

УДК 621.315.5; 621.318.1

## ПОГЛОТИТЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ ПОРОШКООБРАЗНОГО ТАУРИТА

Е.А. КРИШТОПОВА, Л.М. ЛЫНЬКОВ, Т.В. БОРБОТЬКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 18 января 2008*

Предложено использовать порошкообразный таурит в качестве наполнителя поглотителей электромагнитного излучения. Приведены экспериментально полученные значения коэффициентов передачи и отражения порошкообразного таурита и образцов поглотителей электромагнитного излучения на его основе. Установлена зависимость величины коэффициента отражения от концентрации наполнителя и определены ее оптимальные значения.

*Ключевые слова:* порошкообразный таурит, поглотители электромагнитного излучения.

### Введение

Электромагнитные поля (ЭМП), генерируемые различными радиоэлектронными устройствами, неблагоприятно воздействуют на человека, что усугубляется долговременностью этого воздействия: круглосуточно и на протяжении ряда лет. Также электромагнитные излучения (ЭМИ), генерируемые одними устройствами, могут быть источниками помех для других устройств. Поэтому в настоящее время важными задачами являются сохранение безопасности жизнедеятельности человека и обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования, что может быть реализовано использованием специальных материалов — поглотителей ЭМИ.

Коэффициент отражения является одним из критериев, характеризующих экранирующие свойства поглотителей ЭМИ. По преобладающему механизму действия они подразделяются на материалы интерференционного типа, где гашение электромагнитных волн происходит за счет интерференции, и материалы, в которых электромагнитная энергия превращается в тепловую за счет наведения рассеянных токов, магнитогистерезисных или высокочастотных диэлектрических потерь. [1]. Кроме того, такие материалы должны отвечать требованиям широкополосности, отсутствия вредных испарений, пожаробезопасности, иметь небольшие габариты и вес.

При изготовлении эффективных широкополосных поглотителей ЭМИ применяются многослойные композиционные материалы, состоящие, как минимум, из двух слоев, — проводящего наполнителя, распределенного в связующем, и металлического отражателя. Такая конструкция позволяет одновременно задействовать два механизма ослабления ЭМИ: интерференции электромагнитных волн, отраженных от различных слоев; и диэлектрических потерь в слое проводящего наполнителя, распределенного в связующем.

В качестве проводящих наполнителей поглотителей ЭМИ обычно применяются порошковое железо, ферриты, графит [2], но возможность их использования ограничена относительно высокой стоимостью. Альтернативой являются наполнители из углеродсодержащих минералов, в частности шунгитовых. Одним из них является таурит, добываемый в Казахстане, месторождение Коксу.

Практический интерес при создании поглотителей ЭМИ представляет возможность использования ряда свойств тауритов: химической стойкости и термостойкости, электропроводности, диэлектрических и антистатических свойств, малой теплопроводности, механической прочности, трудногорючести, низкого влагопоглощения, ингибирования процессов коррозии, совмещения практически со всеми традиционно применяемыми связующими.

### Методика исследования

Структура таурита представляет собой равномерное распределение высокодисперсных кристаллических силикатных частиц размером около 1 мкм в аморфной углеродной матрице [3]. Тауритовый углерод имеет графитоподобную глобулярную структуру, размеры его глобул составляют 20–30 Å. Подробно химический состав таурита приведен в таблице [4].

Химический состав таурита

C	Zn	Cu	Ba	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	П.П.
12	0,01	0,01	0,05	0,09	0,5	31,0	68,00	2,69	4,55	1,20	0,40	9,51

Плотность таурита для карбонатной разности составляет 2,3–2,5 г/см<sup>3</sup>, сланцевой разности — 2,5–2,65 г/см<sup>3</sup>, твердость по шкале Мооса составляет 4,0–4,5 [4].

В настоящем эксперименте использовался порошкообразный таурит с размером частиц 30–35 мкм (рис. 1). Были изготовлены следующие образцы:

- герметизированный в полиэтилен слой порошкообразного таурита толщиной 3 мм;
- герметизированный в полиэтилен слой водосодержащего порошкообразного таурита толщиной 3 мм;
- краска, полученная распределением в диэлектрическом (акриловом) связующем порошкообразного таурита в различных концентрациях. Краска наносилась слоем толщиной 1 мм на металлический отражатель (алюминиевую фольгу толщиной 2 мкм) или на диэлектрическую (целлюлозно-хлопковую) подложку, наклеенную на него.



