

УДК 537.531:621.039.537-037.87

КОМПОЗИТ ДИОКСИДА ТИТАНА И УГЛЕРОДА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭКРАНОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М.С.Х. Аль-МАХДАВИ, Е.С. БЕЛОУСОВА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 11 марта 2019

Аннотация. Представлены исследования процессов внедрения частиц технического углерода и диоксида титана в состав синтетического материала. Показано изменение частотных характеристик коэффициентов передачи и отражения, измеренных в режимах согласованной нагрузки и короткого замыкания, в результате введения частиц углерода и/или частиц диоксида титана в структуру материала.

Ключевые слова: технический углерод, диоксид титана, экран электромагнитного излучения.

Введение

Данная статья является продолжением исследований, направленных на получение гибких экранов электромагнитного излучения, обладающих незначительными массогабаритными параметрами и эффективно ослабляющих электромагнитное излучение СВЧ-диапазона. В работе [1] представлены результаты исследования экранов электромагнитного излучения на основе волокнистого материала, содержащего частицы технического углерода, который можно использовать для создания изделий, способных защищать организм человека от негативного влияния электромагнитного излучения. В данной работе поставлена задача создания композита из диоксида титана и технического углерода и его внедрения в структуру синтетического материала.

Известно, что карбид титана производится из смеси порошка титана с техническим углеродом [2]. В промышленном производстве смесь, состоящая из 68,5 % TiO_2 и 31,5 % технического углерода, подвергается продолжительному и тщательному перемешиванию в жидкой среде, после чего прессуется под давлением в брикеты, которые загружаются в графитовые тигли. Карбидизация смеси проводится в атмосфере водорода в угольно-трубчатых печах или вакуумных садочных печах. В угольно-трубчатых печах графитовые тигли непрерывно продвигаются в печи, температура которой 2000 °С. Измельченный и просеянный карбид титана содержит 20–20,5 % углерода, из которых 2 % находится в виде свободного углерода. Определяющее влияние на состав получаемого по этому методу карбида титана оказывает равномерность смещения исходных компонентов. Равномерное смещение компонентов и высокая дисперсность диоксида титана и углерода достигается с помощью растворного метода, который заключается в осаждении из солянокислого раствора трех-хлористого титана раствором аммиака гидроксида титана. Гидрооксид титана после смешивания с водным раствором углеводов упаривают в потоке инертного газа.

Углерод в технологии высокотемпературного синтеза карбида титана берется обычно в виде сажи. В случае сухого смешивания исходных порошков титана и сажи большое влияние на качество смешивания оказывает влажность порошков. Увлажненные порошки слеживаются, теряют свойство сыпучести и плохо смешиваются. Кроме того, влага в порошках является источником кислорода, загрязняющего конечный продукт. Поэтому для удаления адсорбированной влаги порошки перед смешиванием необходимо просушивать.

Исследования, проведенные авторами в работе [3], позволили сделать вывод, что композит

диоксид титана/углерод (TiO_2/C) стержневой морфологии может быть получен простым и технологичным способом, без использования вредных и ядовитых компонентов при условии использования в процессе термического разложения прекурсора – глицеролата титана $\text{Ti}(\text{C}_3\text{H}_7\text{O}_3)_4$, что обеспечивает одновременное формирование в процессе термической деструкции прекурсора оксидной и углеродной составляющих композита. Кроме того, это позволяет получать композит TiO_2/C на основе разнообразных кристаллографических симметрий диоксида титана: аморфного диоксида титана, анатазной модификации, смешанных анатазной и рутильной модификаций. Согласно СЭМ, частицы композита TiO_2/C имеют морфологию стержней толщиной 20–250 нм и длиной до 4 мкм (рис. 1).

