

наблюдается увеличение размера зерен, что в свою очередь приводит к уменьшению суммарной площади границ зерен. Плотность дефектов на границах зерен намного выше, чем в объёме зерен и, следовательно, уменьшение плотности границ зерен приводит к уменьшению плотности дефектов являющимися центрами захватов электронов. Все это приводит к увеличению концентрации свободных электронов в зоне проводимости, что в свою очередь приводит к увеличению E_g из эффекта Бурштейна-Мосса [3]. Тем не менее, дальнейший рост температуры окисления, возможно, приводит к переизбытку кислорода на поверхности и образованию вакансии индия, что может приводить к наблюдаемому уменьшению E_g .

Список использованных источников

1. W. Huang, B. Zhu, Sh.Y. Chang, Sh. Zhu, P.Cheng, Y.T. Hsieh, L. Meng, R. Wang, Ch. Wang, Ch. Zhu, Ch. R. McNeill, M. Wang, Y. Yang, Nano Lett., 2018, DOI: 10.1021/acs.nanolett.8b02452
2. Mihaela Girtan, Materials Science and Engineering B 118 (2005) 175–178 DOI:[10.1016/j.mseb.2004.12.075](https://doi.org/10.1016/j.mseb.2004.12.075)
3. Qian Ma, He-Mei Zheng, Yan Shao, Bao Zhu, Wen-Jun Liu* , Shi-Jin Ding* and David Wei Zhang, Nanoscale Research Letters (2018) 13:4, DOI 10.1186/s11671-017-2414-0

УДК 541.183.

А.С. Панасюгин^{1,2}, А.Р. Цыганов², В.А. Ломоносов³

¹Белорусский национальный технический университет

²Белорусский государственный технологический университет,

³НПЦ по материаловедению НАН Беларуси

Минск, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭКРАНОВ ЭМИ ПОГЛАЩЕНИЯ

Аннотация. Исследованы абсорбционные характеристики шунгитового порошка для экранов ЭМ поглощения. Показано, что частицы шунгита размерами $2 < d_{cp} < 5$ мкм в области частот 27-37 ГГц обладают высокими значениями параметра отражения ЭМИ (до 65 % от исходной мощности источника электромагнитных волн). Отмечено, что с ростом частоты электромагнитного воздействия коэффициент поглощения увеличивается от 24 до 35 единиц, соответственно.

A.S. Panasyugin^{1,2}, A.R. Tsyganov², V.A. Lomonosov³

¹Belarusian National Technical University

²Belarusian State Technological University,

³SPC for Materials Science of the NAS of Belarus
Minsk, Belarus

INVESTIGATION OF THE CHARACTERISTICS OF MATERIALS FOR EMR ABSORPTION SCREENS

***Abstract.** The absorption characteristics of shungite powder for EM absorption screens are investigated. It is shown that shungite particles with a size of 2-5 microns in the frequency range of 27-37 Hz have high values of the EMR reflection parameter (up to 65% of the initial power of the electro-magnetic wave source). It is noted that with an increase in the frequency of electromagnetic exposure, the absorption coefficient increases from 24 to 35 units, respectively.*

ВВЕДЕНИЕ. Окружающая человека среда в прямом смысле уже пронизана электромагнитными излучениями (ЭМИ), из которых наибольшую опасность представляют ЭМИ с диапазоном частот используемых радио- и телевещательными станциями, излучения телефонов сотовой связи и мониторов ПЭВМ. Уже в 70-х годах появились сообщения, что длительные воздействия модулированного сигнала на мозг человека приводят к серьезным расстройствам его нервной системы. Подобная симптоматика зарегистрирована в большинстве стран, где мобильная связь получила широкое распространение.

Следует также учесть, что эти ЭМ-поля, являются модулированными, т.е. изобилуют инфра-низкими частотами, а этот диапазон, как было доказано экспериментально, поражает центральную нервную систему. Кроме того еще один вид воздействия на человека (привносимых сотовой связью) являются локальные тепловые эффекты, то есть повышение температуры кожи и барабанной перепонки. В связи с этим, изучение возможных средств защиты от данных излучений, становится весьма актуальной задачей.

В этом смысле перспективным видится использование шунгита в качестве экранирующего фактора. Специфическая структура самого шунгита, а также наличие в составе минерала углерода C₆₀ (фуллерена со своим уникальным строением), позволяет говорить о более высокой эффективности его использования в качестве защитного элемента от негативного воздействия ЭМИ на организм человека [1].

На основе шунгитовых пород уже созданы ряд экранирующих ЭМИ абсорберов, и все они являются композиционными, так как помимо шунгитового наполнителя включают другие компоненты,

например: штукатурные растворы и мастики, позволяющие переоборудовать обычные строительные сооружения в экранированные. Мастики способны обеспечить экранирующий эффект на уровне не менее 30дБ. в диапазоне свыше 30 МГц при толщине слоя в 2-3 см.

Однако, несмотря на большие достижения и многообразие разработок в этой области, эффективный ЭМИ абсорбер еще не создан. В связи с чем и дальше остается необходимость изучать факторы, способствующие улучшению функциональных характеристик уже имеющихся материалов, и возможности получения новых конструкторских решений.