Рис. 1. Таурит, использованный в эксперименте

Для исследуемых образцов экспериментально были получены значения коэффициентов передачи ( $S_{21}$ ), что по абсолютной величине равно ослаблению ЭМИ, и отражения ( $S_{11}$ ) в диапазоне частот 8–12 ГГц, по методике, описанной в [5].

### Полученные результаты и обсуждение

Установлено, что коэффициент передачи слоя порошкообразного таурита толщиной 3 мм составляет –3 дБ (рис. 2,а), что по абсолютной величине равно ослаблению ЭМИ при значении коэффициента отражения –3÷ –4,2 дБ (рис. 2,б).

Для водосодержащего слоя порошкообразного таурита толщиной 3 мм наблюдается увеличение значения ослабления ЭМИ до –10 дБ, величина коэффициента отражения сохраняет тот же интервал значений, что и для сухого образца. Имеющиеся в воде примеси диссоциируют

на ионы. Кроме того, присутствие воды, имеющей высокую диэлектрическую проницаемость, может способствовать диссоциации молекул с поверхности самого минерала [6, 7]. Водосодержащий таурит включает воду двух отличных по физическим свойствам видов: адсорбированную в виде пленки и капиллярную, которая содержится в порах размером  $10^{-3}$ – $10^3$  мкм (рис. 3) [8]. Наличие воды первого вида увеличивает электропроводность отдельно взятых частиц, а второго — электрический контакт между ними, что в итоге приводит к увеличению величины ослабления ЭМИ, однако не влияет на величину коэффициента отражения, что может быть объяснено увеличением диэлектрических потерь на поляризацию молекул воды под воздействием ЭМИ в диапазоне частот 8–12 ГГц.

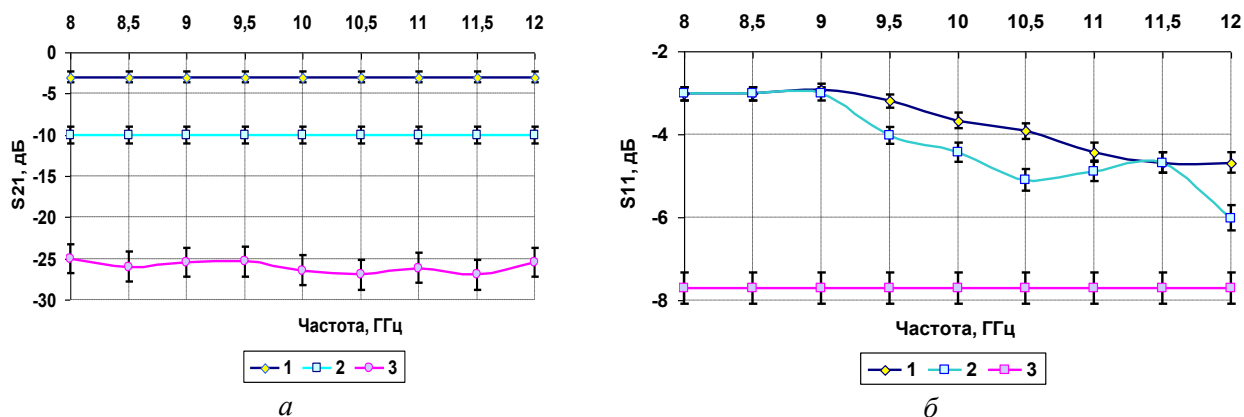


Рис. 2. Частотные зависимости коэффициента передачи  $S_{21}$  (а) и коэффициента отражения  $S_{11}$  (б) для слоя толщиной 3 мм: 1 — порошкообразного таурита; 2 — водосодержащего порошкообразного таурита; 3 — порошкообразного таурита с установленным за ним металлическим отражателем

Для снижения значения коэффициента передачи поглотителя ЭМИ со стороны, не подлежащей облучению, покрываются радиотражающим покрытием, в качестве которого в настоящем исследовании была использована алюминиевая фольга толщиной 2 мкм. Установка ее за слоем порошкообразного таурита увеличивает значение ослабления ЭМИ до  $-25 \div -30$  дБ (рис. 2, а). В полученной двухслойной структуре электромагнитные волны, отраженные от обоих слоев, интерферируют и компенсируются, чем можно объяснить снижение величины коэффициента отражения с  $-3 \div -4,2$  дБ до  $-7,5$  дБ (рис. 2, б).

