

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 23903

(13) С1

(46) 2022.12.30

(51) МПК

*H 01Q 17/00* (2006.01)

*H 05K 9/00* (2006.01)

## (54) ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ПОГЛОТИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(21) Номер заявки: а 20200369

(22) 2020.12.18

(43) 2022.08.30

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(72) Авторы: Богуш Вадим Анатольевич; Лабунов Владимир Архипович; Гусинский Александр Владимирович; Карпович Виктор Аркадьевич; Родионова Валентина Николаевна (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(56) RU 2456722 C1, 2012.

ВУ 4881 U, 2008.

ВУ 9866 U, 2014.

ВУ 16980 C1, 2013.

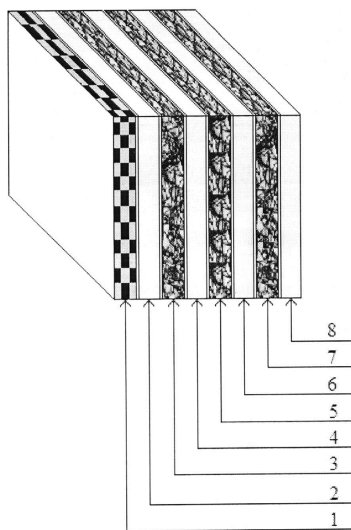
RU 2367069 C2, 2009.

EP 0742095 A2, 1996.

US 2004/0219328 A1.

(57)

1. Широкополосный поглотитель электромагнитного излучения, содержащий последовательно расположенные слой радиопрозрачного стеклопластика и пакет из трех диэлектрических поглощающих слоев (3, 5, 7), каждый из которых выполнен толщиной 1,5-2,0 мм из модифицированного поглощающего нанокремнистого волокнистого материала, при этом первый (3) диэлектрический поглощающий слой обладает удельным электрическим сопротивлением 340-380 Ом.



Фиг. 1

2. Широкополосный поглотитель по п. 1, **отличающийся** тем, что содержит два слоя поглощающего наноксидного материала  $Fe_3O_4$  толщиной 15-20 мкм, нанесенных на нижние по отношению к слою упомянутого стеклопластика поверхности упомянутых второго (5) и третьего (7) диэлектрических слоев.

3. Способ изготовления широкополосного поглотителя электромагнитного излучения по п. 1, при котором выкраивают заготовку для слоя радиопрозрачного стеклопластика, выкраивают из модифицированного поглощающего наноксидного волокнистого материала заготовки второго (5) и третьего (7) диэлектрических поглощающих слоев толщиной 1,5-2,0 мм, формой, эквивалентной форме заготовки для упомянутого слоя стеклопластика, выкраивают из модифицированного поглощающего наноксидного волокнистого материала с удельным электрическим сопротивлением 340-380 Ом заготовку для первого (3) диэлектрического поглощающего слоя толщиной 1,5-2,0 мм и формой, эквивалентной форме заготовки для упомянутого слоя стеклопластика, осуществляют отжиг упомянутых заготовок для первого (3), второго (5) и третьего (7) слоев в инертной среде, далее все три заготовки для диэлектрических поглощающих слоев собирают в пакет, соединяют их между собой и со слоем радиопрозрачного стеклопластика с помощью клейкой ленты.

4. Способ по п. 3, **отличающийся** тем, что после отжига упомянутых заготовок для первого (3), второго (5) и третьего (7) слоев в инертной среде на нижние по отношению к упомянутому слою стеклопластика поверхности заготовок второго (5) и третьего (7) диэлектрических поглощающих слоев наносят слой поглощающего наноксидного материала  $Fe_3O_4$  толщиной 15-20 мкм.

---

Изобретение относится к области радиоэлектроники и может быть использовано для скрытия расположенных под ним крупногабаритных движущихся либо неподвижных объектов от систем наблюдения радиолокационного обнаружения, защиты радиоэлектронной аппаратуры, носителей информации и биологических объектов от повышенного уровня электромагнитного излучения, а также локализации электромагнитных излучений.

