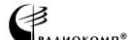
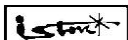




Посвящается
70-летию РНТОРЭС



КрымМуКо 2015 CriMiCo

**25-я Международная Крымская конференция
СВЧ-техника
и телекоммуникационные технологии
Материалы конференции**

**6—12 сентября 2015 г.
Севастополь, Крым, Россия**

**2015 25th International Crimean Conference
Microwave &
Telecommunication Technology
Conference Proceedings**

**September 6—12, 2015
Sevastopol, Crimea, Russia**

**В двух томах
In Two Volumes**

**Том 1
Volume 1**

Moscow • Minsk • Sevastopol
2015

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431
С255

Организаторы:

Российское научно-техническое общество радиотехники,
электроники и связи (РНТОРЭС) им. А. С. Попова
Крымский научно-технологический центр
им. проф. А. С. Попова (Севастополь)
Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)
Севастопольский государственный университет
Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники (Минск)
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
НП ОАО «Фаза» (Ростов-на-Дону)
ОАО «НПП "Исток" им. Шокина» (Фрязино)
ЗАО «Микроволновые системы» (Москва)
НПП «Системные ресурсы» (Москва)
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
НПФ «Микран» (Томск)
ООО «Радиокомп» (Москва)
Уральский федеральный университет им. первого
Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург)
Keysight Technologies (Москва)
SD Solutions (Санкт-Петербург)
Крымский федеральный университет
им. проф. В. И. Вернадского (Симферополь)
НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» (Кацивели)

Информационная поддержка:

Журнал «Вестник электроники»

25-я Международная Крымская конференция «**СВЧ-техника** и телекоммуникационные
С255 технологии» (КрыМиКо'2015). Севастополь, 6—12 сентября 2015 г. : материалы конф. в 2 т. —
Севастополь, 2015. — Т. 1: 666 с. (1—596) + 70 с.: ил. — ISBN 978-1-4673-9414-7.

В 1-й том сборника материалов включены 277 из 588-ти прошедших рецензирование и включенных в программу конференции докладов, которые будут представлены на секциях: Материалы и технология СВЧ-приборов; Нанотехнологии и наноматериалы; Нанoeлектроника; Нанотехнологии и нанoeлектроника; СВЧ-электроника сверхбольших мощностей и эффекты; Радиационная стойкость материалов и ЭКБ; Электромагнитная стойкость материалов и ЭКБ; Измерение параметров цепей и сигналов; Измерение параметров материалов и технологических процессов; Антенные измерения; Обработка результатов измерений и другие приложения; Контроль и управление в технологических процессах; СВЧ-технологии в задачах мониторинга окружающей среды; Радиофотоника; Микроволновые технологии в биологии и медицине; Радиоастрономия и распространение радиоволн в атмосфере Земли; Методы и средства ДЗЗ; Моделирование и реализация комплексов и систем. Авторами представленных на конференции докладов являются 1216 ученых и специалистов 194-х университетов и предприятий 14-ти стран: Беларуси, Великобритании, Дании, Ирака, Казахстана, Канады, Кореи, Польши, России, Румынии, Украины, Швеции, ЮАР и Японии.

Материалы конференции изданы также на компакт-диске.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области СВЧ-техники и телекоммуникационных технологий. Сборник также будет полезен студентам и аспирантам телекоммуникационных, радиотехнических и радиофизических факультетов вузов.

УДК 621.3.029.62+621.39
ББК 32я431

IEEE Catalog Number CFP15788-PRT
ISBN 978-1-4673-9413-0 (CD)
ISBN 978-1-4673-9414-7

© Оргкомитет КрыМиКо'2015
© КНТЦ им. Попова, 2015

ELECTROMAGNETIC PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON CARBON NANOSTRUCTURES

Chernobrova D. A., Dotsenko O. A., Kuleshov G. E.
National Research Tomsk State University
36, Lenina sq., Tomsk, Tomsk reg.
634000, Russian Federation
e-mail: chernobrova.dasha@ya.ru

Abstract — Now the microwave waveband being developed actively. Scientists are exploring new radio materials for this wavelength range. The aim of this work is to study the electromagnetic characteristics of the composites containing as filler carbon nanostructures. Reflection and transmission coefficients of composite based on carbon nanostructures: single-walled, multi-walled carbon nanotubes, and graphene were measured. The research results showed that increasing the percentage by weight of the starting carbon nanostructures to 1% leads to an increase in the reflection coefficient and a decrease the transmission coefficient. SWNTs and graphene proved to be more effective materials.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР

Черноброва Д. А., Доценко О. А., Кулешов Г. Е.
Национальный исследовательский Томский государственный университет
пл. Ленина, 36, Томск, Томская обл., 634000, Россия
e-mail: chernobrova.dasha@ya.ru