Уменьшение значения коэффициента отражения, а также расхода таурита и массы поглотителей ЭМИ, при повышении технологичности изготовления последних, можно добиться путем реализации их в виде покрытий с распределением таурита в полимерном связующем красок, клеев и герметиков, наносимых на металлический отражатель для обеспечения низкого значения коэффициента передачи. Как показано в [9], оптимальным в поглотителях ЭМИ с металлическим отражателем является диэлектрическое связующее.

Установлена зависимость значения коэффициента отражения от концентрации порошкообразного таурита для слоя поглощающей ЭМИ краски толщиной 1 мм, нанесенного на металлический отражатель и на наклеенную на него диэлектрическую подложку из полиакрилонитрила. Так как зависимость значений коэффициентов отражения равномерна во всем диапазоне частот 8–12 ГГц, то для ее анализа можно ограничиться графиками для середины диапазона — 10 ГГц (рис. 4).

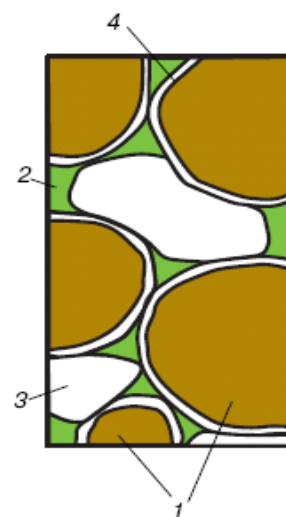


Рис. 3. Схема распределения воды в порошкообразном таурите: 1 — минерал, 2 — капиллярная вода, 3 — воздух, 4 — адсорбированная вода

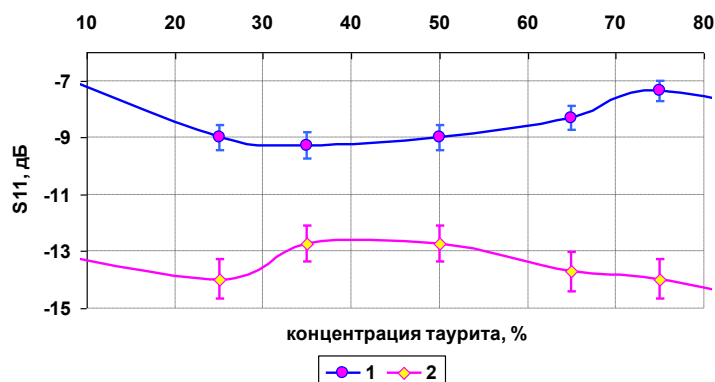


Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения от концентрации порошкообразного таурита в акриловом связующем при толщине слоя 3 мм, непосредственно нанесенного на металлический отражатель (1) и нанесенного на диэлектрический материал, наклеенный на металлический отражатель (2) для частоты 10 ГГц

Минимальное значение коэффициента отражения при непосредственном нанесении на металлический отражатель слоя поглощающей ЭМИ краски составляет  $-7 \div -9$  дБ и достигается при 30–40%-й концентрации в акриловом связующем порошкообразного таурита. При уменьшении концентрации вследствие снижения электропроводности полученного слоя электромагнитные волны, отраженные от него, не компенсируют в достаточно значимой степени волны, отраженные от второго слоя. При увеличении концентрации уменьшаются диэлектрические потери в слое порошкообразного шунгита в краске, и, следовательно, увеличивается значение коэффициента отражения синтезированного материала.