Методы исследований

В проведенных исследованиях использовали дифрактометр ДРОН-3 (Cu-K α -излучение), рентгенофлуорисцентный микроанализатор Inca Energy 350 (Oxford Instruments, Англия) и сканирующий электронный микроскоп Vega II LMV (Tescan, Чехия).

Коэффициент затухания ЭМ-волны находили путем измерения коэффициента отражения на основе применения измерительной линии, представляющей собой отрезок линейной передачи ЭМИ с узкой щелью, прорезанной вдоль оси волновода. Через щель внутрь волновода помещали электрический зонд, соединенный с детектором и передвигаемый вдоль щели с помощью каретки. Измерение коэффициента стоячей волны (модуля коэффициента отражения, $K_{ст}$) находили по отношению максимума (E_{max}) к минимуму (E_{min}) величины электрического поля по формуле:

$$K_{ст} = E_{max} / E_{min}. \quad (1)$$

Модуль коэффициента отражения (Γ) рассчитывали с использованием полученных значений $K_{ст}$ в соответствие с выражением:

$$\Gamma = (K_{ст} - 1) / (K_{ст} + 1). \quad (2)$$

Измерения экранирующих свойств порошка шунгита проводились в диапазоне частот 8÷11,5 ГГц. Данный диапазон частот был выбран с учетом дальнейшего применения исходного материала.

Параметры удельной поверхности определялись по низкотемпературной сорбции азота с использованием комплексного измерителя удельной поверхности и пористости дисперсных материалов "СОРБИ-MS" (расчеты проводились по методам BET и STSA).

Определение экранирующих свойств шунгитового порошка.

Минерал шунгит, как правило, имеет в основе своей каркас из графитоподобного глобулярного углерода с частицами оксида кремния и содержит небольшие количества оксидов различных металлов, кристаллизационную воду и серу [2]. Благодаря пористому строению он является одним из востребованных для создания микроструктурированных матриц в электронной техники путем синтеза и/или внедрения металлических кластеров на поверхности и внутри его гранул [3]. Это позволяет получать материал с требуемыми электрическими и магнитными характеристиками, которые важны и при создании ЭМ экранов. Следует подчеркнуть, что техническое использование шунгита определяются не столько его элементным и фазовым составом, сколько сложной пористой структурой минерала, масштабное многообразие которой меняется от долей нанометра до десятков микрон. В объеме матрицы каждый следующий уровень формируется из элементов предшествующего уровня путем объединения в структуры с фрактальными свойствами. Минимальные по размеру элементы (≤ 1 нм) представляют собой сборки из фрагментов графена, а также замкнутые однослойные (фуллерены) и многослойные углеродные оболочки [4]

Для приготовления образцов в виде пластин размерами $7 \times 3 \times 1$ мм исходным материалом служил измельченный шунгит взятый из Зажогинского месторождения (Карелия, Россия), содержащий по весу до 40 % углеродного компонента, до 30 % оксида кремния и железосодержащих минералов, а также небольшие количества других соединений.

Плотность породы шунгита составляет $\rho_{sh} = 2.1-2.4$ г/см³, пористость и удельная поверхность характеризуются величинами $\Phi_p = 5$ % и $S_g = 20$ м²/г (соответственно). В расчете на единицу объема породы площадь поверхности пор равна $S_{sh} = S_g \rho_{sh} = 45$ м²/см³. Микроструктура мелкодисперсного порошка шунгита представлена на рис.1.

Как видно из рис. 1, размер частиц порошка составляет не более 2 мкм. Сами частицы представляли собой рыхлые конгломераты. Проведенные исследования по высокочастотному электромагнитному взаимодействию шунгитового порошка проиллюстрированы на рисунке 2.

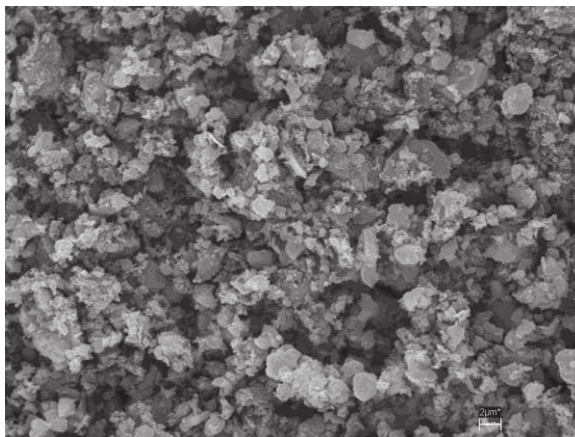


Рис. 1. Изображение микроструктуры измельченного шунгита.

Как можно видеть, отражающие характеристики материала составляют более 60 % от общей энергии падающей волны и проявляют тенденцию к уменьшению с ростом частоты от 27 до 37 ГГц. В то же время наблюдается увеличение значений коэффициента поглощения ЭМИ, при неизменных показаниях амплитуды прошедшей волны. Средний диапазон ослабления электромагнитного воздействия составляет от 87 до 93 %.