Известен поглотитель электромагнитных волн [1], представляющий собой многослойное интерференционное покрытие, включающее несколько слоев переменной толщины, выполненное методами напыления или окраски. Недостатком данного поглотителя является трудоемкость и дороговизна изготовления резонансных слоев, а также узкий диапазон рабочих частот.

Известно устройство для уменьшения радиолокационной видимости объекта [2], выполненное в виде тонкого слоя нетканого войлока, в который вплетены электропроводящие микродиполи разной длины. Недостатком известного устройства является низкая степень защиты от электромагнитного излучения, обусловленная недостаточным уровнем поглощения энергии падающей электромагнитной волны.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является средство защиты объектов от электромагнитного излучения [3], содержащее последовательно расположенные внешний конструкционный слой, диэлектрический слой и металлический экран. Диэлектрический слой представляет собой градиентную структуру из стеклопластика, содержащую поглощающий наполнитель из науглероженного волокна. Известное средство защиты объектов от электромагнитного излучения обладает необходимыми радиотехническими и механическими свойствами. Недостатки средства заключаются в том, что при использовании материала в диапазоне метровых волн для обеспечения требуемых радиотехнических характеристик его толщину необходимо значительно увеличить, что приводит к ухудшению массогабаритных показателей и неудобству в эксплуатации. Кроме того, средство технологически сложно в изготовлении вследствие

# ВУ 23903 С1 2022.12.30

необходимости точного соблюдения толщины диэлектрического слоя для обеспечения заданных радиотехнических свойств.

Техническим результатом изобретения является создание широкополосного поглотителя электромагнитного излучения в диапазоне частот 1-18 ГГц с коэффициентом поглощения по мощности не менее 99 %, напряжением изгиба и напряжением растяжения широкополосного радиопоглощающего материала  $\geq 650$  МПа, плотностью  $\leq 2,5$  г/см<sup>3</sup> и толщиной  $\leq 6$  мм.

Технический результат достигается за счет того, что широкополосный поглотитель электромагнитного излучения состоит из последовательно расположенных поглощающих слоев: радиопрозрачного стеклопластика, на который методом наклеивания нанесен диэлектрический поглощающий слой толщиной 5,0-6,0 мм, выполненный в виде собранных в пакет трех диэлектрических слоев, представляющих собой градиентную структуру изготовленных из модифицированного поглощающего наноуглеродного волокна, причем первый диэлектрический слой толщиной 1,5-2,0 мм и удельным электрическим сопротивлением 340-380 Ом является согласующим, а на нижнюю по отношению к стеклопластику сторону второго и третьего диэлектрических слоев, каждый из которых толщиной 1,5-2,0 мм, нанесен слой поглощающего наноксидного материала Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> толщиной 15-20 мкм.

Способ изготовления широкополосного поглотителя электромагнитного излучения, включающий формирование на внешнем конструкционном слое, выполненном из радиопрозрачного стеклопластика методом наклеивания на него диэлектрических поглощающих слоев. Предварительно получают заготовки первого, второго и третьего слоев методом высокотемпературного отжига в инертной среде, далее на нижнюю по отношению к стеклопластику сторону второго и третьего диэлектрических слоев дополнительно наносится слой поглощающего наноксидного материала Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> толщиной 15-20 мкм. Затем все три диэлектрических слоя собираются в пакет и соединяются с внешним конструкционным слоем.

На фиг. 1 представлено схематическое изображение широкополосного поглотителя, где 1 - внешний конструкционный слой; 2, 4, 6, 8 - клейкая лента; 3, 5, 7 - диэлектрические слои.

Пример изготовления широкополосного поглотителя электромагнитного излучения.

1. Откраивание радиопрозрачного стеклопластика, геометрические размеры которого выбираются исходя из размеров раскрытия рупора измерительных антенн.

2. Откраивание 3 кусков диэлектрических слоев из пористого материала на базе углеродных волокон, форма которых эквивалентна форме фрагмента, полученного в результате реализации этапа 1.

3. Высокотемпературный отжиг в инертной среде первого, второго и третьего диэлектрических слоев из пористого материала на базе углеродных волокон с целью оптимизации электрофизических параметров серийно выпускаемых углеродных войлочных материалов с начальным сопротивлением 1 Ом.

