИСТОРНАЯ СТРУКТУРА НА ОСНОВЕ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО НИТРИДА КРЕМНИЯ

Комаров Ф.Ф.¹, Романов И.А.², Власукова Л.А.², Пархоменко И.Н.², Моховиков М.А.¹,
Цивако А.А.³, Ковальчук Н.С.³

¹НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ

²Белорусский государственный университет

³ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Исследованы электрофизические свойства и эффект резистивного переключения мемристорной структуры $\text{ITO}/\text{SiN}_x/\text{Si}$. Концентрация избыточных атомов кремния в пленке SiN_x , толщиной ~200 нм, увеличивалась от 16 до 77 % по мере продвижения вглубь образца. Обсуждаются эффект переключения сопротивления и механизмы проводимости в состояниях с высоким и низким сопротивлением. Для данной структуры также обнаружен эффект фотопереключения.

Ключевые слова: нитрид кремния, избыток кремния, мемристор, вольт-амперные характеристики, механизмы проводимости.