Аннотация — Возрастающие темпы освоения микроволнового диапазона постоянно требуют разработки новых радио-материалов, активно взаимодействующих с электромагнитным излучением этого участка длин волн. Поэтому целью работы является исследование электромагнитных характеристик композитов, содержащих в качестве наполнителя углеродные наноструктуры. Были измерены коэффициенты отражения и прохождения углеродных наноструктур: одностенных, многостенных углеродных нанотрубок и графена. Показано, что увеличение процентного содержания по массе исходных углеродных наноструктур до 1% приводит к росту коэффициента отражения и уменьшению коэффициента прохождения. Причем одностенные углеродные нанотрубки и графен показали себя как наиболее эффективные материалы.

I. Введение

В последнее время возрос интерес к исследованию материалов, эффективно взаимодействующих с излучением СВЧ и КВЧ диапазона. Это вызвано разработкой современной аппаратуры, которая может работать как в данных областях частот, так и в терагерцовой области частот электромагнитного излучения. Причем исследуются как сплошные, так и композиционные материалы.

Полимерные композиты состоят, как правило, из пластичной основы (ее называют матрицей), которая армирована наполнителями с высокой прочностью, жесткостью и т.д. Композиты легко обрабатываются и могут обладать повышенной прочностью, эластичностью, гибкостью, улучшенными электромагнитными характеристиками и другими свойствами, недоступными для чистых веществ. Достижения наноструктурной индустрии привели к появлению принципиально нового поколения полимерных композитов. В качестве активной фазы композитов СВЧ диапазона хорошо зарекомендовали себя оксидные ферромагнетики [1, 2], углеродные наноструктуры [2], карбонильное железо [3]. Сочетание разнородных веществ и создает новый материал, resultирующее свойство которого отличаются от свойств каждого из его составляющих.

Углеродные наноструктуры (УНС) являются перспективным материалом для решения задач разработки защитных покрытий. Исследования углеродных наноструктур ведутся на протяжении более чем 20 лет, но только в последние годы ученые обратились к практическому применению. Обладая особыми свойствами: высокой проводимостью, малым объемным весом, механической прочностью, пла-

стичностью, теплопроводностью, [2, 4] УНС позволяют разрабатывать на их основе высокопрочные и легкие покрытия. Причем варьированием концентрацией УНС можно получать как отражающие, так и поглощающие покрытия.

Исследование электромагнитных характеристик композитов, содержащих в качестве наполнителя углеродные наноструктуры, было целью работы.

II. Основная часть

В качестве наполнителей использовались графен, одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) и многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ)

Графен – уникальная разработка инженеров Сибирского химического комбината, был получен руководителем исследовательской группы, кандидатом наук, В.И. Мазиным.

МУНТ диаметром 9,4 нм, полученные осаждением этилена в присутствии катализатора FeCo/Al₂O₃ произведены Институтом катализа СО РАН, г. Новосибирск. МУНТ синтезировались через этиленовое разложение при 680 °С в присутствии катализатора FeCo [4]. Изменение размера каталитических частиц позволило получить МУНТ с разными диаметрами. Подготовленные нанотрубки были очищены через дефлегмацию в HCl, отфильтрованы, вымыты до нейтрального pH и были подвержены сушке в течение 24 часов при 40 °С. Остаток катализатора в МУНТ ниже 0,5 масс.%. и представляет собой металлические частицы, расположенные внутри трубки.

Также использовались одностенные углеродные нанотрубки ОУНТ производства фирмы TUBALL. TUBALL содержит 75% и более ОУНТ диаметр 1,97 нм. Пилотная промышленная установка синтеза ОУНТ

«Graphetron 1.0» установлена в Центре наномодифицированных материалов Технопарка Новосибирского Академгородка, в R&D-центре компании OCSiAl. [5]

Для приготовления образцов композитов в эпоксидиановую смолу ЭД-20 добавляли необходимое количество углеродного материала и полученную смесь нагревали до 323 К для уменьшения вязкости. Равномерного распределения нанонаполнителя в смеси достигали обработкой последней ультразвуком в течение 15 минут (частота 22 кГц проводили во фторопластовой форме, представляющей собой цилиндрическую форму, внутренний диаметр которой равен 16 мм. В центре формы расположен штырь с внешним диаметром 6 мм. Образцы для экспериментов представляют собой шайбу с отверстием посередине.

Для исключения неполного отверждения композиты дополнительно выдерживали при комнатной температуре еще 24 часов. Повторяли процедуру и для МУНТ.

Табл. 1. Коэффициенты прохождения и отражения.