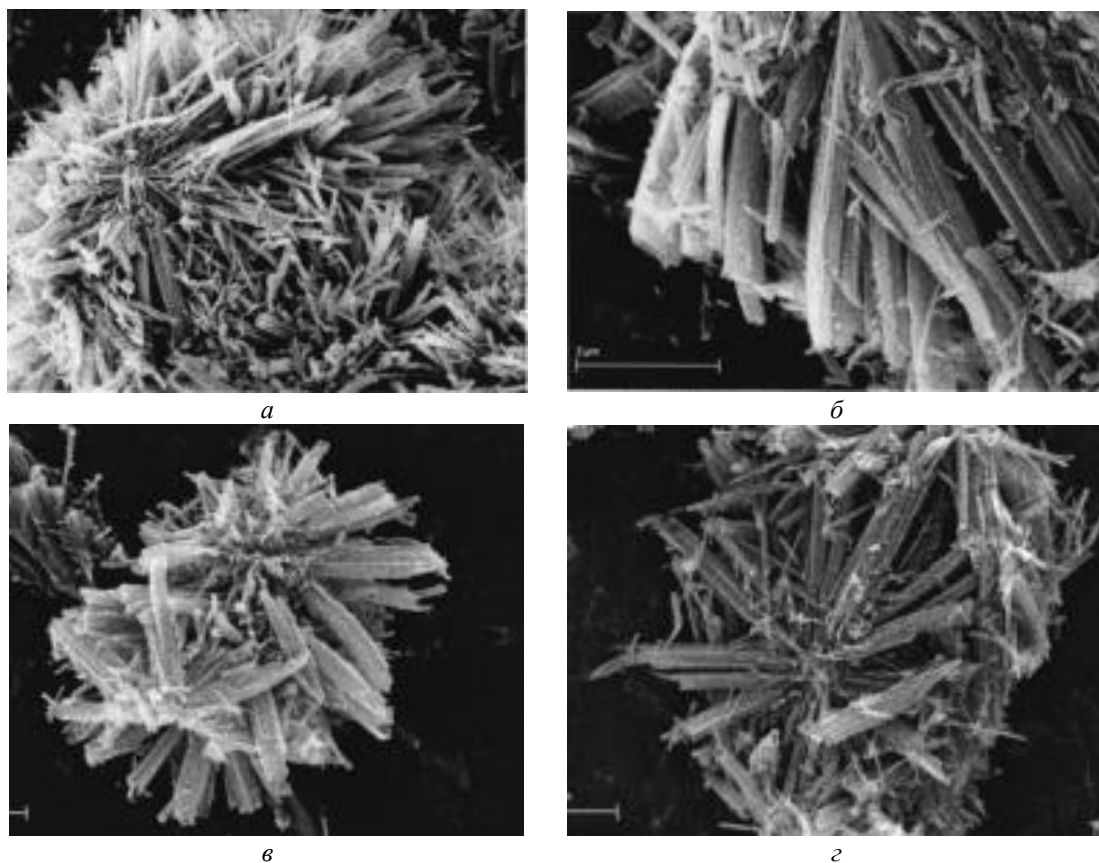


Рис. 1. Изображение композита TiO_2/C стержневой морфологии, полученного в результате нагрева в течение 0,5 ч при температурах: а – 360 °С; б – 480 °С; в – 600 °С; з – 850 °С [3]

Методика создания образцов экранов электромагнитного излучения

Для создания образцов экранов электромагнитного излучения использовались порошки диоксида титана и технического углерода. Диоксид титана существует в виде нескольких кристаллических модификаций. В природе можно встретить анатаз, рутил и брукит. Следует отметить, что брукит промышленно почти не производится и в природе встречается редко. Анатазная форма также существенно уступает по производству рутильной, так как хуже рассеивает свет. Чистый диоксид титана представляет собой бесцветное кристаллическое вещество, желтеющее при нагревании. В тонкораздробленном состоянии – белый порошок. Практически не растворяется в воде и минеральных кислотах, кроме плавиковой и концентрированной серной. Температура плавления рутила: 1870 °С, температура кипения – 2500 °С. Плотность рутила при 20 °С составляет 4,235 г/см³.

Технический углерод представляет собой высокодисперсный аморфный углеродный

продукт, производимый в промышленных масштабах. Порошкообразный технический углерод представляет собой набор частиц размером примерно 13–200 нм. Температура образования технического углерода составляет 1000 °С и выше. С использованием электрофильтров сформированные частицы улавливаются с последующей технологической операцией удаления гранул и уплотнений. Технический углерод широко используется для создания проводящих компонентов, а также в качестве дисперсного наполнителя в полимерном связующем.

В данной работе в качестве основы для создания экранов электромагнитного излучения применялось нетканое иглопробивное полотно, которое содержало 70 % полиэфирных волокон, 20 % полипропиленовых волокон и 10 % угольных волокон марки УГЦВ-1-Р. Толщина полотна составляла 4 мм, поверхностная плотность – 250 г/м².

На основе ранее проведенных исследований [4] было решено использовать для создания образцов раствор дистиллированной воды с техническим углеродом и/или порошком диоксида титана. Методика пропитки волокнистых основ включала следующие этапы:

- подготовка порошков (помол, промывка, сушка в течение 24 ч);
- определение массы сухого порошкообразного материала и жидкостного наполнителя;
- приготовление водного углеродосодержащего раствора (помещение порошкообразного материала и жидкостного наполнителя в смешивающий механизм);
- раскрой волокнистого материала на фрагменты необходимого размера;
- помещение волокнистого материала в герметичную емкость с углеродосодержащим раствором на 2 ч;
- просушка пропитанного материала в сушильном шкафу при температуре 50 °С в течение 1 ч.