4. Нанесение на нижнюю по отношению к стеклопластику сторону второго и третьего диэлектрических слоев, слоя поглощающего наноксидного материала Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> толщиной 15-20 мкм.

5. Соединение в пакет с помощью клейкой ленты первого диэлектрического слоя и двух диэлектрических слоев, полученных в результате реализации этапов 3 и 4.

6. Закрепление диэлектрического слоя, полученного в результате реализации этапа 5, на фрагменте радиопрозрачного стеклопластика при помощи клейкой ленты.

7. Защита нижней поверхности диэлектрического слоя от воздействия внешних влажных сред с помощью клейкой ленты.

Внешний конструкционный слой 1 служит для обеспечения высоких механических характеристик заявляемого устройства, напряжения изгиба и напряжения растяжения ши-

# BY 23903 C1 2022.12.30

рокопосного радиопоглощающего материала  $\geq 650$  МПа, улучшенных на порядок по сравнению с известными поглотителями электромагнитного излучения. Внешний конструкционный слой 1 препятствует контакту со средой пористого углеродного материала с повышенными сорбционными свойствами.

Активный диэлектрический слой 3 представляет собой пористый материал на базе углеродных волокон и обеспечивает волновое сопротивление поглотителя порядка 400 Ом для согласования с атмосферной средой. Разориентированные полупроводящие углеродные волокна, входящие в состав диэлектрического слоя 3, обеспечивают требуемые параметры поглощения электромагнитного излучения.

Активные диэлектрические слои 5, 7 представляют собой градиентную структуру на базе пористых углеродных материалов. На нижнюю сторону этих слоев покраской нанесен слой поглощающего наноксидного материала  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  толщиной 15-20 мкм. За счет изменения концентрации наноксидного материала  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в диэлектрических слоях 5, 7 можно варьировать свойства поглощающего материала, подбирая их таким образом, чтобы обеспечить максимальное поглощение мощности падающей электромагнитной волны при ее минимальном отражении.

Слои 1, 3, 5, 7 соединяются друг с другом с помощью клейкой ленты 2, 4, 6, 8.

Разработанная конструкция защитного средства представляет собой импедансную поверхность с высокими поглощающими свойствами.

Разработан комплект из 12 образцов широкополосных поглотителей электромагнитного излучения: 6 образцов имели размер  $500 \times 500 \times 6$  мм, 6 образцов - размер  $300 \times 300 \times 6$  мм. Размеры образцов были выбраны исходя из размеров раскрыва рупора измерительных антенн, с помощью которых были выполнены испытания электрофизических параметров поглотителя. Испытания показали, что все образцы широкополосного поглотителя электромагнитного излучения в диапазоне частот 1-18 ГГц имели коэффициент поглощения по мощности не менее 99 %, напряжение изгиба и напряжение растяжения широкополосного радиопоглощающего материала  $\geq 650$  МПа; плотность  $\leq 2,5$  г/см<sup>3</sup> и толщину  $\leq 6$  мм. На фиг. 2 приведены экспериментальные характеристики коэффициента отражения одного из образцов широкополосного поглотителя электромагнитного излучения (для остальных 11 образцов получены идентичные характеристики). Фиг. 2 является фотографией экрана векторного анализатора цепей Anritsu MS4644B. Ось абсцисс - значения частотного диапазона (ГГц), ось ординат - значения величины коэффициента отражения  $S_{22}$ .

Ключевой технологической проблемой, решаемой на стадии изготовления поглотителя электромагнитного излучения, является технология оптимизации электрофизических параметров диэлектрически поглощающего слоя, выполненного в виде собранных в пакет диэлектрических слоев 3, 5, 7 на базе углеродных волокон (углеродного войлока).

Разработан комплекс технологических приемов оптимизации электрофизических параметров, серийно выпускаемых углеродных войлочных материалов, образующих диэлектрические слои поглотителя, с начальным сопротивлением 1 Ом, с использованием высокотемпературного отжига в инертной среде по заданной программе температурно-временного профиля отжига.