Добавление диэлектрика с незначительной величиной диэлектрических потерь между слоем порошкообразного таурита в акриловом связующем и металлическим отражателем позволяет использовать для снижения значения коэффициента отражения также механизм многократных внутренних переотражений между электропроводными слоями (рис. 5). Для такой конструкции значение коэффициента отражения составляет  $-13 \div -14$  дБ (рис. 4), и при равной толщине всех слоев определяется электропроводностью и диэлектрическими потерями в первом слое. Их значения зависят от концентрации порошкообразного таурита. С ростом электропроводности слоя краски увеличивается величина многократных переотражений ЭМИ в диэлектрике. Поэтому для наибольшей из использованных концентраций порошкообразного таурита (75%) получено минимальное в рассматриваемом диапазоне частот значение коэффициента отражения, равное  $-14$  дБ. При дальнейшем увеличении содержания порошкообразного таурита снижается механическая прочность и гибкость поглотителя ЭМИ. Такое же значение коэффициента отражения получено при 25%-й концентрации порошкообразного таурита в слое краски. Однако, вероятно, в этом случае механизм многократных переотражений не оказывает существенного влияния на величину коэффициента отражения, а его снижение происходит за счет диэлектрических потерь и компенсации электромагнитных волн, отраженных от различных слоев.

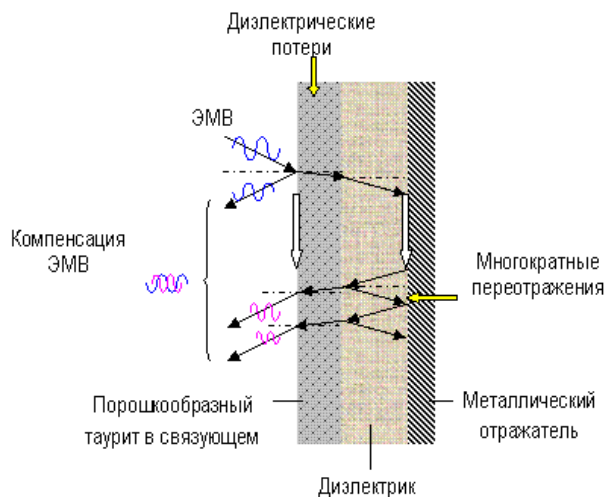


Рис. 5. Схема распределения электромагнитных волн в трехслойном поглотителе ЭМИ

## Заклучение

Вследствие своего сложного химического состава и структуры порошкообразный таурит одновременно обладает электропроводностью и обеспечивает диэлектрические потери, что делает перспективным его использование в качестве наполнителя поглотителей ЭМИ. В результате проведенных исследований установлено, что, управляя влажностью или концентрацией порошкообразного таурита в связующем, возможно получение материалов для изготовления многослойных конструкций поглотителей ЭМИ с управляемыми значениями коэффициентов передачи и отражения.

## POWDER TAURITE-FILLED ELECTROMAGNETIC RADIATION ABSORBERS

E.A. KRISHTOPOVA, L.M. LYNKOV, T.V. BORBOTKO

### Abstract

Powdery taurite is suggested to use as filler for EMR absorbers. Experimentally received transmission gain and return loss values for both powdery taurite and samples of EMR absorbers based on it are given for frequency range 8-12 GHz. Return loss dependences from the concentration of powdery taurite in the binder are determined and optimal concentration is given. The mechanism of decreasing reflected electromagnetic radiation of given EMR absorbers are explained.

### Литература

1. Грачев Н.Н. Средства и методы защиты от электромагнитных и ионизирующих излучений. [Электронный ресурс]. 2007. — Режим доступа: [http://grachev.distudy.ru/Uch\\_kurs/sredstva](http://grachev.distudy.ru/Uch_kurs/sredstva).
2. Chung D.D.L. // J. of Materials Engineering and Performance. 2000. № 9(3). P. 350–354.
3. Информация о минерале. Горнорудная компания "Коксу". — [Электронный ресурс]. 2007. — Режим доступа: <http://www.koksu.kz>. — Дата доступа: 08.02.2008.
4. Буллах А. Общая минералогия. СПб., 2002.
5. Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты / В.А. Богуш [и др.]; под общ. ред. Л.М. Лынькова. Мн., 2003.
6. Щербаченко Л.А. Физика диэлектриков: Курс лекций. Иркутск, 2005.
7. Горшочков В.С., Соловьев В.Г., Федоров Н.Ф. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений М., 1988.
8. Королев В.А. // Соросовский образовательный журнал. 1996. №9. С. 79–85.
9. Криштопова Е.А. и др. // Докл. БГУИР. 2007. № 6. С. 3–7.