По представленной методике были изготовлены следующие образцы:

- образец экрана электромагнитного излучения на основе синтетического материала с содержанием диоксида титана (образец № 1);
- образец экрана электромагнитного излучения на основе синтетического материала с содержанием технического углерода (образец № 2);
- образец экрана электромагнитного излучения на основе синтетического материала с содержанием композита TiO₂/C (образец № 3).

Для измерения коэффициентов передачи и отражения конструкций экранов электромагнитного излучения использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18, работающий по принципу отдельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отраженной волн. В состав панорамного измерителя входят генератор качающейся частоты (ГКЧ), блок обработки измерительных сигналов, передающая и приемная антенны, блоки направленных ответвителей, предназначенные для выделения и детектирования падающей, отраженной и прошедшей электромагнитных волн и соединяющиеся с каналами блока обработки измерительных сигналов и антеннами. Рабочий диапазон частот панорамного измерителя – 0,01...18 ГГц.

Для получения цифровых фотографий поверхности образцов экранов были использованы микроскоп МЕТАМ-Р1 и цифровая камера ЦК–13, которая предназначена для регистрации изображения и его записи на металлографических микроскопах.

На рис. 2 представлены микрофотографии поверхности образцов экранов электромагнитного излучения на основе синтетического материала с содержанием диоксида титана и композита TiO₂/C. Как видно из рис. 2, а, частицы диоксида титана закрепляются на синтетических волокнах и образуют дополнительный слой. То же самое происходит при пропитке синтетического полотна водным раствором с содержанием технического углерода. При использовании композита TiO₂/C на волокнах образуются слои, содержащие соединения частиц данных веществ (рис. 2, б).

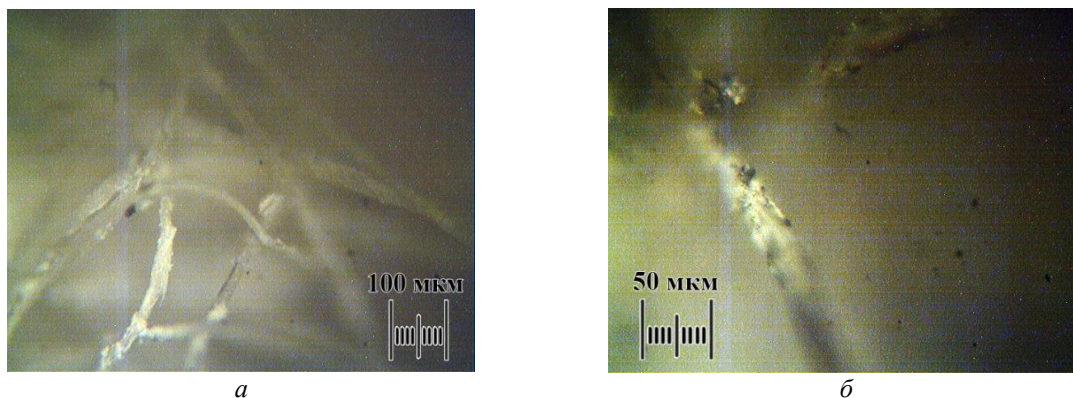


Рис. 2. Микрофотографии поверхностей образцов экранов электромагнитного излучения на основе синтетического материала с содержанием: диоксида титана (а); и композита TiO_2/C (б)

Результаты проведенных исследований

Измерения коэффициентов отражения производились в режимах согласованной нагрузки и короткого замыкания (с установленным металлическим отражателем за образцом) в диапазоне частот 0,7–17 ГГц. Проведение измерений в данном диапазоне частот обусловлено тем, что в нем организовано функционирование систем мобильной связи, радиолокационных станций. Кроме того, в этом диапазоне лежат астоты информативных побочных электромагнитных излучений средств вычислительной техники. На рис. 3 представлены частотные зависимости коэффициентов передачи и отражения, измеренных в режиме согласованной нагрузки и короткого замыкания, для образцов экранов электромагнитного излучения на основе синтетического материала с содержанием диоксида титана (кривая 1), с содержанием технического углерода (кривая 2), с содержанием композита TiO_2/C (кривая 3), а также исходного синтетического материала (кривая 4).