В табл. 1 приведены параметры отжига трех произвольно выбранных образцов и указаны удельные сопротивления, полученные в результате отжигов. Отжиги проведены в инертной азотной среде ( $\text{N}_2$ ).

Таблица 1

**Режимы отжига экспериментальных образцов**

Номер образца	Температура отжига, °С	Время отжига, мин	Удельное сопротивление, Ом
3	720	10	100-150
4	710	10	150-200
5	700	10	300-400

# BY 23903 C1 2022.12.30

В табл. 2 показаны результаты исследования взаимодействия СВЧ-излучения с данными образцами в диапазонах 1-2 и 2-4 ГГц. Параметр поглощения является расчетным на базе параметров прохождения и отражения.

Таблица 2

**Параметры экспериментальных образцов после отжига**

Номер образца	Диапазон ЭМИ, ГГц	Удельное сопротивление, Ом	Отражение, %	Прохождение, %	Поглощение, %
3	1-2	100-150	40	5	55
4	1-2	150-200	25	10	65
5	1-2	300-400	10	30	60
3	2-4	100-150	31	6	63
4	2-4	150-200	25	8	67
5	2-4	300-400	6	16	78

На фиг. 3а, 3б показаны параметры отражения, пропускания и поглощения экспериментальных образцов 3, 4, 5, отожженных при разных температурах, в диапазонах: 1-2 ГГц - фиг. 3а; 2-4 ГГц - фиг. 3б. Линия С соответствует образцу 3, линия D - образцу 4, линия В - образцу 5. При понижении температуры отжига уровень отражения ЭМИ от полученных образцов резко уменьшается, что, соответственно, приводит к повышению уровня поглощения ЭМИ. Данные два параметра связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью и могут контролироваться температурой и временем отжига образца в инертной среде.

На фиг. 4 показаны спектры отражения антенны и экспериментальных образцов 3, 4, 5, отожженных при разных температурах, в диапазоне 2-4 ГГц при размещении экспериментальных образцов на металлическом экране. Линия С соответствует образцу 3, линия D - образцу 4, линия В - образцу 5. Как видно из фиг. 5, минимальное значение отражения соответствует образцу 5 (красная линия). Параметры образца 5: удельное сопротивление 300-400 Ом, отражение 6 %, прохождение 16 %, поглощение 78 %.

Таким образом, с использованием высокотемпературного отжига в инертной среде по заданной программе температурно-временного профиля возможна комплексная оптимизация электрофизических параметров углеродных войлочных материалов с целью получения требуемых электрофизических характеристик, в частности минимизации отражения излучения СВЧ-диапазона, что и позволило создать активный диэлектрический слой 3 с волновым сопротивлением порядка 400 Ом для согласования его с атмосферной средой.

На фиг. 6 приведены результаты экспериментальных исследований образцов пористых углеродных материалов, модифицированных наноксидным материалом  $Fe_3O_4$  с различными размерами частиц и концентрацией.

Таким образом, нанесение с помощью покраски на активных слоях 5, 7 наноксидного материала  $Fe_3O_4$  позволило получить импедансную поверхность с высокими поглощающими свойствами, обеспечивающими минимальное отражение падающей электромагнитной волны.

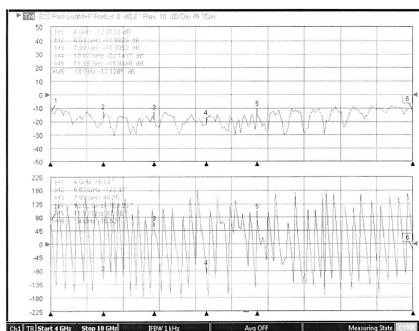
Высокие радиотехнические характеристики поглотителя электромагнитного излучения имеют место в широком частотном диапазоне. Рабочий частотный диапазон определяется только концентрацией наноксидного материала  $Fe_3O_4$  на активных слоях 5, 7, электрическим сопротивлением каждого слоя и их конструктивными характеристиками (толщиной активных слоев), что позволяет обеспечить минимальное отражение падающей электромагнитной волны в широком частотном диапазоне, оптимизировать массу и габариты устройства при одновременном упрощении его технологии изготовления.