Table. 1. Transmission and reflection coefficient

УНС	Масс. % УНС	2 ГГц		3 ГГц	
		R	T	R	T
ОУНТ	0,1	6,57	69,17	1,95	54,47
	0,5	6,50	36,77	15,04	18,28
	0,7	11,98	24,95	23,88	10,32
МУНТ	0,1	2,55	95,37	5,07	91,26
	0,5	3,62	93,53	4,32	92,16
	0,7	2,88	94,19	6,19	89,08
Графен	0,1	3,74	94,20	3,03	94,77
	0,5	4,26	92,55	6,69	88,47
	0,7	12,74	80,34	22,77	64,86

Измерения электромагнитного отклика от слоя композиционного материала проводились в диапазоне 0,01–4 ГГц. На рис. 1, 2 представлены результаты измерений электромагнитных характеристик коэффициентов прохождения (T), отражения (R). Цифра обозначении соответствует концентрации в % мас., буква – тип материала: G – графен, С – МУНТ.

Из графиков видно, что увеличение процентного содержания углеродных нанотрубок и графена в образце приводит к росту коэффициентов отражения и уменьшению коэффициента прохождения.

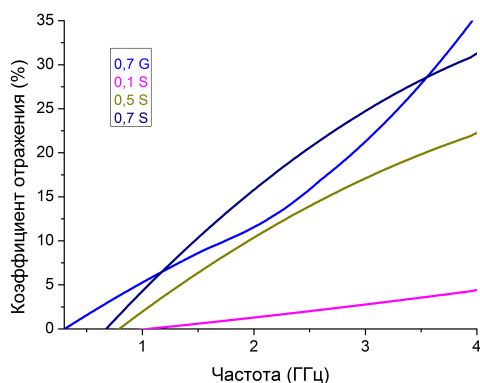


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента отражения.

Fig. 1. The frequency dependence of the reflection coefficient

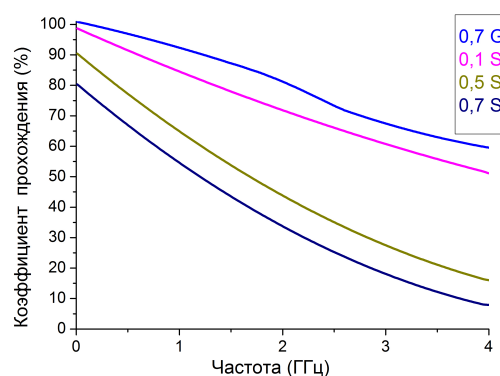


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента прохождения.

Fig. 2. The frequency dependence of the transmission coefficient

III. Заключение

Увеличение процентного содержания углеродных наноматериалов в образцах приводит к росту коэффициентов отражения и уменьшению коэффициента прохождения.

Таким образом, проведенное исследование показывает, что композиты на основе графена и ОУНТ показывают лучшие поглощающие свойства по сравнению с композитом на основе МУНТ.

IV. Благодарности

Благодарим доцента В.И. Мазина за предоставленные материалы для исследования, доцента В.А. Журавлева за помощь в проведении измерений.

Работа была выполнена при частичной поддержке грантом РФФИ мол_a № 14-02-31421.

V. References

- [1] Wagner, D. V., Dotsenko, O. A. Electromagnetic properties of Z-hexaferrites composites with magnetic texture. *International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM. 2014.* 6882494, pp. 132-135.
- [2] Mazov I. N., Kuznetsov V. L., Krasnikov D. V., Rudina N. A., Romanenko A. I., Anikeeva O. B., Suslyayev V. I., Korovin E. Yu., and Zhuravlev V. A. Structure and Properties of Multi-wall Carbon Nanotubes/Polystyrene Composites Prepared via Cogulation Precipitation Technique. *Journal of Nanotechnology Volume 2011 (2011), Article ID 648324, 7 pages* doi:10.1155/2011/648324
- [3] Zhuravlev V. A., Suslyayev V. I., Korovin E. Yu., Pavlova A. A.. Electromagnetic Characteristic of Double-layer Composite Materials on Basis of Carbonyl Iron *15th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*. – NTSU Printing office, Novosibirsk, 2014. – P. 19–22.
- [4] Mazov I. N., Kuznetsov V. L., Moseenkov S. I., Ishchenko A. V., Romanenko A. I., Anikeeva O. B., Buryakov T. I., Korovin E. Yu., Zhuravlev V. A., Suslyayev V. I. Electrophysical and Electromagnetic Properties of Pure MWNTs and MWNT / PMMA Composite Materials Depending on Their Structure *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*. 2010. V. 18. № 4. pp. 505 – 515.
- [5] TUBALL – the universal nanomodifier for materials. Available at: <http://ocsial.com/en/product/tuball/> (accessed 24 April 2015).