Таким образом, мелкодисперсный шунгит из-за своей структуры и, в первую очередь, своего сложного химического состава (наличия уникальной углеродной составляющей) одновременно обладает электропроводящими свойствами и обеспечивает диэлектрические потери в объеме вещества, тем самым уже относится к перспективным материалам для использования его как компонента экранов электромагнитной защиты.

Изготовление жидко-силикатной композиции с наполнителем из шунгита.

В связи с этим, следующим этапом исследования явилось получение образцов в виде плитки и панели из вспененной жидко-силикатной композиции обладающей высокими тепло- и шумо-изоляционными свойствами.

С целью расширения области применения данного материала, в частности, как экран для защиты от электромагнитных излучений, исследовали возможность совмещения данного состава с наполнителем из углеродсодержащего минерала. Таким (как указывалось выше) перспективным наполнителем является измельченный шунгит.

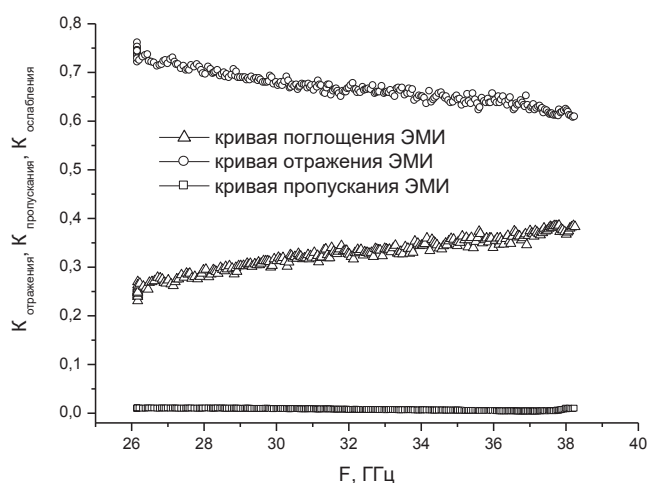


Рис. 2 - Зависимости коэффициента отражения, коэффициента пропускания и коэффициента поглощения шунгитового образца от частоты

Он и раньше использовался в качестве модифицирующей активной добавки при производстве композиционных материалов для улучшения их механо-физических характеристик.

Полученная плитка представлена на рис. 3.



Рис. 3. Изготовленная пеносиликатная плитка с наполнителем из шунгитового порошка.

На этой плитке и проводились исследования по определению влияния материала на изменение (ослабление) электромагнитного излучения проходящего через нее. Для измерения экранирующих свойств экспериментальных образцов использовался измерительный комплекс, состоящий из генератора РГ4-14, индикатора Я2Р-70, волноводной линии и рупорных антенн, включенных в разрыв

волноводного тракта. Определение коэффициента передачи (затухания или усиления) основано на измерении мощностей на входе $P_{вх}$ и выходе $P_{вых}$ измеряемого устройства и вычислении модуля по формуле:

$$\alpha = 10 \lg(P_{вх}/P_{вых}). \quad (3)$$

Было отмечено, что величина интенсивности ЭМИ после его прохождения через композитный материал снижалась от 5 до 11%.

Выводы Определены характеристики минерала шунгита по его способности к поглощению/отражению электромагнитного излучения. Порошок шунгита ($2 < d_{ср} < 5$ мкм) характеризуется высоким значением параметра отражения ЭМИ (до 65 % от исходной мощности источника электро-магнитных волн) в области частот 27-37 ГГц, при этом с ростом частоты электромагнитного воздействия коэффициент поглощения увеличивается от 24 до 35 единиц, соответственно.

На основе композиции с шунгитовым наполнителем изготовлена экспериментальная плитка размерами 120×190×20 мм. и на ней исследованы экранирующие ЭМИ свойства материала. Установлено, что интенсивность электромагнитного излучения уменьшается на 7-11 %. Показано, что шунгитовый порошки могут быть использованы как наполнители при изготовлении материала покрытий (типа панели, плитки и т.д.) или заполняющих растворов обладающих экранирующими электромагнитное излучение свойствами.

Список использованных источников

1. Шунгитовые радиоэкранирующие материалы // Компания ChemProm [Электронный ресурс]. – 2004. – Режим доступа: <http://www.promc.ru/shungit/radioshield.htm>. - Дата доступа: 18.09.2006.
2. Панасюгин А.С., Цыганов А.Р., Ломоносов В.А., Григорьев С.В и др./ Исследование структуры и физических свойств шунгитовых пород// Литье Украины, 2015, №2, с.11-14.
3. M.V. Avdeev, T.V. Tropin, V.L. Aksenov, L. Rosta, V.M. Garamus. Pore structures in shungites as revealed by small-angle neutron scattering.// Carbon . 2006. №44, P.954–961.
4. Ломоносов В.А., Цыганов А.Р., Панасюгин А.С., Новицкая М.В./ Получение и физико - механические свойства вспененного теплоизоляционного материала на основе щелочно - силикатной композиции и шунгита// Литье и металлургия 2015., № 3 63-67.