Широкополосный поглотитель электромагнитных волн работает следующим образом. Защищаемый от электромагнитного воздействия объект размещают под широкополосным поглотителем электромагнитного излучения (поглотитель может быть как стационарным, так и съемным). Электромагнитные волны, падающие из свободного пространства на поглотитель, диффузно рассеиваются в объеме. При этом наряду с процессами поглощения электромагнитных волн, обусловленными диэлектрическими потерями в активных диэлектрических слоях 3, 5, 7, имеют место процессы многократного отражения и переотражения падающих волн от хаотично расположенных структурных нанокристаллических нитей, из которых состоят активные диэлектрические слои, сопровождающиеся дополнительным поглощением энергии электромагнитных волн. За счет изменения концентрации нанокристаллического материала  $Fe_3O_4$  на активных слоях 5, 7 можно варьировать свойства поглощающего материала, подбирая его таким образом, чтобы обеспечить максимальное поглощение мощности падающей электромагнитной волны при ее минимальном отражении. Фотография образца широкополосного поглотителя электромагнитных волн, модифицированного 20%-ным  $Fe_3O_4$  со средним диаметром частиц нанокристаллического железа 3,5 (1...5) мкм, представлена на фиг. 5.

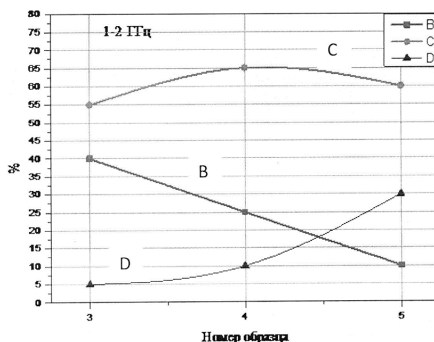
Наличие случайно ориентированных и равномерно расположенных в объеме нанокристаллического материала частиц наполнителя нанокристаллического материала  $Fe_3O_4$  различных размеров (от 5 до 50 мкм), диспергированного ПАВ в нанокристаллический материал, приводит к образованию релеевских рассеивающих структур различных размеров, что способствует расширению рабочего частотного диапазона предлагаемого материала.

Источники информации:

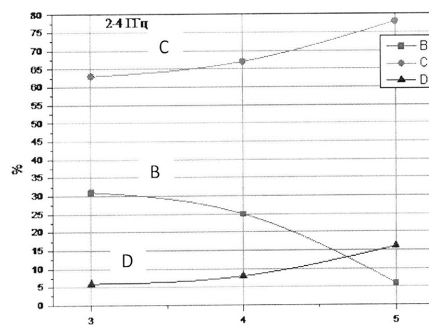
1. RU 2119216.
2. RU 177145.
3. RU 2456722.



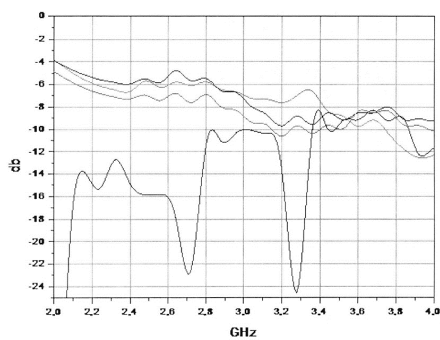
Фиг. 2



Фиг. 3а



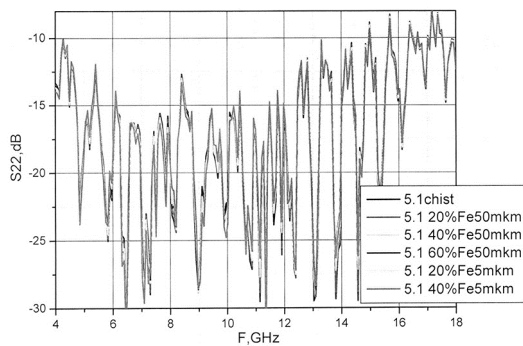
Фиг. 3б



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6