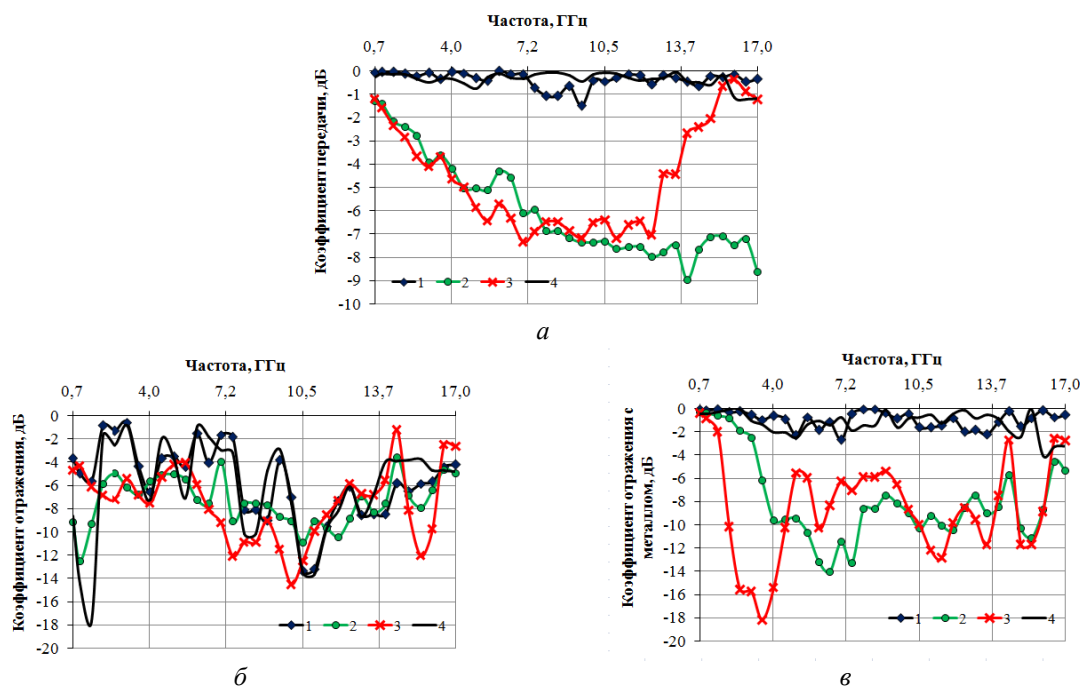


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициентов: а – передачи; б – отражения, измеренного в режиме согласованной нагрузки; в – отражения, измеренного в режиме короткого замыкания

Из рис 3 следует, что введение порошка технического углерода в состав синтетического материала снижает коэффициенты отражения и передачи последнего. Коэффициент передачи образца № 2 (с содержанием технического углерода) составляет $-1...-9$ дБ, коэффициент

отражения изменяется в пределах от -3 дБ до -12 дБ (при измерении в режиме согласованной нагрузки) и от -1 дБ до -14 дБ (при измерении в режиме короткого замыкания). Частотные характеристики образца № 1 (с содержанием диоксида титана) незначительно отличаются от частотных характеристик исходного синтетического материала. При этом введение в состав синтетического материала композита из TiO_2/C в диапазоне частот $2\text{--}5$ ГГц приводит к уменьшению коэффициента отражения до значения -18 дБ, измеренного в режиме короткого замыкания. При этом коэффициент передачи в данном диапазоне частот практически не изменяется и составляет -4 дБ.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что введение в состав волокнистого синтетического материала частиц технического углерода и диоксида титана увеличивает эффективность ослабления мощности электромагнитных волн в диапазоне частот $2\text{--}5$ ГГц за счет образования слоя композита диоксида титана и технического углерода вокруг каждого волокна. Представленная структура представляет собой хаотическое расположение синтетических волокон, покрытых слоем композита из соединенных частиц диоксида титана и технического углерода. При этом необходимо отметить, что частицы не закреплены на волокнах, что может привести к их перемещению в следствие механической деформации, а значит и к изменению частотных характеристик коэффициентов отражения и передачи. В связи с этим дальнейшие исследования будут направлены на поиск способов закрепления частиц в структуре материала.

TITANIUM DIOXIDE/CARBON COMPOSIT FOR CREATING ELECTROMAGNETIC RADIATION SCREENS

M.S.Kh. Al-MAHDAWI, E.S. BELOUSOVA

Abstract. Studies of the intrusion processes of carbon and titanium dioxide particles into the synthetic material are presented. It is shown the changes in the frequency characteristics of the transmission and reflection coefficients measured in the modes of matched load and short circuit with the intrusion of carbon and/or titanium dioxide particles into the structure of the material.

Keywords: carbon black, titanium dioxide, electromagnetic radiation shield.

Список литературы

1. Аль-Махдави М.С.Х., Белоусова Е.С. // Докл. БГУИР. 2018. № 7 (117). С. 7–11.
2. Кипарисов С.С., Левинский Ю.В., Петров А.П. Карбид титана. Получение, свойства, применение. Москва, 1987.
3. Способ получения композита диоксид титана/углерод: пат. 2602536 Рос. Федерация. /Опубл. 20.11.2016.
4. Белоусова Е.С., Мохамед А.М.А., Аль-Адеми Я.Т.А. // Докл. БГУИР. 2017. № 2 (104). С. 63–68.